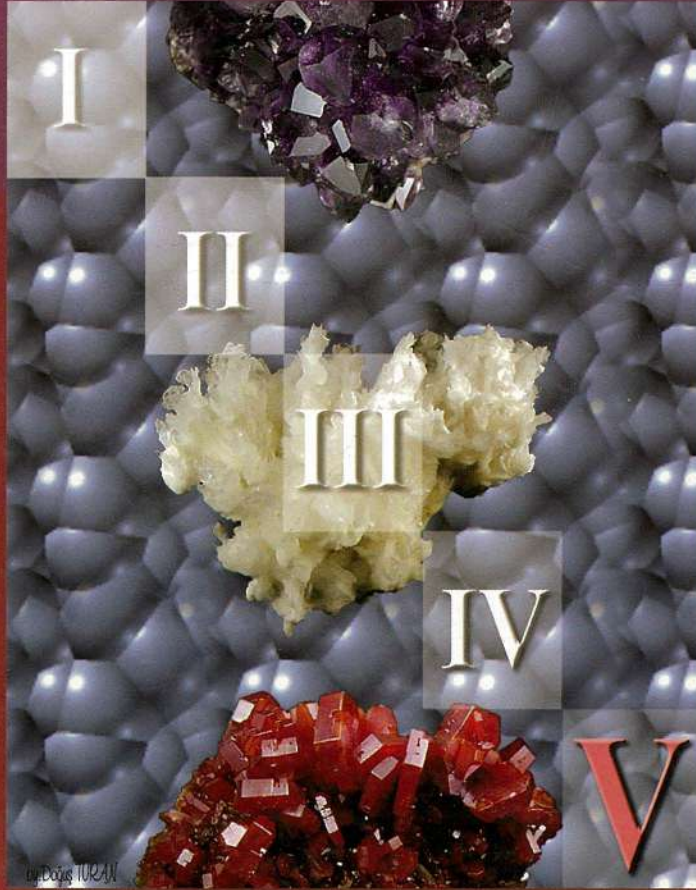


5. ENDÜSTRİYEL HAMMADDELER SEMPOZYUMU



EDITORLER

PROF. DR. ALİ AKAR / YARD. DOÇ. DR. ABDULLAH SEYRANKAYA



DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

TMMOB
MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI
İZMİR ŞUBESİ



Dünyanın EN KALİTELİ SODYUM FELDİSPATİ



ÇİNE AKMADEN

Seramik ve cam üreticilerine;
DÜNYANIN EN İYİ SODYUM FELDİSPATİ'nı
sunmakla gurur duyuyoruz.

Çine Akmaden Madencilik Ticaret A.Ş.
Aydın - Karpuzlu Karayolu 33.Km Çaltı Köyü
09500 Çine/AYDIN - TÜRKİYE
Tel.: 0.256 722 27 00 pbx • Fax: 0.256 722 27 09
web: www.cineakmaden.com.tr
e-mail: cineakmaden@cineakmaden.com.tr
cineakmaden@superonline.com



5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu
13-14 Mayıs 2004, İzmir, Türkiye

ISBN 975-441-212-X

ISBN 975-395-758-0

5. ENDÜSTRİYEL HAMMADDELER SEMPOZYUMU

**13-14 Mayıs 2004
İZMİR**

Editörler:

Prof. Dr. Ali AKAR

Yard. Doç. Dr. Abdullah SEYRANKAYA



**DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**



**TMMOB
MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI
İZMİR ŞUBESİ**

5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu
13-14 Mayıs 2004, İzmir, Türkiye

ISBN 975-441-212-X
ISBN 975-395-758-0

**©Tüm hakları saklıdır. TMMOB Maden Mühendisleri Odası'nın
Yazılı izni olmaksızın bu kitap ya da kitabın bir kısmı
herhangi bir biçimde yayınlanamaz.**

Hazırlık ve Baskı:
ALTINDAĞ GRAFİK MATBAACILIK • TEL: 0232 457 58 33 İZMİR

Mayıs 2004

ÖNSÖZ

Ülkelerin kalkınmasının sanayileşme ile sağlandığı bilinen bir gerçektir. Sanayileşmenin ana girdisi ise doğal kaynaklardır. Bu nedenle, doğal kaynakları ülkelerin vazgeçilmez hazineleri olarak tanımlamak mümkündür. Diğer bir söylemle, bunlar sanayinin lokomotifidir. Dünyada endüstriyel devrimler ve onların ürünleri bu doğal kaynak girdileri ile gerçekleşmiştir. Endüstrinin temel taşları olan madenlerin tarihte çağlar başlattığı hepimizce bilinmektedir.

Ülkemizde de metalik madenler ve enerji hammaddeleri dışında yine sanayileşmemizde kullanılan endüstriyel hammaddeler de, günlük yaşamımızda kullandığımız binlerce malzeme içerisinde yer almaktadır. Örneğin; inşaat, gıda, seramik, boya, gübre, kimya, elektrik ve optik, cam, kağıt ve daha nice yanal sanayinin girdisi olan endüstriyel hammaddeler sayısız olarak yüz çeşidi aşmakta ve her gün bir yenisi bu hammadde sınıfına eklenmektedir. Ancak bunların otuzı yakını uluslararası borsalarda işlem görmektedir.

Ülkemiz endüstriyel hammadde çeşidi ve miktarı açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Bu yönüyle de dünyada belli bir jeopolitik konumda bulunmaktadır. Bir yandan dünya tüketimine ve Avrupa Birliği tüketimine kaynak teşkil ederken diğer yandan da Orta Asya ve Ön Asya ülkelerinin gereksinim duyduğu hammaddelere sahiptir. Bu yönüyle de merkezi bir konumdadır. Bilindiği gibi gelişmiş ülkelerde genel olarak madencilik sektörünün gayrisafi mülî hasılat (GSMH) içindeki oranı % 15 ile % 40 arasında hatta bazı ülkelerde bunun üzerinde olduğu bir gerçekken, ülkemizde bu değerin son yıllarda % 1-2'ye düşmüş olması madencilüğimizin geri planda kaldığını gösteren bir kanıttır. Günümlüde Türkiye'nin 2 trilyon doların üzerinde maden varlığı belirtilirken yani "altı zengin üstü fakir bir ülke" konumuna gelişimizdeki sorunların tespit edilmesi ve bunların önlemlerinin alınması endüstriyel ve ekonomik kalkınmamızın vazgeçilmez önkoşullarındandır.

Bu nedenle, başta son günlerde yıldızı parlayan endüstriyel hammaddelerimiz olmak üzere tüm doğal kaynaklarımızın bilimsel ve teknik araştırılmasına önem verilmelidir. Bunların aranması, üretilmesi, uç ürünler haline getirilmesi ve de dünya ve ülke pazarında layık olduğu ölçüde değerlendirilmesi konusunda başta yasal yaptırımlar olmak üzere tüm önlemlerin alınması bilinçli ulusal madencilik stratejimiz olmalıdır.

Madenlerin özelinde ise endüstriyel hammaddelerin yerinde üretilmesi ve değerlendirilmesi esastır. Bu kaynakların hiç bir zaman çevre, orman, zeytinlik, mera düşmanı olmadığı bilinmelidir. Bilakis, bilimsel, teknik, ekonomik, yasal olarak çevre dostu yöntemlerle değerlendirilerek sürdürülebilir kalkınmamızın gerçekleştirilmesi toplumsal bir mutabakatımız ile mümkündür. Bu anlayışın sağlanması halinde bor ve türevleri, seramik hammaddeleri, refrakter hammaddeleri, inşaat hammaddeleri, boya hammaddeleri, cam hammaddeleri, çimento sanayii hammaddeleri, gübre hammaddeleri, kağıt sanayii hammaddeleri ve daha nice kimya hammaddelerinin üretimi, ticareti ve kullanımının canlı ve katma değeri yüksek bir sektör oluşturacağı açıktır.

Özellikle Ege Bölgesi'nin endüstriyel hammaddeler yönünden çok önemli bir sektör ve dünya ticaretinin kapısı olduğu bilinmelidir. Söz konusu olan bu hammaddelerin bilimsel, teknik, yasal, sosyal ve ekonomik yönünün irdelendiği Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumunun ilki 1995 yılında İzmir'de DEÜ Sabancı Kültür Merkezi'nde Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü ile Maden Mühendisleri Odası İzmir Şubesi tarafından ortaklaşa düzenlenmiş olup, iki yılda bir yapılması faydalı bir gelenek haline gelmiş olup, bu yıl da 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, elinizdeki bu bildiriler kitabında belirtilen kurumlar ve kişilerin özverili, çok değerli ve anlamlı katkılarıyla gerçekleştirilecektir. Sempozyumda emeği geçen tüm kurum ve kuruluşlara içtenlikle teşekkür eder, Sempozyumun başarılı geçmesini ve önümüzdeki günlerde yeni çıkacak olan Maden Yasası ile bu sektörümüzün sorunlarının çözümlenebilmesini umut ederiz.

5.Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu
Organizasyon ve Yürütme Kurulu Başkanlığı
Mayıs 2004

ORGANİZE EDEN KURULUSLAR

Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü
TMMOB Maden Mühendisleri Odası İzmir Şubesi

ORGANİZASYON KURULU

BASKAN

Prof. Dr. Ali AKAR

ÜYELER

Zafer AKSOY	Aksa Magnet
İsmail ALİMOĞLU	Ege Mad. İh. Birlik.
Aristo ANTİPAS	Omya Madencilik
E. Sinan ARSLAN	MTA Ege Bölge Müdürlüğü
Osman AYDIN	Sabuncular Madencilik
Orhan BORAN	Dere Madencilik
Tacettin CANDAN	Ezgi & Özgü
Yener CANDER	Maden İşleri Genel Müdürlüğü
Selim ÇİÇEK	Matel
Ertuğrul ERAYDIN	Polat Madencilik
Enver ERDOĞAN	Ermad
Dündar ERGUNALP	Barit Maden
Yüceer GÖVER	Esan
Orhan GÜÇKAN	Newmont-Normandy Madencilik A.Ş.
Oğuz GÜRBÜZ	Gülbüz Madencilik
İsmet KASAPOĞLU	Madencilik Sek. Başkanlar Kon. Bir.
Dursun KAYA	Enli Madencilik
Prof. Dr. Mevlüt KEMAL	Cevher Hazırlama Derneği
Cihat KORA	Alkim A.Ş.
Prof. Dr. Halil KÖSE	Dokuz Eylül Üniversitesi
Asım KUTLUATA	Madencilik Fon Sekreterliği
Ramazan OKUTAN	Gür Maden
Mutlu ÖKTEM	İstanbul. Maden ve Metaller İhr. Bir.
Prof. Dr. Güven ÖNAL	Yurt Mad. Gel. Vakfı
Ercan ÖZER	Borusan Mak. Servis ve Tic. A.Ş.
Nezih ÖZTÜRE	Öztüre Holding
Doç. Dr. Kenan POSLU	Süd-Chemie
Hasan SAZCI	Çanakkale Seramik
Saffet SEVER	Çine Akmaden
Mehmet ŞAHİN	Gülmer Madencilik
Cenk ŞENTÜRK	Verim Mühendislik
Yunus ŞİRİN	Eti Holding A.Ş.
İlhami TEZCAN	Kale Maden
Mehmet TORUN	Maden Mühendisleri Odası
Yüksel TUNCER	Kaltun Madencilik
Uygur URCUN	TMMOB Maden Müh. Odası İzmir Şb.
Prof. (em) Dr. İsmet UZKUT	Mir Madencilik
Düzgün ÜRÜN	Pomza Export
Uğur YAVUZ	Yavuzlar Madencilik

YÜRÜTME KURULU

Başkan : Yalçın ELEKLER
Yazman: Yrd. Doç. Dr. Abdullah
SEYRANKAYA
Sayman: Doğan KARAKUŞ

Üyeler:

Erkan GÜLER
Gül GÜLER
Kerim KÜÇÜK
Ece KILINÇ AKSAY
Gülşay GÜRPINAR

BİLİMSEL KURUL

Prof. Dr. Neşet ACARKAN	İstanbul Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Ali AKAR	Dokuz Eylül Üniversitesi
Prof. Dr. Akın ALTUN	Dokuz Eylül Üniversitesi
Prof. Dr. Mesut ANIL	Çukurova Üniversitesi
Prof. Dr. Ergin ARIÖĞLU	İstanbul Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Ümit ATALAY	Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Bülent BARADAN	Dokuz Eylül Üniversitesi
Prof. Dr. İrfan BAYRAKTAR	Çine Akmaçen
Prof. Dr. Nuh BİLGİN	İstanbul Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Rifat BOZKURT	Osmangazi Üniversitesi
Prof. Dr. Osman CANDAN	Dokuz Eylül Üniversitesi
Prof. Dr. İlknur CÖCEN	Dokuz Eylül Üniversitesi
Prof. Dr. M. Sabri ÇELİK	İstanbul Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Yaşar ÇİLİNGİR	Dokuz Eylül Üniversitesi
Prof. Dr. Halim DEMİREL	Hacettepe Üniversitesi
Prof. Dr. Özcan DORA	Dokuz Eylül Üniversitesi
Prof. Dr. Ö. Faruk EMRULLAHOĞLU	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Prof. Dr. Burhan ERDOĞAN	Dokuz Eylül Üniversitesi
Prof. Dr. İsmail GİRĞİN	Hacettepe Üniversitesi
Prof. Dr. Çetin GÜLER	Ege Üniversitesi
Prof. Dr. Lütfullah GÜNDOZ	Süleyman Demirel Üniversitesi
Prof. Dr. Cahit HELVACI	Dokuz Eylül Üniversitesi
Prof. Dr. Cahit HİÇYILMAZ	Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Uğur İNCİ	Dokuz Eylül Üniversitesi
Prof. Dr. Öner İPEKOĞLU	Dokuz Eylül Üniversitesi
Prof. Dr. Mevlüt KEMAL	Dokuz Eylül Üniversitesi
Prof. Dr. Sabiha KOCA	Osmangazi Üniversitesi
Prof. Dr. Yalçın KOCA	Dokuz Eylül Üniversitesi
Prof. Dr. Uğur KÖKTÜRK	Dokuz Eylül Üniversitesi
Prof. Dr. Halil KÖSE	Dokuz Eylül Üniversitesi
Prof. Dr. Hasan MORDOĞAN	Dokuz Eylül Üniversitesi
Prof. Dr. Turgay ONARGAN	Dokuz Eylül Üniversitesi
Prof. Dr. A. Hakan ONUR	Dokuz Eylül Üniversitesi
Prof. Dr. Muammer ÖNER	Hacettepe Üniversitesi
Prof. Dr. Bahri ÖTEYAKA	Dumlupınar Üniversitesi
Prof. Dr. Gülhan ÖZBAYOĞLU	Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Hüseyin ÖZDAĞ	Osmangazi Üniversitesi
Prof. Dr. İsmet ÖZGENÇ	Dokuz Eylül Üniversitesi
Prof. Dr. Yılmaz SAVAŞÇIN	Dokuz Eylül Üniversitesi
Prof. Dr. Mustafa TEFEK	Mersin Üniversitesi
Prof. Dr. Necdet TÜRK	Dokuz Eylül Üniversitesi
Prof. Dr. Yaşar UÇBAŞ	Osmangazi Üniversitesi
Prof. Dr. Ercüment YALÇIN	Dokuz Eylül Üniversitesi
Prof. Dr. Ahmet YAMIK	Dumlupınar Üniversitesi
Prof. Dr. Zeliha YAYLA	Dokuz Eylül Üniversitesi
Doç. Dr. Vedat ARSLAN	Dokuz Eylül Üniversitesi
Doç. Dr. Hüriyet POLAT	İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü
Doç. Dr. Eyüp SABAH	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Doç. Dr. Selçuk TÜRKEL	Dokuz Eylül Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Turan BATAR	Dokuz Eylül Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Vedat DENİZ	Süleyman Demirel Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Murat HATİPOĞLU	Dokuz Eylül Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Gürkan KONAK	Dokuz Eylül Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Ufuk MALAYOĞLU	Dokuz Eylül Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Abdullah SEYRANKAYA	Dokuz Eylül Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Mehmet TANRIVERDİ	Dokuz Eylül Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Bahadır YAVUZ	Dokuz Eylül Üniversitesi
Dr. Deniz AYHAN	Dicle Üniversitesi
Dr. İhsan BOZDOĞAN	İsan
Dr. Tayfun ÇİÇEK	Dokuz Eylül Üniversitesi
Dr. A. Hamdi DELİORMANLI	Dokuz Eylül Üniversitesi
Dr. Zeki KARACA	Dokuz Eylül Üniversitesi
Dr. Erol KAYA	Dokuz Eylül Üniversitesi
Dr. Kemal KÖSEÖĞLU	Ege Üniversitesi
Dr. Kenan POŞLU	Süd-Chemie (TR)
Dr. Necip TERZİBAŞIOĞLU	Batıçim
Dr. Abdülkerim YÖRÖKOĞLU	MTA Genel Müdürlüğü
Dr. Türker ZORLUBAŞ	Egemin
Abir ÇATMA	MTA Genel Müdürlüğü
Ali DÖNDAR	Gürbüz Madencilik
Selçuk ERBAKAN	Batıçim
Serdar KARAHAH	MTA Genel Müdürlüğü
Hasan SAZCI	Çamakkale Seramik
Mehmet ŞAHİN	Gülmer Madencilik
Muhsin TÖGEN	MAŞ
Celal YILDIZ	Seramiksan

DESTEKLEYEN KURULUSLAR

NEWMONT-NORMANDY MADENCİLİK A.Ş.
ETİ HOLDİNG A.Ş.
ÇİNE AKMADEN
ERİEZ
BORUSAN
İSTANBUL MADEN VE METALLER İHRACATÇI BİRLİKLERİ
YAVUZLAR MADENCİLİK
MTA
TÜPRAG
ATLAS COPCO
EZGİ&ÖZGÜ
NİTROMAK
KALEMADEN
SABUNCULAR MADENCİLİK
KALTUN MADENCİLİK
VERİM MÜHENDİSLİK
MAPEK MAKİNA VE SANAYİ
HOSOKOWA ALPİNE (TEMSİLCİSİ BURÇELİK A.Ş.)
MTM MAKİNA
TÜFEKÇİOĞLU KAUÇUK
AKSA MAGNET
SÜD-CHEMİE(TR)
GÜRBÜZ MADEN
ERSEL MAKİNA
GÜR MADEN
BARİT MADEN
DERE MADENCİLİK
OMYA MADENCİLİK
MATEL
MİKROMAN MADENCİLİK
POMZA EXPORT
MİR MADENCİLİK
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
TMMOB MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
İZFAŞ
HİTİT SERAMİK
YURT MADENCİLİĞİNİ GELİŞTİRME VAKFI
TÜRKİYE KÖMÜR İŞLETMELERİ KURUMU

İÇİNDEKİLER

Önsöz.....	v
Sempozyum Yürütme, Yayın ve Organizasyon Kurulu.....	vii
Bilimsel Kurul	ix
Destekleyen Kuruluşlar	xi
İçindekiler.....	xiii
 Çok Kaliteli Porselen Yer Karoları İçin Ultrabeyaz Sodyum Feldispat Üretimi	1
<i>İ. Bayraktar & G. Anceschi</i>	
 Maden Mühendisi Bir İşletmeci Bakış Açısıyla, İnşaat Endüstrisinde Kullanılan Hammaddelerin Üretilmesinde Karşılaşılan Problemler ve Problemlerin İzmir İlindeki Yansımaları	5
<i>O. Boran</i>	
 Türkiye Borat Yatakları: Jeolojik Konumu, Ekonomik Önemi ve Bor Politikası.....	11
<i>C. Helvacı</i>	
 İnşaat Endüstrisinde Geri Dönüşüm ve Bir Hammadde Kaynağı Olarak Farklı Yapı Malzemelerinin Yeniden Değerlendirilmesi	28
<i>C. Gürer, H. Akbulut & G. Küçüklü</i>	
 Söğüt (Bilecik) Çevresindeki Alkalili Hammaddelerin Yer-Duvar Karosu Masse Hammaddesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması	37
<i>K. Kayacı, H. Kaşıkçı, M. Çifçi & B. Aylakçı</i>	
 Batı Karadeniz Havzası Endüstriyel Hammadde Kaynakları ve Değerlendirilmesi	42
<i>B. Haner</i>	
 Taşhane (Terme) Andezitik Tüflerinin Çimento Üretiminde Katkı Maddesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması	48
<i>İ. Alp, H. Deveci, A. O. Yılmaz, A. Kesimal & E. Yılmaz</i>	
 Farklı Değirmenlerde Öğütülmüş Talk Mineralinin Tane Şekli ile İslanabilirliğinin Değişimi	56
<i>U. Ulusoy, M. Yekeler & C. Hıçılmaz</i>	
 Profilit Cevherinin Aşındırılabilir Yıkama Yöntemi ile Zenginleştirilme Olanakları.....	69
<i>M. Birinci & M. Sarıkaya</i>	
 Kömüre Dayalı Termik Santral Uçucu Küllelerinden Otoklav Yöntemi ile Hafif Tuğla Üretimi.....	76
<i>T. Çiçek & M. Tanrıverdi</i>	
 Afyon Mermer Tozu Ve Soma Uçucu Kül Katkılı Betonların Donma-Çözülme Özellikleri ve Ekonomik Değerlendirilmesi.....	83
<i>O. Ünal & T. Uygunoğlu</i>	
 Bazık Pomzanın (Osmaniye-Ceyhan Yöresi) Yapı Tuğlası Üretiminde Kullanılması	89
<i>İ. Demir, Y. Kibici & A. Yıldız</i>	
 Kalorifer Külü Kullanılarak Yapı Bloğu Üretilmesinin Araştırılması	97
<i>İ. Demir, S. Başpınar, Y. Kibici & A. Yıldız</i>	

Kağıt Üretim Teknolojisini Değiştiren Mineral : Kalsiyum Karbonat (CaCO_3).....	101
<i>E. Sabah & Z. E. Erkan</i>	
Nevşehir Yöresi Pomzasının Yer Karosu Massesinde Kullanımı Üzerine Araştırmalar	110
<i>A. Kartal, R. E. Konuk & A. Evcin</i>	
Cam Atıklarının Çimento Üretiminde Katkı Maddesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması.....	114
<i>T. Kavas, M. Y. Çelik & A. Evcin</i>	
Söğüt ve Konya Killerinden Hazırlanan Çamurların Viskozitesine Farklı Deflokulanların Etkilerinin İncelenmesi	120
<i>A. Evcin & T. Kavas</i>	
Başer Maden Sanayinin İnce Barit Artıklarının Flotasyon ile Zenginleştirilmesi	125
<i>V. Deniz</i>	
Doğal Amorf Silika'nın Kinetik Öğütme Parametrelerine Hacimsel Bilya ve Malzeme Doluluk Oranlarının Etkisi	130
<i>V. Deniz & N. Sütçü</i>	
Karaman ve Civarı Pomza Oluşumlarının Hafif Beton Sektöründe Agrega Olarak Yeri ve Önemi	138
<i>N. Şapçı, L. Gündüz & M. Ulusoy</i>	
1970-2002 Döneminde Çimento Sektörümüzün İstatistiksel Değerlendirilmesi	149
<i>A. O. Yılmaz, M. Vıcal, İ. Alp, İ. Çavuşoğlu & E. Yazıcı</i>	
Beyşehir Baritlerinin Flotasyonla Zenginleştirme Olanaklarının Araştırılması.....	161
<i>Ş. G. Özkan, İ. Kurşun, K. Çinku, M. F. Eskibalci & A. Duban</i>	
Bir Kireçtaşı Ocağında Uygulanan Patlatma Delik Çaptı Değişiminin Sonuçları	166
<i>Ö. Akkoyun</i>	
Eczacıbaşı Duvar Karosu Uygun Sır Ve Renklendirme Çalışmaları	173
<i>A. Yamık, A. Uçar, İ. Nuhoglu & M. Akbaş</i>	
Kuvars Kumu Kirleticilerinin Oksalik Asit Liçi ile Uzaklaştırılması	179
<i>O. Bayat, V. Arslan, H. Vapur & M. Uçurum</i>	
Türkiye Zeolit Potansiyeli ve Değerlendirme İmkanları	184
<i>İ. H. Kırşan</i>	
Kümaş ve Ferrokrom Elektrofiltre Tozlarından Forsterit-Diopsit Kompoziti Üretimi.....	193
<i>M. Türkdönmez, C. B. Emrullahoğlu & Ö. F. Emrullahoğlu</i>	
Tuğla Kırıklarının Tuğla Üretiminde Kullanımı	199
<i>C. B. Emrullahoğlu, H. Karademir & Ö. F. Emrullahoğlu</i>	
Demirci (Manisa) Kyanit Cevherinin Zenginleştirilmesi ve Seramik Üretiminde Kullanımı	204
<i>C. B. Emrullahoğlu, A. Aybey & Ö. F. Emrullahoğlu</i>	
Na-Feldspat ve K-Feldspatın Flotasyonla Ayrımında Ca^{++} İyonlarının Etki Mekanizması.....	210
<i>İ. Bentli, C. Demir, İ. Gülgönül & M. S. Çelik</i>	

Manyezit Ara Ürünün Kalsinasyon-Manyetik Ayırma Yöntemleriyle Zenginleştirilmesi	216
<i>İ. Bentli, N. Erdoğan, B. Birici, U. Topal & O. Şahbaz</i>	
Muğla Beyaz Mermerinin Tane Boyut Dağılımının Görüntü Analiz Yöntemi ile Ölçülmesi	222
<i>M.Y. Çelik</i>	
Mermer İşleme Tesisi Artıklarının Kağıt Dolgu Maddesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması	233
<i>Z. E. Erkan, E. Sabah & M. Y. Çelik</i>	
Muskovit Şistlerin (Başçatak-Akdağmadeni, Yozgat) Jeolojik Özellikleri ve Muskovitin Isısal Analiz Yöntemleri İle Teknolojik Davranışlarının Belirlenmesi	241
<i>S. Gürsu</i>	
Donma-Çözülme Periyotlarının Tüfün (Isparta-Dereboğazı) Fiziko-Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi	255
<i>R. Altındağ & İ. S. Akyıldız</i>	
Türkiye'deki Bazı Süstaşlarının (Ametist, Dumanlı Kuvars, Rubellit ve Kalsedon) Renk Ajanları ve Radyasyonla Renk Koyuluklarını Artırma Çalışmaları	263
<i>M. Hatipoğlu</i>	
Piezoelektrik Teknoloji ve Piezo-malzeme Olarak Turmalin	279
<i>E. Y. Yazıcı, İ. Alp, A. O. Yılmaz, O. Celep & M. Vıcıl</i>	
Volkanik Cüruf Agregaların Yapı Sektöründe Kullanımı	286
<i>S. Demirdağ, L. Gündüz & S. Saraç</i>	
Artık Manyezit Tozundan Yüksek Safılıkta Sinter Magnezit Üretimi	291
<i>N. Erdoğan, M. Kaya, T. Batar & B. Kahraman</i>	
Mermerlerin Anizotropik Karakteristiğinin Shore Sertliği Üzerine Etkisi	300
<i>A. Güney, R. Altındağ & Y. Kibici</i>	
Soylu Endüstriyel Mineraller A.Ş.'nin Pomza Zenginleştirme Tesisindeki Jig Performanslarının Değerlendirilmesi	307
<i>V. Deniz, Y. Umucu & İ. Yılmaz</i>	
Diatomit Katkılı Çini Karo Bünye Üretimi	313
<i>İ. Tatar, N. Ediz & İ. Bentli</i>	
Yeni Bir Feldspat Kaynağı: Trakit	318
<i>V. Bozkurt, Y. Uçbaş, S. Koca & H. İpek</i>	
Boşluk Doldurma Oranının Kolemanit'in Öğütme Kinetiği Üzerine Etkisi	323
<i>İ. Özgür, V. Bozkurt & H. İpek</i>	
Opal ve Genel Özellikleri	328
<i>M. Vıcıl, İ. Çavuşoğlu, O. Celep, İ. Alp & A. O. Yılmaz</i>	
Erzurum - Oltu - Turnalı Opalinin Genel Özelliklerinin Belirlenmesi	336
<i>M. Vıcıl, O. Celep, İ. Çavuşoğlu, İ. Alp & A. O. Yılmaz</i>	

Nevşehir Pomzasının Agrega Olarak Betonda Kullanılabilirliğinin Araştırılması.....	34
<i>A. Tolğay, E. Yaşar & Y. Erdoğan</i>	
Cevher Hazırlama Tesisleri Artıklarının Değerlendirilmesi	35
<i>E. Kaya</i>	
Demirci-Gördes Feldspatlarının Flotasyon Yöntemiyle Zenginleştirme Çalışmaları.....	36
<i>A. İ. Şahin</i>	
Öztüre Kimtaş A.Ş. Kireç Fırınlarnının Modernizasyonu.....	36
<i>T. Çiçek, A. Akyarlı, V. Gülgü & N. Öztüre</i>	
Değişik Kökenli Agregaların Beton Kalitesi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi.....	37
<i>Ş. A. Akpınar, G. Konak & Ç. Pamukçu</i>	
Bayer- $Al(OH)_3$ 'in Kalsiyum Alüminat Çimentosu Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması	38
<i>T. Çiçek, A. Altun & İ. Cöcen</i>	
İnşaat Atıklarının Değerlendirilmesi	38
<i>E. Erdin, A. Altın & T. Tunalı</i>	
Kil Tabanlı Seramik Üretiminde Mineralojinin Yeri Ve Önemi.....	39
<i>A. Aras</i>	
Alunit Cevherinden Potasyum ve Alüminyum Sülfat Hammaddelerinin Kazanımı.....	39
<i>E. Kılınç Aksay, A. Ünal, İ. Cöcen, E. Kaya & A. Akar</i>	
Killerin Susuzlandırılmasında Ultrasonik Titreşimin Etkisi	40
<i>G. Önal, M. Özer & F. Arslan</i>	
İzmir-Menderes Yöresi Asidik Pomzanın Tuğla Olarak Değerlendirilmesi	41
<i>E. Kılınç Aksay, A. Akar, E. Kaya & E. Yaşar</i>	
Curalar Köyü (Buldan - Denizli) Meta-Aplit Oluşumları ve Feldspat Hammaddesi Olarak Değerlendirme Olanakları	41
<i>U. Malayoğlu, E. Koralay, A. Seyrankaya & H. Yenice</i>	
Yumuşak Endüstriyel Dolgu Malzemesi Üretiminde Son Teknoloji.....	42
<i>(State of the Art Technology of Soft Industrial Mineral Filler Production)</i>	
<i>Dietmar Alber</i>	
Seramik, Cam ve Refrakter Endüstrisi için Güncel Mineral Prosesi	42
<i>(Up to Date Hard Mineral Processing for Ceramic, Glass and Refractory Industry)</i>	
<i>Dietmar Alber</i>	

Çok Kaliteli Porselen Yer Karoları İçin Ultrabeyaz Sodyum Feldispat Üretimi

İ. Bayraktar

Çine Akmaden Yönetim Kurulu Üyesi

G. Anceschi

Anceschi Gino & Co.

ÖZET: Çok kaliteli porselen yer karoları üretiminde ultrabeyaz sodyum feldispat kullanılmasının ekonomik ve teknik yararları çok açıktır. Bu bildirinin konusu, demir ve titan içeriği toplamı 250 ppm kadar düşük, beyazlık ölçüsü (L) 93'ten daha büyük olan endüstriyel ölçekte ultrabeyaz sodyum feldispat üretimidir. Feldispat cevheri, Çine Akmaden'in Cevizdere Açık İşletmesi'nden seçimli olarak üretilmektedir. Tüvenan cevher, 250 mikron altına öğütüldükten sonra flote edilmektedir. Uzun flotasyon süresi (~40 dakika) ve aşırı toplayıcı (1800 g/t, sodyum oleat) tüketimi flotasyonun en dikkat çekici iki noktasıdır. Flotasyon akım şeması ve ürünün teknik özellikleri de bu yazıda verilmektedir.

ABSTRACT: Economical and technical advantages of using ultrawhite sodium feldspar for producing high quality tiles are unambiguous. This article deals with production of ultrawhite sodium feldspar possessing whiteness value (L) higher than 93 and its total iron and titanium content is as low as 250 ppm. The ore extraction is selectively and cautiously carried out in Cevizdere pit of Çine Akmaden. The raw ore is reduced to minus 250 micron and fed to flotation plant. Longer flotation time (~40 min.) and excessive collector (Na-Oleate, 1800 g/t) consumption are noteworthy in the process. The specifications of the product and the flowsheet are presented.

1. GİRİŞ

Yer karosu üreticileri arasında giderek şiddetlenen bir rekabet süregelmektedir. Bundan birkaç yıl öncesine kadar İtalyan ve İspanyol yer karosu üreticileri, kaliteleri sayesinde özellikle Çin yer karolarına karşı bir üstünlüğe sahip olduğundan rekabetten görece daha az etkileniyorlardı. Fakat son yıllarda, Çin yer karosu üreticileri de ARGE birimlerini güçlendirerek, kalitelerini yükselttiler. Bu nedenle, İtalyan ve İspanyol üreticilerin kaliteleri nedeniyle sağladığı üstünlük de yok olmaya başladı. Bu rekabetin zararları kadar yararları da vardır. Yararlı yönü, rahatlık içindeki üreticileri silkeleyerek hem kalitelerini arttırmaya, hem de fiyatlarını düşürmeye zorlar. Enerji, işçilik, bakım-onarım gibi giderlerden başka hammadde de üretim maliyetlerinde önemli bir pay almaktadır. Pahalı hammaddeler arasında özellikle zirkon kumu, alümina ve boyaların fiyatları çok dikkat çekicidir. Porselen yer karolarını oluşturan

hammadeler içinde feldispatın payı %55'lere kadar yükselmiştir. Sodyum feldispat, bünyedeki en ucuz hammaddelerden biridir. Sodyum feldispat oranını yükselterek, zirkon, alümina ve boya tasarrufu sağlandığında kuşkusuz bir maliyet düşmesi oluşabilecektir. Ancak, bu tasarruf rastgele bir feldispat ile değil, aşağıda belirtilen üstün özelliklere sahip feldispat ile mümkündür:

1. Zirkon ve alüminadan tasarruf etmek için feldispat, çok beyaz, yüksek alkali içeriğine ve görece daha düşük sıcaklıklarda eriyip, bünyedeki diğer mineralleri (kil, kuvars) sarma (fusibility) gibi özelliklere sahip olmalıdır.
2. Feldispat, boya maddeleri (pigmentler) ile çok iyi uyum sağlayıp, keskin renk kontrastları vererek tasarımcıların işini de kolaylaştırmalıdır.

Yukarıdaki özelliklere sahip sodyum feldispat herhangi bir ocaktan üretilemez çünkü cevherler

genelde heterojendir ve kaçınılmaz olarak; biyotit, turmalin, granat, sfen, rutil gibi renk verici safsızlıklar içeririr. Bu nedenle kaliteli cevher de olsa safsızlıklardan arındırılması ve homojenleştirilmesi gerekmektedir.

2. CEVİZDERE CEVHERİ ÖZELLİKLERİ

Çine Akmaden'e ait Cevizdere ocağı, dünyaca ünlü sodyum feldispat bölgesi olan Menderes masifinin Çine-Karpuzlu bölümündedir. Çine Akmaden bu masifte 15 yılı aşkın süredir feldispat üretmekte ve son yıllarda ruhsat sahalarında yaptığı yatırımlarla rezervlerini görünür hale getirerek, ocaklarında çağdaş açık işletme uygulamaya başlamıştır. Şirketin sahip olduğu en önemli ruhsatlardan biri olan Cevizdere'deki 62 milyon ton'luk görünür rezervin 16 milyon tonu yüksek kaliteli ($\text{Na}_2\text{O} > 10.25$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 < 0.10$, $\text{TiO}_2 < 0.25$) sodyum feldispattır.

Yüksek kaliteli cevherde yapılan mineralojik (X-Ray difraksiyon ve ince kesit mikroskopisi) ve kimyasal analiz çalışmaları, bu cevherin sfen ve rutilin yanında çok az miktarda biyotit içerdiğini göstermiştir. Cevher örneklerinde saptanan mineraller ve tane boyları Çizelge 1'de verilmektedir.

Çizelge 1. Mineralojik Bileşim ve Minerallerin Tane Boyları

Mineral	%	Tane Boyu (mikron)	
		Min.	Max.
Plajiyoklas (Albit, Ortoz)	90	160	5700
Ortoklas (Pertit)	~1.0	150	4400
Mika (Biyotit ± Muskovit)	< 0.1	75	7000
Kuvars	8.0	90	800
Sfen	< 0.5	45	250
Rutil	< 0.5	25	400
Apatit	< 0.5	75	370
Epidot grubu	< 0.1	60	600

Çizelge 1'den görüleceği üzere demir içeren mineraller, titan içeren minerallerden daha iridir. Titan minerallerinin serbestleşmesi için cevherin asgari 250 mikron altına öğütülmesi gerekmektedir. Cevherin ortalama kimyasal bileşimi aşağıdaki Çizelge 2'de verilmektedir.

Çizelge 2. Cevherin Kimyasal Bileşimi

Bileşen	%	Beyazlık*
Na_2O	10.30	$L = 76.20$ $a = 1.30$ $b = 17.50$
K_2O	0.17	
CaO	0.54	
Fe_2O_3	0.017	
TiO_2	0.21	
Al_2O_3	17.90	
SiO_2	70.43	
MgO	0.04	
P_2O_5	0.19	
K.K.	0.21	

* Elektrikli lab. firmı, 1220°C'de pişme rengi

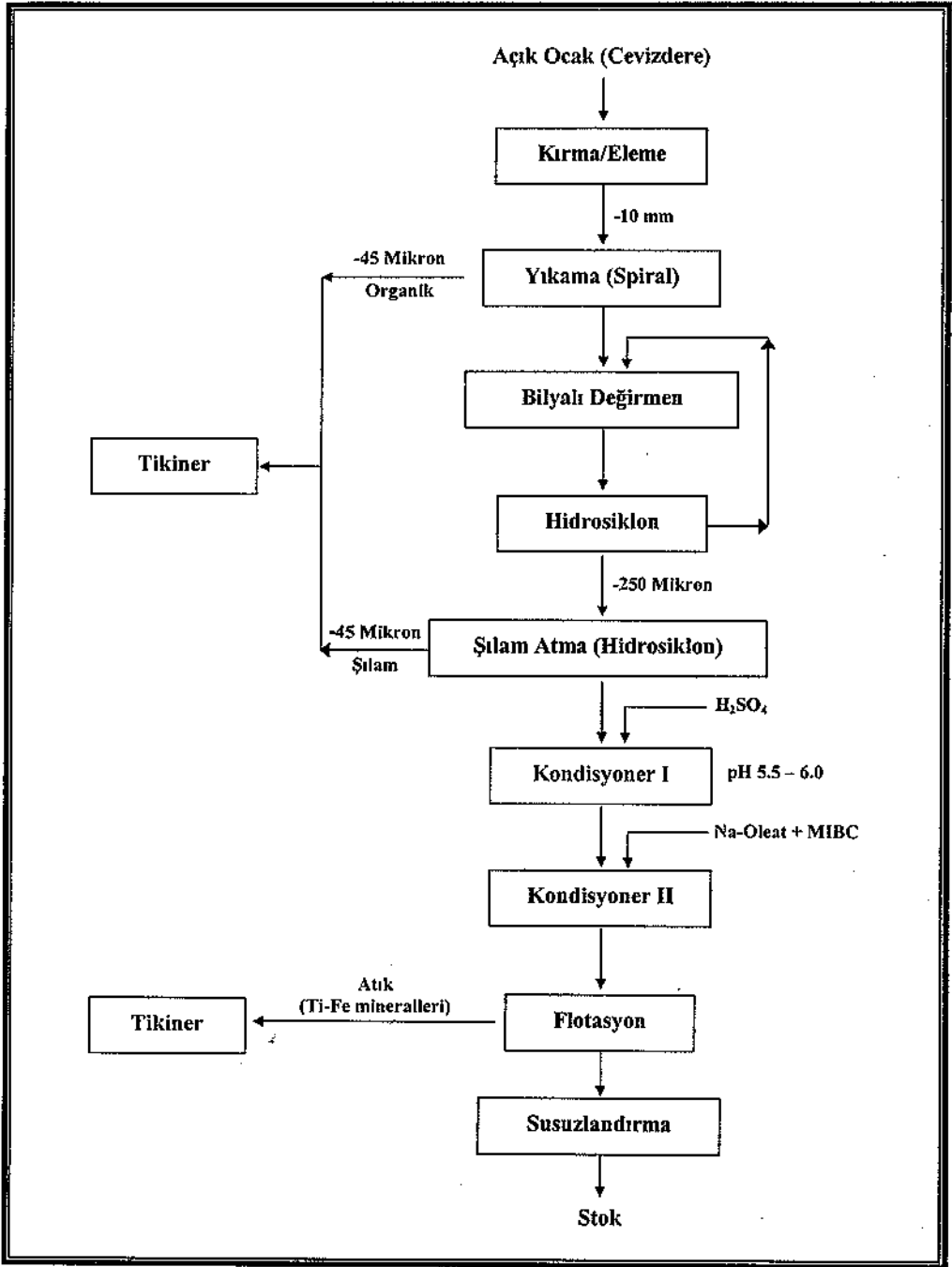
3. CEVHER ZENGİNLEŞTİRME

Cevherin renk verici demir ve titan safsızlıklarından arınması için ters flotasyon yapılmaktadır.

Flotasyonun başarılı olması için yüksek kaliteli cevherin ocakta seçimli olarak üretilmesi ön koşuldur.

Ocaktan gelen cevher, 10 mm altına kırıldıktan sonra spiral sınıflandırıcıda yıkanarak şlam (-45 mikron) ve organik maddeler atılır. Çam ağaçları arasındaki açık işletmede organik madde karışımı kaçınılmazdır. Organik maddeler ise flotasyonu olumsuz yönde etkilemektedir.

Yıkanan cevher, kauçuk astarlı, alümina bilyalı değirmende hidrosiklonla kapalı devre öğütülür; flotasyon için -250+45 mikron inceliğine getirilir ve pH 5.5'e H_2SO_4 ile ayarlanarak kondüsyonlanır. Daha sonra toplayıcı ilave edilerek tekrar kondüsyonlanır. Kondüsyonlama yüksek pülp yoğunluğunda (asgari %50 katı) yapılmaktadır. Flotasyon aşamasında pülp yoğunluğu %35'e düşürülürken pH da yaklaşık 6'ya yükseltilir. Toplayıcı olarak kullanılan sodyum oleat kademeli olarak, aşırı denilebilecek miktarda (1000+800 g/t) kullanılmaktadır. Tesisin akımşeması Şekil 1'de verilmektedir.



Şekil 1. Ultrabeyaz Sodyum Feldispat Üretimi Akım Şeması

Kaliteli cevher beslemesi, aşırı toplayıcı tüketimi ve normalin iki kat kadar uzun flotasyon süresi sayesinde feldispat konsantresinin demir ve titan içerikleri sırasıyla 70 ve 180 ppm'e düşürülmektedir. 2003 yılında üretilen son partilerin toplamı 13.000 tonun kimyasal analizi ve beyazlık ölçüsü Çizelge 3'te verilmektedir.

Çine Akmaden'in bu yeni ürünü CGM 111 olarak bilinmekte ve Giriş bölümünde sözü edilen üstün özelliklere sahiptir. CGM 111, yine Çine Akmaden'e ait, kalitesi çok iyi olarak bilinen, yaklaşık toplam 600 ppm demir ve titan içeren, US 101'den daha üstün nitelikli bir sodyum feldispat konsantresidir.

Çizelge 3. Ultrabeyaz Sodyum Feldispat Konsantresinin (CGM 111) Kimyasal Bileşimi ve Beyazlık Derecesi

Bileşen	%	Beyazlık*
Na ₂ O	10.40	L = 93.05 a = -0.31 b = 3.02
K ₂ O	0.16	
CaO	0.32	
Fe ₂ O ₃	0.007	
TiO ₂	0.018	
Al ₂ O ₃	17.90	
SiO ₂	70.89	
MgO	0.04	
P ₂ O ₅	0.02	
K.K.	0.23	

* 1145 °C'de endüstriyel üretim hattında doğalgaz ile pışma rengi

Çizelge 3'ten görüleceği üzere, cevherin titan içeriğinin %92'si, demirin de %62'si atılmıştır. Demir atımının yüzdesinin düşük olmasının nedeni cevherin zaten beslemede çok düşük (170 ppm) demir içermesindendir. Titan içeriğinin neden olduğu sarılık derecesi (b) 17.50'den 3.02 gibi bir değere düşürülürken, beyazlık derecesi (L) de 76.20'den 93.05'e yükseltilmiştir. Beyazlık ölçüm değerleri her ne kadar tamamen aynı şartlarda yapılmamış olsa da aradaki fark yine de çok anlamlıdır. Süregelen laboratuvar ölçekli araştırmalarımız, sodyum oleat yanında biraz daha pahalı bir destek toplayıcısı ile yaklaşık demir ve titan toplamı 150 ppm olan daha da iyi konsantre üretebileceğini de göstermiştir.

4. SONUÇ

Yüksek kaliteli, mermer görünümlü porselen yer karosu üreten şirketlerin CGM 111'e çok olumlu tepkisi sayesinde Çine Akmaden üretimi artırmak için gerekli girişimleri yapmış ve 2004 yılı için 25.000 ton CGM 111 üretimi planlamıştır. Çok kötü geçen kış koşullarına (Ocak ve Şubat) karşın, üç aylık veriler bu üretimin gerçekleşeceğini göstermektedir. Bu ürünü kullanarak, zirkon ve alümina tasarrufu sağlandığı ve ayrıca renk ve desen çalışmalarının daha iyi sonuç verdiği bizzat karo üreticileri tarafından beyan edilmiştir.

TEŞEKKÜR

Ultrabeyaz sodyum feldispat üretiminin başlamasına neden olan görüşlerinden ve içtenlikle CGM 111 ile yaptığı endüstriyel yer karosu üretimi denemelerinden dolayı Bay Franco Benatti ve İris Grubu'na teşekkürü borç biliriz.

Maden Mühendisi Bir İşletmeci Bakış Açısıyla, İnşaat Endüstrisinde Kullanılan Hammaddelerin Üretilmesinde Karşılaşılan Problemler ve Problemlerin İzmir İlindeki Yansımaları

O. Boran

Dere Madencilik A.Ş., İzmir

ÖZET: Bu bildiride İzmir ilinde inşaat endüstrisine ham madde üreten iş yerlerinin karşılaştığı genel ve özel problemler ile bunların çözüm önerileri ele alınmıştır. 1992 yılından itibaren, İzmir Büyükşehir Belediyesi mücavir alan sınırları içinde kalan taş ve maden ocakları ile konkasör tesisleri Valilik ve Belediye tarafından çeşitli gerekçelerle kapatılmış, işyerlerinin GSM ruhsatları iptal edilmiştir. Geçmişte yaşanan hatalar, alınması gereken dersler ve yeni sahalarda bu sıkıntıların yaşanmaması için çözüm önerileri bu bildiride irdelenmiştir.

ABSTRACT: In this paper, general and special problems and solutions to these problems, that the raw material producers who serve to the construction industry in İzmir face, are presented. Since 1992, numerous stone and mining operations and crushing plants within the area of supreme municipality of İzmir are closed by the governor and municipality for many reasons and their permits are cancelled. This paper present solutions to the problems occurred in the past, lessons to be learned and prevent the similar problems that may occur in the future.

1. GİRİŞ

İnşaat endüstrisi diğer tüm endüstrilere göre çok daha fazla çeşitli malzemenin kullanıldığı bir sektördür. Lokomotif bir endüstri olması nedeniyle direk ve dolaylı olarak bir çok işyerine iş yaratmakta, çok fazla insanın istihdamına neden olmaktadır.

Tüvenan yada işlenmiş olarak doğal kaynaklarımız bu endüstrinin en önemli girdisini oluşturmaktadır. Kırma taştan - çimentoya, topraktan- kuma, demirden - bakıra, seramikten - cama, kireçten - boyaya kadar doğal kaynaklarımız ve bunların uç ürünleri bu endüstrinin olmazsa olmazlarıdır.

Bu doğal kaynakların üretildiği işyerleri, işyerlerinin sahipleri, üretimde çalışan işçileri, sadece üretimle mi uğraşıyorlar ? Sadece üretimi daha kaliteli daha ekonomik nasıl üretiriz diye mi düşünüyorlar? Yada bir başka deyişle en başta bunu mu düşünüyorlar?

Keşke bu soruya evet diyebilseydik. İlk olarak düşünülmesi gereken bu konu ülkemizde özellikle İzmir'de maalesef en son sırada düşünebilmektedir. Onu da işyerinizi ayakta tutmayı becerebilerseniz düşünebiliyorsunuz.

İş yerlerimiz, işverenlerimiz ve işçilerimiz kelimenin tam anlamıyla; hukuk ve mevzuat karmaşası içinde, vergi cenneti bir ülkede kurşuna kadar vergilendirilme kısıncında, Çinli'sine kadar kaçak işçinin bulunduğu ülkemizde SSK denetiminde, engellenemeyen kaçak üreticilerin haksız rekabet şartları altında, patlayıcı madde üreticilerinin patlayıcı madde deposu ve hazır anfo dayatmaları karşısında, her an burun buruna olduğu iş kazası riskine rağmen hala onurlarıyla üretim yapmaya, ayakta kalmaya çalışıyor.

İnşaat sektörüne İzmir'de ham madde üreten, kırma taş, çimento, kireç, seramik, boya vb. lerini üreten işyerleri, madencilik üretim yapamaz, yarınını göremez duruma gelmiştir. Bu sorunlara acilen çözüm üretilmek zorundadır.

Üreticilerin ve mevzuatı uygulamakla görevli kamu personelinin en önemli sorunlarının başında konu ile ilgili hukuk düzenini çok karmaşık görmeleri ve özümseyememeleri gelmektedir. Çevre kanunu, Umumi Hıfzısıhha kanunu, Maden Kanunu, Orman Kanunu, Taş ocakları nizamnamesi, Mera Kanunu, Askeri yasak bölgeler kanunu, Kültür ve Tabiat Varlıklarını koruma mevzuatı ve Zeytincilik kanunu gibi kanunların iyi öğrenilmesi ve hazmedilmesi, uygulayıcılarında yanlış düşmemeleri gerekmektedir.

2. MEVZUATIN PRATİKTEKİ UYGULAMALARI

2.1. Doğal Sit Problemleri

Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kurulları İzmir ilinde; Bornova'da Çeşme yarımadasında, Buca'da Foça'da çok geniş alanları 1. derece doğal sit ilan etmiştir. Mevzuatta gösterilen tanımlamaya uymayan ve yeterli incelemeler yapılmadan ilan edilen sit alanları, bir anda işletmelerin kapatılmasına ve bu alanlarda yeni işletme kurulmasına engel olmaktadır. Kurullara veya idari yargıya yapılan itirazlar üzerine, ilan edilen sit kararlarının çoğunun ya derecesi düşürülmekte ya da iptal edilmektedir. Bu konuda çok sayıda örnek mevcuttur. Hatalı kararlar düzeltilse bile işletmeler kararların düzeltilmesine kadar geçen yıllar boyunca uğradıkları mağduriyeti telafi edemez hale gelmektedirler.

2.2. Vergi Mevzuatı Problemleri

İnşaat sektörüne hammadde üreten işletmelerin ürün sattığı müşterilerinin çok büyük bölümü hazır beton firmaları, prefabrik yapı elemanları fabrikaları gibi faturasız mal almayan ciddi tüketicilerdir. Ürününün %80-85'ini buralara satan üretici geri kalan %15-20 için faturasız mal satma riskini göze alamaz zaten almamaktadır. Alsansız bile yıllık imalat haritaları ile gerçeğin tespiti çok kolaydır. Bu nedenle bizim sektörümüzde vergilendirilmemiş hiçbir gelir yoktur. Sektör ilave rüsum bedelleri, çok yüksek orman kira bedelleri vb. altında bile her gelirinin kuruşuna kadar vergisini ödemeye mahkumdur. Buna hiçbir itirazımız yoktur. Bizim itirazımız nerdeyse hiç vergi ödemeyen diğer sektörleredir. Maliyenin

küместeki kazlarından biri ücretli kesimse diğeri de madencilerdir.

2.3. S.S.K. Mevzuatı Problemleri

Patlayıcı madde kullanarak ağır iş makineleri arazide üretim yapan sektörümüzde iş kazası riski çok yüksektir. İşyerlerinde her türlü koruyucu tedbire, verilen eğitimlere rağmen iş kazaları kaçınılmaz durumdadır. Böyle bir kaza durumunda S.S. Kurumu sigortacılığın doğası gereği olması gereken yükümlülüklerini yerine getirmek yerine, bu yükümlülükleri tüm mali boyutları ile işverene yüklemeye çalışmaktadır. Bu bedeller bazen işyerinin varlığını sürdürmesine son vermesini gerektirecek boyutlara gelmektedir.

Diğer sektörlerde sigortasız veya kaçak yabancı işçi çalıştırılması mümkün olabilirken iş kazası riski yüksek olan madencilik sektöründe hiçbir işyerinde sigortasız işçi çalıştırılmamaktadır. Bu durum madencilik sektörü ile diğer iş alanları arasında haksız rekabete sebep olmaktadır.

2.4. Patlayıcı Madde Satın Alma, Kullanma, Depolama Problemleri

Patlayıcı maddelere ilişkin tüzükte yapılan bazı değişikliklerin nedenini, neye hizmet ettiğini, kimlerin menfaatine hizmet ettiğini anlayabilmek mümkün değildir. Patlayıcı madde depolarına getirilmek istenen standartlarda patlayıcı madde üretilen fabrikalarla küçük ölçekli tüketici bile aynı kefeye konmaktadır. Türkiye genelinde 1200 patlayıcı madde deposundan sadece 20 adet depo izin alabilmiştir. Bu çözümsüzlük madencileri çaresiz bırakmıştır. İki tonluk seyyar depolarla sağlıksız geçici çözümlerle gün kurtarılmaya çalışılmaktadır.

Yine aynı tüzükle hazır anfo kullanıma zorunluluğu getirilmiştir. Tek başına patlama ve patlatma özelliği bulunmayan T.A. Nitratın mazotla karıştırılması kaçak patlayıcı madde üretimi olarak kabul edilmiştir. Tüm ülke madencileri iki üretici firmaya adeta peşkeş çekilmiştir. Mahalle bakkallarında bile satılabilen nitrat esaslı gübreler madenciye yasaklanmıştır.

Akla ve vicdana sığmayan, bu kararlar derhal tekrar gözden geçirilmelidir.

2.5. Taş Ocağı Ruhsatı Alınmasında Karşılaşılan Problemler

1901 tarihinde yürürlüğe girmiş olan Taş ocakları nizamnamesinin hala yürürlükte olması ise başlı başına trajikomik bir olaydır. Bilindiği üzere inşaat sektörünün en önemli girdileri olan kırma taşın, kumun üretildiği doğal kaynakların önemli bir bölümü bu nizamnameye göre ruhsatlandırılmaktadır.

Böyle bir ruhsata güvenerek hiçbir yatırımcı işyeri kurnamaz, kuramaz. Bilindiği üzere ruhsatı alabilmek için öncelikle sahayı Milli Emlak Müdürlüğünden kiralamak gerekmektedir. Sahayı kiralama aşamasına getirebilmek için ilgili tüm kurumlardan uygun görüş almak ve akabinde çevre izni almak zorunluluğu vardır. Bu prosedürün tamamlanması ve masraflarının karşılanması tamamen talep sahibine aittir. Saha kiralama aşamasına geldiğinde ise taş ocağı talebi için koşturan, masraf eden yatırımcı hiçbir hak iddia edemez. Saha otomatikman ihaleye çıkarılır. En yüksek bedeli veren hiç ilgisiz bir insan bu ihaleyi çok rahat kazanabilir. Milli Emlak kiralamaları genelde en çok beş yıl olarak yapılmaktadır. Rezervin birim fiyatla çarpılması ile bulunan taban ihale bedeli ise gerçekten çok yüksektir. Bu bedellerin anormal derecede yüksek olması beraberinde rezerv hesaplamaları sırasında bir takım suiistimalleri de otomatikman gündeme getirebilmektedir.

İhaleyi alarak alanı Milli Emlak Müdürlüğünden kiralayan yatırımcı daha sonra Özel İdareden taş ocağı ruhsatı almak için başvuru yapar. Özel İdare yetkilileri de aşağı yukarı aynı prosedürü tekrar ikmal eder. Tamamlanan ruhsat dosyanız İl Daimi Encümeninde görüşülür. Tümünden politik etkilere açık olan bu yerel yapıda keyfiyete göre işlem yapılır. Hukuki veya yerel bir engeli olsa ikmal edilmesi mümkün olmayan dosyanız keyfiyet nedeniyle ret edildiğinde bunun gerekçesini dahi öğrenme hakkınız yoktur. Talep edilen rüsum bedelleri de milli emlak ihale bedellerine yakındır.

Hepsinden önemlisi bu sahalar büyük çoğunlukla üç veya beş yıl için verilmektedir. Süre sonunda sahalar tekrar ihaleye çıkarılmaktadır. Madencilik alt yapısını kendi oluşturan bir sektördür. Bu ruhsat süresinde gerçek madenciler ancak yolunu açar, suyunu elektriğini getirir, ocaklarını kademelerini hazırlar, nebatlı örtünün dekapajını yapar. Alt yapı

çalışmaları daha bitirilmeden ruhsat süresi dolar. Yeni ihalede ise burayı tekrar kiralayabilmeniz hiçbir garantisi yoktur. Bu koşullar altında hiçbir ciddi madenci taş ocağı ruhsatı olarak yatırıma kalkışmaz, kalkışmaz. Nitekim İzmir ilinde özel sektöre en son ciddi üretim yapılabilecek ruhsat 1985 yılında verilebilmiştir. Bununda gerekçesi verilmiş eski taş ocağı ruhsat alanının Bir Çimento fabrikasının maden ruhsatına çıkışmasıdır. Bu tarihten sonra yirmi yıldır özel sektör, orta ölçekli bir yatırımın bile yapılabileceği tek bir taş ocağı ruhsatı almamıştır.

2.6. Maden Ruhsatı İle Taş, Toprak, Kum, Mıdır Üretilmesi

Mevzuat karmaşası özellikle Özel İdare Müdürlükleri ile maden ruhsat sahipleri arasında yaşanmaktadır. Bazı Özel idare yetkilileri maden yasasına uygun olarak Maden İşleri Genel Müdürlüğü'nün denetiminde yapılan üretime müdahale ederek, rüsum almaya uğraşmaktadır.

Bilindiği üzere taş, toprak, kum, mıdır vb malzemeler, taşocakları nizamnamesine tabi ruhsatların dışında maden ruhsatları ile de üretilebilir. Maden yasasına tabi malzemeler kullanım amacına bakılmaksızın ruhsatlandırılırlar. Maden yasasına tabi malzemelerin Taş ocakları nizamnamesi ile ilgileri yoktur. Bu husus Danıştay'ın bir çok kararı ile de onanmıştır.

Aşağıdaki üç Danıştay kararı durumu çok açık olarak özetlemektedir.

1. Danıştay 8. Dairenin 1995/1169 ve 1994/989 sayılı kararları "içinde %90 dan az SiO₂ bulunan malzeme maden sayılmaz" bu nedenle Taşocakları tüzüğüne göre ruhsatlandırılır demektir. Bilindiği üzere doğal kumların tümü içinde SiO₂ içerir ve inşaatlarda toz mıdır olarak kullanılır. Bu kumun içindeki SiO₂ miktarı %90 ve daha fazla ise madendir. SiO₂ %90 nın altında ise maden değildir. Bu kum madense maden ruhsatı ile, değilse taş ocağı ruhsatı ile üretilir. Maden sayılan kumu madenci ister inşaatlarda mıdır olarak isterse cam vb. üretimlerde kullanabilir. Bu hususta yasal mevzuatta hiçbir engel yoktur. Kullanım alanını belirleyici tek faktör ise piyasanın ekonomi kurallarıdır. Her üretici üretimi daha

yüksek fiyatla satmak, işyerini geliştirmeyi ister.

2. Danıştay 8. Dairesinin 1999/1654 sayılı kararı ile "maden tanımına girdiği saptanan Maden yasası kapsamındaki maddeler için il özel idarelerinin işletme izni verme yetkisi bulunmadığı" hususu onanmıştır.
3. Danıştay 8. Dairenin 1990/830 sayılı kararı "bentonit maddesi maden yasasının 2. maddesinde Maden yasası kapsamındaki maden olarak gözükmektedir. Artık özel idarenin yetki alanı dışına çıkan ve Maden Yasası kapsamında olan ocak alanındaki izinli yada izinsiz çalışmalar konusunda yetkili makam Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı" dır demektedir.

Danıştay kararlarından da açıkça görüldüğü üzere maden ruhsatları ile de taş, kum, mıcır vb. ler yasal olarak üretilebilir.

- Taş kum, mıcır elde edilebilen ve 1901 tarihli Taş ocakları nizamnamesine göre verilen ruhsatlara tabi doğal kaynaklar: Kalkerler,

Traslar, % 30 dan az Al_2O_3 içeren killler, %90 dan az SiO_2 içeren kumlar, çakıllar, blok vermeyen ve kesilip parlatılarak kullanılmayacak olan mermerlerdir.

- Taş, kum, mıcır elde edilebilen Maden Kanununa tabi doğal kaynaklar: Kalsit, dolomit, perlit, pomza, zeolit, %90 ve üzerinde SiO_2 içeren kumlar, %30 dan fazla Al_2O_3 içeren killler gibi yasanın 2. maddesinde maden sayılan maddeler, 1985-1987 arası ruhsata bağlanmış olan mermerlerdir.

Maden yasası ile taş ocakları nizamnamesi arasındaki hukuki sınır çizgisi Çizelge 1'de verilmektedir. Maden ruhsatlarının denetimi Maden yasasına göre Maden İşleri Genel Müdürlüğü'nce yapılmaktadır. Maden yasasına aykırı çalışmaları, Genel Müdürlük tespit ettiğinde, cezalandırılması için Valiliklere talimat göndermektedir. Maden yasasının 7. maddesine göre alınması gereken izinleri almadan çalışan maden sahalarının maden kanunu açısından cezalandırılması ise 7. maddeye göre gene Genel Müdürlükçe yapılmaktadır.

Çizelge 1. Taş, toprak, kum, mıcır vb. hammaddelerin üretilebildiği doğal kaynaklar

A-Taş Ocakları Nizamnamesine Tabi Olanlar	B- Maden Yasasına Tabi Olanlar
Kalkerler	Yasanın 2. maddesinde maden sayılan maddeler (kalsit, dolomit, perlit, pomza, zeolit, vb.)
Traslar	%90 ve daha çok SiO_2 içeren kumlar
%90 dan az SiO_2 içeren kumlar	%30 ve daha çok Al_2O_3 içeren killler
%30 dan az Al_2O_3 içeren killler	İntibak yapmış eski taş ocağı ruhsatları
Dere çakılları	Sadece işletme ruhsatlarındaki 36.madde ürünleri
Blok vermeyen, kesilip parlatılarak kullanılmayan mermerler	1985-1987 arası müracaat edilip ruhsatı alınmış mermerler

2.7. Çevre, Orman Ve Umumi Hıfzısıhha Kanunu İle İlgili Problemler

İnşaat endüstrisine hammadde üreten işyerleri, Çevre, Orman ve Umumi Hıfzısıhha kanunları ile de sık sık karşı karşıya gelmektedir.

İzmir Valiliği ve İl Genel Meclisi'nde 1992 yılından itibaren özellikle İzmir girişinde Belkahve'de bulunan ve yoldan görülen taş ve maden ocakları ile konkasör tesisleri hakkında kapatma yönünde düşünceler gelişmeye başladı. Süresi dolan taş ocağı ve kireç ocağı ruhsatları

Valilik tarafından yenilenmedi. Ruhsatların temdit edilmemesi nedeniyle birçok firma işyerlerini kapatmak zorunda kaldı.

1996 yılında yapılan iki ayrı İl Mahalli Çevre Kurulu toplantısında; Büyükşehir Belediye Mücavir Alan sınırları içindeki tüm maden ve taş ocakları ile konkasör tesislerinin faaliyetten men edilmesi ve bu bölgelerin park ve rekreasyon alanı ilan edilmesi kararları alındı.

Büyükşehir Belediyesi bu mahalli çevre kurulu kararlarına uyarak Büyükşehir Belediyesi Mücavir

alan sınırları içindeki tüm maden ve taş ocakları ile konkasör tesislerinin Umumi Hıfzısıhha kanunlarına göre verilen GSM (gayri sihihi Müessesse) ruhsatlarını iptal etti ve işletmeleri mühürlyerek kapattı. Büyükşehir Belediye Meclisinin 10.07.1997 tarih ve 05/184 sayılı kararı "Kapatılan eski ocak alanlarının İzmir'e tekrar kazandırılmak amacı ile park ve rekreasyon alanı olarak belirlenmesine ilişkin 1/25000 ve 1/5000 ölçekli nazım imar planı değişikliği" önerisi oybirliği ile uygun görülmüştür. Bu plan değişikliği ile eski taş ocağı alanları park ve rekreasyon alanı ilan edilmiştir.

Ashında bu kapatma kararları belli bir nizam ve süre içinde işyerleri mağdur edilmeden ve kapatılan alanlar düzenlenip İzmir'e tekrar kazandırılarak uygulanabilirdi. O günün şartlarında bu ortam, İzmir Valiliği ve Belediye Yetkilileri ile İşyerlerinin sahipleri arasında yaratılamadı. Yasak kararına uyan, hukuka saygılı bir çok firma işyerini kapatarak faaliyetine son verdi. Bazı firmalar ise işyerlerini kapatmadan fasıllarla kaçak çalışmaya başladı. Belediye yaptığı denetimelerde bu kaçak çalışmalar hakkında mühür fekki nedeniyle Cumhuriyet Savcılıklarına suç duyurusunda bulundu. Halen İzmir Mahkemelerinde bir çok mühür fekki davası sürmektedir.

Belediyenin, işyerlerinin GSM ruhsatlarını iptal edip, işyerlerini mühürlyerek kapatması, işyerlerinin tümü tarafından dava edildi. Davalar Belediye lehine sonuçlandı. Mahkeme kararları Danıştay tarafından onanarak kesinleşti.

Bilindiği üzere umumi hıfzısıhha kanunu gereği GSM ruhsatı olmayan hiçbir taş ve maden ocağı, konkasör tesisi üretim yapamaz. GSM ruhsatları iptal edilerek faaliyetten men edilmiş bir tesise bir başka kurumun kendi mevzuatına uygun olsa bile, izin vermesi ancak kaçak çalışmayı teşvik eder.Devlet kurumları arasındaki organizasyon eksikliği nedeniyle kaçak çalışmaların bazıları bugün dahi devam etmektedir.Orman Bakanlığının 24/01/2001 ve 01/12/2003 tarihli iki adet Bakanlık oluru ile orman açısından sorun çözüm aşamasına girmiştir. Orman Bakanlığı artık GSM ruhsatı olmayan, çevre izni olmayan, kısacası başka kurumlardan alınması gereken izinler alınmadan hiçbir talebe orman izni vermemektedir. Ancak GSM ruhsatı olmadan kaçak çalışan işletmeler hala patlayıcı madde ruhsatı alıp patlayıcı madde

kullanabilmekte, mühürlenmiş konkasörler halen elektrik kullanabilmekte, halen ocaklarda izinsiz taş üretiminde bulunabilmektedir.

Devlet yetkilileri haksız rekabete neden olan GSM ruhsatsız bu firmaları 1996 yılından beri maalesef durduramamıştır. Valilik ve Belediye kararına uyarak işyerini kapatan hukuka saygılı işyerleri mağdur olmuşlardır.

Üstelik Valilik ve Belediye, kesinleşmiş yargı kararları nedeniyle bu alanların tekrar taş ve maden ocağı olarak kullanılmasına müsaade edemeyecek durumdadır. Ayrıca bu alanlara yeni izin verilmesi, kapatılmış firmalara tazminat hakkı doğuracaktır.

Eski taş ve maden ocağı alanları üretimi amaçlamayacak biçimde rehabilite edilip yeşillendirilmelidir.

Mahkeme kararları ile de kesinleşen Belediye Mücavir alan sınırları içinde taş ve maden ocağı ve konkasör tesisi çalıştırmama kararı Valilik ve Belediye yetkilileri ile sektör içindeki insanları yeni arayışlara itti.

Valilik ve Belediye bu amaçla organize taş ocağı bölgesi kurmak için harekete geçti. İzmir'de en uygun bölge olarak Buca ilçesinin Gökdere Köyü tespit edildi. Yapılan incelemeler sonucunda orman yapısı ve yer altı suları nedeniyle saha şakıncalı bulundu ayrıca köylülerinde tümü olaya karşı çıktı.

Ashında bu organize taş ocağı bölgesi fikri baştan ölü doğmuştur. Çünkü patlayıcı madde kullanarak taş üreten, işletmeler mecburen belli uzaklıklarda kurulacaktır. Bu nedenle organize sanayinin ilk girişini tutan firma nakliye ve konum itibarı ile avantajlıdır. Daha uzaktaki işletmenin girişteki işletmeyle rekabet edebilme olanağı yoktur. Uzun uğraşlar sonucunda projenin uygulanamayacağı anlaşıldığından proje iptal edildi.

Bu olumsuzluklara rağmen, yasaklanmış olan belediye mücavir alan sınırları dışında hukuka uygun olarak, Bornova'da, Torbalı'da, Bergama'da, Aliağa'da yeni ocaklar yeni tesisler açıldı, yeni kireç fabrikaları, asfalt tesisleri kuruldu.

Halen birçok yeni çevre izni ve GSM ruhsatı alma çalışmaları devam etmektedir. Başlangıçta duyulan ihtiyacın karşılanamaması korkusu bugün

geçerliliğini yitirmiştir. Bugün İzmir ve yakın çevresinin tüm ihtiyacı yasal ocaklardan karşılanabilecek kapasiteye ulaşılmış hatta arz fazlası mevcuttur.

Artık, su kendi mecrasına akmak üzeredir.

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

İzmir'de 1992 yılından itibaren yaşanan olaylar ; maden ve inşaat sektörünü, devlet memurlarını, işverenleri, işçileri, kısaca tüm İzmir halkını çok üzdü, çok mağdur etti. İzmir'de yaşanan sıkıntılar işyerlerine olduğu kadar Valilik ve Belediye yetkililerine de bir çok şey öğretmiştir.

İşyerleri, işverenler ve işçilerin daha rahat ve daha güvenli çalışabilmeleri, kamu personelinin görevlerini daha kolay, daha verimli ve daha şeffaf yerine getirebilmeleri amacıyla bundan sonra;

- 1- Ocaklar, yerleşim alanına görüntü vermeyecek şekilde açılmalıdır.
- 2- Galeri patlatmaları yapılmamalıdır.
- 3- Ocaklarda yüksek üretim kademeleri oluşturulmamalıdır.
- 4- Çevre önlemleri konusunda daha duyarlı olunmalıdır.
- 5- Sağlık koruma bandı tesis edilerek yerleşim alanlarının işyerinin etrafını sarması önlenmelidir.
- 6- Hatalı ve standart dışı çalışmalara anında müdahale edilmelidir.
- 7- Kaçak çalışmalar engellenmelidir.

Yasa ve yönetmeliklerin insanlarımızın önünü açtığı, yöneticilerin herkese eşit ve adil davrandığı, huzur ve güven içinde üretimin yapılabildiği, haksız rekabetin olmadığı, sadece yerli değil yabancı firmalarla da en kaliteliyi en ekonomik olarak rekabet ortamında üretebileceğimiz yatırım ortamının yaratılması zorunludur. Bu yatırım ortamının gerçekleştirilmesi için herkes üzerine düşeni yapmak zorundadır.

KAYNAKLAR

Kula M., 1999. *Agrega İşletmeciliğinin Türk Hukuk Sistemi İçindeki Yeri*, 2. Ulusal Kırmı Taş Sempozyumu Bildiriler Kitabı, s:261-275, İstanbul.

Topaloğlu M., 2003, Maden ve Taş Ocakları Hukuku, Karahan yayınları, Ankara.

Kültür ve Tabiat Varlıkları Mevzuatı. Kültür Bakanlığı yayınları, 1996, Ankara.

Çevre Kanunu ve Çevre Sağlığı Mevzuatı. Seçkin yayınevi, 1995, Ankara.

Ayata R. Maden Kanunu ve İlgili Mevzuatlar. Duman ofset, 1997, Ankara.

Türkiye Borat Yatakları: Jeolojik Konumu, Ekonomik Önemi ve Bor Politikası

C. Helvacı

Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 35100 Bornova-İzmir

ÖZET: Türkiye'nin bilinen borat yatakları, Tersiyer'de başlayan ve Kuvaterner'in başlangıcına kadar devam eden volkanik aktivitelerin yer aldığı dönemlerde, Miyosen gölsel (laküstrin) ortamlarda depolanmıştır. Türkiye borat yataklarının tümü, volkanik aktivite ile ilgili yataklar olarak sınıflandırılır. Bigadiç ve Sultançayır (Balıkesir), Kestelek (Bursa), Emet (Kütahya) ve Kırka (Eskişehir) borat yatakları, Miyosen volkanizması sırasında playa-göl tortulları içinde birikmiştir. Bor mineralleri, çakıtaşı, kumtaşı, kıltaşı, şeyil, marn, kireçtaşı ve tuf ardalanmalı istifte; çamurtaşı, kıltaşı, şeyil ve tufler içinde oluşmuştur. Miyosen volkanosedimenter tortullar içinde yer alan Türkiye borat yataklarının geometrisi, genel olarak tortullar içinde merkezel yapılar sunmasına karşın, sıkça tortullarla ardalanmalar, ince bantlar ve yanıl olarak kamalanmalar gösterirler. Türkiye'deki tüm yataklarda, bor içeren birimlerden önce ve sonra yaygın olarak kireçtaşı çökelimi gerçekleşmiştir. Türkiye borat yatakları, dünyanın en büyük ve yüksek tenörlü (sırasıyla % 30, 29 ve 25 B_2O_3) kolemanit, üleksit ve boraks (tinkal) yatakları olup, dünya ihtiyacının büyük bir kesimini uzun yıllar karşılayacak boyuttadır. Türkiye, dünyanın en büyük boraks, üleksit ve kolemanit yataklarına sahiptir. Tüm dünya ülkeleri, kolemanit üretimi yönünden tamamen, üleksit üretimi yönünden ise kısmen Türkiye'ye bağımlıdır. Bor madenlerinin üretimi ve pazarlanması, ham veya yarı mamül ürünlerin yerine mutlaka uç ürünlere doğru yönlendirilmeli ve bu amaç için gerekli yatırımlar acilen yapılmalıdır. Günümüzde çok değişik sanayi dalında kullanım alanı bulan bor ürünleri, teknolojinin gelişimine paralel olarak orantılı artış göstermektedir. Türkiye bor üretimini elinde bulunduran Etibor A.Ş., ekonomik ve siyasal baskılardan ve etkilerden korunmak için bağımsız ve özerk bir yapıya acilen kavuşturulmalıdır. Böylece daha etkin üretim ve yapılanma içine girebilecek ve rekabet gücünü artıracaktır.

ABSTRACT: The known borate deposits of the Turkey were deposited in the lacustrine environment during Miocene when the volcanic activity occurred since Tertiary to Quaternary. The all of the Turkish borate deposits are classified as volcanic related deposits. The borate deposits in Bigadiç, Sultançayır (Balıkesir), Kestelek (Bursa), Emet (Kütahya) and Kırka (Eskişehir) were deposited in the playa-lake sediments during Miocene volcanism. The borate minerals are formed within the sequence consisting of conglomerate, sandstone, claystone, shale, marl, limestone and tuff intercalation. However, the geometry of the deposits within the volcano-sedimentary sequence is usually lenticular in shape, they may display intercalation with sediments as fine beds and laterally continuous wedges. The limestone sedimentation extensively occurred before and after borate-bearing units in the Turkish borate deposits. The Turkish borate deposits contain largest reserve and grade (30 %, 29 and 25 B_2O_3 , respectively) in colemanite, ulexite and borax (tincal), which can largely meet world's need for many years. Turkey has largest borax, ulexite and colemanite reserves in the world. All the countries are dependent upon colemanite and ulexite reserves of Turkey. Boron production and marketing policy should be directed to the end products instead of raw materials and necessary investments must urgently be made. The boron products are increasingly used in different industrial fields due to the technological developments. The Etibor A.Ş., which holds the boron production in Turkey, must be configured as independent to resolve the economic and political constraints. Therefore, the Etibor A.Ş. will commit the effective production to increase the strength of competition.

1. GİRİŞ

Doğada az bulunan ve duraysız elementlerden birisi olan bor, yerkabuğunda ortalama 10 ppm'den az olarak bulunmaktadır. Bor elementinin yerkabuğundaki genel dağılımı çok az olmasına karşın, belli ortamlardaki bor konsantrasyonlarının çok fazla orandaki artışı, ekonomik bor yataklarının oluşumunu sonuçlar.

Türkiye borat yataklarının ayrıntılı mineralojileri önemli derecede farklılıklar göstermektedirler. Yaygın bir kalsiyum borat olan kolemanit, Kırka dışındaki tüm borat yataklarında egemen mineraldir. Üleksit (sodyum-kalsiyum borat) ve boraks (sodyum borat) önemli borat mineralleridir. Boraks yalnızca Kırka'da gözlenmektedir. Türkiye'deki bor yatakları rezerv ve tenör bakımından tüm dünyada rakipsizdir. Türkiye, dünya'nın en büyük boraks, üleksit ve kolemanit yataklarına sahiptir. Tüm dünya ülkeleri, kolemanit üretimi yönünden tamamen, üleksit üretimi yönünden ise kısmen Türkiye'ye bağımlıdır.

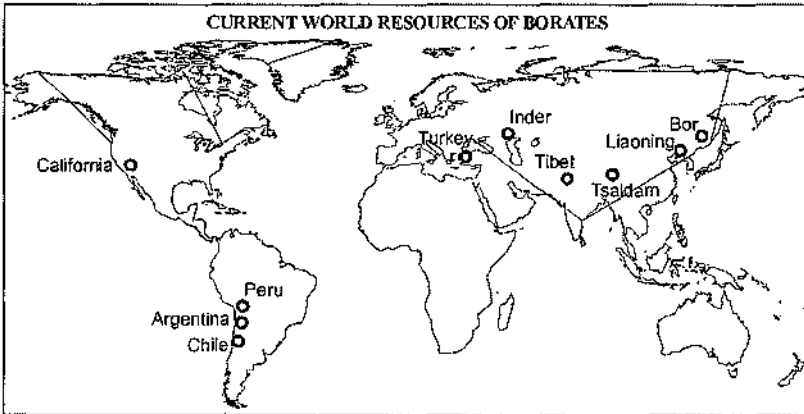
Endüstride ise boratlar, borik asit içeren veya temin eden herhangi bir bileşik olarak tanımlanırlar. Çok sayıda mineral borik asit içerir, fakat tüm dünyada ekonomik olarak bilinen üç önemli mineral vardır: boraks, üleksit ve kolemanit. Bu üç mineral, dünya borat ihtiyacının yaklaşık % 90'ını karşılayan başta Türkiye ve Amerika Birleşik Devletleri olmak üzere çok sınırlı sayıdaki ülkelerde üretilmektedir. Bor ve bor ürünlerinin katma değerleri çok yüksektir. Kullanım alanları bakımından stratejik

öneme sahiptirler. Örneğin, Ortadoğu için petrol ne ise Türkiye için bor da aynı nitelik ve önemdedir.

Türkiye borat üretiminde önder ülke olabilmek amacıyla son yıllarda ABD ile rekabet etmede büyük adımlar atmıştır. Bor ve borat mineralleri, bugünün modern endüstrisinde geniş kullanım alanları bulmaktadır. Ekonomik ve ticari boyuttaki üleksit ve kolemanitin büyük bir kesimi Bigadiç ve Emet bölgelerinden ve bunlara ek olarak boraks, Kırka'daki büyük boyuttaki yataktan üretilmektedir. Boratlar, olağan olarak borik asit veya B_2O_3 içeriği ile tanımlanır ve satılırlar. En önemli istatistiksel veriler B_2O_3 ton olarak listelenirler. Endüstride satılan ürünlerden en önemlisi boraks pentahidrat veya borik asit olup bunlar pazarlanan en önemli ürünlerdir.

2. BOR YATAKLARININ ÇÖKELİM ve OLUŞUM KOŞULLARI

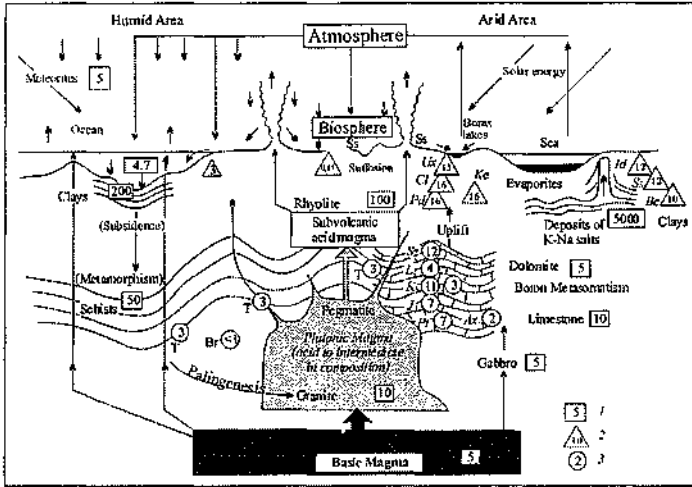
Bor, doğada ortalama olarak karasal sularda 0.1 ppm, yerkabuğunda 3 ppm ve deniz suyunda 4.6 ppm oranlarında bulunan ender bir elementtir. Borun ekonomik olarak kabul edilebilecek konsantrasyona ulaştığı sayılı miktarda zuhur vardır (Şekil 1). Konsantrasyonun olduğu yerlerde ise genelde yersel bir volkanik aktivite (bor kaynağı olarak), göl gibi bir su kütlesi (bor bileşiklerini çözen), evaporasyon koşulları (çökeltme noktasında çözeltiyi konsantre eden) ve üstüne gelen koruyucu tortul tabaka (kolay çözülebilen bor minerallerini koruyan) yer alır.



Şekil 1. Bor kaynaklarının Dünya'daki dağılımı

Dünyadaki başlıca bor yatakları levha sınırları ile ilişkili tektonik olarak aktif açılmalı bölgelerde bulunur. ABD, Güney Amerika ve Türkiye'deki ekonomik yatakların çoğunun karasal tortullar ve Neojen yaşlı volkanizma ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Birçok eski skarn yatakları da karasal volkanik kaynaklar ile ilişkilidir. Denizel borat yatakları, olasılıkla normal deniz suyunu

borca zenginleştiren bir deniz tabanı kaynağı veya ilerlemeli olarak suyun uzaklaştırılarak borun konsantre edildiği kapalı havzalarla ilişkilidir. Magmatik ve metamorfik kayalarla ilişkili boratların, magmatik segregasyonun son fazı veya hidrotermal akışkanlar tarafından sokulum kayalarından yıkıldığı şeklinde düşünülmektedir (Şekil 2).



Şekil 2. Bor elementinin devrisselliği ve konsantrasyonu. Borun kayalarındaki bulunuşu, Goldshmidt, Landergren ve Harder'a göre (Watanabe, 1964'den alınmıştır). 1. Borun kayalarındaki ortalama içeriği (g/t); 2. Borun ekzojenik konsantrasyonu (%); 3. Borun endojenik konsantrasyonu (%); Ss-sasolite; Ux-üleksit; Cl-kolemanit; Pd-pandermite; Ke-kernit; İn-inderit; Bc-borasit; Sz-szaibelyit; L-ludvigit; K-kotoit; J-jimboit [$Mn_3(BO_3)_2$]; Dt-datolit; Ax-aksinit; T-turmalin; Br-braunit.

Güney Amerika'daki yatakların çoğu borları örten son evre kalkerli tüfler ve bazı kesimlerde jips ve halitler ile ilişkilidir. Borların kaynağı olarak düşünülen çevredeki volkanik aktivite, bazalttan riyolite kadar değişen bileşimdeki lav akıntılarından oluşmaktadır. Güney Amerika'daki salar yatakları, çamur, silt, halit ve jipsten oluşan güncel playa tortulları ile beraber bulunan, az oranda boraks ve inyoit de içeren tabakalı ve nodüler üleksitten oluşmaktadır.

Borlar farklı yollarla konsantre olurlar:

- Kimyasal çökeltme
 - Playa tipi havzalardaki bor içeren kaynaklar bulunduğu,
 - Örnek: ABD'deki Boron, Searles Lake ve Kaliforniya'daki Billie yatakları; Türkiye'de Kırka, Sultançayır, Bigadiç ve Emet yatakları

- Tuz oluşturan evaporit döngüsünde kapanma dönemindeki (son evre) deniz suyundan çökeltim,
 - Örnek: Stassfurt, Almanya; Yorkshire, İngiltere
- Kontakt metasomatik (skarn) bor yatakları
 - Ludvigit, kotoit ve askarit gibi magnezyum borları oluşturan dolomit ve magnezitler şeklinde,
 - Örnek: Rusya'daki Tezhnoe yatakları, Yakutia; Kuzey Kore'deki Hol-Kol yatağı
 - Datolit ve danburit gibi bor silikatları oluşturan kireçtaşları,
 - Örnek: Ak Akhdar, Pamir, and Dalnegorskoye, Primorsky, Rusya
 - Volkanitlerle ilgili borik asit çıkışları ve çökeltimleri

Örnek: ABD'deki Clear Lake, Lake County, California; Şili'deki Salar de Surire; İtalya'daki Maremma sahası, Tuscany.

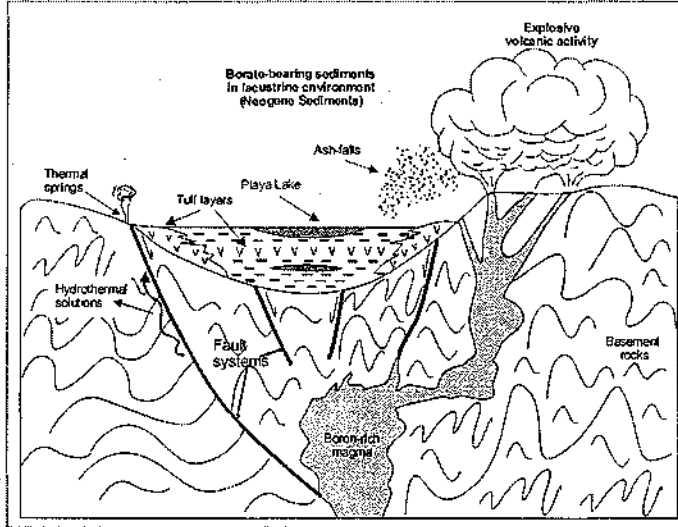
Bor yataklarının oluşumu aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Bor elementi (B) nadir elementlerden olmasına karşın (yer kabuğunda ortalama 100 ppm), belli yerlerde çok yüksek konsantrasyonlarda bulunur.
- Yüz ellinin üzerinde mineralin değişik jeolojik ortamlarda bor içerdiği bilinmektedir. Bunlar üç gruba ayrılmaktadır:
 - Silikat ve demir oksitlerden yapıtlı ve sokulumlar ile ilişkili skarn grubu,
 - Denizel evaporitik tortullar içerisinde bulunan magnezyum oksit grubu,

- Patlamalı volkanik aktivite ve gölsel (playa gölü) tortullar ile ilişkili Na ve Ca borat grubu,

- Aşağıdaki koşullar playa gölü volkano-sedimenter istiflerde ekonomik boyutlu borat yataklarının oluşumu için esastır (Şekil 3):

- Playa gölü ortamının oluşması,
- Playa gölünde,
 - Andezitten riyolite kadar bileşim sunan volkanitler,
 - Havzaya doğrudan kül yağışı ve
 - Graben fayları boyunca hidrotermal akışkanlardan kaynaklanan bor zenginleşmesi gerçekleşir.
- Volkanizma yakınında termal kaynaklar,
- Kurak ve yarı kurak iklim koşulları gereklidir.
- Göl suyu pH'ı 8.5-11 arasında olmalıdır.



Şekil 3. Batı Anadolu'da Neojen havzalarındaki bor yataklarının oluşumunu gösteren genelleştirilmiş playa gölü çökeliş modeli.

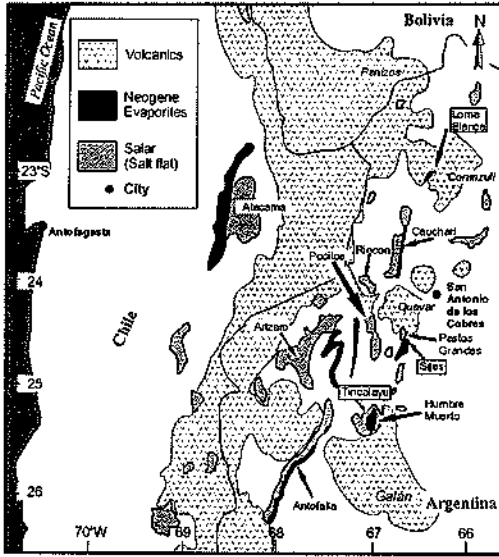
2.1. Karasal Havzalardaki Bor Yatakları

Bilinen en büyük bor yatakları kimyasal çökel şeklinde ve kilaşları, çamurtaşı, tuf, kireçtaşı ve benzer gölsel tortullar ile ardalanmalı olarak bulunurlar. Bu yatakların çoğu aktif volkanizma ile doğrudan ilişkilidir. Volkanik aktivite ile ilişkili termal kaynaklar ve hidrotermal çözeltiler borun en olası kaynağı olarak kabul edilmektedir.

Güney Amerika'da volkanik olarak aktif sahalardaki birçok kaynak halen borat çökeltmektedir ve ABD'deki ilk boraks, volkanik olarak aktif olan Clear Lake (Kaliforniya)'teki sıcak kaynaklar ile ilişkili çamurlar içinde bulunmuştur (Şekil 4 ve 5). Tuscany-İtalya'daki buhar bacalarından elde edilen sasolitler de aktif bir volkanik kaynağı temsil etmektedir.

Borların çökeldiği havza ve borun konsantrasyonu olduğu kaynağın yanı sıra kurak ve yarı kurak iklim

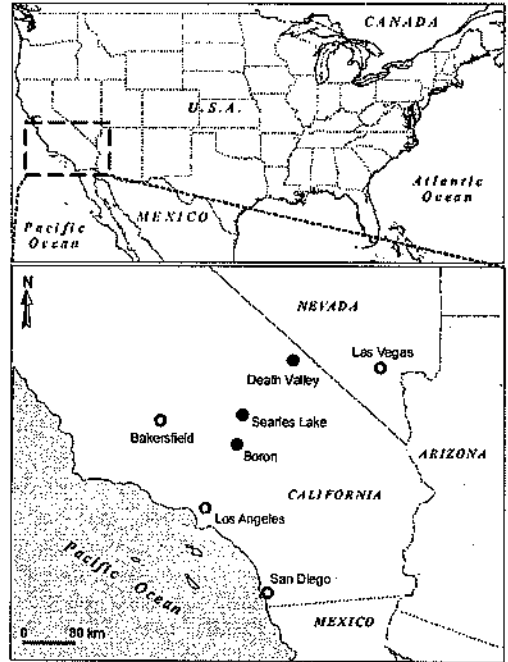
koşulları da kolayca çözülebilen borların ekonomik miktarlarda konsantrasyonu ve çökelişi sırasında önemli bir koşuldur. Çözünabilir borlar ancak gömülme ile korunabilir ve orta Tersiyer öncesinde çözünabilir borat yataklarının bulunmaması uzun jeolojik zamanlar boyunca sadece gömülmenin de yatakları korumada yeterli olmadığını göstermektedir.



Şekil 4. Güney Amerika'daki (orta Andlar) volkanik yaya bağlı olarak gelişen bor yatakları ve salların konumunu gösteren lokasyon haritası.

Denizel olmayan havzalarda sulu borların çökelişi birkaç şekilde olur. Birincil bor minerali olarak üleksit, boraks ve inyoit, bor kaynağı olan termal kaynaklar etrafında çökebilirler. Borlar, ayrıca bor kaynakları ile beslenen küçük gölcüklerde, boraks kristalleri taban çamurlarında veya Clear Lake ve Şili'deki Salar de Surire'de olduğu gibi yer yer kuruyan kenar kesimlerinde oluşur. Kaynak akışı az veya kesikli olduğunda evaporasyon, kenarlarda kabuk veya yüzey çökelişi olarak, veya yüzeyin hemen altında kristal kümeleri şeklinde gelişir. Bu tür çökeller Kaliforniya, Nevada ve Güney Amerika'daki bazı salar yataklarında bataklık veya playa göllerinde görülmektedir. En son olarak, göllerdeki oluşumlar mevsimsel sellenmenin fazla olduğu göl yataklarında veya Boron ve Kırka'da olduğu gibi kapalı havzada kimyasal çökelişin geliştiği ortamlarda gözlenir.

Daha kalın üleksit oluşumları için Türkiye ve Death Valley'de olduğu gibi, kaynak önü veya göl çökelleri olup olmadıkları halen tartışmalıdır. Olasılıkla, kaynak önü ve küçük göl çökelleri arasında tam bir derecelenme vardır. Bu tip borat gölleri temelde tek mineralden yapıları olup diğer tuzlar büyük miktarlarda bulunmamaktadır. Bununla birlikte, yeterli miktarda borat içeren karışık tuz ve/veya tuzlu su içeren başka tip borat gölü yatakları mevcuttur. Kaliforniya'daki Searles Lake, göl suyunun buharlaşması ile oluşmuş çok bileşenli göle tipik bir örnek olarak verilmektedir. Searles Lake'de yapılan birçok çalışma, bor ve diğer çözünabilir bileşenlerin Sierra Nevada'nın doğu kenarından kaynaklandığını, bir seri üst drenaj gölünde konsantre olup çöktüğünü ve sonuç olarak Searles Lake'de çökeliş korunduğunu göstermektedir. Bu durumun Çin ve Tibet'teki göllerle de uyumlu olduğu görülmektedir. Uyuni ve Atacama gibi Güney Amerika'daki salarlarda görülen borların da, bor içeren yersel mineralize kaynak sularının ayrıntılı incelenmemesine karşın, çevre kayalarından yıkanma ve çökeltme ile oluştuğu görülmektedir.



Şekil 5. Kuzey Amerika'daki bor yataklarının dağılımını gösteren lokasyon haritası.

2.2. Denizel Evaporitler

Denizel kökenli borlar, sadece Avrupa'da ekonomik miktarlarda bulunmaktadır. Bunlar, Permiyen tuz çökeltileri ile ilişkili magnezyum boratlarıdır. Almanya'da potasyum madeninin yan ürünü olarak ve Kazakistan'ın İnder bölgesinde üretilmiştir. Borlar İnder bölgesinde çok büyük tuz domu kompleksinin tepe noktasında damarlar şeklinde yer alır ve tuz domunun sokulumu sırasında tuzdan ayrılıp kosantre olarak geliştiği ortaya konulmuştur. Çin'de, Liaoning Yarımadası'ndaki bazı yataklar, Prekambriyen metamorfik kireçtaşı ve manyezit içerisinde damarlar şeklinde bulunmasına karşın benzer kökenli olabilirler. Kazakistan üretiminin kaynağı olan İnder Gölü tuzlu sularının, büyük İnder tuz domu kompleksinden yikanarak biriken bor oluşumu olduğu gözlenmektedir. Hazar Denizi'nin doğusundaki Kara-Bagaz-Gol lagününe ait boratların ise denizel tuzlu sulardan geldiği bilinmektedir.

2.3. Magmatik Kaynaklar

Pegmatitler ve kontakt metamorfik kayalar, datolit, ludvigit, paigeit ve turmalin gibi bor içeren mineral topluluklarına sahiptir. Bunlar, granit magmasının kristalleşmesi ile hemen hemen doğrudan ilişkili bor konsantrasyonları içerirler. Yapılan analizler, granitlerde yaklaşık 10 ppm bor olduğunu ve nadiren 300 ppm'e kadar ulaştığını göstermektedir. Bununla birlikte, bor minerali yaygın kayaç yapan minerallerin kafes yapısına kolaylıkla girememektedir ve bu nedenle magma kristalleşirken dışarı atılan su ile uzaklaştığı düşünülmektedir. 300-400°C gibi yüksek sıcaklıklarda ve sokulum dokanağı boyunca yüksek basınç altındaki akışkanlar yan kayaçtaki bir miktar borun ayrılmasına imkan vermektedir. Ekonomik düzeyde demir ve magnezyum cevherleri ile ilişkili bu tür borlu skarn yatakları, Rusya ve Çin'de işletilmektedir. Türkiye'deki bazı granit sokulumlarının çevresindeki skarn yataklarda borosilikatların varlığı araştırılmalıdır.

3. BOR MİNERALLERİNİN DAĞILIMI ve MİNERALOGİSİ

Doğada çoğunluğu sodyum, kalsiyum ve magnezyum tuzlarından yapıldığı 150'yi aşkın bor

minerali tanımlanmıştır. Çizelge 1'de yaygın bor minerallerinin daha detaylı listesi verilmektedir. Ancak, günümüzde sadece boraks, üleksit, kolemanit ve datolit ekonomik olarak önem taşımaktadır. Doğal sodyum borat dekahidrat olan boraks veya tinkal, borun en ekonomik kaynağı olup başlıca ABD, Arjantin ve Türkiye'de üretilmektedir. Sodyum-kalsiyum borat karışımı olan üleksit ekonomik olarak Türkiye ve bir kaç Güney Amerika ülkesinde üretilmektedir. Ancak, başlıca kalsiyum borat minerali olan kolemanit üretimi ise Türkiye ile sınırlıdır. Bir silikat minerali olan datolit ise sadece Rusya'da üretilmektedir (Şekil 1).

Çizelge 1. Başlıca bor minerallerinin bileşimleri

Mineral	Formül	İçerik, % B ₂ O ₃
Sassolite	B(OH) ₃ veya B ₂ O ₃ ·3H ₂ O	56.4
Borax (Tincal)	Na ₂ B ₄ O ₇ ·10H ₂ O	36.5
Tincalconite	Na ₂ B ₄ O ₇ ·5H ₂ O	48.8
Kernite	Na ₂ B ₄ O ₇ ·4H ₂ O	51.0
Ulexite	NaCaB ₅ O ₉ ·8H ₂ O	43.0
Probert ite	NaCaB ₅ O ₉ ·5H ₂ O	49.6
Priceite (Pandermit)	Ca ₄ B ₁₀ O ₁₉ ·7H ₂ O	49.8
Inyoite	Ca ₂ B ₆ O ₁₁ ·13H ₂ O	37.6
Meyerhofferite	Ca ₂ B ₆ O ₁₁ ·7H ₂ O	46.7
Colemanite	Ca ₂ B ₆ O ₁₁ ·5H ₂ O	50.8
Hydroboracite	CaMgB ₆ O ₁₁ ·6H ₂ O	50.5
Inderborite	CaMgB ₆ O ₁₁ ·11H ₂ O	41.5
Kurnakovite	Mg ₂ B ₆ O ₁₁ ·15H ₂ O	37.3
Inderite	Mg ₂ B ₆ O ₁₁ ·15H ₂ O	37.3
Szaibelyite (Ascharite)	Mg ₂ B ₂ O ₅ ·H ₂ O	41.4*
Suanite	Mg ₂ B ₂ O ₅	46.3
Kotoite	Mg ₃ B ₂ O ₆	36.5
Pinnoite	Mg ₂ B ₂ O ₄ ·3H ₂ O	42.5
Boracite (Strassfurite)	Mg ₃ B ₇ O ₁₃ Cl	62.2
Datolite	Ca ₂ B ₂ Si ₂ O ₉ ·H ₂ O	21.8
Cahnite	Ca ₂ AsBO ₆ ·2H ₂ O	11.7
Danburite	CaB ₂ Si ₂ A ₈	28.3
Howlite	Ca ₄ Si ₃ B ₁₀ O ₂₃ ·5H ₂ O	44.5
Vonsenite (Paigeite)	(Fe,Mg) ₂ FeBO ₅	10.3
Ludwigite	(FeMg) ₄ Fe ₂ B ₂ O ₇	17.8
Tunnellite	Sr B ₆ O ₁₀ ·4H ₂ O	52.9

Kökenleri ve jeolojik ortamlarına göre bor minerallerinin oluşum yerleri üç gruba ayrılabilir: 1) Genelde silikat ve demir oksitlerden oluşan ve sokulumlarla ilişkili skarn mineralleri, 2) Denizel tortullar ile ilişkili magnezyum oksitler, 3) Karasal tortullar ve volkanik aktivite ile ilişkili sulu sodyum ve kalsiyum boratlar (Şekil 2).

Grup 1 ve 2'de Çin ve Rus üretiminin kaynak mineralleri verilmektedir ve bunlardan başlıcaları datolit ve szabelyittir. Grup 3'te yer alan boraks, kemit, kolemanit ve üleksit ihtiyacının büyük bir kısmı Türkiye, Güney Amerika ve ABD'den sağlanmaktadır.

Boraks, bor endüstrisi için en önemli mineraldir. Kolay kırılabilir ve suda rahatlıkla çözünür. Çözünürlüğü ve çözelti miktarı su sıcaklığı ile birlikte artar. Büyük boraks rezervleri, Boron (ABD), Kırka (Türkiye) ve Tincalayu'da (Arjantin) yer alır. Kemit, Kırka ve Tincalayu'da az miktarlarda bulunur, ancak Boron'daki rezervin üçte biri kadar rezerve sahiptir ve borakstan daha yüksek B_2O_3 içerir (Çizelge 2).

Çizelge 2. Ticari bor mineralleri

Mineral	Formül	İçerik, % B_2O_3
Colemanite	$Ca_2B_6O_{11} \cdot 5H_2O$	50.8
Ulexite	$NaCaB_3O_6 \cdot 8H_2O$	43.0
Borax	$Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$	35.5
Kernite	$Na_2B_4O_7 \cdot 4H_2O$	51
Pandermite	$Ca_4B_{10}O_{20} \cdot 7H_2O$	49.8
Hydroboracite	$CaMgB_6O_{11} \cdot 6H_2O$	50.5

Kolemanit, sodyumsuz fiberglas endüstrisinde tercih edilen ve kullanılan kalsiyumlu borattır. Asitte kolaylıkla eriyebilmesine karşın sudaki çözünürlüğü düşüktür. Kolemanitin bir kısmı, Türkiye'den düşük maliyetle B_2O_3 sağlanması nedeniyle, Avrupa'daki kimya fabrikalarında borik asit üretmek için kullanılmaktadır. Türkiye, yüksek tenörlü kolemanitin dünyadaki başlıca kaynağıdır. ABD, Death Valley bölgesinde önemli rezervlere sahip olmasına karşın, günümüzde sadece sınırlı miktarda üretim yapmaktadır. Arjantin'de sınırlı miktarda yüksek oranda su içeren inyoit üretilmekte olup, kolemanitin Türkiye ve Kuzey Amerika dışındaki büyük yataklarının varlığı bilinmemektedir.

Üleksit, yüzey veya yüzeye yakın kesimlerde, playa tipi göllerde, dünyada Kuvaternerden günümüze kadar gelişen bataklıklarda bulunan, yumuşak, yaygın olarak pekleşmemiş ve lifsi kristal toplulukları şeklinde bulunan yaygın borat mineralidir. Pamuk topları veya "papas" Güney Amerika ve Çin'de büyük miktarlarda üretilmektedir. Neojen yaşlı üleksit, Türkiye'de, ABD'deki Boron ve Death Valley'de yer alan yataklardan üretilmektedir. Üleksit bu yataklarda iyi pekleşmiş, sert, daha yoğun ve genel olarak daha iyi tabakalanmıştır.

Szabelyit (askerit) minerali, Çin ve Rusya'nın esas bor hammaddesidir. Suda, kolemanit gibi düşük çözünürlüğü olan bir magnezyum borat mineralidir. Boraks ve kolemanite göre yüksek magnezyum içeriğine sahip olması nedeniyle az kullanım alanı olmakla birlikte, Doğu Avrupa, Rusya ve Asya'da az miktarlarda değerlendirilmektedir. Büyük ölçekte konsantre mineral olarak uluslararası ticareti yoktur.

Ayrıca, Rusya'da az miktardaki danburit, ludvigit ve turmalin gibi minerallerden oluşan skarn borosilikatları da tali olarak işletilerek borat üretilmektedir. Bu minerallerin, cam fırınlarında kullanılan diğer minerallere göre daha yüksek ergime sıcaklıklarına sahip olması nedeniyle kullanılabilir bir ürün olabilmesi için, öncelikle serbestleştirilip, konsantre edildikten sonra asitte çözündürülmesi gereklidir.

Pandermit Türkiye'de, hidroborasit ise Rusya ve Arjantin'de üretilmektedir. İnyoit, havlit, meyerhofferit ve kurnakovit gibi diğer mineraller yer yer baskın cevher mineralleri ile birlikte bulunurlar. Borasit, Almanya'da 1945 öncesinde, potasyum madeninden yan ürün olarak borasit ve az miktardaki magnezyum boratlar olarak üretilerek kullanılmıştır.

Silikat minerallerinin büyük bir çoğunluğu kafes yapılarında değişen miktarlarda bor içerirler. Rusya'daki borosilikat cevherleri ile birlikte bulunan aksinit, suanit, kotoit ve diğer mineraller literatürde verilmiştir. Sasolit, birçok zuhurda az miktarda bulunması nedeniyle sadece mineralojik öneme sahiptir. Ancak, İtalya'nın Lardarello bölgesinde doğal buhar sasolit olarak işletilebilen borik asit içermektedir ve 1965 öncelerinden beri yılda binlerce ton üretilmiştir.

3.1. Türkiye Borat Yataklarının Dağılımı ve Jeolojik Konumu

Türkiye'nin bilinen borat yataklarının tümü Batı Anadolu'da yer almaktadır. Günümüze dek saptanmış olan borat yatakları, Marmara Denizi'nin güneyinde, doğu-batı doğrultusunda yaklaşık 300 km'lik ve kuzey-güney doğrultusunda ise 150 km'lik bir alan içinde Bigadiç, Sultançayırı, Kestelek, Emet ve Kırka bölgelerinde bulunmaktadır (Şekil 6). Borat yataklarını oluşturan playa göllerindeki tortulların litolojisi, birbirlerinden az çok farklılıklar göstermesine karşın, genellikle çakıltı, kumtaşı, tuf, tüfit, kilitaşı, marn ve kireçtaşlarından oluşur.

Borat yataklarının olduğu düzeylerin alt ve üst kesimleri kireçtaşı ve kilitaşı ile sınırlanır. Borat içeren havzalardaki tortullar, yatay ve düşey fasiyes değişimlerine bağlı olarak açık bir devirsellik gösterirler (Şekil 7).

Borat yataklarını oluşturan playa göllerinin çevresinde volkanik faaliyetler çok yaygın olup, genellikle kalkalkalen karakterli ve asitten bazıge kadar değişen volkanitlerin yanı sıra, tortullarla ardalanmalı olarak bulunan piroklastik kayalar gözlenir. Tüm borat bölgelerinde volkanik kayaların bulunması, borat oluşumu için volkanizmanın gerekli olduğunu ve bor getirmesinin ortaç ve asidik volkanik kayalara bağlı olduğunu ortaya koyar. Diğer taraftan borat havzalarındaki tortulların büyük bir bölümünün volkanik kayalardan türemiş gereçler içermesi bu varsayımı destekler yönde değerlendirilebilir.

Bigadiç borat yatakları Neojen yaşlı playa göl tortullarından yapıldı KD-GB uzanımı bir havza içinde iki farklı zonda yer alırlar. Bölgedeki volkano-sedimanter istif, alttan üste doğru taban volkanitleri, taban kireçtaşı, alt tuf, alt borat, üst tuf, üst borat ve olivinli bazalt birimlerinden oluşur. Bölgedeki Neojen istif, Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı temel karmaşığı üzerine uyumsuzlukla oturur. Alt ve üst borat yatakları, kurak iklim koşullarında, yerel volkanizmayla bağlantılı olan hidrotermal çözelltiler ve sıcak su kaynakları ile beslenen sahalarda gelişmiş, ayrık veya birbirleriyle bağlantılı olabilen playa göllerinde oluşmuşlardır. Yataklar tuf, tüfit, kil, marn ve kireçtaşları ile arakatlıdır (Şekil 6).

Sultançayırı (Susurluk), Türkiye'nin bilinen en esk borat yatağıdır. Sultançayırı'ndaki Neojen istif 750 metreyi bulan tortulları içerir. Bu istifin alt kesimindeki pandemit, kolemanit ve jips oluşukları; linyitli bir seviyenin, üstüne gelir kireçtaşı, marn ve volkanik tüflerin içinde bulunurlar; istifin üst kesimini, tuf, marn ve kireçtaşı ardalanması oluşturur (Şekil 6). Bu yataklar 1954 yılında rezervin bittiğı gerekçesiyle kapatılmıştır. Fakat bu bölgede daha yaygın yatakların bulunacağını kanıtlayan verilerin bilinmesi, bu bölgelerin yeniden önem kazanacağını kanıtlamaktadır.

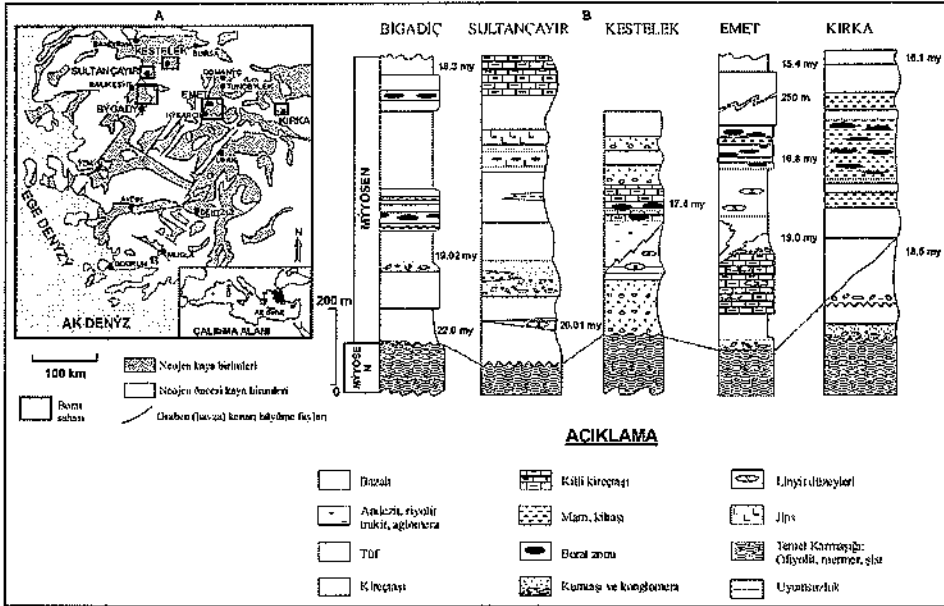
Kestelek bölgesindeki Neojen tortulları Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı bir temel karmaşığı üzerine uyumsuz olarak oturur (Şekil 6). Tabanda konglomera ve kumtaşı ile başlayan çökeller, linyit düzeyleri içeren kil, marn, kireçtaşı, tuf ve aglomera ile devam eder. Daha sonra ortamın tektonik duraylılık kazandığı dönemde çökelen boratlı zondaki, marn, kireçtaşı, tuf ve borat yatakları oluşmuştur. Bu dönemde volkanik faaliyet artmış ve tortullarla birlikte çökelen tuf ve aglomeraların yanı sıra, andezitik ve riyoitik bileşimli volkanitler gelişmiştir. Bu dönemden sonra bölgedeki istif, gevşek çimentolu konglomera, kumtaşı ve kireçtaşı ardalanması ile tamamlanır.

Emet bölgesindeki Tersiyer istif, Paleozoyik yaşlı mermer, mikasist, kalksist ve kloritist gibi metamorfik kayalar üzerine uyumsuzlukla gelir (Şekil 6). Bu bölgedeki istif alttan üste doğru aşağıdaki birimlerden oluşur. (a) çakıltı ve kumtaşı (b) marn ve tuf mercekleri içeren ince katmanlı alt kireçtaşı, (c) ortaç ve asit volkanitler, tuf ve aglomeralar, (d) kömür ve jips bantları içeren çakıltı, kumtaşı, kilitaşı, marn ve kireçtaşından oluşan kırmızı birim, (e) borat yataklarını içeren kilitaşı, tuf, tüfit ve marn, (f) kilitaşı, marn ve çört mercekleri içeren üst kireçtaşı, (g) bazalt (Şekil 6 ve 7).

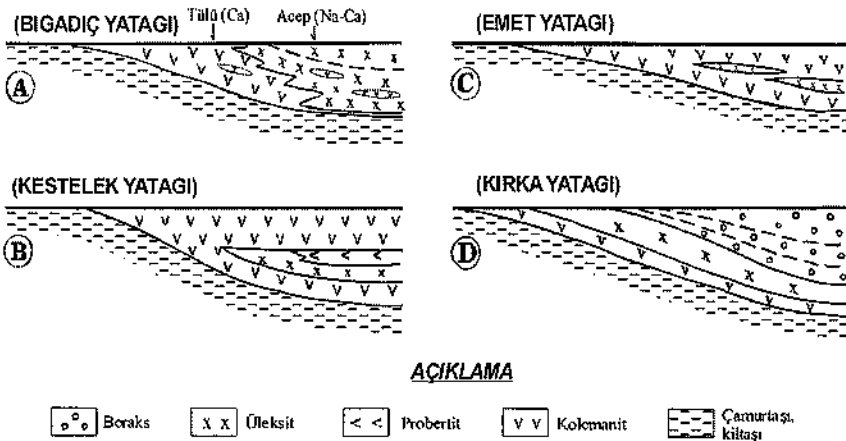
Kırka borat yataklarındaki Neojen volkano-sedimanter istif, Mesozoyik yaşlı ofiyolit karmaşığı ile Paleozoyik yaşlı metamorfik karmaşığı üzerine uyumsuz olarak oturan fosilli Eosen kireçtaşları ile başlar (Şekil 6 ve 7). Diğer kesimlerde temeldeki karmaşık üzerine doğrudan doğruya Miyosen tortulları gelir. Bu bölgedeki Neojen istif, Eosen fosilli kireçtaşları üzerine gelen

tüfler ve volkanikler ile başlar, üstte doğru alt kireçtaşı, marn ve tüf, kilitaşı - borat zonu, üst kilitaşı, tüf, marn ve ince kömür bantları ile çört

düzeyleri içeren üst kireçtaşı ve bazalt birimlerini kapsar.



Şekil 6. Batı Anadolu Neojen havzalarında bor yataklarının dağılımı ve havzalara ait genelleştirilmiş stratigrafik kesitler.



Şekil 7. Borat havzalarındaki bor minerallerinin dağılımının ölçeşiz olarak temsili şekilde bulunuşu. A) Üleksit-kolemanit, Bigadiç; B) Kolemanit, üleksit ve proberit, Kestelek; C) Kolemanit (ve üleksit), Emet; D) Kolemanit, üleksit ve boraks, Kırka.

Borat yatakları, Tersiyer başlangıcından Kuvaterner'e kadar devam eden volkanik aktivitelerin yer aldığı bölgelerde, kıta-ıçi playa-göl tortulları içinde oluşmuşlardır. Borat yataklarının litolojisinin birbirinden farklılıklar göstermesine karşın, genellikle çakıtaşı, kumtaşı, kilitaşı, tüf, tüfit, marn ve kireçtaşı ile arakatmanlıdır (Şekil 6). Borat yataklarındaki tortullar genellikle açık bir devrsellik gösteren, kurak veya yarı kurak iklim koşullarında, bağımsız ya da birbirleriyle çeşitli bağlantıları olan havzalarda depolanmışlardır. Riyolitik, dasitik, trakitik, andezitik ve bazaltik bileşimlere sahip volkanik kayalar ve bunların kırıntılı gereçleri (piroklastikler) söz konusu görsel tortullarla ara katmanlanmışlardır. Tüm borat bölgelerinde volkanik kayaların bulunması, baskın olarak ortaç ve asidik, bor getirmesi ve borat oluşumu için volkanik etkinliğin gerekli olduğunu açıklar. Borat havzalarındaki tortulların büyük bir bölümü volkanik gereçten türemiştir.

Batı Anadolu bor yatakları, Tersiyer başında tüm Batı Anadolu'yu etkileyen büyüme fayları ve grabenleşme ile volkanik ve sismik yönden aktif sahalarda gelişmiş dağarası kapalı havzalardaki ayrı ve birbirleriyle bağıntılı olabilen playa-göllerinde oluşmuşlardır. Bor yatakları ayrıntılı incelendiğinde, katmanların tabaka eğimleri genellikle yataydan 20°'ye kadar değişir. Yataklar kuzeybatı-güneydoğu ve kuzeydoğu-güneybatı uzanımlı gravite fayları tarafından ornatılmışlardır. Egemen olan fay tipi, eğimleri 30°'den düşüye kadar değişen normal faylardır. Bu faylar, çoğu kez bor düzeylerinin parçalanmasına ve zamanla fay zonlarında cevherlerin ayrışmasına neden olmuşlardır. Bazı yataklarda ise tortullar belirgin kıvrımlanma gösterirler. Bu kıvrımlanmalar, tortullarla birlikte borları da etkilemiş olup, çoğu yerde borların parçalanmasına, sucuk ve yersel küçük boyutlu yapılar sunmasına neden olmuşlardır.

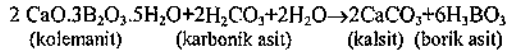
3.2. Bor Arama Yöntemleri

Bor araştırması, potansiyelle sahip sahalarda detaylı prospeksiyonu izleyen sondaj ve araştırma jeologlarının kullandığı tüm araçların kullanımından oluşmaktadır. Potansiyeli olan anakayaların gidişlerinin tanımlanması ve yapıların belirlenmesi ilginç olan sahaların belirlenmesinde önemli bir araçtır. Belli koşullarda uydu

görüntüleri, gerçek ve yanılsamalı renk ve standart fotoğraf yorumlaması başarı ile kullanılabilir.

Dünyanın birçok kesiminde, denizel olmayan ince taneli tortullar ve tüflerden oluşan Senozoyik kayalarının tanımlanması, ekonomik bor yataklarının bu kayalar ile ilişkili olması nedeniyle, arazi jeologlarının olağan başlangıç noktasını oluşturmaktadır. Bu tortullardaki her türlü tuzların oluşumu detaylı olarak incelenmelidir. Ayrıca, birçok bor oluşumu ile bir arada bulunan volkanik çıkışlar, lav akıntıları ve özellikle zeolit içeren kül çökellerinin araştırılması bor prospeksiyonunda önemli rehberlerdir.

Bor araştırması, bor çökeli için uygun olduğu düşünülen Neojen havzalarındaki arazi çalışmaları ile başlar. Bor araştırması öncesinde, bor elementinin yer kabuğunda Cl, Br ve S gibi oldukça mobil olduğu akılda tutulmalıdır. Su ve karbondioksitin etkisi ile borların hızlı alterasyonu sonucu kalsit oluşur ve borik asit ortamdan uzaklaşır:



Borat oluşum modelinde belirtildiği gibi, Türkiye, ABD ve Arjantin'deki yatakların araştırılmasında aşağıdaki kriterler kullanılmaktadır.

- Neojen playa gölü havzalarına Miyosen yaşlı volkanik/volkanoklastik malzemenin katılımı
- Örtü kireçtaşının oluşumu
- Kilitaşı, kireçtaşı, şeyil ve marn aralanmaları
- Playa göllerine bor taşıyan sıcaksu kaynaklarının ve hidrotermal akışkanların verileri
- Yıkınmanın olduğunu gösteren evaporitik düzeyler.

Doğu Avrupa ve Asya'daki skarn borat yatakları, potasik-alkalin nitelikli volkanitlerin karbonatlı tortullar ile olan dokanığında, jeolojik olarak korunmuş kıvrım kuşaklarındaki detaylı prospeksiyon ile bulunmuştur. Datolit ve danburit, kalsiyum ve silisyumca zengin kireçtaşlarının olduğu skarlarda görülür. Aksinit, kotoit ve ludvigit ise dolomitik kireçtaşları içerisinde yer alır. Demir cevheri ile ilişkili magnezyum boratlar genelde düşük tenörlüdür. Denizel boratlar ise

beyazımsı toprak örtüsü ve kıt bitki örtüsü ile ayrılan sıg ve yüzlek veren tuz yapıları ve jips şapkalı sunan tektonik olarak duraylı bölgelerde görülür.

Kurak bölgelerde, üleksit yüzeyde veya yüzeyin hemen altındaki tuz düzlükleri ve playalarda oluşur. Bu durum bor elementinin sistemde hareket halinde olduğunu gösterir. Bu güncel kabuk aynı zamanda ekonomik miktarda bor içeren tuz yataklarının da varlığına işaret eder. Playalardaki araştırma genelde 100 x 500 metrelilik grid içinde kazılarak yapılır. Yüksek anomalide bor içeren kaynaklar ve güncel kaynak çökellerinin örneklenmesi de belli sahalardaki cevherleşmenin belirlenmesinde kullanılabilir.

Jeokimyasal araştırmalar, sondaj hedeflerinin daraltılmasında kullanılan faydalı bir yöntemdir. Toprak ve kaya örnekleme teknikleri de, bor, stronsiyum, arsenik ve lityum gibi elementlerin de analizini içine alan araştırma programının bir parçasıdır. Karmaşık B-Mg-Ca-Cl oranlarına sahip berilyumda Rusya'daki skarn borat yataklarının aranmasında kullanılmaktadır. Su örnekleme, yüzey ve sondajlardan derlenmesi faydalı olabilir. Ayrıca, bazı bitkiler bora karşı hassastır ve bitki araştırmaları çalışmalara yardımcı olur.

Özellikle gravite ve manyetikten oluşan jeofiziksel araştırmalar, tortul dolu altındaki yapıların ve hedef havzaların ortaya çıkarılmasında kullanılmaktadır. Rezistivite ve sismik araştırmalar, borlarla ilişkili olabilecek havza yapıları ve formasyonların belirlenmesinde kullanılmıştır. Doğal gama ve nötron prob gibi kuyu logu teknikleri önemli zonlardaki kil ve bor miktarının yaklaşık yüzdesini göstermektedir.

Jeolojik harita alımını izleyen sondaj yapımı, dünyanın birçok bölgesinde halen en kesin araştırma yöntemidir. Rotari sondaj yapıldığında karotlar genelde en önemli zonlardan alınır. Bor için uygun görülen düzeylerden B_2O_3 ile ilişkili olan arsenik, lityum ve stronsiyum gibi elementlerin analizi alınır. Borların suda eriyebilir olması nedeniyle kısa karotlar alınır. Ancak, boratların çoğu % 90 gibi iyi bir sondaj verimi sunarlar.

Şüpheli sahalarda bor varlığının tayini için iki kolay arazi testi vardır. Birincisi, mineralin sülfirik asit ve alkolde yıkıldığı ve sonra yakıldığı alev testidir

(yeşil ve gül rengi alev). Diğeri ise turnusol çözeltisi ve hidroklorik asidin örnek üzerinde kırmızı-kahve renk bıraktığı turnusol yöntemidir. Laboratuvarda yapılan kimyasal testler daha kesin olduğu için genelde araziden alınan örnekler analize gönderilir.

Günümüz ekonomik koşullarında, tabaka boraks, kolemanit ve üleksit genelde 500 metreden daha derinde olanları işletilmek üzere aranmamaktadır. Yüksek bor içeriğine sahip özellikle başka ekonomik değerler ile birlikte bulunan tuzlu yataklar, bazı özel koşullarda daha derinlerden de işletilebilir. Skarn ve magnezyum boratlar günümüzde sadece yüzey veya yüzeye yakın kesimlerden işletilebilmektedir.

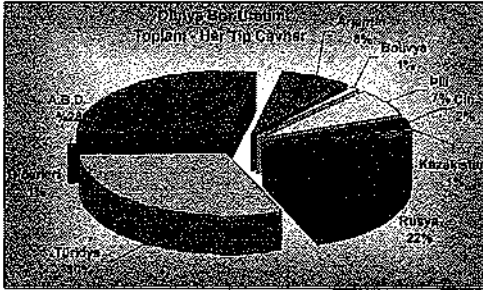
4. BOR MİNERALLERİ ve TÜRKİYE'NİN KONUMU

Batı Anadolu'da geniş yayılım gösteren Neojen havzaları önemli boyutlarda linyit, bitümlü şeyl, uranyum, borat yatakları ve birçok diğer endüstriyel hammadde içermektedir. Dünya ölçeğinde, bu saydığımız madenlerin içersinde yalnızca boratların dünya rezervlerinin %70'inden fazlasını içerdiği düşünülürse, bölge jeolojisinin, tüm diğer madenler ile birlikte hesap edildiğinde, ülkenin gelecekteki politik-stratejik bağlantısıyla ne denli ilişkili ve önemli olduğu anlaşılır. Bütün bunlar dikkate alındığında Türkiye'nin bor politikası ve stratejisinin hiç de tek boyutlu olmadığı, aksine birbirini etkileyen çoklu değişkenlerin kesin ve uzmanca hesaba katılması gerekliliği ortaya çıkar.

Türkiye bor yataklarının konumuna genel olarak bakıldığında Etibank tarafından yapılan araştırmalar sonunda, dünya rezervlerinin yaklaşık % 70'ini içerdiği ortaya çıkmıştır. Etibank'ın özellikle 1979'dan sonra yaptığı çeşitli araştırmalara göre, bir zamanlar özel sektör tarafından 5-8 milyon ton olarak gösterilen Bigadiç yataklarındaki bor rezervlerinin 1 milyar tonu aşan boyutlarda olduğu belirlenmiştir.

Türkiye'nin üretim düzeyi, ABD'nin ulaştığı seviyelere hızla yaklaşarak günümüzde 1970-1980'li yıllara göre on katından daha fazla artarak 1 milyon tonu aşmıştır (Şekil 8). Buna paralel olarak bor ürünleri satış fiyatları da yine en az on kat artarak 290-350 dolar/ton'a erişmiştir. Ayrıca,

Etibank'ın Kırka, Emet, Bigadiç ve Kestelek yataklarındaki üretim ile Bandırma Boraks Fabrikası ve Kırka Bor türevleri tesisindeki ürünlerinin 1983 yılında 21 milyar lira olan net karı yıllar boyunca artarak, 1.2 milyar dolarlık toplam dünya ticareti içinde, 2002 yılında 214 milyon dolara ulaşmıştır. Ürünlerin % 95'i yurtdışına satılmaktadır. Etibank'ın yapmış olduğu bu belirgin atılım, Türkiye'yi kısa zaman içinde dünya pazarlarına egemen duruma getirmiştir. İşte bu aşamada, mecliste görüşülmesi düşünülen yeni maden yasası ile bor tuzlarının uç ürünleri dışında özel sektöre açılması, Türkiye'nin dünya pazarlarındaki egemen durumunu yıkacak, sonuçta ulusal çıkarlarımıza en büyük darbeyi vurmuş olacaktır. Bu duruma fırsat verilmemelidir.



Şekil 8. Dünya bor üretiminin ülkelere göre dağılımı

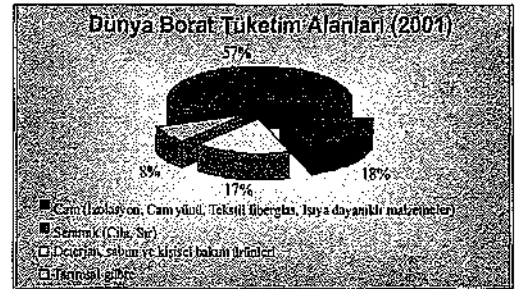
Şüphesiz 3213 sayılı Maden yasasında değişiklik yapılmalıdır. Yeraıtı kaynaklarımızın aranıp işletilebilmesi için neredeyse 10 değişik bakanlıktan 15 veya 20'ye yakın izin alınması gerekmektedir. Yapılacak düzenlemeler ile bu yetkilerin, alt yapısı oluşturularak belli noktalarda toplanması yatırımcıları teşvik edici nitelikte olacaktır. Bu yasa ile birlikte, Maden Dairesi Genel Müdürlüğü ve MTA Genel Müdürlüğü bünyesi içinde mutlaka yeniden yapılandırılmalıdır.

5. BOR MİNERALLERİNİN KULLANIM ALANLARI

Bor mineralleri, endüstrinin değişik kesimlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Şekil 9). Böylesine yaygınlaşmış kullanım alanlarına sahip olması, borun, ham ve rafine edilmiş ürünlerinin üretiminin son yıllarda hızlı biçimde artmasına neden olmuştur. 21. yüzyıldaki teknolojik gelişmeler sürdüğü sürece bu üretim artışının da giderek

artacağı kesindir. Günümüzde çok yaygın olarak evlerde ve endüstride kullanılan temizleyiciler ile cam ve seramik yapımında en yaygın biçimde kullanılan borların tüketimi nüfusun artması ve dayanıklı malların kullanımı ile yakından ilgilidir. Bu açıdan borun sanayideki tüketiminin sürekli bir artış eğiliminde olması kaçınılmazdır.

Endüstrinin çeşitli dallarında kullanılan bor ürünleri, fiberglas, tıp uygulamaları ve eczacılık maddeleri, nükleer reaktörlerde koruyucu olarak, suni gübre yapımı, fotoğrafçılık, cam ve emaye gibi geleneksel kullanım endüstrilerinin de başlıca temel hammaddelerini oluşturmaktadır (Çizelge 3). Boraks ve borik asit gibi, başta en çok bilinenleri olmak üzere, bir çok bileşik formlarında kullanılabilen bor, çok yönlü ve yararlı bileşikler oluşturmaktadır. Söz konusu bileşiklerin özellikleri kuvvetli lehimlemede, kaynak işlerinde, sürtünmelerin azaltılmasında ve arıtma işlemlerinde büyük avantajlar sağlamaktadır. Boraks ve borik asit, bakterileri öldürücü niteliği, su içinde kolay erirliği ve mükemmel su yumuşatıcı özellikleriyle sabunlarda, temizleyicilerde, deterjanlarda, çok çeşitli ilaçların yapımında, tekstil boyamalarında, çeşitli malzemelerin uzun süre korunmasında ve tarım sanayinde çok yaygın kullanım alanlarına sahiptir.



Şekil 9. Dünya borat tüketim alanları

Çizelge 3. Ticari rafine bor ürünleri

Ürün	Formül	% B ₂ O ₃
Borax decahydrate	Na ₂ B ₄ O ₇ · 10H ₂ O	30.5
Borax pentahydrate	Na ₂ B ₄ O ₇ · 5H ₂ O	47.8
Boric Acid	H ₃ BO ₃	56.3
Borax anhydrous	B ₂ O ₃	100.0
Sodium perborate	NaBO ₃ · 4H ₂ O	22.0
Raw borax anhydrous	Na ₂ B ₂ O ₃	69.2

Kimi bor ürünleri, mükemmel ergime maddeleri olmaları nedeniyle, metal arıtma ve çelik üretiminde; atomik reaktörlerde, geç ateşlemeli sigortalarda, radyo lambalarında ve güneş bataryalarında çokça kullanılan vazgeçilmez maddelerdendir. Temel hammaddeleri bor bileşikleridir olan "kübik boryum nitrid", elmasın daha sert olan "borazon" ticari adıyla bilinen maddenin yapısında; "boryum nitrid" termik izolator olarak; "bor karboit" dayanıklı malzemelerin yapısında; "bor triklorit", "bor triflorür" ve bor esterleri ise çeşitli dayanıklı sanayi üretimlerinde örneğin petrol rafinerilerinde katalizör olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, diboran (B_2H_6), pentaboran (B_5H_9), dekaboran ($B_{10}H_{14}$) ve alkali boronlar (sodyum borohidrit) gibi bor bileşikler geleceğin potansiyel jet ve roket yakıtları olarak görülmektedir.

Toplunun bütün kesimlerindeki yaşam standartlarının hızla yükseltilmesi arzusu ve yeni bilimsel teknolojik keşiflerin gelişimi, bu mükemmel bor bileşiklerine duyulan talep ve ihtiyacın giderek daha büyük oranda artmasına yol açacaktır.

6. ULUSAL BOR POLİTİKASI NE OLMALIDIR?

Dünyanın en büyük bor rezervlerine sahip olan Türkiye, üretim bakımından da ABD'den sonra ikinci sırada yer almaktadır. 2172 sayılı Devletleştirme Yasası'nın uygulanmaya başladığı 1979 yılından bugüne dek çeşitli bor yataklarında Etibank tarafından yapılan araştırmalar sonunda

Türkiye'deki bor yataklarının dünyadaki eşsiz konumu anlaşıldığından beri gerek bor madeninin ve gerekse yatakların önemi net bir şekilde ortaya konmuştur.

Kırka bölgesinden yapılan "boraks (tinkal)"; Emet, Bigadiç ve Kestelek bölgelerinden yapılan "kolemanit" ve "üleksit" üretimleri ile Türkiye dünya pazarlarına egemen duruma gelebilir. 1980-2000 yılları arasında Türkiye, dünyanın en büyük kolemanit üreticisi durumuna gelmiştir, ancak ülkemizin sahip olduğu görünür ve olası rezervler, bu üretime oranla çok daha büyüktür. En karamsar gözlemler bile, bu rezervlerin birkaç yüzyıl süre ile gerekli istekleri karşılayabileceğinde hemfikirlerdir. İleriye dönük yapılacak çalışmalar sonucunda ise, bilinen bu yataklara yenilerinin eklenmesi de yine kuvvetli bir olasılıktır (Çizelge 4).

Ülkelerin gelişmesinde bilgi ve emek güçlerinin yanı sıra, başta demir, kömür ve endüstriyel hammaddeler olmak üzere tükenebilir doğal kaynaklar önemli bir yer tutarlar. Petrol, ABD, Rusya ve Ortadoğu ülkelerinin kimilerine olağanüstü güç kazandıran başlıca etkenler arasında yer alır. Fransa'nın potasları, İtalya'nın kükürt ve mermerleri, Güney Amerika ve Afrika'nın bakırları, Tunus'un fosfatları, Güney Afrika'nın altın ve elmasları bu yargıyı güçlendirip kanıtlayan örneklerdir. Türkiye için de bor tuzlarının aynı önemde olduğu, yapılan bilimsel araştırmalar ve ekonomik-teknolojik gelişmeler sonunda tartışmaya yer bırakmayacak kesinlikte ortaya çıkmıştır.

Çizelge 4. Dünyadaki bor yataklarının rezervleri ve tahmini ömürleri

Ülke	Bilinen Ekonomik Rezerv (milyon ton)	Toplam Rezerv (milyon ton)	Bilinen Rezervin Ömrü (yıl)	Toplam Rezervin Ömrü (yıl)
Türkiye	224.000	563.000	155	389
ABD	40.000	80.000	28	55
Rusya	40.000	60.000	28	69
Çin	27.000	36.000	19	25
Şili	8.000	41.000	6	28
Bolivya	4.000	19.000	3	13
Peru	4.000	22.000	3	15
Arjantin	2.000	9.000	1	6
Kazakistan	14.000	15.000	10	10
Toplam	363.000	885.000	253	610

Türkiye'nin elinde bulunan nitelik yönünden dünyadaki örneklerinden her bakımdan çok üstün olan bu doğal kaynak ve zenginlikler, ülkeyi dünya bor tuzları sektöründe rakipsiz duruma getirebilecek düzeydedir. Nitekim 1980'li yıllarda Etibank'ın çok hızlı ve başarılı olarak yapmış olduğu yatırım ve üretimler, Türkiye'yi dünya bor pazarında "egemen" duruma getirmiştir.

1979 yılında gerçekleştirilen devletleştirme yasasının öncesinde ve sonrasında yaşanan özel sektör-kamu sektörü çekişmesi yerine, Etibor A.Ş. ve özel sektörün bor minerallerinden sanayiye yönelik uç ürünler üretmek için işbirliği yapmaları ve böylece, ortak ulusal üretim, pazarlama ve sanayiye yönelik araştırma politikaları izlemeleri uygun olacaktır. Bugün feldspat yatakları üzerinde yapılan yanlış uygulamalara benzer durumdan kaçınılmalıdır. Ülke kaynakları, gelecek nesiller düşünülerek hoyratça harcanmamalıdır.

Ulusal çıkarlar doğrultusunda politikalar izlenebilmesi açısından, bor tuzlarının ilk üretimlerinin devlet eliyle işletilmesi gerekir. Yeniden düzenlenecek maden yasası taslağı ile mevcut veya yeni bulunacak bor yataklarının özel sektöre devredilmesi ya da açılması ulusal açıdan sakıncalıdır, ülke ve toplum çıkarlarına ters düşer. Öte yandan dışa bağımlı cihaz özel kuruluşların bu işi başarabilmeleri hem yasal açıdan, hem de bilimsel ve teknolojik veriler ışığında mümkün değildir. Pek çok liberal ülkede bile stratejik önemi olan madenler devlet eliyle işletilmektedir. Güçlü dünya tekeli karşısında tutunabilmek ve onun bölücü etkilerinden korunabilmek için bor minerallerinin üretiminin, devlet eliyle yönetilmesi zorunludur. Bor madenlerimizin işletilmesi (madencilik açısından), coğrafi, ulaşım, enerji vs. yönünden diğer ülkelere oranla (özellikle Latin Amerika ve ABD ile karşılaştırıldığında) son derece elverişli ve pazarlamaya uygundur. Örneğin Güney Amerika'da minimum 4000 metre yükseklikte, Kuzey Amerika'da ise ya çölün ortasında ya da milli parkların içinde olması çok büyük işletme zorlukları ve sorunları oluşturmaktadır.

Bütün bu olumlu ve olumsuz yönleriyle anlatılanlar göz önüne alındığında, Türkiye'nin bir ulusal bor politikası oluşturmalarının gerekliliği ortaya çıkar. Buna göre, ülkemizin sahip olduğu bu denli önemli yer altı kaynaklarını ülke ekonomisine en fazla getiri sağlayacak şekilde değerlendirebilmemiz için

bor işletmeciliğinin yeniden yapılandırılması kaçınılmazdır. Yeniden yapılanmanın temelinde ise, yine Etibor A.Ş. olmalıdır. Hiç kuşkusuz bu kuruluş da sırasıyla; pazar payını, ürün kalite ve çeşidini arttıracak, kendi öz kaynaklarıyla uç ürünlere yönelik araştırma ve yatırımları finanse edebilecek, pazar koşullarına göre hızlı ve rasyonel kararlar alabilecek, siyasi otoritelerin etkilerinden korunabilecek, uluslararası şirketlerle rekabet edebilecek, gerektiğinde uç ürünler konusunda yerli ve yabancı şirketlerle ortaklık kurabilecek şekilde esnek ve özerk bir yapıya kavuşturulmalıdır. Burada esas olan, bor madenlerimizin tek bir kuruluş tarafından işletilmesi ve ülkemizin sahip olduğu avantajların sürdürülmesidir. Bor yataklarımız ayrı ayrı özelleştirildiğinde, bugün feldspat madenlerimizde olduğu gibi, iç rekabetin kaçınılmazlığından dolayı fiyatlar düşecek ve uç ürünlere yönelik yatırımların yapılması da imkansız hale gelecektir. Kısacası, ülkenin en önemli kaynağı da boşa harcanmış olacaktır.

7. SONUÇLAR

Bugünlerde Mecliste görüşülmesi düşünülen yeni maden yasası ile devletin en önemli gelir ve döviz kaynaklarından birisi olan "bor tuzları" yatakları ile ilgili olarak yeni sahalardan maden arayıcılarına açılması tasarlanıyor olabilir. Bunun anlamı hem ulusun sahip olduğu güçlü bir savunma ve ekonomi dalını kesmek, hem de Anayasa'mızın özü ile çelişmesi demektir. Yeni maden yasası taslağı çerçevesi içinde yasayla verilen görevleri yürütmek üzere maden işletmelerinde "fenni nezaretçilik" adı altında göstermelik sistemin terkedilerek, tüm işletmelerde jeoloji ve maden mühendislerine eşit şekilde görev ve sorumluluklar verilerek görevlendirilmelidirler. Bu yapılmadan, doğal kaynakların bilimsel ve ekonomik olarak aranması, işletilmesi ve üretiminden olumlu sonuçların alınması mümkün değildir. Kesin bir ekonomik savaşın yoğunlaştığı ve tüm araştırmaların doğal kaynaklar üzerinde yoğunlaştığı günümüzde, büyük bir bor rezervi potansiyelinin varlığı, Türkiye için kazanılması son derece güç bir fırsattır. Bu açıdan üretim politikaları öncelikle ayrıntılı ve sağlıklı bir pazar araştırmasına dayandırılmalıdır. Yurt dışı satışlarının geliştirilmesi için uygun ve gerekli merkezlerde satış büroları ve depoları açılmalı ve bunlar Türkiye'den sağlıklı biçimde beslenmelidir. Bağımsız olarak kurulan "Bor Tuzları

Enstitüsü'nün kısa zamanda gelişmesi için gerekli yatırımlar yapılmalıdır ve bu enstitüde bor konusunda yetkili ve söz sahibi araştırmacılara görev verilmelidir. Borlardan sanayiye yönelik her türlü uç ürünleri geliştirmek, üretmek, disiplinlerarası kısa ve uzun vadeli çalışmalar yapmak ve projeler oluşturmak üzere malzeme, makina, kimya ve elektrik-elektronik mühendislik alanlarında uzman kişilerin görevlendirilmesi mutlaka gerçekleştirilmelidir. Böylece, kısa ve uzun vadeli planlamalar çerçevesinde araştırma ile uygulama arasındaki boşluklar da kapatılarak, gereksinimleri karşılayan, planlı ve ileriye yönelik araştırmalara hız verilmelidir. Bu da ancak devletin güçlü eliyle gerçekleştirilebilir.

Türkiye bor yataklarını ve üretimini elinde bulunduran Etibor A.Ş., ekonomik ve siyasal baskılardan korumak için bağımsız ve özerk bir yapıya acilen kavuşturulmalıdır. Böylece üniversite, Tübitak ve özel sektör ile bağlantı kurarak daha etkin üretim ve yapılanma içine girebilecek, ekonomik değeri yüksek ürünler üretebilecek ve rekabet gücünü artıracaktır.

Sonuçta başta bor olmak üzere tüm önemli ve stratejik madenlerimize ilişkin politikaların ister istemez ulusal ve bilimsel alanda odaklaşması gibi bir sorumluluk ve zorunlulukla karşı karşıya olduğumuz gerçeği ortaya çıkıyor. Aksi takdirde tüm ülke ve ulus olarak önce kaybetmek, ardından da silinmek gibi iki olumsuz seçenekle karşı karşıya kalma olasılığı vardır.

Ülkemizin sahip olduğu bor yatakları gibi önemli yeraltı kaynağını, ülke ekonomisine en fazla getiri sağlayacak şekilde değerlendirebilmemiz için, bor işletmeciliğinin yeniden yapılandırılması zorunludur. Yeniden yapılandırmanın temelinde, yine Etibor A.Ş. olmalı ve bu kuruluş ise;

- Pazar payını, ürün kalite ve çeşidini arttıracak,
- Kendi özkaynakları ile, uç ürünlere yönelik araştırma ve yatırımları finanse edebilecek,
- Pazar şartlarına göre hızlı kararlar alabilecek,
- Siyasal otoritenin etkilerinden korunabilecek
- Uluslararası şirketlerle rekabet edebilecek,
- Gerektiğinde uç ürünler konusunda, yerli ve yabancı şirketlerle ortaklıklar kurabilecek şekilde özerk bir yapıya kavuşturulmalıdır.

KAYNAKLAR

- Alonso, R.N. (1986), *Occurrence, Stratigraphic Position and Gnesis of the Borate Deposits of the Puna Region of Argentina*, PhD Thesis, Universidad Nacional de Salta (in Spanish, unpublished.)
- Alonso R.N and Viramonte, J.G. (1990), *Borate deposits in the Andes*, In: Fontbote, L. Et al. (eds), *Stratabound ore deposits in the andes*, Springer verlag, 721-732.
- Alonso, R.N., Helvacı C., Sureda, R.J and Viramonte J.G. (1988), *A new Tertiary borax deposit in the Andes*, *Mineralium Deposita* 23: 299-305.
- Alonso, R.N. Jordan, T.E, Tabbutt, K and Vandervoort, D. (1991), *Giant evaporite belts of the Neogene Central Andes*, *Geology* 19: 401-404.
- Baysal, O. (1972), *Mineralogic and Genetic Studies of the Sarıkaya (Kırka) Borate Deposits*, Ph.D. Thesis. Hacettepe University, Turkey (in Turkish, unpublished).
- Bowser, C.J. (1965), *Geochemistry and Petrology of the Sodium Borates in the Non-marine Evaporitic Environment*, Ph.D. Dissertation, University of California, Los Angeles (unpublished).
- Chong, G. (1984), *Die salare in Nordchile-Geologie, Structure und Geochimie*, *Geotektonische Forschungen* 67: 1-146.
- Floyd, P.A, Helvacı, C and Mittwede S.K. (1997), *Geochemical discrimination of volcanic rocks, associated with borate deposits: an exproation tool*, *Journal of Geochemical Exploration* 60: 185-205.
- Garrett, D.E., (1998), *Borates. Handbook of deposits, processing, properties, and use*, Academic Press, London, 483 p.
- Grew, E.S. and Anovita, L.M. (editors), (1996), *Boron. Mineralogy, petrology and geochemistry*, *Reviews in mineralogy*, volume 33, Mineralogical Society of America, Washington, D.C., 862 .

- Gündoğan, İ. and Helvacı, C. (1993), *Geology, mineralogy and economic potential of Sultançayır (Susurluk-Balıkesir) boratiferous gypsum basin*, Bulletin of the Geological Society of Turkey 36: 159-172 (in Turkish).
- Helvacı, C. (1977), *Geology, mineralogy and geochemistry of the borate deposits and associated rocks and the Emet Valley, Turkey*, PhD Thesis, University of Nottingham, England (unpublished).
- Helvacı C. (1978), *A review of the mineralogy of the Turkish borate deposits*, Mercian Geology 6: 257-270.
- Helvacı, C. (1984), *Occurrence of rare borate-minerals: veatchite-A, tunellite, teruggite and calnite in the Emet borate deposits, Turkey*, Mineralium Deposita 19: 217-226.
- Helvacı, C. (1986), *Geochemistry and origin of the Emet borate deposits, western Turkey*, Faculty of Engineering Bulletin, Cumhuriyet University, Series A. Earth Sciences 3: 49-73.
- Helvacı, C. (1994), *Mineral assemblages and formation of the Kestelek and Sultançayır borate deposits*, Proceedings of 29th International Geological Congress, Kyoto Part A, 245-264.
- Helvacı, C. (1995), *Stratigraphy, mineralogy, and genesis of the Bigadiç borate deposits, western Turkey*, Economic Geology 90: 1237-1260.
- Helvacı C. and Alonso, R.N. (1994), *An occurrence of primary inyoite at Lagunita Playa, Northern Argentina*, Proceedings of 29th International Geological Congress, Kyoto Part A, 299-308 Japan.
- Helvacı, C. and Alonso, R.N., (2000), *Borate deposits of Turkey and Argentina : a summary and geological comparison*, Turkish Journal of earth Sciences (Turkish J. Earth Sci.) vol. 24: 1-27.
- Helvacı, C. and Firman, R.J. (1976), *Geological setting and mineralogy of Emet borate deposit, Turkey*, Transactions/section B, Institute of Mining and Metallurgy 85: 142-152.
- Helvacı, C. and Orti, F. (1998), *Sedimentology and diagenesis of Miocene colemanite-ulexite deposits (western Anatolia, Turkey)*, Journal of Sedimentary Research 68: 1021-1033.
- Helvacı, C., Stamatakis, M.G., Zagouroglou, C. and Kanaris, J. (1993), *Borate minerals and related authigenic silicates in northeastern Mediterranean Late Miocene continental basins*, Exploration Mining Geology 2: 171-178.
- Inan, K., Dunham, A.C. and Esson, J. (1973), *Mineralogy, chemistry and origin of Kırka borate deposit, Eskişehir Province, Turkey*, Transactions/section B, Institution of Mining and Metallurgy 82: 114-123.
- Jordan, T. and Alonso, R.N. (1987), *Cenozoic stratigraphy and basin tectonics of the Andes Mountains, 20-28 South latitude*. American Association of Petroleum Geologists Bulletin 71, 49-64.
- Kistler, R.B. and Helvacı, C. (1994), *Boron and borates*, In: CARR, D.D. (ed) Industrial Minerals and Rocks. 6th edition, Society for Mining, Metallurgy and Exploration Inc., Littleton, Colorado, 171-186.
- Muessig, S. (1959), *Primary borates in playa deposits: minerals of high hydration*, Economic Geology 54: 495-501.
- Muessig, S. (1966), *Recent South American borate deposits*, In: RAU, J.L. (ed) 2nd Symposium on Salt, Northern Ohio Geological Society, Cleveland 1: 151-159.
- Orti, F., Helvacı, C., Rosell, L. and Gündoğan, İ. (1998), *Sulphate-borate relations in an evaporitic lacustrine environment: the Sultançayır Gypsum (Miocene, Western Anatolia)*, Sedimentology 45: 697-710.
- Ozol, A.A., (1977), *Plate Tectonics and the Process of Volcanogenic-Sedimentary Formation of Boron*, International Geology Review, 20: 692-698.
- Özpeker, İ. (1969), *Western Anatolian Borate Deposits and Their Genetic Studies*, PhD

- Dissertation, İstanbul Technical University (in Turkish, unpublished).
- Palmer, M.R. and Helvacı, C. (1995), *The boron geochemistry of the Kirka borate deposit, western Turkey*, *Geochimica et Cosmochimica Acta* 59: 3599-3605.
- Palmer, M. R. and Helvacı, C. (1997), *The boron isotope geochemistry of the Neogene borate deposits of western Turkey*, *Geochimica et Cosmochimica Acta* 61: 3161-3169.
- Sunder, M.S. (1980), *Geochemistry of the Sarıkaya borate deposits (Kirka-Eskişehir)*, *Bulletin of the Geological Society of Turkey* 2: 19-34.
- Travis, N.J. and Cocks, E.J., (1984), *The Tincal Trail*, A history of borax. Harrap, London, 311.
- Watanebe, T., (1964), *Geochemical cycle and concentration of boron in the earth's crust*, V.I. Verdenskii Inst. Geochim. and Anal. Chem. U.S.S.R. 2: 167-177.

İnşaat Endüstrisinde Geri Dönüşüm ve Bir Hammadde Kaynağı Olarak Farklı Yapı Malzemelerinin Yeniden Değerlendirilmesi

C. Gürer, H. Akbulut & G. Kürklü

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon

ÖZET: Doğal kaynaklarımız dünya nüfusunun artması ve tüketim alışkanlıklarının değişmesi nedeni ile her geçen gün azalmaktadır. Dikkatlice kullanılmadığı takdirde bir gün bu kaynakların tükeneceği şüphesizdir. Kaynakların sınırlı olduğu, tüketimin hızla arttığı dünyamızda son yıllarda üzerine ehemmiyet verilen konulardan birisi de geri dönüşümdür. Çok çeşitli atık malzemelerde geri dönüşüm yapılmakta, atıklar bir ham madde gibi kullanılarak yeni bir maddeye dönüştürülmekte ve bu işleme “geri dönüşüm” denilmektedir. Kaynak israfını önlemenin yanında, hayat standartlarını yükseltme çabaları ve ortaya çıkan enerji krizi vb. gerçekleri gören gelişmiş ülkeler atıkların geri kazanılması ve tekrar kullanılması için yöntemler aramış ve geliştirmişlerdir. Ne yazık ki ülkemizde diğer gelişmiş ülkelere nazaran inşaat endüstrisinde geri dönüşüm miktarı yok denecek kadar azdır. Diğer ülkelerde asfalt, beton, agrega, ahşap vb. yapı malzemeleri geri kazanılarak yeniden hammaddeye dönüştürülmekte hem ekonomiye hem de çevreye olan zararlı etkileri en aza indirilmektedir. Bu çalışmada inşaat endüstrisinde geri dönüşüm yapılabilen malzemelerden bahsedilerek, atıklarının bir hammadde kaynağı olarak değerlendirilme şekilleri anlatılmış ve dünya’daki uygulamalardan bahsedilmiştir.

ABSTRACT: Continuously increase in world population and changes on the habits of consumption demand on the materials leads to rapid decrease on natural resources. It is inevitable that this resources will be run out shortly by the high consumer demand. In order to use effectively the limited –resources, some of countries have taken a number of decision contributing the effective consumption on the resources. One of the most important ways of preserving the resources has been recycling, which is a process of reusing the materials used before and waste materials which has no use. In order to preserve the resources for the future generations and crises on energy leads the countries to take some radical action on energy and resources consumptions. All the material which can be reused such as asphalt, concrete, timber, paper, glass etc. has been reused for the same purposes or different. Especially construction industry has been a major resources for recycling to preserve and protect the environment. Unfortunately all this kind of preservation policy has no effective implementation. The paper underline the preservation policies and recycling carried out around the world.

1. GİRİŞ

Atıkların hammadde gibi kullanılarak yeni bir maddeye dönüştürülmesine geri dönüşüm denir. Geri kazanım ise atıkların yeniden kullanılarak, enerji elde etmek (yakma vb.) veya fiziksel yada kimyasal işlemlerden geçirilerek yeni bir ürün elde etmek amaçları ile toplanmasıdır.

Ekonomik zorluklarla karşı karşıya bulunan ve kalkınmakta olan ülkelerin de tabii kaynaklarından uzun vadede ve maksimum bir şekilde faydalanabilmeleri için atık israfına son vermeleri, ekonomik değeri olan maddeleri geri kazanma ve tekrar kullanma yöntemlerini araştırmaları gerekmektedir. Ülkemizde de nüfus artışına paralel olarak atık miktarı ve ambalajlı ürün kullanımı da artmış, geri kazanımı ekonomik bir değer haline

getirmiştir. Çevre Bakanlığı tarafından 1991 yılında yayınlanan Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği ile geri kazanım yasal zorunluluk haline dönüşmüştür[ÇEVKO]. Geri dönüşümü bu kadar önemli duruma getiren sebepleri şu şekilde sıralayabiliriz:

Geri dönüşüm ile doğal kaynakların korunmasına katkı sağlanır. Doğal kaynaklarımız dünya nüfusunun artması ve tüketim alışkanlıklarının değişmesi nedeni ile her geçen gün azalmaktadır. Bu nedenle malzeme tüketimini azaltmak, değerlendirilebilir nitelikli atıkları geri dönüştürmek sureti ile doğal kaynaklarımızı verimli kullanmak zorundayız. Dolayısıyla geri dönüşüm doğal kaynaklarımızın korunması ve verimli kullanılması için son derece önemli bir işlemdir. Örneğin; kağıdın geri dönüşümü ile ormanlarda ağaçların daha az kesilmesini sağlamış oluruz. Benzer şekilde plastik atıklarının geri dönüşümü ile petrolden tasarruf sağlanabilir. Ülkemizde 150-200 bin ton civarında atık plastik geri kazanılmaktadır, atık kağıt geri kazanım oranı ise % 32'dir. 2002 yılında ülkemizdeki bazı yerel yönetimler tarafından geri kazanım projeleri kapsamında düzenli olarak toplanan malzeme miktarı 15795 tona ulaşmıştır [ÇEVKO].

Kullanılan malzemelerin veya atıkların hammaddeye dönüştürülmesi malzeme üretiminde endüstriyel işlem sayısını azaltmak suretiyle enerji tasarrufu sağlar. Örneğin; metal içecek kutularının geri dönüşümü işleminde bu metaller direkt olarak eritilerek yeni ürün haline dönüştürüldüğünde bu metallerin üretimi için kullanılan maden cevheri ve bu cevherin saflaştırılma işlemlerine gerek olmadan üretim gerçekleştirilebilmektedir. Kullanılan alüminyumun %30'u hurdaların geri kazanılmasından elde edilmektedir. Elektrik, inşaat ve taşıt araçları sektörlerinde kullanılan alüminyumun % 70'i, defalarca geri kazanılır. Bu şekilde bir alüminyum kutunun geri dönüşümünden % 96 oranında enerji tasarrufu sağlanabilir. Benzer şekilde katı atıklarda ayrılan kağıdın yeniden işleme sokulması için gerekli olan enerji normal işlemler için gerekli olanın %50'si kadardır. Aynı şekilde cam ve plastik atıkların da geri dönüşümünden önemli oranda enerji tasarrufu sağlanabilir. Türkiye'de yılda yaklaşık 2 milyon ton civarında hurda metal toplanarak geri kazanılmaktadır. Hammaddenin azalması ve doğal kaynakların hızla tükenmesi sonucunda ekonomik problemler ortaya

çıkabilecek ve işte bu noktada geri dönüşüm ekonomi üzerinde olumlu etki yapacaktır. Yeni iş imkanları sağlayacak ve gelecek kuşaklara doğal kaynaklardan yararlanma olanağı sunacaktır. İnşaat sektöründe en önemli sorunlardan birisi hammaddedir. Özellikle asfalt, mermer gibi malzemeler geri dönüştürülmesi yoluna gidilerek önemli miktarlarda ekonomik kazanç sağlanabilir. Petrol türevi olan asfalt malzemelerin yeniden kullanılması yoluna gidilmesinin sağlayacağı ekonomik kazanç göz ardı edilemez.

Çizelge 1. Ülkemizde halen devam eden belediye geri kazanım projelerinde toplanan atık kompozisyonunun ortalaması

MALZEME CİNSİ	(%)
Kağıt-Karton	42
Cam	28
Metal	7
Plastik	23
TOPLAM	100

Günümüzde şu üç kelime slogan haline gelmiştir; tüketimi azalt-yeniden kullan-geri dönüştür. Dünya'da geri dönüştürülebilen atıkların en önemlilerini kağıt, alüminyum, cam, plastik malzemeler oluşturmaktadır. Ülkemizde de bu malzemeler geri dönüşümde ilk sıraları almaktadır. AB ülkelerinin tamamında atık geri dönüşüm oranı % 45, geri kazanım oranı ise % 50'dir. Türkiye, bu tip malzemelerin geri kazanımında İtalya ve İngiltere gibi ülkelerin ortalamasını geçmiş AB ortalamasına yaklaşmıştır.Çizelge 1'de ülkemizde son yıllarda geri kazanım projelerinde toplanan atık çeşitleri ve bunların oranları görülmektedir.

Özellikle son yıllarda ülkemizde geri kazanılabilir atıkların ekonomik değer kazanması ve bu konudaki yasal zorunlulukların yürürlüğe girmesiyle bu tür malzemeleri toplayan veya geri dönüşümünü yapan işletmeler ve sanayi kuruluşları oluşmaya başlamıştır. Türkiye'de atık yönetimi konusu özellikle son beş yıl içinde artan nüfus ve göç ile birlikte çoğu kez şehir sınırlarının çok içine kadar giren çöp dökme alanlarının yarattığı sorunla birlikte gündeme gelmiştir. Öncelikle düzensiz depolama sahalarının rehabilitasyonu ve yeni düzenli çöp depolama sahalarının açılması gündeme gelmiş ve daha sonra kompostlama ve geri kazanım konuları tartışılmaya başlanmıştır. Ülkemizin mevcut koşulları dikkate alındığında

yakma yönteminden ziyade düzenli depolama sahalarının kurulması ve bu alanlara gidecek atık miktarının azaltılması için önlemler alınması (değerlendirilebilir atıkların ayrı toplanması ve geri kazanım bu aşamada önem kazanmaktadır) Türkiye için öncelikli seçenekler olarak görülmektedir [ÇEVKO], [Akbulut & Güre, 2003].

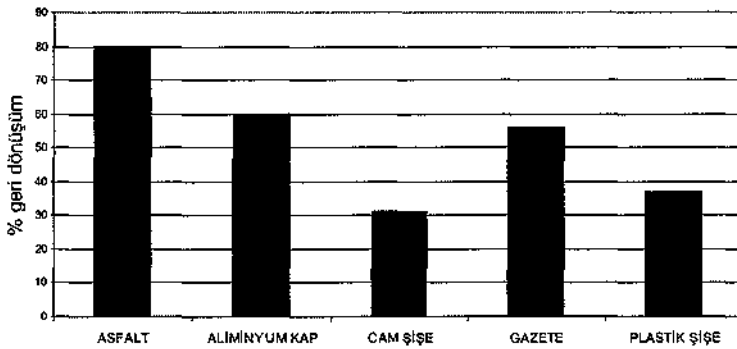
2. İNŞAAT SEKTÖRÜ AÇISINDAN GERİ DÖNÜŞÜM

Hammaddenin en çok tüketildiği sektörlerden birisi de inşaat sektörüdür. İnşaat sektörü, imalat süreçlerindeki girdileri asgari düzeye indirmeye, hammaddelerin kullanılmasını, enerji tüketimini, emisyonları ve mekan kullanımını mümkün olduğu kadar azaltmaya çalışmaktadır.

Bu sektörde tüketilen malzemelerin başında beton, asfalt, ahşap, alüminyum, demir gibi malzemeler gelmektedir. Bu tür malzemeler geri dönüşümde çok yaygın olarak kullanılan diğer önemli malzemelerdir.

Amerika'da asfalt malzemedeki geri dönüşüm oranı % 80'dir. Bu değerden alüminyum, cam, plastik gibi geri dönüştürülebilen malzemelerden daha fazla geri dönüştürüldüğü anlaşılmaktadır. Şekil 1'de A.B.D.'de geri dönüşümü en fazla yapılan malzemeler ve bunların geri dönüştürülme yüzdeleri görülmektedir.

Talep ve tüketim açısından baktığımızda geri dönüşümün özellikle inşaat alanında yaygın bir şekilde uygulanmasının önemli miktarlarda ekonomik ve hammadde kaynağı sağlayacağı görülebilir.

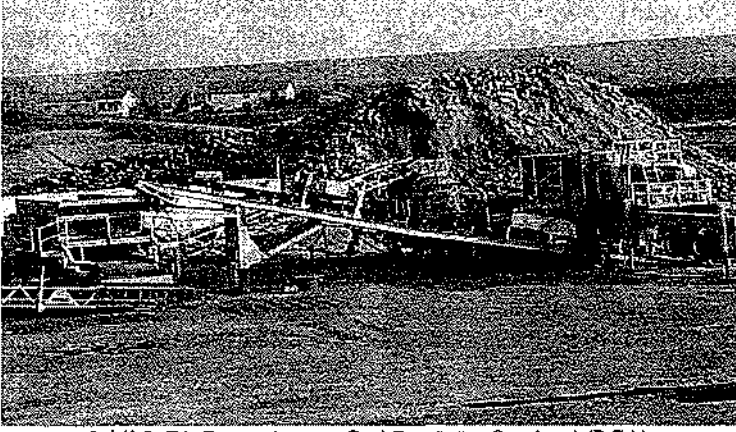


Şekil 1. A.B.D.'de geri dönüşümü yapılan bazı malzemeler ve geri dönüşüm yüzdeleri.

2.1. Beton'da Geri Dönüşüm

Geri dönüştürülmüş yapı hammaddelerine olan global talep son on yılda büyük ölçüde artmıştır. Beton malzemesi inşaat sektöründe en çok kullanılan malzemedir. Mimari ve peyzaj amaçlı yapılarda çok geniş şekil, renk, doku ve kaplama seçeneklerini uygulayabilmek için betonun sağladığı olanaklardan yararlanır. Avrupa hazır beton sektörü, 12.000'i aşkın faal tesiste yılda yaklaşık 300 milyon metreküp beton üretmektedir. Yıllık hazır beton tüketimi 0.3 - 1.40 metreküp/kisi seviyesindedir. Yaklaşık 720 milyon ton malzemenin ve buna tekabül eden enerjinin kullanımı kuşkusuz çevre bakımından çok önemli sonuçlar yaratmaktadır. Bir bina yada yapının

yıkılması gerektiği zaman, elde edilen eski beton, kırılarak beton agregası yada yollarda zemin altı malzemesi olarak yeniden kullanılabilir. Betonun ağır matrisi onu, aynen veya çok az güç ve performans kaybına uğrayarak kullanılabilen ideal bir geri dönüşümlü malzeme yapar. Kullanılmadan iade edilen betonun hemen yada daha sonra beton karışımlarında kullanılmasını veya beton ürünü, yol döşemesi yada inşaat dolgu malzemesi olarak yeniden kullanılmasını sağlayan sistemlerde vardır. Ülkemizde henüz uygulaması olmasa da Amerika Birleşik Devletlerinde her yıl 200 mil beton kaplamanın geri dönüşümü yapılmakta, kanuni yaptırımla 44 eyalette geri dönüştürülmüş beton agregası kullanılmaktadır.



Şekil 2. Bir Beton Agregası Geri Dönüşüm Şantiyesi (RCA).

Şekil 2’de bir beton agregası geri dönüşüm şantiyesi görülmektedir. Her 1 mil beton döşemeden yaklaşık olarak 5996 ton beton geri dönüştürülmektedir. Bozulan beton yollar, yıkımı gerçekleştirilen eski binalar bir beton agregası geri dönüşüm şantiyesinde kırılıp ayrıştırıldıktan sonra yeniden kullanıma hazır granüle malzeme haline dönüştürülmektedir.

Avustralya Victoria’da geri dönüştürülmüş beton agregaları çeşitli uygulamalarda çok sık kullanılmaktadır. Burada yapılan çalışmalar geri dönüştürülmüş beton agregalarının normal agregası yerine veya beton üretiminin yapısal olmayan uygulamalarında kullanılabilirliğini göstermiştir. Geri dönüştürülmüş beton agregaları özellikle yol inşaatı için temel dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bu uygulama yıkılmış beton atıklardan faydalanmayı sağladığı gibi sektör içerisinde de önemli miktarlarda atık azalmasına imkan tanımaktadır [Sagoe-Crentsil & Brown, 1998].

2.2. Mermer Sektöründe Geri Dönüşüm

Üretimi ve işlenmesi esnasında meydana gelen atık miktarı % 60'lara ulaşan mermer sektörü’de yeniden kullanım için önemli miktarlarda hammadde açığa çıkarmaktadır. Meydana gelen atıklar toz ve parça atıklar olmak üzere ikiye ayrılmakta ve bunlar çeşitli şekillerde değerlendirilmektedir. Bu atıklardan inşaat sektöründeki değişik alanlarda yararlanma yöntemleriyle ilgili literatürde çeşitli çalışmalar

yapılmakta, sanayideki bazı uygulamaları günlük hayata yansımaktadır. [Akbulut & Güner, 2003].

Mermer toz atıkları özellikle mermer işleme fabrikalarının civarında önemli çevre sorunları oluşturmaktadır. Bu nedenle bu malzemelerin yol üstü yapı inşaatında değerlendirilmesi ekonomiye ve çevreye önemli bir katkı getirecektir. Filler, bitümlü karışımlarda ince agregası oranını arttırmak, boşluk miktarını azaltmak ve yüksek sıcaklıklarda asfalt betonunun deformasyona karşı dayanımını arttırmak için kullanılır. Yapılan araştırmalar asfalta katılan mermer tozunun asfalt yaşlanmasını önemli oranlarda geciktirdiğini göstermiştir. Eklenen mermer tozu asfalt çimentosunun viskozitesinin artmasını sağlayarak teker izi deformasyonlarının azalmasını faydalı olmaktadır [Little & Epps 2001]. Mermer toz atıklarının asfalt betonu karışımında filler malzemesi olarak kullanılabilirliği üzerinde yapılan çalışmalar, taş tozu filler malzemesinin az bulunduğu veya bulunmadığı yerlerde, mermer tozunun filler malzemesi olarak bitümlü karışımlarda değerlendirilebileceğini göstermiştir. [Terzi & Karşahin 2003], [Çetin & Tuncan 1997]. Bunun dışında mermer toz atıkları sıva katkı malzemesi, çimento üretiminde katkı malzemesi, kireç üretiminde, kalsine dolomit üretiminde, refrakter malzeme olarak inşaat sanayinde çeşitli şekillerde kullanılmaktadır [Şentürk, 1996].

Mermer toz atıklarından yararlanılan diğer önemli alanlardan birisi de bozuk zemin özelliklerinin

iyileştirilmesinde kimyasal katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. İlk çağlardan günümüze kadar insanlar, barınma, savunma vb. amaçlarla inşa ettikleri yapıları, zemin üzerine yada zeminin içine inşa etmişlerdir. Böylece zeminin temel yada inşaat malzemesi olarak kullanılmasıyla çeşitli problemlerle karşılaşmaya başlanmıştır. Karşılaşılan problemlerde zeminlerin stabilizasyonu çok eski tarihlere kadar dayanmaktadır. Zeminin özelliklerinin iyileştirilmesinde katkı maddeleri olarak ilk uygulamalarda bitki köklerinden yararlanılmıştır. Günümüzde değişik kimyasal maddelerle farklı uygulamalarda bulunmaktadır [Zorluer & Usta, 2003].

Geçirimlilik, kayma direnci, oturma ve benzeri özelliklerden dolayı kullanım amacına uygun olmayan zeminlerin ortaya çıkardığı problemlerin çözümünde yaygın olarak kullanılan üç yöntem bulunmaktadır. Bunlardan birincisi istenmeyen zemin kazıyarak yerine istenen özellikleri taşıyan bir malzeme koymaktır. Ancak yapılacak kazı hacminin çok yüksek olduğu durumlarda yöntem ekonomik olmamaktadır. Bu durumda akla gelen ikinci çözüm, zemin olduğu gibi kabul edip, üst yapıdaki taşıyıcı elemanların boyutlarının ve kullanılan malzemenin kalitesinin artırılmasıdır ki bu durumda maliyet oldukça yüksek olabilmektedir. Üçüncü bir yöntem ise zemin içerisine çimento, kireç, mermer tozu, uçucu kül gibi çeşitli kimyasal maddeler katılarak zemin özelliklerinin iyileştirilmesidir. Kimyasal stabilizasyonda kullanılan kireç orta, ince ve çok ince daneli zeminlerle reaksiyona girerek plastisitenin düşmesine, işlenebilirliğin artmasına, şişmenin azalmasına ve mukavemetin artmasına neden olmaktadır. Zemin sınıfı, CH, CL, MH, ML, ML-CL, SC, SM-SC, SM, GC, GM-GC, GM olan ve silt, kil içeren ince gradasyonlu zeminlerin kireç ile stabilize edilerek ıslah edilmeleri mümkündür. Dolayısıyla kireç stabilizasyonu killi zeminlere uygulanan bir metottur amacı zeminin deformasyona olan direncini arttırmaktır. Mermer tozunun killi zeminlerde kirece benzer bir iyileştirme yaptığı yapılan literatür taramasından bilinmektedir [Okagbue & Onyeobi, 1999]. Dolayısıyla mermer sanayinde meydana gelen toz atıkları killi yol alt yapılarında kimyasal stabilizasyon malzemesi olarak hızlı bir şekilde değerlendirilmesi suretiyle çevre kirliliğinin azaltılması ve bu atıl malzemenin ekonomiye bir inşaat malzemesi olarak kazandırılması sağlanabilir

Mermer tozunun filler katkı malzemesi olarak kullanıldığı bir diğer yapı malzemesi de betondur. Yapılan araştırmalar beton üretiminde ince malzeme oranının yaklaşık % 10'nun mermer tozu ile değiştirilmesi halinde basınç dayanımında belirli bir artış olduğunu göstermiştir [Ünai vd., 2003].

Mermerin gerek üretimi sürecinde gerekse işleme tesislerinde işlenmesi sürecinde açığa çıkan iri boyutlu parça mermer atıkları, belirli bir boyuta kırıldıktan sonra farklı kullanım alanları bulabilmektedir. Bunlar beton ve asfalt karışımlarda agrega, yol zemini ve baraj inşaatlarında dolgu malzemesi, suni mermer plağı, karosiman ve bir mermer süsleme sanatı olarak antik taş yapımında kullanılmaktadır. Betonda basınç dayanımını belirleyen önemli özelliklerden biriside agregaların özellikleridir [Şentürk, 1996]. Mermer kökenli agregaların aşınma ve dane dayanımlarının düşük olmasının bilinmesine karşın belirli beton sınıflarında mermer kökenli agregalar kullanılabilmektedir. Özellikle mermer ocaklarında açığa çıkan mermer parça atıklarının agrega olarak değerlendirilmesi ile ilgili özel girişim örnekleri Afyon çevresinde görülmektedir. Bu sayede doğal kaynakların korunması sağlandığı gibi aynı zamanda atık azaltılması ve faydalanılması gerçekleştirilmiş olur.

Asfalt yüzey kaplamasında kullanılan malzemenin % 90 dan fazlasını agregalar teşkil eder. Bu nedenle yol dizayn hayatı boyunca agregalar büyük rol oynarlar. Farklı yol katmanlarında farklı agrega özellikleri aranır. Yollardaki aşınma tabakası (en üst tabaka) yol güvenliği açısından en önemli parametrelerden birini oluşturur. Yolun servis süresini güvenli bir şekilde tamamlaması için, kullanılan agregaların sürtünme katsayılarının yüksek olması ve servis ömrü boyunca cilalanmaya karşı yüksek dayanım göstermesi istenir. Bunu sağlamak için asfalt karışımlarda kullanılan agregaların yüksek dayanımı olması en çok arzu edilen özelliklerdendir. Bununla beraber ülkemizde bol miktarda bulunan kalker türü mineraller (bir tür mermer) yüzey kayma tabakasında kullanılmaktadır. [Akbulut & Güner, 2003]. Cilalanma direncinin düşük olmasından dolayı sürtünme tabakasında kullanılması şartnamelerle sınırlansa da asfalt kaplamalardaki bir alt tabaka olan binder tabakasında kullanılabilmektedir. Özellikle ağır trafiğe maruz olmayan şehir içi yollarda, köy yollarında kullanılması suretiyle

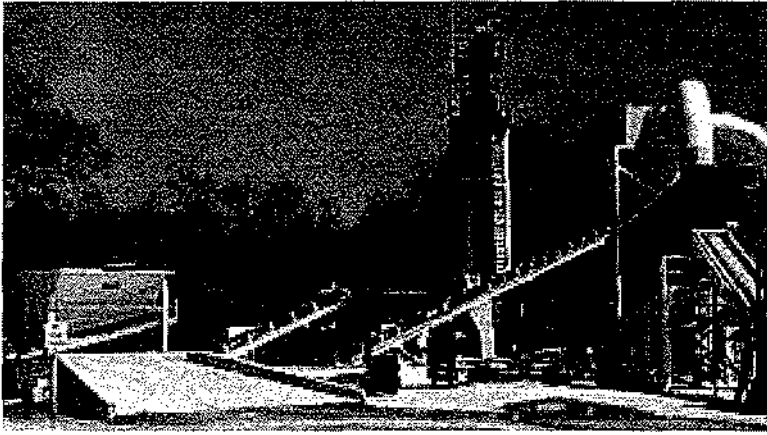
mermer parça atıklarının hızlı bir şekilde tüketilmesi sağlandığı gibi ekonomik bir agregaya kaynağı da elde edilmiş olacaktır.

2.3. Asfalt'ta Geri Dönüşüm

Ne yazık ki ülkemizde şu an için yaygın olarak kullanılmayan fakat Avrupa'daki birçok ülkede ve Amerika'da sıkça kullanılan geri dönüşüm uygulamalarından birisi de asfalt geri dönüşümüdür. Son yıllarda petrol ürünlerin fiyatındaki büyük artış, kaliteli agreganın temininin güç olması asfalt kaplamalardaki malzemelerin

yeniden değerlendirilmesine olan ilgiyi oldukça artırmıştır. Bu uygulamanın önemli bir avantajı da yeni kaplamalarda özellikle şehir içi yollarda büyük problem olan kot artmalarını engellemesidir.

Geri dönüşüm işlemleri kaplamanın kazınıp santrale götürüldükten sonra, yeniden işleminden geçirilip tekrar kaplama malzemesi haline dönüştürülmesiyle veya aynı sıcak veya soğuk karışım asfalttaki gibi özel ekipmanlar kullanmak suretiyle, yerinde kaplamayı kazıma, gençleştirme ve yeniden kaplamanın serilmesi şeklinde gerçekleştirilir.

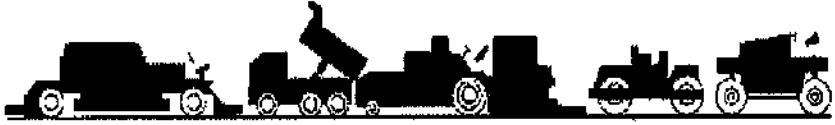


Şekil 3. Bir Asfalt Geri Dönüşüm Santrali.

Eski kaplamaların ıslah edilmesinde iki ana yöntem kullanılır. Yaygın yöntem, kaplamanın kesici dişli buldozer ekipmanı ile veya beko ile kırılması ve asfalt santraline taşınarak 38 mm veya daha küçük boyutlara sahip granüler malzeme haline dönüştürülmesidir. Bununla birlikte yerinde öğütme metodu daha üstün bulunur. Eski kaplama uygun derinlikte kazınarak istenen boyuta düşürülür. Kazıma derinliği şartnamelerin müsaade ettiği sınırlara göre, verilmesi gereken enine eğime göre değişiklik gösterir, böylece teker izi ve diğer kaplama hasarlarına karşı önlem alınmış olunur. [Atkins & Harold, 1997].

Genellikle asfalt geri dönüşüm santrallerinde % 70 oranında geri dönüştürülmüş malzeme kullanılarak

üretim yapılır. Yani agregaya hızlı bir şekilde ısıtıldıktan sonra, geri dönüştürülmüş malzeme yeni malzemeye yarı yarıya bir oranda eklenerek sıcak gazlarla tekrar ısıtılır. Farklı bir tankta yeni asfalt eklemek suretiyle karışım tamamlanır. Sonuçta elde edilen karışım asfalt çimentosunun kalite açısından orijinale yakın olmalıdır. Şekil 3'de bir asfalt geri dönüşüm santrali görülmektedir. Santralde karıştırılmış geri dönüşüm asfaltlarda aynı yeni asfalt betonu gibi Marshall ve Hveen karışım dizayn metodları uygulanır. Yaklaşık % 4-1,5 oranında yeni asfalta ihtiyaç vardır. Buda yeni malzeme açısından % 4-7 arasında tasarruf anlamına gelmektedir. Yeni asfalt, AC 10 (pen 85-100) yerine AC 5 (pen 120-150) gibi, eskisine nazaran daha yumuşaktır.



Şekil 4. Yerinde Asfalt Geri Dönüşüm Ekipmanları (Tren Operasyonu).

Yerinde asfalt geri dönüşüm uygulaması; yerinde sıcak karışım, yerinde soğuk karışım olmak üzere ikiye ayrılır, fakat uygulama çok küçük farklar dışında benzerlik gösterir. Sıcak karışımında eski asfaltta yumuşatma yapılırken soğuk karışımında eski asfaltta doğrudan yumuşatma yapılmaz. Yerinde sıcak karışımında sırasıyla şu işlemler yapılır:

- Eski kaplama enfraruj ısıtma yöntemi ile ısıtılır.
- Isıtma işleminden sonra 25-50 mm arasında değişen derinliklerde kazıma yapılır.
- Malzeme mikserle yerleştirilerek yeniden gençleştirici maddeler (asfalt emülsiyonu, hafif yağ v.b.) eklenir, karışım istenen kıvama eriştikten sonra serme ve sıkıştırma işlemleri yapılır. Yeni malzemeye istenirse işlenmemiş malzemede eklenebilir.

Yerinde geri dönüştürülmüş kaplama daha sonra istenirse yeni bir sürtünme tabakası ile kaplanarak, emülsiyondan sonra küre bırakılır. Bu yöntemle üretilen kaplamalar oldukça ekonomiktir ve bu yöntem yansıma çatlaklarına karşı dirençli bir rehabilitasyon yöntemidir. Yöntemin uygulaması esnasında trafik kesintisi çok az sürer ve sıkıştırma işleminden 1 saat sonra yol trafiğe açılabilir. Bununla birlikte bu yöntem hafif trafik hacimli yollar için önerilir. Şekil 4'de yerinde asfalt geri dönüşüm ekipmanlarının şematik çalışma düzeni görülmektedir. Yerinde geri dönüşüm metodu, karışım dizayn metodları kadar yaygın değildir, bununla birlikte kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır.

2.4 Ahşap'da Geri Dönüşüm İmkânları

Ahşap en eski yapı malzemelerinden biridir. İnşaatlarda kullanılan malzemeler arasında kaynağı yenilenebilen tek malzemedir. Betonarmenin bulunmasının ardından önemini büyük ölçüde yitirmiş olan bu malzeme (en azından Türkiye'de), şimdilerde betonarme elemanlarının oluşturulmasında geçici işler dediğimiz kalıplıklıkta

kullanılmaktadır. Betonarme inşaat maliyetinin %70'i kalıplara gitmektedir. Ülkemizde kalıp sistemi olarak geleneksel kalıplar ağır bastığından ahşap tüketimi bir kat daha artmaktadır; çünkü geleneksel kalıp sisteminde kullanılan çam kerestelerde düz tahtanın ömrü ortalama üç, kadrınların kullanımı ise beş tir [Kırklü & Ergün, 2001].

Betona kalıplık yapma görevini tamamlayan tahtalar daha sonra yakacak olarak kullanılmaktadır. Yani bu atık malzemeyi değerlendirme de geri dönüşüm değil, geri kazanım yöntemi uygulanmaktadır. Peki ülkemizde kullanılan bu geri kazanım yöntemi ile ne kadar bir kazanç sağlanmaktadır? Geleneksel olarak uygulanan üç tane taşın üzerine oturtulmuş tencere gibi bir şekil düşünülecek olursa o şartlar altında yakılmakta olan odunun enerjisinin ancak yüzde onundan yararlanılır. Bunun yanı sıra karbon monoksit, parçacıklar ve kansere neden olan çeşitli maddeler açığa çıkmaktadır. Geri kazanım yönteminin daha gelişmiş yöntemi Avrupa'da uygulamaya geçmiştir. 1994 yılı kışında Finlandiya'daki Ahlstrom mühendislik firması ile Sydkraft adlı İsveç Elektrik Kurumu İsveç'in güneyindeki Varnamo Kasabası'nda yeni bir ısıtma tesisini devreye sokuyorlardı. Burada en son jet teknolojisi kullanılmakla beraber enerji kaynağı olarak yarım milyon seneden beri mevcut bir olanaktan yararlanılmaktaydı. Odun Varnamo tesisinde odun gaz haline getirilip bir jet motorunda yakılmakta ve böylece 6 megavatlık elektrik ve şehrin merkezi ısınması için 9 megavatlık enerji meydana getirilmekteydi. Bu sayede odunun içindeki enerjinin yüzde sekseni binaların ısıtılması, aydınlatılması ve motorların çalışması için kullanılmakta ve bu arada atmosfere hiç küllük salınmamakta ve çıkan karbondioksit, kesilen ağaçların yerine ekilenlerin geri alabilecekleri kadar olmaktaydı.

Varnamo tesisi, en eski enerji kaynağını yirminci yüzyıla taşıyan yeni teknoloji kuşaklarının bir ürünüydü. Makine Mühendisliği, biyoteknoloji ve

ormancılık değişik bitkilerden sıvı ve gaz yakıt olarak yararlanma olanaklarını ekonomik bir biçimde sağlamakta ve buradan da elektrik elde edilmektedir. Biyokütle enerjisi teorik bir potansiyele sahipse de, pratikte ne kadar başarılı sonuçlar vereceği belirsizdir. Bazı uzmanlar dünya üzerindeki tarımsal ve ormansal kaynaklar sayesinde biyokütlenin yirmi birinci yüzyılın enerji ekonomisinin temelini oluşturacağını ileri sürmektedir. 1992 yılındaki Çevre ve Kalkınma Konferansı (Conference on Environment and Development) için Birleşmiş Milletler tarafından hazırlanmış bir çalışma özellikle bu amaca dönük bir şekilde yetiştirilmiş bitkiler sayesinde 2050 yılı civarında bugünkü dünya enerji gereksiniminin %55'i kadarının karşılanabileceğini ortaya koymuştur. Buna benzer vizyonların gerçekleşmesi tarım yapılacak arazinin, suyun ve gübrelerin sağlanabilmesine bağlıdır. Önümüzdeki senelerde ise bu konularda sıkıntılar yaşanmasının beklendiğini unutmamak gerekir [Flavin & Lenssen, 1996].

Avrupa Birliği'nin yeni belirlemiş olduğu hedefler ve tanımlardan yola çıkarak doğru uygulandığında geri kazanımın iyi bir yöntem olduğu gözükse de, en iyi geri kazanımın geri dönüşüm olduğu da belirtiliyor. Bu sebeple inşaatta kullanılan ahşapların yeniden değerlendirilmesinde geri dönüşüm yöntemlerinin araştırılması gerekmektedir. Bu noktada aklı ilk gelende kağıt ve karton üretimidir. Bildiğiniz üzere kağıt hammaddesi olan selüloz üretimi proses gereği kimyasal bir üretilir. Bu nedenle kullanılmış ahşap kalıpların kullanımı üzerlerindeki beton artıklarından arındırılmak kaydıyla inşaatlarda kullanılan tahta kalıplardan kağıt üretilebileceği düşünülebilir. Kavak ağacı, eski kağıtlar, paçavralar ve buğday, arpa, ay çekirdeği sapı gibi yıllık bitkiler bile kağıt üretiminde kullanıldıktan sonra kalıp tahtası niçin kullanılmasın? Üretilen kağıt, kullanılan odunun kalitesiyle yakından ilgili olduğu için, inşaat kalıplarındaki ahşap malzemenin niteliği üretilecek kağıdın niteliğini derinden etkileyecektir. Ancak, bu konuda öğrenmemiz gereken bir şey var. Beton üretiminde kullanılan malzemeler tahtanın kimyasal yapısını (lif özelliklerini) olumsuz etkiler mi? Bu konuda araştırmalar yapılmalı ve verimlilik noktasında en etkili yöntem hayata geçirilmelidir.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

- Kaynaklarımızın sınırlı olduğu dünyamızda geri dönüşüm uygulamalarının özellikle inşaat sektöründe potansiyel bir hammadde kaynağı olduğu unutulmamalıdır.
- Dünyadaki en büyük hammadde ihtiyacı olan sanayilerin başında inşaat sektörü gelmektedir. Dolayısıyla geri dönüşümden; enerji, hammadde tüketilmesinin azaltılması, atık sınırlandırması ve faydalanılması bakımından en büyük oranda yarar sağlanacak sektör inşaat sektörüdür.
- Meydana gelen atık bakımından hammaddenin en hor kullanıldığı inşaat sanayilerinden birisi mermercilik sektörüdür. Mermer atıkları etkin bir şekilde inşaat sanayisinde değerlendirilerek ekonomik olarak geri kazanılmalı ve çevresel zararları azaltılmalıdır.
- Ülkemizde beton kaplamaların yollarda henüz yaygın bir şekilde uygulama bulmamasına karşın, bu tür rijit kaplamaların kullanıldığı ülkelerde beton agrega geri dönüşüm (RCA) uygulamaları çok sık kullanılmaktadır. Elde edilen ekonomik kazanç ve hammadde miktarı düşünüldüğünde bu tür kaplamaların ülkemizde de kullanılmaya başlanmasıyla beton agrega geri dönüşümü gündemdeki konulardan biri olacaktır.
- Ülkemizde yaygın olarak uygulanmayan fakat dünya'da en çok geri dönüşümü yapılan malzemelerin başında yer alan asfalt malzemesi bizim gibi petrol ürünlerinin çok pahalı olduğu ve şehir içi yol kaplamalarının % 100'ü asfalt kaplama olan ülkelerdeki yerel yönetimler tarafından hızla uygulamaya geçilmesi gereken bir geri dönüşüm yöntemidir.
- İnşaatlarda kullanılan ahşap malzemeler alternatif malzemelerle kıyaslanıp karlı ve uzun ömürlü olanları tercih edilmelidir.
- Ülkemizde orman gençleştirme politikalarının yetersizliği ve bunun yanı sıra orman vasfını yitirmiş arazilerin satışı konusundaki çalışmalar; mevcut kaynakların plansız kullanılması ülke geleceği için ciddi sıkıntılar doğuracaktır.
- İnşaat sanayindeki atık ve artık konuları iyi değerlendirilmeli ve bunların verdiği ekonomik ve çevresel kayıplar en aza indirilmeye çalışılmalıdır.

KAYNAKLAR

- ÇEVKO, Kadıköy İstanbul, Entegre Atık Yönetimi Ve Geri Kazanım, Çevre Koruma ve Ambalaj Atıkları Değerlendirme Vakfı, Cenap Şahabettin Sokak No 94 Koşuyolu.
- Akbulut, H. & Güler, C., 3 Haziran 2003. *Recycle-Geri Dönüşüm*, 5 Haziran Dünya Çevre Günü Etkinlikleri, Afyon Ticaret ve Sanayi Odası, Afyon, Türkiye.
- Akbulut, H. & Güler, C., 2003. *Mermer Atıklarının Çevresel Etkileri ve Yol Katmanlarında Tekrar Kullanım İmkanları*, Türkiye IV. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 18-19 Aralık 2003, Afyon
- Sagoe-Crentsil, K. & Brown, T., 1998. *Guide for Specification of Recycled Concrete Aggregates (RCA) for Concrete Production-Final Report*, CSIRO, Building, Construction and Engineering, Victoria, Australia.
- Little, N.D. & Epps, J.A., 2001. *The Benefits of Hydrated Lime in Hot Mix Asphalt*, National Lime Association, USA
- Terzi, S. & Karasahin, M., 2003. *Mermer Toz Atıklarının Asfalt Beton Karışımında Filler Malzemesi Olarak Kullanımı*, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Teknik Dergi, Cilt 14, Sayı 2.
- Çetin, A. & Tuncan, M., 1997. *Endüstriyel Atıkların Asfalt Beton Kaplama Karışımında Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir
- Şentürk, A., Gündüz, L., Tosun, Y.İ. & Sarıışık, A., 1996. *Mermer Teknolojisi*, S.D.Ü., Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Isparta
- Zorluer, İ. & Usta, M., 2003. *Zemimlerin Atık Mermer Tozu ile İyileştirilmesi*, Türkiye IV. Mermer Sempozyumu, Afyon Kocatepe Üniversitesi, 18-19 Aralık 2003, Afyon
- Okagbue, C.O. & Onyeobi, T.U.S., 1999. *Potensial of marble dust to Stabilise Red Tropical Soils For Road Construction*, Engineering Geology, Elsevier Science, Vol:53, pp 371-380.
- Ünal, O., Demir, İ. & Ergün, A., 2003. *Mermer Tozu (Havuz Çökeltisi) Atıklarının Beton Üretiminde Kullanılmasının Araştırılması*, AKÜ Bilimsel Araştırma Projeleri
- Atkins, Harold, N., 1997, Upper Saddle River, New Jersey, Columbus, Ohio, *Highway Materials, Soils and Concretes*, Third Edition, ISBN: 0-13-212862-4, Prentice Hall.
- Kürklü, G. & Akbulut, H., 2004. *Tüm Yönleriyle Beton ve Betonarme Kalıpları*, Teknik Yayınevi, Ankara.
- Flavin, C. & Lenssen, N., 1996. *Enerjide Arayışlar*, TEMA Vakfı Yayını No:12.
- Tunç, A., 2001. *Yol Malzemeleri ve Uygulamaları*, Atlas Yayınevi, ISBN:975-6574-003, Temmuz 2001, İstanbul.
- web site, www.agc.org
- web site, www.matbaaturk.org

Söğüt (Bilecik) Civarındaki Alkalili Hammaddelerin Yer-Duvar Karosu Masse Hammaddesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması

K. Kayacı, H. Kaşıkçı, M. Çifçi & B. Aylakçı

Termal Seramik Sanayi ve Tic. A.Ş. Söğüt, Bilecik

ÖZET: Bu çalışmanın amacı, Söğüt (BİLECİK) civarındaki Alkalili hammaddelerin Yer-Duvar karosu bünyelerinde kullanılacak özelliklerde olup – olmadığını belirlemek olmuştur. Alınan örnekler üzerinde gerekli olan deneysel çalışmalar yapılarak çamur ve pışme özellikleri belirlenmiştir. Belirlenen özelliklere uygun olarak yer ve duvar karosu bünyelerinde Alkalili Hammaddelerin plastik ve flux olarak hangi oranlarda kullanılabileceği saptanmıştır.

ABSTRACT: To aim of this study is to determine the properties of the raw materials from Söğüt (BİLECİK) region and to decide whether or not Alkaline containing raw materials are suitable as a raw material for wall- floor tile production. The various samples were taken from the selected areas for our study. The necessary experiments have been carried out with the samples and the slurry and firing properties were determined. At the last stage of the study, in the bodies of floor and wall tile, we realized that in what proportion the usability of Alkaline containing raw materials are as a plastic and fluxing agent.

1. GİRİŞ

Alkalili hammadde dendiğinde; bünyesinde K_2O , Na_2O , CaO bileşikleri içeren hammaddeler aklımıza gelmektedir. Bunların asıl kaynağı feldspatlardır. Feldspatlar tabiatta saf halde bulunmazlar. Değişik minerallerle bir arada bulunarak seramik sanayi için gerekli olan alkalili hammadde kaynaklarını oluştururlar.

Seramik ve cam sektörü için feldspatların ve alkalili hammaddelerin ergime derecelerinin büyük önemi olup yer ve duvar karosu bünyelerinde diğer birlikte bulundukları hammaddeleride etkileyerek pışme ve ergime derecesinin düşmesini sağlamaktadırlar (Sacmi, 2002; Dondi, 1994 ; Sanchez ve ark., 1990; Kırıkoğlu, 1994).

İnceleme alanı Bileciğin – Söğüt ilçesi sınırları içerisinde yer almaktadır. Söğüt Bölgesi Türkiye de Seramik hammadde üretiminin yapıldığı en önemli yerlerden biridir. İnceleme alanı içerisinde Alkalili hammadde olarak adlandırılan malzemelerin

sınıflandırılmaları, nitelik ve nicelikleri üzerine ayrıntılı bir çalışma yapılmamıştır .

Bu çalışmanın amacı Söğüt-BİLECİK Alkalili hammaddelerin nitelik ve niceliklerini ayrıntılı olarak belirleyip seramik sektöründe potansiyel bir hammadde olarak kullanım olanaklarını araştırmaktır.

İnceleme alanında temeli paleozoik yaşlı metamorfik gnays ve migmatitler oluşturmaktadır. Bu metamorfikler üzerine Granit ve Granodiyorit bileşimli derinlik kayaları gelmiştir. Daha sonra bölgeye senomiyen yaşlı genç volkanikler gelmiştir. Riyolit- Riyodasit ve Andezit bölgedeki volkanik birimleri oluşturmaktadır (Noruyuki ve ark., 1995; Gençoğlu ve ark., 1989).

Çalışma alanında alkalili hammaddeler olarak adlandırdığımız kayalar aslında Granit-Granodiyorit bileşimli kayaların atmosferik şartlar altında ve hidrotermal etkilerle alterasyonu sonucu oluşmuşlardır. Granit-Granodiyorit bileşimli bu

kayaçların feldspatça zengin bazı kesimleri yıkanarak kaolinize olmuştur.

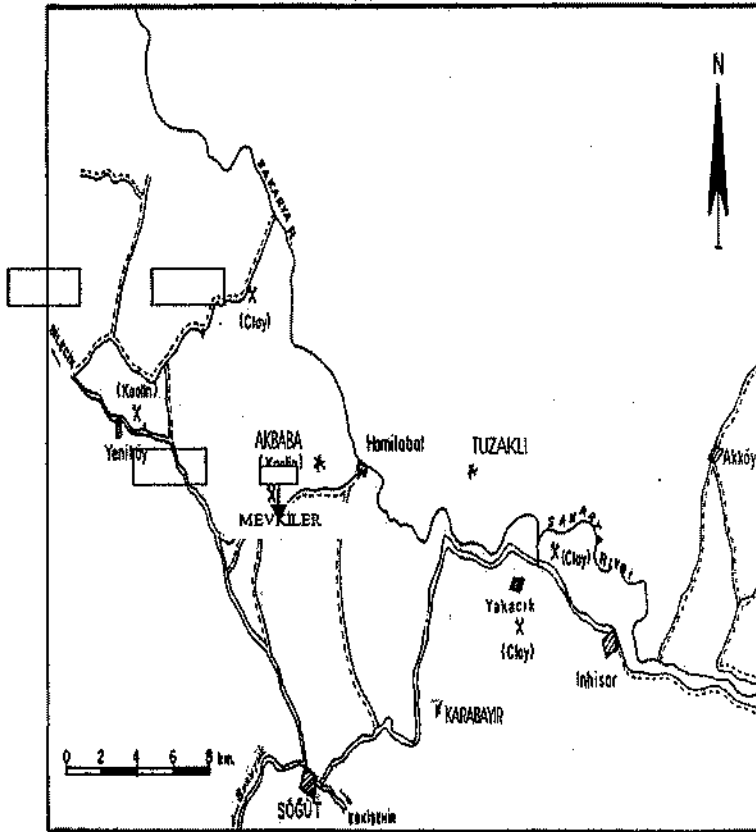
2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada kullanılan Alkali hammaddeler Söğüt-BİLEÇİK bölgesinde faaliyet gösteren yerel madencilik firmalarına ait ve farklı şirketlerin Yer-Duvar kerosü bünye reçetelerinde kullanılan hammaddelerdir (Harita 1).

Mevki isimleri geçen bölgelerden dörtleme ve harmanlama metodu ile alınan 10 kg. malzeme iri ve ince kırıcıdan geçirilmiştir. Kırıcıdan geçirilen malzemelerin 1'er kg'ı yaş etek analizine ayrılmıştır. (Çizelge 4, Şekil 2) Geri kalan kısmı ise Termal Seramik Ar-Ge laboratuvarında sulu olarak Alumina bilyalı jet değirmenlerde 40 dak.

Öğütülerek 63 mikron elekten geçirilmiştir. Bu çamurdan alkalili hammaddelerin çamur özellikleri olan yoğunluk, viskozite değerleri belirlenmiştir (Çizelge 5). Daha sonra bu çamur tepsilere alınarak Etüvlerde kurutulmuş, 1 mm'lik elekten elenmiş ve 5-6 rutubetlendirilerek Gabrielli marka lab. Presinde 300 kg/cm²'lik spesifik sıkıştırma ile 5 x 10 cm'lik tabletler halinde şekillendirilmiştir. Bu tabletlerden kurutma mukavemetleri ölçülmüştür. Röleli İşletme fırınlarında 1200 / 34 ile 1170 / 34 dakikalarda pişirilen 5 x 10 cm'lik numuneler Boy (mm), Çekme (%) ve Su Emme (%) testlerine tabi tutulmuştur. Daha sonra bu tabletlerin Minolta CR-300 model cihaz ile renk ölçümleri yapılmış L a b koordinatları alınmıştır (Çizelge 6).

Aynı zamanda bu malzemelerin Kimyasal-Rasyonel ve X Işınları Difraksiyon (XRD) metodu ile mineralojik analizleri yapılmıştır (Çizelge 1-2-3).



Harita1. Mevkilerin yerbulduru haritası.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Söğüt-BİLECİK bölgesi pegmatitlerinin karakterizasyonu ve seramik yer-duvar karosu bünyelerinde kullanılabilirliği için yapılan analiz ve deneyler ile bunların sonuçları şöyledir.

1- Tüm Alkalili hammaddelerin Kimyasal ve Rasyonel Analiz sonuçları irdelendiğinde SiO_2 - Al_2O_3 ve Alkali ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) değerleri toplamının % 94'ün üzerinde olduğu ve Al_2O_3 yüzdesinin 14,95 - 16,45 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Fe- Mg - Ca Oksit değerleri düşüktür. Rasyonel analiz değerleri irdelendiğinde ise en fazla feldspat minerali içerenin Akbaba'ya en fazla kil minerali içerenin ise Karabayı mevkiinden alınan numuneye ait olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 1. Akbaba, Tuzaklı ve Karabayı Alkalili hammaddelerin Kimyasal ve Rasyonel Analizleri.

NUMUNE ADI	AKBABA MEVKİİ	KARABAYIR MEVKİİ	TUZAKLI MEVKİİ
SiO_2	76.08	73.25	72.92
Al_2O_3	14.95	16.45	15.86
Fe_2O_3	0.38	0.65	1.01
TiO_2	0.04	0.45	0.40
CaO	0.82	0.31	0.21
MgO	0.01	0.16	0.17
Na_2O	4.82	2.05	1.01
K_2O	1.12	2.50	3.32
K.K.	1.18	4.35	5.1
RASYONEL AN.			
KİL Min.	13.04	26.22	26.10
S. Kuvars	35.44	39.68	41.87
Na-Feldspat	40.74	17.33	14.97
K-Feldspat	10.17	8.54	19.64

EUROFEL'in (Avrupa Feldspat Üreticileri Derneği'nin) Web sayfasında bulunan Feldspat ürünleri terminolojisi başlıklı yayımdaki grafikten'de anlaşılacağı üzere şu anda incelediğimiz malzemelerin Feldspatik kum olduğu anlaşılmaktadır. Çünkü bir malzemeye felspatik kum denilebilmesi için Alkali içeriği $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ % 6'dan küçük veya Al_2O_3 içeriği % 8'den küçük olmalıdır (Şekil 1).

Çizelge 2'de anlaşılabileceği üzere bu hammaddeler Yer-Duvar Karosu Masselerinin kimyasal analizleriyle uyum içerisindedirler.

Çizelge 2. Duvar-yer karosu bünyelerinin kimyasal analizleri, Sacmi 2003.

Bileşim	DK. BÜNYE (%)	YK. BÜNYE (%)
SiO_2	65-70	65-72
Al_2O_3	13-18	16-23
$\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$	2-4	4-6
CaO	3-6	0,5-1,5

■ AKBABA M. □ KARABAYIR M. ■ TUZAKLI M.

Şekil 1. Eurofel'in feldspat sınıflaması.

2- Akbaba, Karabayı ve Tuzaklı Alkalili hammaddelerine ait X Işınlı Difraktogramları (XRD) ile elde edilen mineralojik bileşimler Çizelge 3'te görülmektedir.

Çizelge 3. Alkalili hammaddelerin XRD ile elde edilen mineralojik bileşimleri.

NUMUNE ADI	MİNERALojİK BİLEŞİM
Akbaba M.	Kuvars, Feldspat, Kaolinit, İllit
Tuzaklı M.	Kuvars, Feldspat, Kaolinit, İllit, Montmorillonit
Karabayı M.	Kuvars, Feldspat, Kaolinit, İllit

Çizelge 3'de anlaşılabileceği üzere Alkalili hammadde örneklerinin mineralojik bileşimi sırasıyla Kuvars, Feldspat, Kaolinit, İllit ve Montmorillonit şeklindedir.

Bu mineralojik bileşimler Kimyasal-Rasyonel analiz sonuçları ile uyum içindedir.

3- İri ve ince kırıcıdan geçmiş olan Alkalili hammaddeler Yaş elek Analizine tabi tutulmuşlardır. Yaş Elek analizlerine göre en sert malzeme Tuzaklı en yumuşak malzemenin ise

Karabayı mevhisinden alınan numunelere ait olduğu görülmektedir. Ayrıca Malzemelerin ortalama tane boyutları sıralandığında;

$D_{Karabayı} < D_{Akbaba} < D_{Tuzaklı}$ olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4; Şekil 2).

Çizelge 4. Alkalili hammaddelerin yaş elek analizleri

Elek Açıklığı (mikron)	Akbaba Mevkii			Karabayı Mevkii			Tuzaklı Mevkii		
	%Ağ.	%EA	%EÜ	%Ağ.	%EA	%EÜ	%Ağ.	%EA	%EÜ
+3000	1.96	100	1.96	2.15	100	2.15	1.77	100	1.77
-3000+2000	17.9	98	19.9	13.8	97.9	16	18	98.2	19.9
-2000+1000	19.6	80.2	39.4	21.2	84.1	37.1	22.2	80.3	41.9
-1000+600	13.8	60.6	53.2	15.4	62.9	52.5	11.7	58.1	53.6
-600+250	14.2	46.8	67.4	12.5	47.5	65	10.4	46.4	64
-250+125	6.26	32.6	73.7	9.13	35	74.1	3.37	36	67.4
-125+63	2.89	26.3	76.6	5.34	25.9	79.4	3.25	32.6	70.6
-63	23.5	23.5	100	20.6	20.5	100	29.6	29.6	100

4- Alkalili hammaddelerin çamur özellikleri incelendiğinde 63 mikron üzeri bakiye % 4,0 olduğunda yoğunluk değerleri 1600 gr/l civarında sabitlendiğinde Akma zamanlarında önemli bir değişiklik gözlemlenmemiştir. Akma zamanının 20 sn.'lerde olması seramik üretiminin yapıldığı yerlerde kabullenilebilecek bir değerdir (Çizelge 5).

Çizelge 5. Alkalili hammaddelerin çamur özellikleri

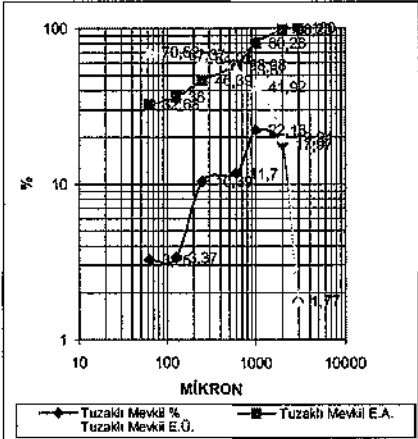
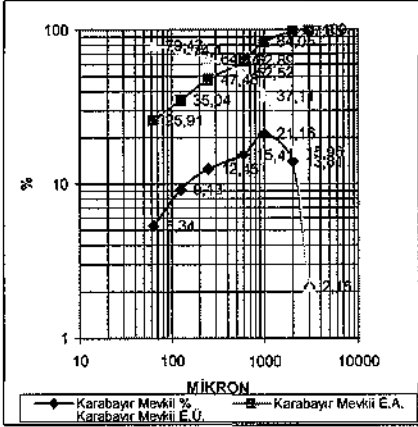
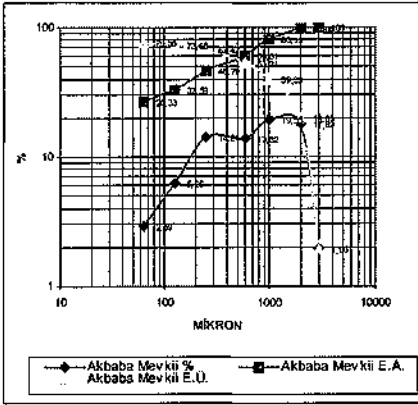
NUMUNE ADI	AKBABA MEVKİİ	KARABAYIR MEVKİİ	TUZAKLI MEVKİİ
Yoğunluk (gr/l)	1620	1620	1620
Akma Zamanı(sn)	20	22	21
Elek Bakiye (63 mik.)	4.0	4.1	4.0

5- Hammaddelerin pişme ve renk özellikleri incelendiğinde çekmesi en fazla ve su emmesi en düşük olan hammaddenin Karabayı'ya ait olduğu görülmektedir. En düşük çekme ve En yüksek Su emme Tuzaklıya aittir. Renk L değeri olarak ise en beyaz pişen Tuzaklı en koyu pişen ise Akbaba mevhisine ait olan hammaddedir.

Hammaddeler bu pişme özellikleriyle Yer ve Duvar Karosu masseleri içinde % 10-20 oranında kullanılabilir hammaddeler grubuna girmektedirler. Özellikle Karabayı mevhisine ait olan Alkalili hammadde pişme ve renk özellikleriyle hazır bir masse gibi karşımızda durmaktadır.

Çizelge 6. Alkalili hammaddelerin pişme özellikleri

NUMUNE ADI	Akbaba Mevkii		Karabayı Mevkii		Tuzaklı Mevkii	
	1170/34	1200/34	1170/34	1200/34	1170/34	1200/34
BOY (MM)	108,9	108.5	108,65	107.3	108,45	108.0
ÇEKME (%)	1,00	1.30	1,23	2.45	1,41	1.8
SU EMME (%)	12,00	11.20	10,17	8.30	10,00	9.7
L	71,50	71.00	83,11	76.78	79,81	77.50
RENK a	7,58	5.00	4,09	3.40	6,11	6.00
b	11,09	9.00	10,42	10.12	10,52	9.00
Kuru Muk. (n/mm ²)		3.0		3.0		2.5



Şekil 2. Alkalili hammaddelerin toplam elek altı-üstü ve nominal dağılımları

4. ÖNERİLER

- Söğüt Yöresi Alkalili hammaddelerin Jeolojik-Mineralojik incelemeleri yapılarak görünür rezervleri tespit edilmelidir.
- Bu Alkalili hammaddelerin Yer-Duvar Karoları masselerde kullanımının ekonomik analizi yapılmalıdır.
- Yörede benzer özellikteki diğer alkalili hammaddeler içinde aynı araştırmalar yapılmalıdır.

KATKI BELİRTME;

Bu çalışmanın başından beri her türlü maddi ve manevi desteklerini bizlerden eksik etmeyen Termal Seramik Yönetim kurulu Başkanımız Sayın Mehmet Oğuzman'a teşekkürü bir borç biliriz.

KAYNAKLAR

- Sacmi, 2002. Applied Ceramic Technology. Imola/Italy.
- Dondi, M., 1994. *Compositional Parameters to Evaluate Feldspathic Fluxes for Ceramic Tiles*, Tile&Brick İnt. 10: 77-84.
- Sanchez, E., Garcia, J., Sanz, V., et.al., 1990, *Raw Material Selection Criteria for the Production of Floor and Wall Tiles*, Tile&Brick İnt. 6: 15-21.
- Fujii, N., Kayabalı, İ., Saka, A.H., 1995, *Data Book of Ceramic Raw Materials of Selected Areas in Turkey*, MTA., Monography Series., no: 1, 41-47.
- Gençoğlu, H., Bayhan, H., 1989, *Lithofacial properties of Neogene Basins of The Yeniköy-Küre-Çaltı (Söğüt-BİLECİK) Region and geological evolution*, H.Ü., Yerbilimleri Dergisi, 15, 75-87.
- Kırıkoğlu, M.S., 1994. *Turkey's Raw Material Deposits for Ceramic Wall and Floor Tiles*, Tile&Brickİnt. 10: 169-173.

Eurofell, 2003. Feldspar Producers Community.

Batı Karadeniz Havzası Endüstriyel Hammadde Kaynakları ve Değerlendirilmesi

B. Haner

Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak

ÖZET:Batı Karadeniz Havzası, endüstriyel hammadde kaynakları bakımından büyük bir zenginlik göstermektedir. Ancak bu hammaddelerden gerektiği şekilde yararlanılmamaktadır. Diğer yandan az miktarlarda üretilen bu zenginliklerin efektif bir şekilde kullanılmadığı görülmektedir. Bölge Sanayisinin genel gidişi, maliyeti düşük olan dış kaynaklara yönelme şeklinde kendini göstermektedir. Bu tebliğde, havzanın endüstriyel hammadde potansiyeli ve özellikleri, sanayinin beklentileri ve mevcut durum ele alınacaktır.

ABSTRACT: The west black sea catchment-area has abundance in point of industrial stuff. Making use of this industrial stuff is not efficient. Otherwise it is seen that these abundancies that are produced as few quantities aren't used effectively. The general state of affairs of the region industry shows tendency to cheap foreign sources. In this manifesto will be deal with industrial stuff potential of the catchment-area, the expectations of industry and the existing conditions.

1.GİRİŞ

Havzada bilinen endüstriyel hammadde rezervleri, Maden Tetkik Arama Enstitüsü'nün ve ilgili kurumların yıllar süren araştırma, inceleme ve sayısız raporla harcanan emeğine göre, verimli bir şekilde,yeterince veya hiç değerlendirilmemektedir. Sorunlar tek yönlü olmayıp muhtelif boyutları bulunmaktadır. Serbest pazar ekonomisinin ortaya çıkardığı sorunlardan biri olan rekabet koşulları, globalleşme ile daha yoğun bir şekilde hissedilmektedir. Hiçbir destek alamayan özel sektör madencilik, bir yandan rüdvans kısılacı, öte yandan mekanizasyonun sağladığı düşük maliyetli dış pazar kaynaklarından dolayı ve mevzuat nedeniyle zayıflamakta, kabuk değiştirmektedir. Oysa özelleştirme genellikle devletin benimsediği bir politika olmasına rağmen, madencilikte yeterli bir alt yapıya ve sürekliliğe kavuşamamıştır. Bunun sonucu çoğu madencilikten anlamayan ve ilk yatırımı düşünmeyen müteşebbisler, rüdvansla aldıkları sahalardan yüksek kar uğruna ya kalitesiz

hammadde üretmekte ve bunu pahalıya satmaya çalışmakta; ya da aldıkları sahaları çok düşük randımanla çalıştırmaktadırlar. Havzadaki madencilik faaliyetleri ve bilhassa endüstriyel hammadde üretimi, ülkemizin diğer yörelerinde de görüldüğü üzere bu şekilde azalmaktadır. Endüstriyel hammadde üretimi için alınan ruhsatların azlığı, konuya duyulan ilgi düzeyinin yetersizliğini göstermektedir. Bunun önemli bir nedeni de, sanayicinin kaliteli hammadde talepleri ve küçük işletmecinin Dünya fiyatları ile rekabet edememesidir. Endüstriyel hammaddelerin üretimi, zenginleştirilmesi ve sanayinin taleplerine uygun hale getirilmesi yatırımı gerektirmekte, çoğu müteşebbis bu konuda risk almak istememektedir. Bu çalışmada , ülkemizin geleceğini etkileyecek bu kaynakların ve zenginliklerin, madencilik teknik ve kültürünün yaygın bir boyutta görüldüğü Batı Karadeniz havzasındaki dağılımı ve hangi sektörlerde değerlendirilebileceği ele alınacaktır. Şekil 1'de Havzanın raporlara yansıyan endüstriyel hammadde potansiyeli genel olarak görülmektedir.

2. BELLİBAŞLI OLUŞUMLAR

2.1. Şiferton

Şiferton, plastik olmayan refrakter bir kildir. Paleozoik zamanın Karbonifer devrinde kömürle birlikte oluşmuştur. Yeryüzünde, jeolojik seri olarak bir iki ülkede kalın tabakalar halinde rastlanır. Şiferton, ülkemizde de kalın damarlar halinde bulunmaktadır. Ateşe dayanıklı bir kil olması nedeniyle bilhassa ağır sanayimiz için ateş tuğlası yapımında kullanılmıştır. Kömür damarlarına bitişik olarak oluşan şiferton hakkında 1947 yılından bu yana bir çok araştırma yapılmış ve sonuçlar dönem dönem rapor haline getirilmiştir. Kömür stamplarında ve kuplarda genellikle şiferton bulunan yerler işlenmiştir (Haner, 1980).

Çizelge 1. Bölgelere göre saptanmış şiferton rezervleri (Haner, 1998)

Bölge Adı	Rezerv (ton)
1. Filyos Irmağının Batısı	
1.1 Kilimli-Karadon	6 185 130
1.2 Kırat	150 000
1.3 Ontemmuz	750 000
Toplam	7 085 130
2. Filyos Irmağının Doğusu	
2.1 Amasra-Gözü	1 500 000
2.2 Amasra-Tarlaazgı	10 000 000
2.3 Tarlaazgı-Gürlek	675 000
2.4 Azdavay	2 000 000
2.5 Bartın-Kazpınar	17 816 917
2.6 Kurucayı	5 000 000
2.7 Pelit Ovası	1 000 000
Toplam	37 991 917
Genel Toplam	45 077 047
Tahmini Rezerv	161 695 000

Çizelge 2. Mevcut şiferton içerikleri ve sanayinin istekleri (Haner, 2000)

İçerikler	Havzanın Üretilabilir Şifertonunda (%)	Sanayinin İsteklerinde (%)
% SiO ₂	41-53	50>
% Al ₂ O ₃	34-46	40<
% Fe ₂ O ₃	1-8	2>
Ateşte Zayıf	15-25	20>
SK	28-35	30<
Alkali Oksitler	0,3-0,1	0,8>

Tüm bu verilere dayanılarak bölgeler itibariyle saptanmış olan şiferton rezervleri Çizelge 1'de sunulmuştur. Ateş tuğlası yapımında kullanılan şifertonda istenmeyen maddeler demir oksitleri ve alkali oksitlerdir. Bu maddelerin sanayide kabul edilebilir oranları, eldeki hammaddeye göre kıyaslanmasa için Çizelge 2'de verilmiştir. Refrakter tuğlaların örülmesinde kullanılan alüminasilikat esaslı ateş kilinin özellikleri TS 4973 e göre Kasım 1986'da belirtilmiştir (T.S.E., 1976, 1986). Ayrıca ateşe dayanıklı (refrakter) malzemenin sınıflandırılması ISO 1927-1975(E) ve ISO 1109-1975(E) ile TS 2334-1976/04 standartlarına göre şiferton, içindeki Al₂O₃ ve SiO₂ miktarına göre şamot mamüller sınıfına girmektedir. Şiferton doğanın özel koşullarda ve kompozisyonda meydana getirdiği eşsiz bir maddedir. Birkaç maddeyi bir araya getirerek onu oluşturmak son derece güç ve pahalıdır. Düşük kalitede olanlarının içinde istenmeyen demir oksit oranı kabul edilebilir sınır olan % 2'i aşabilir. Demiroksit oranı şayet fazla ise bu oran zenginleştirme yolu ile düşürülebilir. Bu konuda, Hacettepe Üniversitesi Maden Bölümü, Prof. Dr. Halim DEMİREL başkanlığında 1990 yılında ÇİTOSAN Hisarönü Ateş Tuğlası Fabrikası'na bir proje yapmıştır. Bu proje sayesinde Amasra şifertonlarının ekonomik olarak zenginleştirilebileceği kanıtlanmıştır. Şifertonda zenginleştirme amacıyla, düşük kaliteli olanlarına zaman zaman, içinde % 98,5 - % 99,5 Al₂O₃ olan alümina katılmaktadır. Alümina, üretim maliyeti yüksek olan pahalı bir maddedir. Tonu, 300-380 £'den satılmaktadır. Bu nedenle, refrakter karakterde olan ve içinde en az % 87 Al₂O₃ içeren boksit kullanılmaktadır. Bu özellikteki boksitin FOB fiyatı, 65-120 \$ arasındadır. Hisarönü, Sörmaş ve Haznedar yüksek alüminalı ham ve yarı mamulleri 110 ile 315 \$ gibi oldukça değişken fiyatlardan ithal etmişlerdir. Hisarönü Ateş Tuğlası Sanayi T.A.Ş. şifertonu, kendi ocaklarından üretirken çıkan tüvönanın fabrikaya teslim maliyeti ton başına 20-25 \$ iken, bugün % 86-90 Al₂O₃ içeren boksitin tonunu 140 \$'a, % 47-50 Al₂O₃ içeren flint clay'i 120 \$'a kadar varyan fiyatlarla ithal etmektedir. Bulunduğu toprağın altında aradığı madde varken, bunu Çin'den ithal etmenin ve özel sektör tarafından adeta şifertonu çıkarmamak için ruhsat almış olmanın mantığı ve Amasradaki bu zenginliğimizin kömür yıkama artıkları ile birlikte once proje yapılmasına rağmen işe yaramaz madde diye Dünya'nın sayılı güzelliklikleri bir körfezine dökülmesi de anlaşılmamaktadır.

2.2. Döküm Kumı

Havzada yapılan çalışmalar esnasında döküm kumu özelliklerine sahip malzemelerin bulunduğu görülmektedir. Demir-Çelik Fabrikaları tarafından istenen malzeme özellikleri Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. Döküm kumunun demir çelik fabrikaları tarafından aranan fiziksel ve kimyasal özellikleri

Kimyasal Özellikler		Fiziksel Özellikler	
		Boyut	Bulunma %'si
SiO ₂	% 75<	+ 1 mm	% 3>
Al ₂ O ₃	% 10-25		
Fe ₂ O ₃	% 6>		
CaO+MgO	% 3>	1-0,1mm	% 85<
Na ₂ O+K ₂ O	% 2>	-0,1 mm	% 12>
Ateşte Zayıt	% 6>		
Rutubet	% 5>		

Bu özelliklere uygunluk, Westfalen - A yaındaki kumtaşılarında görülmektedir. İstenen fiziksel özellikleri veren tabakalar, bölge litolojisine bakıldığında farklı farklı boyut gruplarında kalın ve gevşek tabakalanmalar olması nedeniyle bulunmaktadır. Ayrıca bu sahadan alınan numunenin Çizelge 4'de görülen kimyasal analizini Ereğli Demir-Çelik Fabrikaları yapmış ve döküm kumu olabileceğine dair rapor alınmıştır (Haner, 1993).

Çizelge 4. Westfalen-A yaşı kumtaşılarına ait kimyasal analiz sonuçları.

SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	TiO ₂ (%)	Alkali (%)	KK
83,05	2,68	8,46	0,010	0,36	0,31	1,86	3,1

2.3. Kuvarsitler ve Kuvars Kumları

Göldağ kuvarsitleri ve bunların aşınıp, yer yer depolanmasından oluşan Apsien yaşı Velibey kumtaşıları havzada çok yaygın bir malzemedir. Batıda Alacaagzı ve Kandilli yöresinden Kurucuşile'nin güneybatısına kadar geniş bir alana yayılmıştır. Bir takım özellikleri ile ayırt edilen 6 tabakadan meydana gelmiştir. Çizelge 5'de ferro alaşımları ve cam sanayisinde kullanılabilecek malzemede istenen kimyasal ve fiziksel özellikler belirtilmiştir.

Çizelge 5. Ferro alaşımları sanayisi için kullanılacak kuvarsitin kimyasal özellikleri

SiO ₂ (%)	>97
Al ₂ O ₃ (%)	2 >
Fe ₂ O ₃ (%)	1 >
K ₂ O (%)	Eser
Na ₂ O (%)	0,1>
MgO (%)	Eser
CaO (%)	0,2>
P ₂ O ₅ (%)	Eser
S (%)	Eser
Ateşte Zayıt	Eser

Ferro alaşımları sanayisinde kullanılacak malzemede aranan fiziksel özellikler ise sert ve kompakt olması, 1000°C'de parçalanmaması ve hacimce genişlemenin küçük olmasıdır. Cam sanayisinde kullanılacak malzemenin aranan kimyasal özellikleri Çizelge 6'da verilmiştir. Fiziksel ve litolojik özelliklere bakıldığında, bünyesinde kalsedon, opal ve kyanit olmaması, kolayca dağılabilen bir özellik taşıması ve taneciklerinin 25-200 meş aralığında olması gerektiği görülür. Malzeme homojen bir dağılım göstermelidir.

Çizelge 6. Cam sanayisinde kullanılacak kuvarsitin kimyasal özellikleri

SiO ₂ (%)	>98
Al ₂ O ₃ (%)	1 >
Fe ₂ O ₃ (%)	0,1 >
TiO ₂ (%)	1 >
MgO (%)	Eser
CaO (%)	Eser
Mn ₂ O (%)	Hiç
Cr ₂ O ₃ (%)	Hiç

Havzada yer yer kalınlaşan bu 6 farklı seviyeden alınan numunelerle ilgili kimyasal analiz sonuçları Çizelge 7'de görülmektedir. Havzada farklı zamanlara ait kumtaşıları ve kuvars kumları bulunmaktadır. Bunları gençten yaşlıya doğru şu şekilde sıralamak mümkündür:

- Kretase devrinin Albien yaşı gliokonili kumtaşıları,
- Kretase devrine ait Apsien yaşı Velibey kumtaşıları ve kuvars kumları,
- Karbonifer devrine ait Westfalen yaşı kumtaşıları.

Çizelge 7. Kuvarsit ve kuvars kumlarına ait kimyasal analiz sonuçları

Alındığı Yer→ Madde (%) ↓	1. Seri	2. Seri	3. Seri	4. Seri	5. Seri	6. Seri
SiO ₂ (%)	97,03	98,01	98,05	96,38	98,27	95,47
Al ₂ O ₃ (%)	1,19	0,46	0,086	1,38	0,30	1,12
Fe ₂ O ₃ (%)	0,71	0,191	0,315	1,18	0,309	2,25
TiO ₂ (%)	0,084	0,035	0,054	0,08	0,059	0,067
CaO (%)	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
MgO (%)	0,06	0,01	0,03	0,05	0,02	0,08
Na ₂ O (%)	0,05	-	-	-	-	0,08
K ₂ O (%)	0,27	0,06	0,14	0,14	0,07	-
Cr ₂ O ₃ (%)	0,002	0,001	0,001	0,002	0,007	0,004
ZrO ₂ (%)	0,008	0,005	0,014	-	0,007	0,044
Kızdırma Kaybı (%)	0,57	0,30	0,51	0,74	0,40	0,75

Bunlardan glokonili kumtaşları yaygın bir dağılım göstermektedir. İçlerinde yüksek oranda kil fraksiyonu tanecığı bulunan organik kökenli bir kumtaşdır.

İkinci olarak önemli bir malzeme cinsi olan Apsien yaşlı Velibey Kumtaşları ve kuvars kumları, havzada yaygın bir malzemedir. Kandilli ve Gündüllü arasındaki sahada 400 000 000 m³'lük bir görünür rezervi olduğu ileri sürülmektedir (Orhan, Canca, 1988). M.T.A.'nın havzadaki geniş kapsamlı araştırmalarına göre, genel olarak bu kumtaşlarının yarısı gevşek çimentolu kuvars kumu, % 25'i ise orta sıkı tutturulmuş ve % 25'i ise orta sertlikte elle ufulanabilen kumtaşı karakterindedir. İnce kesitleri incelendiğinde saydam kuvars taneleri ile çok iyi yuvarlaklaşmış süt beyaz kuvars tanelerinin çok az silis-kil-karbonat ile çimentolanmasından oluştuğu görülür.

Üçüncü önemli malzeme cinsi, Karbonifer devrine ait Westfalien-A yaşlı kumtaşı tabakaları olup, 100 ile 250 m arasında kalınlık göstermektedir. Bu tabakaların içinde killi seviyelerin kalınlıkları yükseklik olarak % 5-10 civarında olup, bunların da % 90'ı kömürün tabanında ve içinde arakesme halinde bulunmaktadır. Alınan numuneler üzerinde yapılan polen analizleri sonucunda Karbonifer devrine özgü olan sporlardan Densosporites ve Lycospora'ya rastlanılmıştır. Karbonifer devrine ait tabakaların karakteristik istiflenmesini açık bir şekilde gördüğümüz Kandilli Açık İşletmesi sahasından alınan numunelerin X-RD yöntemiyle elde edilen tüm kayaç difraktogramına bakıldığında yaygın mineral grubunun % 39,5 oranla α , β kuvars ve tridimit olduğu, ikinci sırada ise % 34'le kil

minerallerinin geldiği, ve bunları % 11,3'le feldispat, % 15,2 ile muskovit ve biotit gibi mika grubu minerallerinin izlediği görülmektedir. Aynı örneğin X-RD yöntemiyle elde edilen kil fraksiyonu difraktogramında, kil minerallerinden kaolinit, klorit, illit ve klorit-vermikulit enterstratifiyesine ait pikler görülmektedir. Karbonifer kumtaşlarının ayırdedici makro özelliklerinden biri, bünyesinde mika bulunmasıdır. Arazi etüdlerinde alınan numuneler lupla incelendiğinde içindeki muskovit ve biotit pulları gayet belirgin bir şekilde görülmektedir.

2.4. Dolomit

Havzada Demir-Çelik Fabrikalarına hammadde olabilecek nitelikte dolomitlere belli başlı üç yerde rastlanmaktadır. Bunlardan ilki Ereğli-Alaplı Ormanlı sahasıdır. 1981 yılındaki prospeksiyon çalışmaları ile bir adet ruhsat önerilen sahada 30 m kalınlıkta 10 km²'lik alanı kaplayan dolomitin MgO tenörü % 21,75 olarak bulunmuştur.

İkinci önemli saha, Bartın-Boğaz mevkisindedir. Özel sektör tarafından Demir-Çelik Fabrikaları için üretim yapılmıştır. MgO tenörü, % 18-19 arasında değişmektedir.

Üçüncü saha, Kurucasıle'nin güneyindeki genişliği 500 m, uzunluğu 6-7 km'yi bulan yerdir. MgO tenörü, % 19-21 arasındadır. M.T.A. bu sahada Ereğli Demir-Çelik Fabrikası için etüdler yapmış ve daha sonra bu saha ilgili fabrikaya devredilmiştir.

2.5. Mermer

Kireçtaşları metamorfik etkilerle rekrystalize kireçtaşı ve mermer haline dönüşmektedir. Bu şekilde de havzada özellikle Kastamonu ve Bolu illerinde blok veren mermer oluşumlarına raslanmakta, bunlardan bir kısmı işletilmektedir.

2.6. Kireçtaşları

Ekonomik nitelikli kireçtaşları Zonguldak-Bolu ve Kastamonu illerinde bulunmaktadır. Özellikle Vizeen, Jura ve Barremien yaşlı kireçtaşları inşaat malzemesi ve toz kireç yapımına elverişlidir. Devrek'te toz kireç üretimi yapan bir fabrika hammaddesini bu sahadan temin etmektedir.

2.7. Feldispat

Çevredeki granit intrüzyonlarına bağlı olarak gelişen pegmatit ve aplitler Adapazarı-Alifuatpaşa ve Akyazı ile Bolu-Mengen-Dirgine civarındadır. Halen ekonomik olarak işletilen yatak yoktur.

2.8. Çimento Hammaddeleri

Bartın'daki çimento fabrikası hammaddesini yakın çevreden sağlamaktadır. Araç'ta M.T.A. tarafından çimento hammaddesi etüdleri yapılmıştır.

2.9. Tuğla Kiremit Toprağı

Özellikle Bartın Çayının aktığı alüvyoner sahada Eosen flişlerinden kaynaklanan tuğla kiremit toprağının bol miktarda bulunması bu sanayinin gelişmesini sağlamıştır.

2.10. Grafit

Kastamonu-İnebolu-Doğanyurt ve Danişment'te özellikle metamorfik kayalar içinde grafit oluşumlarına rastlanılmaktadır. M.T.A. Ruhsat sahasında gnayslar içinde dissemine olarak 12 m kalınlıkta grafitli bir izlenebilmektedir. Alınan örneklerin kimyasal analizlerinde % 8-71,49 serbest karbon tesbit edilmiştir. İçeriğinde silis tanecikleri olduğu için bir zenginleştirme sonucu tenör sınırları yükseltilebilir. Danişment sahasında 26 000 ton ortalama % 39-40 serbest karbonlu grafit rezervi mevcuttur (Türk, 1987).

3. SONUÇLAR

Bölgede endüstriyel hammadde açısından büyük bir potansiyel olmasına rağmen zengin olan bu kaynaklar, yatırımsızlık, alt yapı eksikliği, makinalaşmama, Dünya madenciliği ile rekabet edememe gibi sorunlar nedeniyle yeterince değerlendirilmemektedir. Son zamanlarda zenginleştirme masraflarından kaçılarak maliyeti düşürme yolu tercih edilmekte, bu nedenle tüvönan talep edecek sektörler için üretim ağırlık kazanmıştır. Özel sektörün yatırımları yetersizdir. Devlette elini çekmektedir.

Bu durumlar gözönünde bulundurularak öncelikle, Avrupa Birliği Normlarına uyularak yabancı sermaye girişinin sağlanması, maliyeti düşürücü mekanizasyonun yaygınlaştırılması, özel madencilik

uygulamalarını belli kişilerin tekelinden kurtarıp işinin ehli kişi ve kuruluşlara fırsat tanınması, yurt içi madencilik kredilerinin günün koşullarına göre artırılması ve alınmasının kolaylaştırılması, hammaddelerden konsantre veya mamul madde elde etmeyi ve istihdamı artıracak tesislerin maden işletmelerinin yakınında kurulması gerekmektedir. Bu koşulların sağlanması halinde havzadaki endüstriyel hammadde zenginliklerinin ülke ekonomisine olumlu katkılarını görmek mümkün olacaktır.

KAYNAKLAR

- Haner, B., 1980. *Şifertonun Önemi ve Tanıtılması*, Türkiye 2. Kömür Kongresi, T.M.M.O.B., 12-16 Mayıs, s.63-73, Zonguldak.
- Haner, B., 1998. *Şifertonun Havzadaki Durumu, İşletilmesi ve Maliyetler*, Türkiye 11. Kömür Kongresi, T.M.M.O.B., 10-12 Haziran, s.251-260, Bartın
- Haner, B., 2000. *Batı Karadeniz Havzasının Maden Kaynakları Potansiyeli, İşletilebilirliği, Beklentiler ve Öneriler*, Türkiye 12. Kömür Kongresi, T.M.M.O.B., 23-26 Mayıs, s.297-308, Kdz. Ereğli-Zonguldak.
- T.S.E., TS 2334 (Nisan 1976), TS 2335 (Nisan 1976) TS 4973 (Kasım 1986), Ankara.
- Haner, B., 1993. *Hidrolik Dolgu Uygulaması İçin Zonguldak-Armutçuk Çevresi Malzemelerinin İncelenmesi*, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, s.336, İstanbul.
- Türk, Y., 1987. *M.T.A. Batı Karadeniz Bölgesi Maden Potansiyeli ve Yapılan Çalışmalar*, M.T.A. Batı Karadeniz Bölge Müdürlüğü, s.75 Zonguldak

Taşhane (Terme) Andezitik Tüflerinin Çimento Üretiminde Katkı Maddesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması

İ. Alp, H. Deveci, A.O. Yılmaz, A. Kesimal & E. Yılmaz

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon

ÖZET: Bu çalışmada, Taşhane andezitik tüflerinin katkı çimento üretiminde katkı malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Örneklerin mineralojik, petrografik ve kimyasal analizleri, malzemenin $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ toplam içeriği % 79.86 olan volkanik orijinli porfirik traki andezit olduğunu göstermiştir. Bu bulgular ve kireç ile yapılan puzolanik aktivite testleri, malzemenin TS 25 tarafından istenen tras özelliklerine uygun olduğunu göstermiştir. Üretilen katkılı Portland çimentoları üzerinde yapılan testler sonucunda, Taşhane andezitik tüflerinin TS 26 da belirtilen traslı çimento için istenen özelliklere göre değerlendirildiğinde Portland çimentosu klinkerine %27 oranına kadar katılarak katkılı çimento üretiminde kullanılabileceği bulunmuştur.

ABSTRACT: In this study, the prospect of using the Taşhane andesitic tuffs as blending material in the manufacture of blended cement was examined. Mineralogical, petrographic and chemical analyses of the samples showed that the material was porphyritic trachyandesite of volcanic origin with a $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ content of 79.86%. These findings and the results of pozzolanic activity test with lime indicated that the material meets the requirements specified by TS 25 for trass. The tests on the blended cements produced revealed that the Taşhane andesitic tuffs could replace, up to 27% w/w, Portland cement to produce the blended cement, which satisfies the specification of TS 26 for Trass cement.

1. GİRİŞ

Çimento, su ile kimyasal reaksiyonlar vererek katılaşp sertleşebilen, kum ve çakıl gibi katı agregaları birbirine bağlayarak masif bir yapı oluşturan malzemelerdir. Çok çeşitli malzemeler bağlayıcı (çimento) özellik gösterebilir (Neville, 2000). Portland çimentosu endüstriyel olarak üretilen ve inşaat uygulamalarında en yaygın olarak kullanılan çimento tipidir ve genellikle silika, alumina ve demir oksit içeren hammaddelerden üretilmektedir.

Portland çimento üretiminde ilk adım genellikle kireçtaşı ve kil gibi hammaddeleri $\sim 1400^\circ\text{C}$ sıcaklıkta ısıtılma tabi tutarak yapılan klinker üretimidir. Üretilen klinker az miktarda ($\sim 3-4$) alçı ile birlikte ince boyutlara öğütülerek Portland çimentosu elde edilmektedir (Taşkın, 1984).

Portland çimentosu üretim prosesinin enerji yoğun bir işlem olması nedeniyle maliyeti yüksek bir üründür (Taşkın, 1984; Neville, 2000). Çimento maliyetini/tüketimini azaltmak için bağlayıcı özelliğe sahip diğer bazı inorganik malzemeler katkılı çimento üretmek için kullanılabilir. Bu malzemelerden bazıları doğal puzolanlar (tras) ve curuf, uçucu kül, silis dumanı gibi metallurjik tesis atıklarıdır (Çizelge 1). Katkılı çimento, Portland çimentosuna göre çok daha az enerji tüketimi sağlaması ve bazı özelliklerinin getirdiği ilave katkılardan dolayı yapı sektöründe geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Beton uygulamalarında tras katkılı çimentoların kullanılması çeşitli teknolojik avantajlar da sağlamaktadır (Camacho and Afif, 2002);

- Betonun işlenebilirliğini arttırmak,
- Geçirgenliği azaltmak,
- Sülfat etkisine karşı dayanımı arttırmak,
- Çatlamlara karşı dayanımı iyileştirmek,

- Uzun dönemde dayanıklılığı arttırmak.

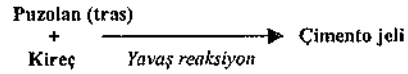
Çizelge 1. Katkılı çimento üretiminde kullanılan hammaddeler (Bakker, 1999).

Malzeme	Tipi	Kaynağı
Klinker	Hidrolik	Üretilmiş
Fırın curufu	Hidrolik	Atık
Uçucu kül	Puzzolanik	Atık
Silis dumanı	Puzzolanik	Atık
Tras	Puzzolanik	Doğal
Jips	Düzenleyici	Doğal

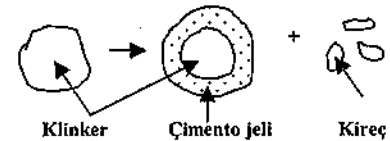
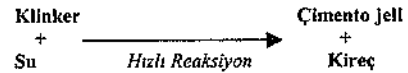
Tras volkanik orijinli doğal bir hammaddedir; temel olarak silis ve alüminyum oksitten oluşmakta, eser miktarda kireç içermektedir. Trasın yalnız başına hidrolik bağlayıcı özelliği yoktur. Reaksiyona girmek için kirece gereksinim duyar ve bağlayıcı özelliklere sahip ürün verir (Şekil 1). Kireç ve silika arasında meydana gelen reaksiyon puzzolanik reaksiyon olarak bilinir. Katkı maddesi olarak kullanıldığında, klinkerin su ile reaksiyonu (Şekil 2) sonucu açığa çıkan kireç puzzolanik reaksiyonun meydana gelmesini, trasın bağlayıcı özellik kazanmasını sağlar. Bu da, doğal puzzolan katkıli çimentoların düşük geçirgenliğe sahip olmalarının yanı sıra, Portland çimentosuna göre sülfat etkisi gibi kimyasal etkilere karşı daha dayanıklı olmalarını sağlar (Massazza, 1999).

Doğal puzzolanların aktivitesi açısından özgül yüzeyin, kimyasal bileşiminin ve mineralojik yapının büyük rol oynadığı bilinmektedir (Camacho and Afif, 2002). Genel olarak, puzzolan tarafından bağlanan kireç miktarının aşağıdaki etmenlere bağlı olduğu bir çok araştırma tarafından doğrulanmıştır (Hewlett, 1998; Swamy, 1986); aktif fazların yapısı, miktarı, SiO_2 içeriği, karışımın kireç/puzzolan oranı, kür süresi.

Doğal puzzolan katkıli çimentodan üretilen yapıların uzun dönemde dayanımı $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ içeriği ile ilişkilidir. Kısa dönemde ise özgül yüzey alanı dayanım açısından birinci derecede etkilidir (Costa and Massazza, 1981). Doğal puzzolanların kimyasal özellikleri için istenen değerler Çizelge 2' de verilmiştir. Sönmüş kireç ve doğal puzzolanik madde karışımıyla hazırlanan örneklerin, 7 günlük çekme dayanımı en az 1 N/mm² ve basınç dayanımı en az 4 N/mm² olması gerekmektedir (TS 25, 1975).



Şekil 1. Trasın kireç ile reaksiyonu (Bakker, 1999).



Şekil 2. Klinker tanelerinin su ile reaksiyonu (Bakker, 1999).

Çizelge 2. Trasın kimyasal özellikleri (TS 25, 1975)

$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	en az	% 70
MgO	en çok	% 5
SO_3	en çok	% 3
Rutubet	en çok	% 10

Yüksek puzzolanik aktiviteye sahip trasların camı faz ($\geq \%80$) ve alkali feldspat içerikleri yüksek, kil içeriği ise düşüktür (Terzibaşoğlu, 1995). Ağırlıkça % 20-40 tras ile klinkerin bir miktar alçı taşı ile öğütülmesi sonucunda üretilen traslı çimentoda aranan özellikler Çizelge 3'de verilmiştir.

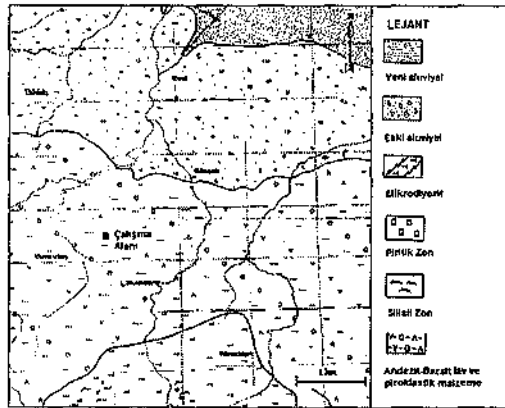
Çizelge 3. Traslı çimento özellikleri (TS 26, 1992).

SO_3 (%)	≤ 3.5		
MgO (%)	≤ 5.0		
Kızdırma kaybı (%)	≤ 5.0		
Cl ⁻ (%)	≤ 0.1		
Priz süresi (saat)	Baş. ≥ 1.0 - Bitiş ≤ 10.0		
Hacim genişmesi (mm)	≤ 10		
Özgül yüzey (cm ² /g)	≥ 2800		
Basınç mukavemeti (N/mm ²)	2gün	7 gün	28 gün
	≥ 10	≥ 21	≥ 32.5

2. MALZEME VE YÖNTEM

2.1. Malzeme

Doğal puzolan örnekleri, Terme-Ünye yolu üzerindeki Evci-Çamlıca, Bağsaray Köyleri yol kavşağından yaklaşık 5.8 km. güneyde Çamlıca Köyü Taşhane mevkiinden alınmıştır. Sahada; açık gri, yeşilimsi gri renkli, masif, seyrek eklemlili, ojit ve biyotit kristalleri içeren andezitik tıf seviyeleri mevcuttur (Korkmaz, 2001). Anakaya, ortalama 50-100 cm, yamaç eteklerinde yer yer 5 m kalınlığında, kahverenkli çakıllı kil niteliğindeki yamaç molozu ile örtülüdür. Haritalama sırasında, araştırmaya konu olan trasların bölge litostratigrafisindeki yerleri saptanarak konumları ve sınırları belirlenerek bazı makroskobik saha özellikleri- sertlik, homojenite, renk vb. dikkate alınmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Çalışma alanı jeolojik haritası.

2.2. Yöntem

Alınan temsili örneklerin kimyasal analizi ve fiziksel özellik testleri TS 639'a göre yapılmış, mineralojik ve petrografik yapısı incelenmiştir. Örnekler üzerinde puzolanik aktivite deneyleri ve katkılı çimento üretim testleri gerçekleştirilmiştir.

Petrografik analiz için çok sayıda ince kesit hazırlanarak polarizan mikroskop altında incelenmiştir. Malzemede bulunan mineraller X-ışını difraktometre (XRD) ile belirlenmiştir.

Puzolanik aktivite testleri TS 25'e göre, TS 819'da tanımlanan standart kum kullanılarak yapılmıştır (Çizelge 4). Standart kaplar içerisine dökülerek hazırlanan örneklerin 7 günlük kür süresi sonrasında mekanik özellikleri (basma ve çekme dayanımı) belirlenmiştir.

Çizelge 4. Puzolanik aktivitenin belirlenmesi için harçların hazırlanmasında kullanılan karışım oranları (TS 25, 1975).

Malzeme	Miktar (gr)
Kireç - Ca(OH)_2	150
Tras	$T = 300x \frac{\delta_{\text{Tras}}}{\delta_{\text{Kireç}}}$
Standart kum (TS 819)	1350
Su	$0,5x(150+T)$

Katkılı çimento üretimi için Trabzon Çimento Tesisi'nden elde edilen klinker ile çeşitli oranlarda (%20-35) tras örneği ve %4 oranında alçı karıştırılarak öğütülmüştür. Elde edilen çimentonun kimyasal (TS 687, 1994) ve fiziksel özellikleri (TS 24, 1985) belirlenmiştir. Üretilen bu katkılı çimento örnekleri kullanılarak 4x4x16 cm boyutlu test örnekleri dökülmüş ve 2, 7 ve 28 gün kür süreleri sonunda mekanik özellikleri belirlenmiştir. Her bir deney için 6 adet test örneği kullanılarak elde edilen değerlerin ortalamaları alınmıştır. Beton örneklerinin fiziksel ve mekanik özellikleri TS 24'e göre belirlenmiş ve elde edilen sonuçların değerlendirilmesi TS 26 ve TS 12143'e göre yapılmıştır. Bu sonuçlara göre maksimum katkı oranları belirlenmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Taşhane Trasları Kimyasal, Mineralojik ve Petrografik Özellikleri

Ocaktan alınan örneğin kimyasal analiz sonuçları Çizelge 5'te verilmiştir. Kimyasal analiz sonucu elde edilen değerler TS 25'te belirtilen kimyasal özellikler ile karşılaştırıldığında; Taşhane tras örneğinin $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ içeriğinin %79,86 değerine ulaştığı ve standart değerlerin üzerinde olduğu görülmektedir. SO_3 , MgO ve ateş kaybı değerleri de standard değerlerin altında kalmaktadır (Çizelge 5-6).

Çizelge 5. Örnek Kimyasal Analiz Sonuçları

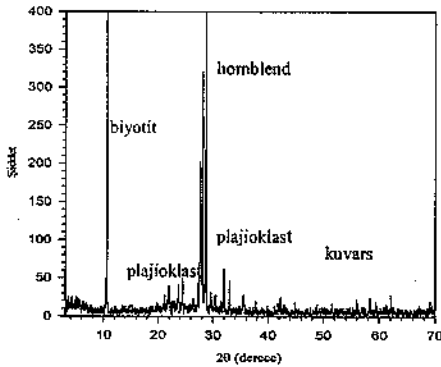
Kimyasal Bileşik	Değer (%)
SiO ₂	58.46
Al ₂ O ₃	16.81
Fe ₂ O ₃	5.39
CaO	8.77
MgO	2.60
K ₂ O	1.34
Na ₂ O	4.44
SO ₃	0.41
K.K	2.24
Toplam	99.66

Çizelge 6. TS 25 ve kimyasal analiz değerleri.

Bileşim	TS 25 (%)	Örnek (%)
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	≥70	79.86
MgO	≤ 5	2.60
SO ₃	≤ 3	0.41
Rutubet	≤ 10	2.2

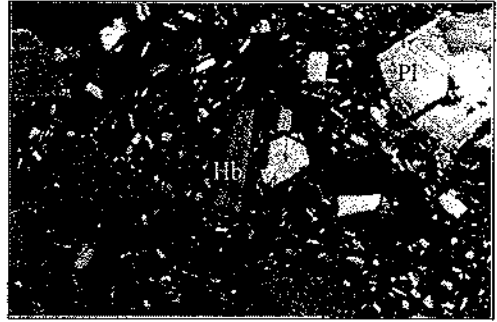
Örnek üzerinde yapılan XRD incelemesinde plajioклаst (andezin), biyotit, hornblend, kuvars ve manyetit mineralleri tespit edilmiştir (Şekil 4).

Mikroskopik incelemeler sonucunda kayacın % 40'dan fazla oranda andezinlerin hakim olduğu plajioклаstlardan oluştuğu, %10-15 oranında hornblend içerdiği ve bol miktarda camı malzemeden oluştuğu görülmüştür (Şekil 5).



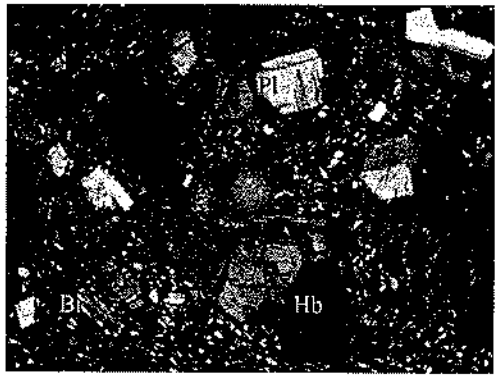
Şekil 4. Taşhane tras örneklerinin XRD profili.

Örnek içinde eser miktarda kil, piroksen ve mikrolitik sanidiner görülmüştür. Örnek genel olarak hornblendli andezitlik kristal tuf olarak (Şekil 5) tanımlanmakta fakat bazı bölgelerde hornblendli andezitik lav özelliği göstermektedir. Örnekte az oranda opak mineraller de bulunmaktadır.



Şekil 5. İnce taneli camı faz içerisinde plajioклаst ve hornblend kristallerinin hayalo-mikrolitik porfirik dokusu (X4, XPL).

Örneklerin kısmen mikrolitik, çoğunlukla camı olan hamur içinde iri plajioклаst ve hornblend fenokristalleri içeren volkanik bir kayaç olduğu söylenebilir. Plajioклаst fenokristalleri genellikle andezin içeriklidirler ve zonlu yapıdadırlar. İkizlenme ve elek dokusu oldukça iyi gözlemlenebilmektedir (Şekil 6). Yapılan mikroskopik incelemeler malzemenin hyalo-mikrolitik porfirik dokuya sahip traki-andezit olarak tanımlanabileceğini göstermektedir.



Şekil 6. Mikro ve fenokristalli plajioклаst, hornblend ve biyotit ve opak manyetit taneleri (X4, XPL)

3.2. Tras Örneklerinin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Doğal puzolanların kimyasal bileşimi, katkı maddesi olarak kullanılabilmesi için gerekli kaliteyi belirtmede önemli olmasına rağmen bazı doğal puzolanik malzemelerin düşük puzolanik aktiviteye sahip olmasından dolayı puzolanik aktivitelerinin belirlenmesi gerekir (Camacho ve Afif, 2002). Basınç dayanımı, bir malzemenin kireç ile reaksiyona girme ve bağlayıcı ürünler oluşturma gibi puzolanik özelliklerinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan bir parametredir (Erdoğan vd., 1999).

Taşhane tras örneklerinin fiziksel ve puzolanik aktivite test sonuçları ve TS 25'te belirtilen standart değerler Çizelge 7'te verilmiştir. Harç örneklerinin basma dayanımı ve çekme dayanımının TS 25'de istenen minimum değerlerin sırası ile 2.5 ve 3.3 katı olduğu görülmektedir.

Malzemenin yüksek yüzey alanına sahip olması yüzey alanı ile artma eğiliminde olmasından dolayı basınç dayanımı üzerine olumlu etki yapabilir (Erdoğan vd., 1999). Bu çalışmada elde edilen bulgular ile karşılaştırıldığında, Çolak (2002) yaptığı araştırmalarda 80.6% $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ (4564 cm^2/g) içeren doğal bir puzolan için 28 ve 90 gün için daha düşük basma dayanım sonuçları (sırasıyla 4,45 and 9,12 N/mm^2) elde etmiştir. Bu, yazarın kullandığı doğal puzolanın Fe_2O_3 içeriğinin yüksek (12.5%) olmasından kaynaklanmış olabilir (Erdoğan vd., 1999).

Çizelge 7. Fiziksel ve puzolanik aktivite test sonuçları (7 gün) ve TS 25 tras standardı.

Yapılan deneyler	Örnek	TS 25
Basınç dayanımı (N/mm^2)	10,2	$\geq 4,0$
Çekme dayanımı (N/mm^2)	3,4	$\geq 1,0$
Özgül ağırlık (gr/cm^3)	2.50	---
Özgül yüzey (cm^2/gr)	4928	---
0.2 mm elek üstü (%)	3.30	---
0.09 mm elek üstü (%)	1.10	---
D.Y.K. özgül ağırlığı (gr/cm^3)	2.105	---
Kuru özgül ağırlık (gr/cm^3)	1.909	---
Zahiri özgül ağırlık (gr/cm^3)	2.373	---
Don dayanıksızlığı (%)	2.930	---
Absorbsiyon nispeti (%)	13.25	---
Birim hacim ağırlığı (gr/cm^3)	1.910	2.2
Aşınma nispeti (%)	44	40

3.3. Katkılı Çimento Üretim Deneyleri

Trabzon Çimento Tesisi'nde klinker üretimi için %39.0 oranında mam cevheri, %58.5 oranında kalker cevheri ve %2.5 oranında demir cevheri besleme olarak kullanılmaktadır. Beslenen cevherlerin kimyasal bileşimi Çizelge 8'de verilmiştir. Üretilen klinker, tras malzemesi ve alçı ile çeşitli oranlarda karıştırıldıktan sonra 30 dk öğütülmüştür. Karışım miktarları ve oranları Çizelge 9'da özetlenmiştir. Karışımında kullanılan alçı %39.5 SO_3 ve %17.50 H_2O içermektedir. Öğütme sonrasında elde edilen farklı tras içeriklerine sahip katkılı çimentoların kimyasal analizleri Çizelge 10'da verilmiştir.

Çizelge 8. Klinker üretiminde kullanılan cevherlerin kimyasal bileşimi

Bileşik (%)	Mam	Kalker	Demir C.
$\text{MgCO}_3 + \text{CaCO}_3$	54,20	85,30	-
SiO_2	26,41	6,95	20,60
Al_2O_3	6,62	1,93	2,30
Fe_2O_3	3,02	1,13	67,12
CaO	31,43	48,59	1,17
MgO	0,37	2,40	2,36
SO_3	0,29	0,34	-
Kızdırma Kaybı	26,60	37,63	6,36
Na_2O	1,20	0,38	-
K_2O	2,90	0,50	-
Tayin Edilemeyen	1,16	0,15	-
Toplam	100,00	100,00	100,00

Klinker ve üretilen tras katkılı çimento ürünlerinin tane boyutu, yüzey alanı ve özgül ağırlık gibi fiziksel özellikleri ve mekanik dayanım test sonuçları Çizelge 11'de verilmiştir. Basınç dayanımının tras içeriğine ve kür süresine bağlı olarak değişimi sırası ile Şekil 7 ve 8'de görülmektedir.

Çizelge 10'dan görüldüğü gibi farklı tras oranlarında (%20-35) üretilen katkılı çimentoların TS 26 standardında belirtilen kimyasal kriterlere uygun olduğu görülmektedir. Yirmisekiz günlük basma dayanımları göz önüne alındığında Taşhane trası, katkılı çimento üretiminde %30'a kadar kullanılabilir. Ancak ± 10 emniyet faktörü ile maksimum %27 oranında katılabilirliğini söylenebilir (Şekil 7-8).

Çizelge 9. Çeşitli tras içerikli katkı çimento üretiminde kullanılan malzemelerin miktar ve oranları.

ÜRÜN	%20 Tras		%25 Tras		%30 Tras		%35 Tras	
	Miktar(gr)	%	Miktar(gr)	%	Miktar(gr)	%	Miktar(gr)	%
Klinker	3040	76	2840	71	2640	66	2440	61
Tras	800	20	1000	25	1200	30	1400	35
Alçı	160	4	160	4	160	4	160	4
TOPLAM	4000	100	4000	100	4000	100	4000	100
Öğütme, dk	30		30		30		30	

Çizelge 10. Klinker ve tras katkı çimento örneklerinin kimyasal bileşimi

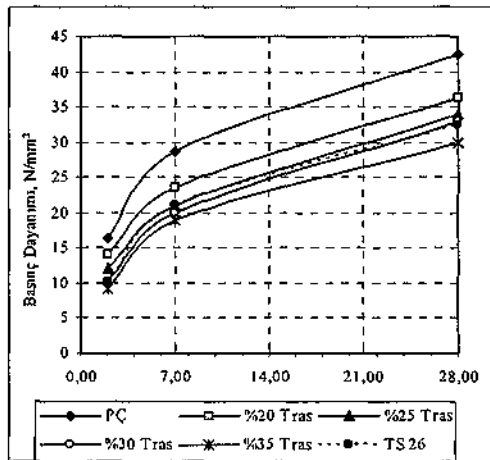
%	Klinker	%20 Tras	%25 Tras	%30 Tras	%35 Tras	TS 26
Çözünmeyen Kalıntı (ÇK)	-	17,64	22,76	27,13	31,18	
Toplam SiO ₂	20,89	26,17	28,25	31,29	33,29	
Al ₂ O ₃	4,89	6,63	7,52	8,08	8,71	
Fe ₂ O ₃	4,40	4,47	4,32	4,35	4,29	
CaO	64,97	43,46	48,94	48,67	43,60	
MgO	0,85	1,61	1,39	1,03	1,19	≤ 5
SO ₃	0,21	1,93	1,99	1,95	1,93	≤ 3,5
Kızdırma Kaybı	1,84	2,58	2,85	2,81	2,74	≤ 5
Na ₂ O	0,27	0,98	1,20	1,34	1,76	
K ₂ O	1,15	1,12	1,10	1,10	1,15	
Toplam	99,43	98,95	97,56	100,62	98,66	
S.CaO	2,76	1,92	1,84	1,58	1,41	
Kireç Doygunluğu (Kst)	92,53	-	50,35	45,74	38,43	
Toplam Katkı	-	22,50	28,76	34,00	36,31	
CO ₂	-	0,75	0,88	0,86	0,82	

Çizelge 11. Test örneklerinin belirlenen fiziksel ve mekanik özellikleri ve TS 26 ile karşılaştırılması.

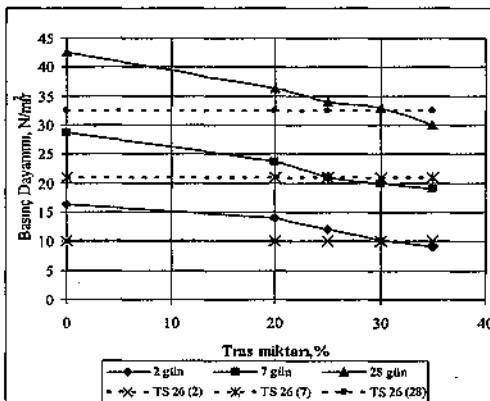
Özellik	Birim	Klinker	%20 Tras	%25 Tras	%30 Tras	%35 Tras	TS 26
+200 µ	%	0,6	0,2	0,2	0,1	0,1	
+90 µ	%	5,9	4,8	4,3	3,6	2,2	
Özgül yüzey	cm ² /gr	3102	2709	2890	3321	3980	≥ 2800
Özgül ağırlık	gr/cm ³	3,07	2,88	2,88	2,78	2,78	
Hacim genleşme	mm	23	6	4	3	3	≤ 10
Priz süresi Ba-Bit.	sa,dk	2,00-3,20	2,40-3,45	3,10-4,10	2,30-4,05	2,20-3,15	≥ 1- ≤ 10
2. gün dayanımı	N/mm ²	16,3	14,0	12,0	10,2	9,1	≥ 10
7. gün dayanımı	N/mm ²	28,7	23,5	21,0	19,9	18,9	≥ 21
28. gün dayanımı	N/mm ²	42,5	36,2	33,9	32,9	30,0	≥ 32,5

Çizelge 12. TS 12143'e göre Portland kompoze çimento (PKÇ 32,5) özellikleri

Dayanım Sınıfı	Basınç Dayanımı N/mm ²				Priz Başl. (dk)	Hacim Genleş. (mm)	SO ₃	Cl	Çimento Sınıfı	
	Erken Dayanım		Standart Dayanım						%6-20 katkı	%21-35 katkı
	2. gün	7.gün	28.gün							
32,5	-	16	≥ 32,5	≤ 52,5	≥ 60	≤ 10	≤ 3,5	≤ 0,1	PKÇ/A	PKÇ/B
32.5 R	≥ 10.0	-								



Şekil 7. Basınç dayanımının zamana bağlı olarak değişimi



Şekil 8. Basınç dayanımının karışım oranına bağlı olarak değişimi

Sonuçlar TS 12143'e göre değerlendirildiğinde Taşhane tras malzemesinin PKÇ/A veya PKÇ/B sınıfında 32,5R tipinde bir çimento üretimine uygun olduğu görülmektedir (Çizelge 12).

4. SONUÇLAR

Çimento maliyetini düşürmek, betonun dayanımını ve durabilitesini arttırmak için volkanik orijinli doğal puzolanlar (tras), katkılı çimento üretiminde katkı maddesi olarak kullanılabilir.

Bu çalışmada, Taşhane traslarının mineralojik, petrografik ve kimyasal özellikleri ve katkılı çimento üretiminde katkı malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Taşhane traslarının, volkanik orijinli bir porfiritik traki andezit olduğu ve $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ içeriğinin % 79.86 olduğu bulunmuştur. Tras örneklerinin kimyasal analiz ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 \geq 70$) ve kireç ile yapılan puzolanik aktivite test sonuçları (7. gün basınç ve eğilmeden çekme dayanımları sırası ile 10.2 ve 3.4 N/mm²), malzemenin TS 25'te belirtilen tras standartlarına uygun olduğunu göstermiştir. Portland çimento klinkeri ile farklı oranlarda katkılı olarak yapılan puzolanik aktivite test sonuçları, Taşhane traslarının TS 26 da belirtilen traslı çimento özelliklerine uygun katkılı çimento üretiminde %27 oranına kadar katkı malzemesi olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Taşhane trasları, TS 12143 standartlarına göre %20'den daha az oranlarda tras içeren PKÇ/A sınıfı 32,5R tipi veya %20-30 oranlarında tras içeren PKÇ/B sınıfı 32,5R tipi çimento üretimine uygundur. Ancak üretilen katkılı çimentoların Cl içeriklerinin de TS 12143'e göre uygunluğunun belirlenmesi gerekmektedir. Söz konusu malzeme Ünye de bulunan çimento fabrikasına yaklaşık 20 km. mesafede bulunmasından dolayı getirdiği düşük nakliye masrafı açısından da avantajlı bir konuma sahip bulunmaktadır.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, deneysel çalışmaların yapılmasında katkıda bulunan Trabzon Çimento Sanayii A.Ş. yönetimine ve Kimya Mühendisi Halil Sungün'e teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

- Bakker, R., 1999, *Application and Advantages of Blended Cement Concretes*, QCL Group Technical Note.
- Camacho, R.E.R., Afif, R.U., 2002. *Importance of Using the Natural Pozzolans on Concrete Durability*, Cement and Concrete Research, Elsevier, 32, 1851-1858.

- Costa, U., Massazza, F., 1981. *Factors Affecting the Reaction with Lime of Italian Pozzolanas*, II Cemento, pp 131-139, Italy.
- Çolak, A., 2003. *Characteristics of Pastes From A Portland Cement Containing Different Amounts of Natural Pozzolan*, Cement and Concrete Research, Elsevier, 33, 585-593.
- Erdoğan, K., Tokyay, M., Türker, P., 1999. *Traslar ve Traslı Çimentolar*, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Ankara.
- Hewlett, P.C., 1998. *Lea's Chemistry of Cement and Concrete*, John Wiley and Sons Inc., Fourth Edition, New York, USA.
- Korkmaz, M., 2001. *Terme Çamlıca Köyü Taşhane Mevkii Taş Ocağında Üretilen Malzemenin Çimento Hammaddesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması*, KTÜ, Maden Müh. Böl. Bitirme Tezi, Trabzon.
- Massazza, F., 1999. *Pozzolanas and Durability of Concrete*, Çimento ve Beton Dünyası, Journal of TÇMB, Ankara.
- Neville, A.M., 2000. *Properties of Concrete*, Prentice Hall, London, England.
- Swamy, R.N., 1986. *Cement Replacement Materials*, Blackie & Son Ltd., London, England.
- Taşkın, C., 1984. *Türkiye Çimento Hammadde Kaynakları*, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Ankara.
- Terzibaşoğlu, N., 1995. *Andezitin Traslı Çimento Üretiminde Kullanımı*, Endüstriyel Hammaddeler. Sempozyumu, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Ankara.
- TS 12143, 1997. *Çimento-Portland Kompoze*, T.S.E., Ankara.
- TS 24, 1985. *Çimentoların Fiziki ve Mekanik Deney Metodları*, T.S.E., Ankara.
- TS 25, 1975. *Tras*, T.S.E., Ankara.
- TS 26, 1992. *Çimento-Traslı Çimento*, T.S.E., Ankara.
- TS 639, 1975. *Uçucu Külür*, T.S.E., Ankara.
- TS 687, 1994. *Çimento-Kimyasal Analiz Metotları*, T.S.E., Ankara.
- TS 819, 1988. *Rilem-Cembureau Standard Kumu*, T.S.E., Ankara.

Farklı Değirmenlerde Öğütülmüş Talk Mineralinin Tane Şekli ile İslanabilirliğinin Değişimi

U. Ulusoy & M. Yekeler

Cumhuriyet Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 58140 Sivas

C. Hiçyılmaz

Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 06531 Ankara

ÖZET: Bu çalışmada bilyalı, çubuklu ve otojen değirmenlerde öğütülmüş, önemli bir endüstriyel hammadde olan talk minerali tanelerinin şekil karakterizasyonu SEM (Taramalı Elektron Mikroskop) kullanılarak araştırılmış ve 2 boyutlu olarak tane izdüşümlerinin ölçülmesiyle uzama oranı, yassılık, yuvarlaklık ve göreceli genişlik gibi şekil özellikleriyle ifade edilmiştir. Görüntü analizi için her bir öğütme ürününden yaklaşık 140 adet partikül ölçülmüştür. Farklı değirmenlerle öğütülmüş talk mineralinin ıslanabilirlik derecesi (γ_c) temas açısı ölçüm goniometresi kullanılarak belirlenmiştir. Belirlenen şekil özellikleri ve ıslanabilirlik dereceleri arasında korelasyonlar kurulmuştur. Sonuçlar uzama oranı ve yassılığın çalışılan talk mineralinin ıslanabilirliğini azaltırken yuvarlaklık ve göreceli genişliğin artırdığını göstermiştir. Bir başka ifadeyle, daha uzun tanelerden oluşan mineral ürünleri daha hidrofobik davranmıştır.

ABSTRACT; In this study, shape characteristics of talc mineral (commonly known as an important industrial mineral) particles produced by ball, rod and autogenous mills were investigated using SEM (Scanning Electron Microscope) and expressed by the shape properties such as elongation, flatness, roundness and relative width by measuring on the particle projections in two dimensions (2D). About 140 particles were measured for image analysis from each mill product. The degree of wettability (γ_c) of talc mineral produced by three different mills, were determined by the contact angle measurement technique using a contact angle goniometer. Some correlations were established between the shape properties and the degree of wettability. The results have shown that elongation and flatness helped to decrease the wettability, while roundness and relative width caused an increase in the wettability of the talc mineral studied. In other words, the mineral products having more elongated particles behaved more hydrophobic.

1. GİRİŞ

Öğütme, istenilen ürünü üretmek ve darbe, çentme, aşındırma kombinasyonlarıyla cevheri kırmak için genellikle aktarılan ortamla dönen değirmenler içinde yapılmaktadır (Rowland, ve Kjos, 1997). Farklı öğütme metodlarıyla öğütülen tanelerin şekillerinin de farklı oldukları söylenmektedir (Oja, ve Tuunila, 2000).

Tanelerin davranışında şekil bir faktör olduğundan, farklı öğütme ürünlerinin şekillerindeki farklılıklar da, taneleri içeren herhangi bir proseste veya mineral kazanım sistemlerinde önem arz etmektedir (Durney ve Meloy, 1986).

Cevher hazırlamada, köpüklü yüzdürme, jigleme, eleme, klasifikasyon, sarsıntılı masa, ağır ortamla ayırma, siklon ayırma ve diğer pek çok birim tane şeklinden etkilenmektedir. Mineraller birbirlerinden sadece mineral özelliklerine göre değil aynı zamanda tane şekline göre de ayrılmaktadırlar (Bozkurt ve ark., 1998).

Her yıl yüksek miktarlarda tane, kırma ve öğütme ile üretilmektedir. Şekil, tanelerin kimyasal, fiziksel ve yüzey özelliklerini etkilediğinden, istenilen amaçlar için değirmen ürünlerinin kullanımı ve sonraki işlemlerde başarı derecesi ürünlerin şekillerine bağlıdır.

Öğütme ve proses süresince elde edilen ürünlerin şekil ve morfolojisi, minerallerin öğütme ve zenginleştirmede nasıl davranabileceklerini ve aynı zamanda minerallerin prosese nasıl cevap vereceklerini tahmin etmek için görüntü analiz sistemleriyle incelenmelidir (Petruk, 1986; Petruk, 1988; Petruk, 1989 Jones, 1987).

Katı yüzeylerin sıvılar tarafından ıslanması birçok uygulama alanı bulmuş ve hem uygulamalı hem de temel araştırmalar için yıllardır önemli bir alan teşkil etmiştir (Parry ve ark., 1996). Bu sebepten, katıların veya mineral tanelerinin ıslanması flotasyon, aglomerasyon, sıvı-katı ayrımı ve tozdan arındırma gibi birçok teknolojik prosesi etkileyen önemli bir parametre olduğu bilinmektedir (Fuerstenau ve Williams, 1987). Benzer olarak, ıslanma özellikleri taneleşme proseslerinin davranışını ve performansını da etkilemektedir. Minerallerin ıslanma davranışını değerlendirmek için iyi bilinen temas açısı ölçümü ve flotasyon yöntemleri kullanılmaktadır (Zisman, 1964; Williams ve Fuerstenau, 1987).

Talk [$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$] kimyasal formüle sahip en yumuşak mineral olan bir sulu magnezyum silikattır. Talk hayvan yemi ve gübrede kozmetik, deterjan, teknik seramik, plastik ve kağıda kadar dolgu maddesi olarak geniş bir uygulama alanında kullanılmakta olduğundan, bu çok yönlülük (versatilité) talkın aynı derecede kimyasal ve fiziksel özelliklerindeki çeşitlilikten yüzündendir. Talk hidrofobik, kimyasal olarak inört, organofilik, tabakalı ve düşük elektriksel ve yüksek termal iletkenliğe sahiptir (Taylor, 2003). Bunlara ilaveten, öğütme ve flotasyon ile ilgili proseslerde çok önemli olan talkın tane şekli ve ıslanabilirlik özelliklerinin de belirlenmesine gerek vardır. Bu sebepten, bu çalışma sadece uzama oranı, yassılık, yuvarlaklık, göreceli genişlik ve ıslanabilirlik gibi özelliklerin belirlenmesinin yanında tane şekli ve ıslanabilirlik arasındaki muhtemel korelasyonları da ortaya koymaktadır (Ulusoy, 2003).

2. TEORİK BİLGİLER

2.1. Tane Şekli

Mineral taneleri giderek küçüldükçe, onların yüzeyleri de büyük önem arz etmektedir. Bu sebepten, yüzey özellikleri ince tane zenginleştirme

uygulamalarını açıkça etkileyecektir. Boyut küçültmenin yeni yüzeyleri oluşturması ara yüzey alanını artırdığından herhangi bir proseste etkili olacaktır (Hogg, 1980).

Tane şekil karakterizasyonu hemen hemen tüm uygulamalı bilim dallarında, mühendislikte, metalurji ve seramikte çok önemli bir analitik teknik olma potansiyeline sahiptir (Meloy ve ark., 1979). Tane şekli toz sıkıştırması, yığın yoğunluğu, porozite, permabilite, kohezyon, akabilirlik, aşındırma, sıvılarla etkileşme ve pigmentlerle kaplanmayı etkileyen temel bir toz özelliğidir ve bu ilişkiler üzerine çok az kantitatif çalışma yapılmıştır. Şekil tayini üzerine birçok makale yazılmasına rağmen toz davranışı ve son-ürün özelliklerinin ölçümüyle ilgili çok az makale mevcuttur (Allen, 1997).

Şekil tanımlayıcıları birçok farklı seviyelerden şekli tanımlayabilir, fakat görüntüdeki boyut ve konum açısından değişmemelidir. Bu sebepten, universal bir metot yoktur ve şekli bazı ayrıntılarıyla karakterize etmek için bir çok tanımlayıcı gerekmektedir. Çoğu görüntü analiz paketlerinde mevcut olan, basit bir karakterizasyon için genel olarak kullanılan bir çok makroskopik tanımlayıcı bulunmaktadır: uzama oranı, dairesellik, vs. (Pons ve ark., 1999).

Görüntü analizi kantitatif bir şekil ve boyut analizi yöntemidir ve endüstriyel kristalizasyon prosesinde ürün kalite kontrolü yoluyla kullanılabilir. Bir tanenin kontur çizgisi veya 2 boyutlu görüntüsü tane şekli hakkında birçok bilgi vermektedir ve 3 boyutlu görüntüden daha kolaydır. Fakat, 3 boyutlu analize göre aynı istatistiksel güvenilirlikte bilgi için daha fazla örnek popülasyonuna gerek vardır.

2.2. Islanabilirlik Özellikleri

Katı tanelerin hidrofobik ve hidrofilik özelliklerinin köpüklü yüzdürme, yağ aglomerasyonu ve flokülasyon gibi bir çok teknolojik proseste anahtar role sahip olduğu bilinmektedir. Bu sebepten, ıslanma özellikleri taneleşme biçiminde kullanılan ürünlerin prosesdeki davranışını da etkilemektedir. Katıların hidrofobitesini tahmin etmek için kullanılan çok sayıda teknik bulunmaktadır. En önemli iki teknik temas açısı ölçümü ve flotasyon yöntemidir.

İslanabilirliği tarif eden bir parametre de θ temas açısıdır. Zisman'ın getirdiği temas açısı ölçüm yönteminde, yüzey gerilimi önceden belirlenen bir seri sıvı veya çözelti kullanılarak katıların temas açısı ölçülmektedir. Elde edilen temas açılarının (θ) kosinüsüne karşı sıvıların su-hava ara yüzey gerilimi (γ_{SH}) eğrisi çizilmektedir. $\cos \theta = 1$ olduğu nokta γ_{SH} değerinin ekstrapolasyonu, Şekil 1'de gösterildiği gibi katının kritik ıslanma yüzey gerilimi (γ_c) değeri olarak bulunmaktadır (Shafrin ve Zisman, 1960). Bu değerden daha küçük yüzey gerilimine sahip çözeltilerle mineral ıslanmakta ve hidrofilitik davranmaktadır, bir başka ifadeyle yüzeyliliğini kaybetmektedir. Katı-sıvı-hava ara yüzeyleri arasında iyi bir temas açısının olması, yani $\theta > 0$ olması için kullanılan sıvının (γ_{SH}) yüzey geriliminin γ_c değerinden büyük olması gerekmektedir. Bu da flotasyonun başarılı olmasını gerektiren koşullardan birincisidir. Temas açısı arttıkça, yüzeyin hidrofobitesi de artmaktadır (Yekeler ve Yazar, 1994).

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Mineral

Bu çalışmada, Sivas Tecer yöresinden sağlanan ve %59.52 SiO_2 ve %30.97 MgO (Çizelge 1) yani yaklaşık olarak %94 talk içeren talk numunesi kullanılmıştır. Şekil 2'de verilmiş olan örneğin kimyasal (SEM) ve mineralojik (XRD) analizleri şeklin mineral kompozisyonundan etkilenmemesi için yeteri kadar saf olduğunu göstermektedir.

3.2. Öğütme Testleri

Tüm öğütme testleri kuru koşullarda çalışılmıştır. Bilyalı değirmen öğütmesi için 200 mm çapında ve 184 mm uzunluğunda laboratuvar ölçekli bir bilyalı değirmen ile birlikte 30 mm ve 26 mm çaplara sahip yaklaşık 5475 gr paslanmaz çelik bilya kullanılmıştır. Değirmene beslenen malzeme 374.2 g ağırlığında ve $-850+600 \mu\text{m}$ boyutundadır.

Çubuklu değirmen öğütme testleri 200x280 mm laboratuvar ölçekli bir çubuklu değirmende yapılmıştır. Çubuklu değirmende öğütme süresince, öğütme ortamı olarak 22.600 kg ağırlığında, 29, 24 ve 19 mm çaplarında paslanmaz çelik çubuklar kullanılmıştır. Besleme boyutu ve miktarı sırasıyla $-4\ 750+3\ 350 \mu\text{m}$ ve 759.6 g'dır.

Otojen öğütme için ise, 420x225 mm lastik astarlı laboratuvar ölçekli otojen değirmen kullanılmıştır. Otojen öğütme testleri için $-80+50 \mu\text{m}$ (3000 g) öğütme medyası ve $-10\ 000+1000 \mu\text{m}$ (2000 g) besleme malzemesi kullanılmıştır.

32 dakika bilyalı öğütme, 16 dakika çubuklu öğütme ve 256 dakika otojen öğütmeyle yaklaşık olarak aynı miktarda $-250 \mu\text{m}$ tane boyu üretildiği için optimum öğütme süresi olarak kullanılmıştır. Belirlenen optimum öğütme sürelerinde öğütülmüş, büyük oranda $250 \mu\text{m}$ tane boyutundan ince malzeme içeren numuneler daha sonra $45 \mu\text{m}$ 'luk elekten elenerek $-250+45 \mu\text{m}$ tane boyu aralığında malzemeler sonraki SEM ve temas açısı ölçümlerinde kullanılmak üzere hazırlanmıştır.

3.3. İki-Boyutlu SEM Ölçümleriyle Tanelerin Şekillerinin Karakterizasyonu

Farklı ortamlarda öğütülmüş (bilyalı, çubuklu ve otojen) talk mineralinin şekil özelliklerini 2 Boyutlu (2-D) olarak belirlemek için Jeol JSM-6400 SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) kullanılmıştır. SEM ölçümleri için önceki kısımda da bahsedildiği gibi $-250+45 \mu\text{m}$ boyutunda tanelerden oluşan fraksiyon kullanılmıştır. Temsili olarak alınmış her numune küçük plakalara dökülerek iletkenliğin sağlanması amacıyla altınla kaplanmıştır. Mikroskopla uygun büyütme yapılarak her numuneye ait farklı bölgelerden 4 adet toplu resim (mikrograf) çekilmiştir. Her bir mikrograf daha sonra bir tarayıcı (scanner) yardımıyla dijital görüntülere (jpeg formatında) dönüştürülmüştür.

Tanelerin eksenlerinin ölçülmesi için COREL Draw 10.0 bilgisayar programı kullanılmıştır. Her bir görüntü (image) bu programa alınarak (import) görüntüler üzerinde hassas bir eksen ölçümü yapılabilmesi için yaklaşık %400 büyütmeyle çalışılmıştır. Her görüntüde sınırlar içinde kalan, birbiri üzerine binmemiş ve sınırları net olarak görülebilen taneler ele alınmıştır. Tanelerin şekil özelliklerinin karakterizasyonu tanelerin izdüşümleri veya silüetlerinin analizine dayanmaktadır. Tanenin izdüşümünün elips şeklinde olduğu varsayılarak (Forssberg ve Zhai, 1985), Şekil 3'te görüldüğü gibi her bir tanenin uzun (L) ve kısa (W) eksenleri mm cinsinden ölçülüp Microsoft Excel bilgisayar programına veri olarak aktarılmıştır. Her bir tanenin her bir eksenine ait 5 ölçüm alındıktan sonra her eksen için 5

değerin ortalaması bulunmuş, görüntülerin ölçekleri dikkate alınarak gerçek uzunluk ve genişlik değerleri mikron cinsinden hesaplanmıştır. Böylece şekilsel parametrelerin hesaplanması için temel oluşturacak L ve W değerleri bulunmuştur.

Aynı prosedür her bir öğütme ürününden yaklaşık 139 tane için uygulanmıştır. Böylece, aşağıdaki eşitlik 1 ve 2 de gösterildiği gibi uzunluk ve genişlik temel alınarak tane izdüşümünün alan (A) ve çevre (P) değerleri hesaplanabilmektedir: (Beyer, 1978).

$$A = \frac{\pi L W}{4} \quad (1)$$

$$P = \frac{\pi}{2} \left[\frac{3}{2} (L + W) - \sqrt{LW} \right] \quad (2)$$

Bu temel değerlere göre uzama oranı, yassılık, yuvarlaklık ve göreceli genişlik gibi 4 şekil parametresi (eşitlik 3, 4, 5 ve 6) farklı değirmenlerde öğütülmüş tanelerin şekil karakterizasyonu için kullanılmıştır (Heywood, 1947; Hausner, 1966; Hagerman ve ark., 1980; Serra, 1982; Forssberg ve Zhai, 1985).

$$\text{Uzama oranı (E)} = \frac{L}{W} \quad (3)$$

$$\text{Yassılık (F)} = \frac{p^2}{4\pi A} \quad (4)$$

$$\text{Yuvarlaklık (R)} = \frac{4\pi A}{p^2} \quad (5)$$

$$\text{Göreceli genişlik (RW)} = \frac{W}{L} \quad (6)$$

Eşitlik (4) ve (5)'ten görülebileceği gibi, yassılık aslında yuvarlaklığın tersidir. Yuvarlaklık daire için maksimum değeri yani 1 değerini alır. Tersine, yassılık daire için minimum değere sahiptir, yani 1'e eşittir. Göreceli genişlik ve yuvarlaklık uzama oranı azaldıkça artmakta, bir başka deyişle, bu fonksiyon azaldıkça tane izdüşümü daha da yuvarlaklaşmaktadır. Diğer taraftan, yassılık fonksiyonu uzama oranı arttıkça artmaktadır. Yani, bu fonksiyon değeri arttıkça, daha taneler daha da uzamaktadır.

3.4. Islanabilirlik Testleri

3.4.1. Çözeltiler

Kritik ıslanma yüzey gerilimi (γ_c) değerlerini elde etmek için farklı konsantrasyonlarda (%w/w) metanol çözeltileri hazırlanmıştır (Yarar ve Kaona, 1984). Metanol-saf su karışımıyla hazırlanan çözeltilerin yüzey gerilimleri (γ_{SH}) damla-ağırlık ölçümü tekniğiyle belirlenmiştir (Padday, 1968).

3.4.2. Temas Açısı Ölçümü

Talk minerali için kritik ıslanma yüzey gerilimi (γ_c) değerleri sessile drop yöntemi kullanan Rame-Heart Inc.'in 100 NRL modelindeki Contact Angle Goniometer cihazı kullanılarak belirlenmiştir.

3 dakika manyetik karıştırıcıda kondüsyonlanan -250+45 μ m boyutundaki her bir öğütme ürününden biriktirilen talk numunelerinin etüvde nemi büyük oranda uçurulduktan sonra yaklaşık 1.5 g.lık malzeme (cevherin cinsine bağlı olarak malzemenin miktarı ve sıkıştırma oranı sabit tutulmuştur) presle sıkıştırılarak 1.25 cm çapında peletler haline getirilmiştir. Hazırlanan her bir pelet goniometre platformuna yerleştirilip üzerine damlalıklı yüzey gerilimi bilinen metanol çözeltisinden 1 damla (damla büyüklüğü hep aynı olacak şekilde) damlatılmıştır. Damlanın görüntüsü üzerine goniometrenin mikroskobu odaklanarak, pelet yüzeyindeki damlanın her iki kenarından temas açısı okunmuştur. Okunan değerlerin aritmetik ortalaması alınmıştır. Her bir numuneden üç ölçüm alınıp bunların ortalaması bulunup bu değer kosinüsüne karşı γ_{SH} değerlerinin değişimi çizilerek γ_c değeri elde edilmiş ve ıslanma verisi olarak elde edilmiştir.

4. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Çizelge 2 farklı değirmenlerde öğütülmüş talk mineralinin şekil özelliklerinin SEM tekniğiyle belirlenmiş değerlerini göstermektedir. Her bir değirmen ürününden ortalama olarak 139 tane ölçüldükten sonra, alan ve çevre değerleri (1) ve (2) no'lu eşitliklere göre hesaplanıp, uzama oranı, yassılık, yuvarlaklık ve göreceli genişlik gibi şekil özellikleri sırasıyla (3, 4, 5 ve 6) no'lu eşitlikte verildiği gibi bulunmuştur. Şekil 4 SEM tekniğiyle

belirlenmiş şekil özelliklerine ait sonuçların karşılaştırılmasını göstermektedir. Şekil 4 (a-d)'de gösterildiği gibi, çubuklu öğütme ürün en yüksek uzama oranı ve yassılığa sahip iken, bilyalı değirmen ürünü en düşük değerlere sahip olmuştur. Buna karşın, bilyalı değirmen en yüksek yuvarlaklık ve göreceli genişlik değerleri üretirken, çubuklu değirmen en düşük değerleri üretmiştir. Bir başka ifadeyle, Şekil 5 (a-b)'de gösterildiği gibi bilyalı değirmen ürünleri daha yuvarlak olurken, çubuklu değirmen ürünleri daha uzun şekle sahiptir. Şekil 5 (c-d)'de gösterildiği gibi SEM mikrografından alınan temsili görüntüler de bu ifadeleri desteklemektedir. Bu sonuç otojen, bilyalı ve çubuklu öğütmenin farklı öğütme mekanizmalarına sahip olmasıyla açıklanabilmektedir. Bilyalı ve çubuklu değirmenlerde darbeye boyut küçültme etkindir. Aşındırma (abrasion) ise öğütme şarjı ve astarların aşınmasına sebep olduğundan negatif bir faktördür. Otojen değirmenlerde ise serbestleşme esasen düşük hızlardaki aşındırma yüzündendir, darbe ve atrisyon (attrition) şeklinde aşındırma daha az önem arz etmekte hatta bazı durumlarda, beslenen cevherin özelliğine bağlı olarak öğütme prosesine zararlı olmaktadır (Digre, 1988).

Temas açısı yöntemiyle belirlenmiş değirmen ürünlerinin γ_c değerleri Şekil 6 (a-c) ve Çizelge 3'de verildiği gibi, 30-32 mN/m arasında değişmiştir. Çizelge 3'ten açıkça görüleceği gibi, en yüksek ıslanabilirlik değerleri bilyalı öğütme ürününe aittir. Buna karşın, çubuklu değirmen en düşük γ_c değerlerine sahip olmuştur. Bu bulgular önceki literatür bulgularıyla uyumludur (Garshva ve ark., 1978; Fowkes ve Harkins, 1940; Kelebek, 1984).

SEM (iki boyutlu) ölçümleriyle belirlenmiş şekil özellikleri, temas açısı yöntemiyle belirlenmiş kritik ıslanma yüzey gerilimi γ_c değerleriyle (bakınız Çizelge 2, ve 3) ilişkilendirilmiştir. Kritik ıslanma yüzey gerilimi (γ_c) değerleriyle uzama oranı (E), yassılık (F), yuvarlaklık (R) ve göreceli genişlik değerleri arasında bulunan ilişkiler Şekil 7 (a-d)'de gösterilmiştir. Bu şekillerden görüldüğü gibi, γ_c değerleri E ve F değerleri azaldıkça artmakta ve R ve RW değerleri arttıkça artmaktadır. Yani, daha az yuvarlak ve göreceli genişliğe ve daha çok uzama oranı ve yassılığa sahip tane yüzeyleri daha fazla hidrofobik olmaktadır. Bu sebepten, daha uzun ve yassı taneler daha az ıslanabilirliğe yada daha fazla

hidrofobisiteye sahiptir. Bu sonuçlar verilen literatürle uyumludur (Princen, 1969; Huh ve Mason, 1974; Hoberg ve Schneider, 1978; Schulze, 1984; Forssberg ve Zhai, 1985; Wotruba ve ark., 1991; Yazar ve Aksu, 1997). Bu prizmatik tanelerin yuvarlak olan tanelere kıyasla daha güçlü adhezyon kuvvetine sahip olması ve sonucunda daha büyük temas alanı ve daha uzun temas çizgilerine sahip olması yüzündendir (Oliver ve ark., 1977). Bu korelasyonlar Çizelge 4'de korelasyon katsayıları (R^2) ile birlikte ampirik bağıntılarda görülebilmektedir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmadan çıkarılan başlıca sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Bu çalışmada geliştirilen yöntemler endüstride yaygın bir kullanım alanı bulan talk minerali için kritik ıslanma yüzey gerilimi değerleri (γ_c) ile tane şekil parametreleri (E, F, R, RW) arasındaki korelasyonların kurulmasını mümkün kılmıştır.
- Yüzey özellikleri (yani, uzama oranı, yassılık, yuvarlaklık ve göreceli genişlik) ile kritik ıslanma yüzey gerilimi değerleri (γ_c) arasında kurulan korelasyonlar, " $\gamma_c = a$ (yüzey özelliği) + b" tipinde olup, korelasyon katsayıları (R^2) 0.86'dan daha büyük çıkmıştır.
- Tanelerin uzama oranı ve yassılığı azaldıkça ıslanabilirlikleri artmıştır.
- Tanelerin yuvarlaklık ve göreceli genişlikleri arttıkça ıslanabilirlik derecesi de artmıştır.
- Daha yüksek γ_c değerlerine sahip daha uzun taneler değirmen tipinden bağımsız olarak daha yüksek hidrofobisite gösterirlerken, daha yuvarlak yüzeyler daha yüksek ıslanabilirliğe veya daha az hidrofobisiteye sahip olmuşturlar.

Kısaltmalar

θ	Temas açısı, derece
γ_{SH}	Sıvı-hava yüzey gerilimi değeri, mN/m
γ_c	Kritik ıslanma yüzey gerilimi değeri, mN/m
L	Tane izdüşümünün uzunluğu, μm
W	Tane izdüşümünün genişliği, μm
A	Tane izdüşümünün alanı, μm^2
P	Tane izdüşümünün çevresi, μm
E	Uzama oranı,
F	Yassılık,
R	Yuvarlaklık,
RW	Göreceli genişlik.

TEŞEKKÜR

Yazarlar bu çalışmaya sağladıkları katkılardan dolayı TÜBİTAK ve CÜBAP (Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu)'a teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

- Rowland, C.A. ve Kjos, D.M., 1997. In: Kawatra, S. K. (ed.), *Comminution Practices*, SME.
- Oja, M. ve Tuunila, R., 2000. *The influence of comminution method to particle shape*, Proceeding of the XXI Int. Min. Proc. Cong., C4.64-C4.70.
- Durney, T.E. ve Meloy, T.P., 1986. *Particle shape effects due to crushing method and size*, International Journal of Mineral Processing, 16, 109-123.
- Bozkurt, R., Taşdemir, A. ve Çelik, O.N., 1998. *The breakage characterization of pyrite by image analyzer*, Innovations in Mineral and Coal Processing, Atak, Önal & Çelik (Ed.) Balkema, Rotterdam, 49-54.
- Petruk, W., 1986. *The MP-SEM-IPS image analysis system*. CANMET Report 87-IE (CANMET, Dept Energy, Mines and Resources, Canada), Ottawa.
- Petruk, W., 1988. *Automatic image analysis for mineral beneficiation*, J. Metals, 40, 29-31.
- Petruk, W., 1989. *Short course on image analysis applied to mineralogy and earth sciences*, Mineralogical Ass. Canada: Ottawa.
- Parry, A.O., Swain, P.S. ve Fox, J.A., 1996. Letter to the Editor, *Fluid adsorption at a non-planar wall: Roughness-induced first-order wetting*, J. Phys.: Condens. Matter, 8, L659-666.
- Fuerstenau, D.W. ve Williams, M.C., 1987. *A new method for characterization of surface energy of hydrophobic particles*, Part. Charact., 4, 7-13.
- Zisman, W.A., 1964. *Relation of equilibrium contact angle to liquid and solid constitution in contact angle, wettability and adhesion*, Gould, R. F. (ed.) *Advances in Chemistry Series No.43*. American Chem. Soc. 1-51.
- Williams, M.C. ve Fuerstenau, D.W., 1987. *A simple flotation method for rapidly assessing the hydrophobicity of coal particles*, Int. J. Min. Proc. 20, 153-157.
- Taylor, L., 2003. *Smooth operator: talc gets specialized for growth*, Industrial Minerals, May 24-30.
- Ulusoy, U., 2003. Ph.D. Thesis. Cumhuriyet University, Sivas, Turkey.
- Hogg, R., 1980. *Characterization of mineral surfaces*. In: Somasundaran, P. (Ed.), *Fine Particle Processing*, Vol. I, Society of Mining Engineers of AIME, New York, 492-524.
- Meloy, T.P., Durney, T.E. ve Eppler, D.T., 1979. *Sophisticated shape analysis of green pellets from a balling Drum*, Int. Min. Proc. Cong. Warsaw, Lasakowski (ed.), June 4-9.
- Allen, T., 1997. *Particle Size Measurement*, 5th Edition, Chapman&Hall.
- Pons, M.N. Vivier, H., Belaroui, K., Bernard-Michel, B., Cordier, F., Oulhana, D. ve Dodds, J.A., 1999. *Particle morphology: from visualization to measurement*, Powder Technology, 103, 44-57.
- E. G., Shafrin, W. A., Zisman, 1960. *Constitutive relations in the wetting of low energy surfaces and the theory of the retraction method of preparing monolayers*, J. Phy. Chem., 64, pp. 519-524.
- Yekeler, M. ve Yazar, B., 1994. *Critical surface tension of wetting of low surface energy minerals and their separations by gamma flotation*:

- Realgar, Talc, Stibnite and Sulfur, SME Annual Meeting, New Mexico, USA, 17-94.
- Forssberg, E. ve Zhai, H., 1985. *Shape and surface properties of particles liberated by autogenous grinding*, Scand. J. Metallurgy, 1, 14, 25-32.
- Beyer, W.H., 1978. In: *Handbook of Mathematical Sciences*, CRC Press, Florida.
- Heywood, H., 1947. *The scope of particle size analysis and standardization*, Institution of Chemical Engineers, London, 25.
- Hausner, H. H., 1966. *Characterization of the powder particle shape*, Planseeberichte, Pulvermetall., 14, 2, 75-84.
- Hagerman, T.H., Black, K. ve Lilliesköld., 1980. *Shape and surface of mineral grains tested for mortar and concrete purposes through image analysis*, Swedish Council for Building Research, D.26.
- Serra, J., 1982. Academic Press Inc., New York.
- Yarar, B. ve Kaoma, J. 1984. *Estimating of the critical surface tension of wetting of hydrophobic solids by flotation*, Colloids and Surfaces, 11, 426-429.
- Padday, J.F., 1968. *Surface and Colloid Science*, In: Matijevic, E. (ed.), New York.
- Digre, M. 1988. *Development in Autogenous Grinding*, Proc. II. Int. Proc. Symp, Turkey, 3-20
- Garshva, S., Contrares, S. ve Goldfarb, J., 1978. *Hydrophobic characterization of powders. Some criteria and experimental evidence*. Coll. Polym. Sci., 256, 3, 341-350.
- Fowkes, F.M. ve Harkins, W.D., 1940. *The state of the monolayers adsorbed at the interface solid-liquid solution*, J. Amer. Chem. Soc., 62, 3377-3386.
- Kelebek, S., 1984. *Surface properties and selective flotation of inherently hydrophobic minerals*. Ph.D. Thesis, McGill University, Montreal, Canada.
- Princen, H., 1969. *The Equilibrium Shape of Interfaces*, In: Matijevic, E. (ed.), Surface and Colloid Science. Bd 2, New York.
- Huh, C. ve Mason, S.G., 1974. *The Flotation of axisymmetric particles at horizontal liquid interfaces*, Journal of Colloid and Interface Science, 47, 2, 271-289.
- Hoberg, H. ve Schneider, F.U., 1978. *Zur flotation feints verteilter metallphasen aus vorre duzierten*, Erzen.Freib.Forsch. HA.593, 149-160.
- Schulze, H.J., 1984. *Physico-Chemical Elementary Process in Flotation*, Amsterdam, 178-181.
- Wotruba, H., Hoberg, H. ve Schneider, F.U., 1991. *Investigation on the separation of microlithe and zircon. The influence of particle shape on floatability*. Preprints, In XVII. Int. Min. Proc. Cong., Dresden, Germany, vol.4., 83.
- Yarar, B. ve Aksu, S., 1997. *Quantification of the roles of surface heterogeneity and roughness in the establishment of the critical surface tension of wetting of hydrophobic solids*, In XX. Int. Min. Proc. Cong., Aachen, Germany, September 21-26. 3, 41-51.
- Oliver, J.F., Huh, C. ve Mason, S.G., 1977. *Resistance to spreading of liquids by sharp edges*, Journal of Colloid and Interface Science, 59, 568-581.

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan talk mineralinin kimyasal kompozisyonu.

SiO ₂ (%)	MgO (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	NiO (%)	MnO (%)	CaO (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	P ₂ O ₅ (%)	LOI (%)
59.52	30.97	1.06	1.94	0.26	0.02	0.19	0.05	0.02	4.76

Çizelge 2. SEM çalışmalarından hesaplanan talk tanelerinin şekil özellikleri.

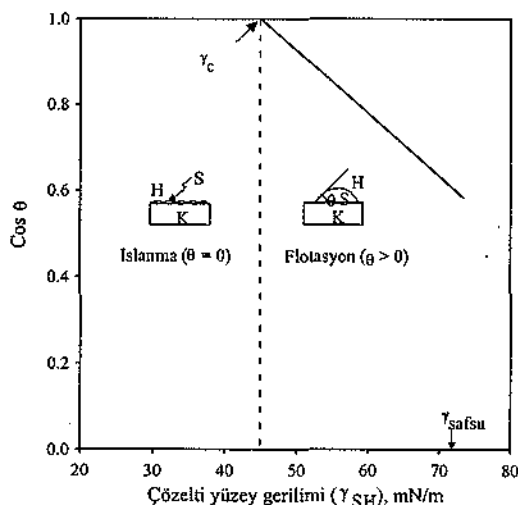
Değirmen Ürünü	Ölçülen tane	L (μ m)	W (μ m)	A (μ m) ²	P (μ m)	E	F	R	RW
Bilyalı	136	103.620	67.540	5493.818	271.740	1.534	1.070	0.934	0.652
Çubuklu	146	95.070	59.010	4403.913	245.265	1.611	1.088	0.920	0.621
Otojen	134	98.970	62.550	4859.600	256.852	1.582	1.081	0.925	0.632
Ortalama	139								

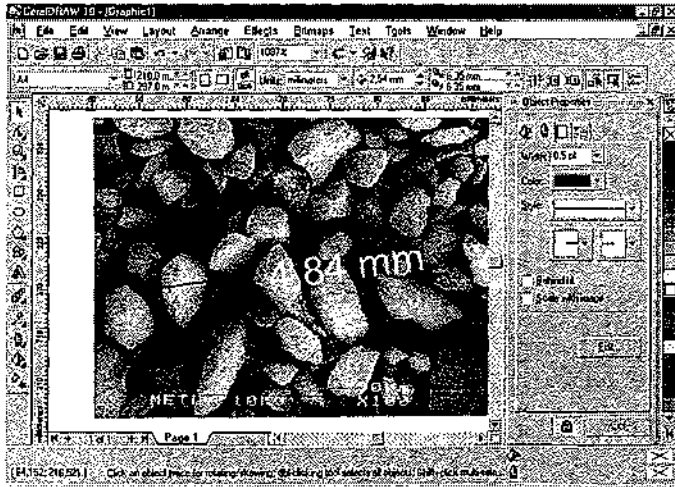
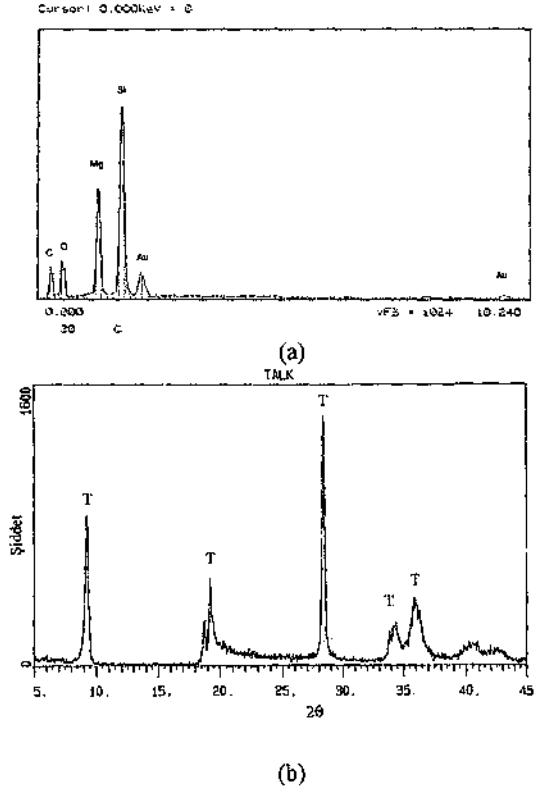
Çizelge 3. Talk mineralinin farklı değirmen ürünlerinin kritik ıslanma yüzey gerilimi (γ_c) değerleri.

Değirmen Ürünü	(γ_c), mN/m
Bilyalı	32
Çubuklu	30
Otojen	31

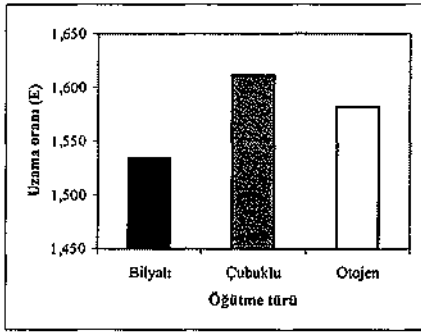
Çizelge 4. Talk mineralinin şekil ve γ_c değerleri arasında kurulan korelasyonları.

Korelasyon	R ²
$\gamma_c = -25.5 E + 71.1$	0.98
$\gamma_c = -109.3 F + 149.0$	0.98
$\gamma_c = 139.1 R - 97.8$	0.97
$\gamma_c = 62.8 RW - 8.9$	0.97

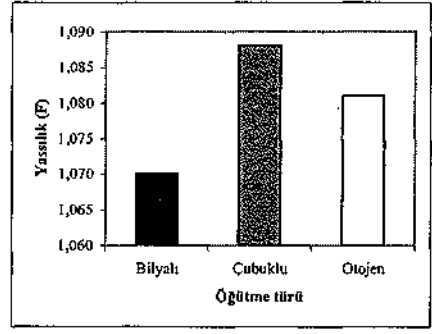
Şekil 1. Temas açısı yöntemiyle talk mineral ürünlerinin kritik ıslanma yüzey gerilimi (γ_c) değerlerinin belirlenmesi.



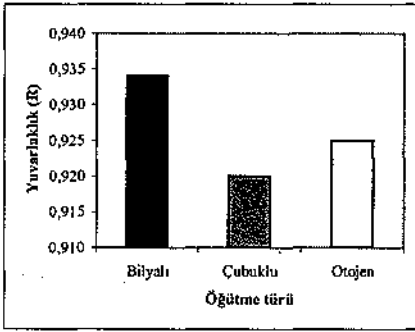
Şekil 3. COREL DRAW programı kullanılarak bir SEM mikrografi üzerinde tane izdüşümlerinin ana eksenlerinin ölçülmesi.



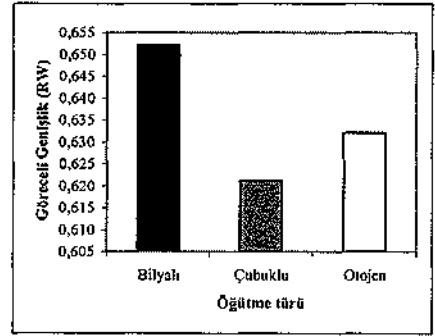
(a)



(b)



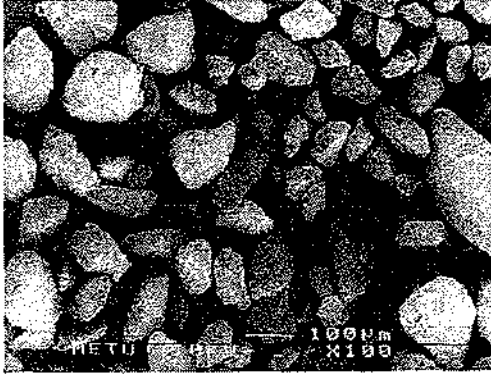
(c)



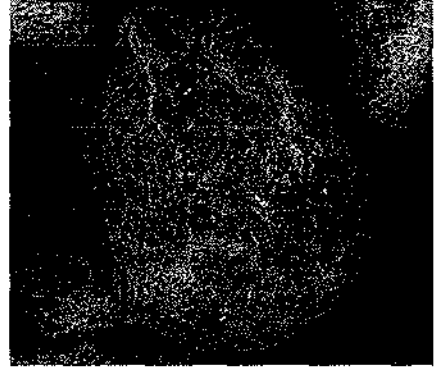
(d)

Şekil 4. Farklı değirmenlerde öğütülmüş talk mineralinin SEM ölçümleriyle hesaplanmış şekil özelliklerinin karşılaştırılması.

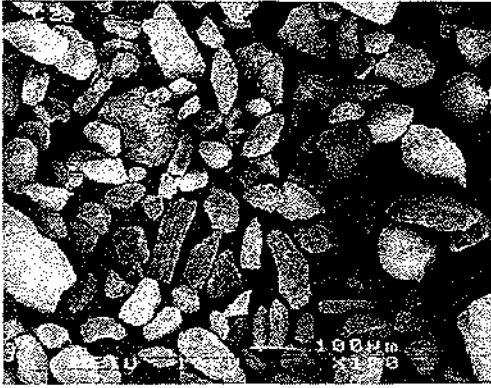
(a) Uzama oranı, (b) Yassılık, (c) Yuvarlaklık, (d) Göreceli genişlik.



(a)



(c)



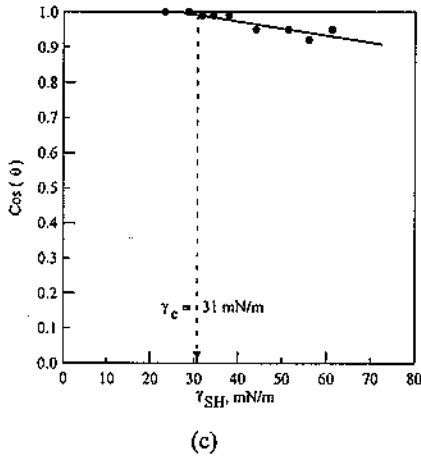
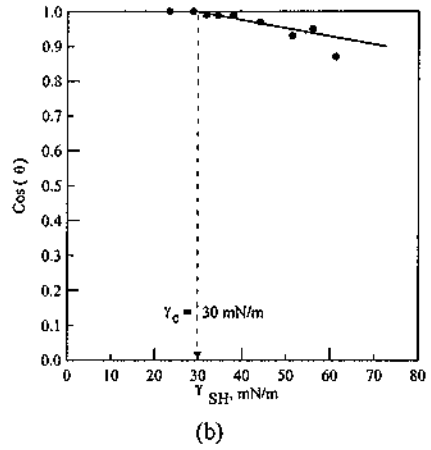
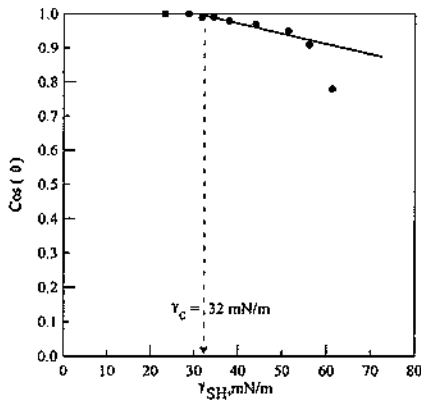
(b)



(d)

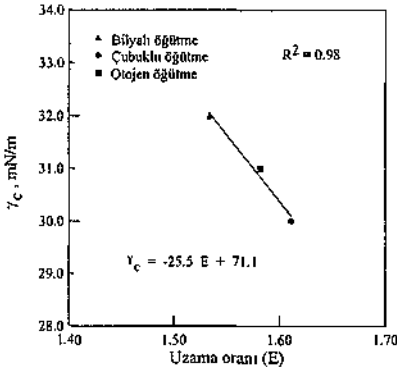
Şekil 5. Sırasıyla 16 ve 32 dakika öğütülmüş talk mineralinin bilyalı ve çubuklu değirmen ürünlerine ait SEM mikrografları ($\times 100$).

(a) Bilyalı değirmen ürünü, (b) Çubuklu değirmen ürünü, (c) Bilyalı değirmen ürününe ait SEM mikrograflarından alınan temsili görüntü, (d) Çubuklu değirmen ürününe ait SEM mikrograflarından alınan temsili görüntü.

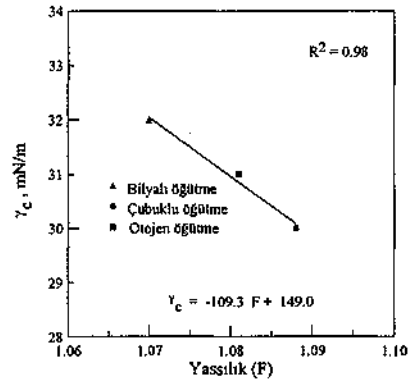


Şekil 6. Farklı değirmenlerde öğütülmüş talk mineralinin temas açısı yöntemiyle belirlenmiş ıslanabilirlik (γ_c) özellikleri.

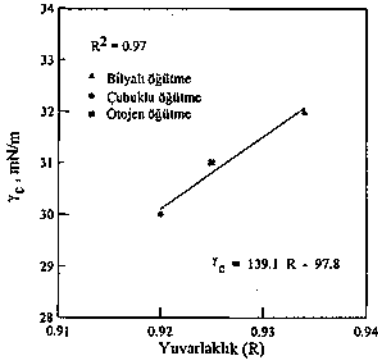
(a) Bilyalı değirmen ürünü, (b) Çubuklu değirmen ürünü, (c) Otojen değirmen ürünü.



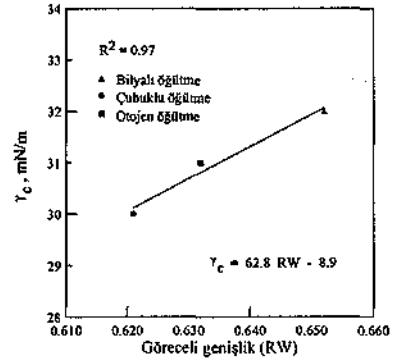
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 7. Farklı değirmenlerde öğütülmüş talk mineralinin şekil ve γ_c değerlerinin değişimi.
(a) Uzama oranı, (b) Yassılık, (c) Yuvarlaklık, (d) Göreceli genişlik.

Profillit Cevherinin Aşındırılmalı Yıkama Yöntemi ile Zenginleştirilme Olanakları

M. Birinci & M. Sarıkaya

İnönü Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 44069, Malatya

ÖZET: Bu çalışmada Malatya-Pütürge yöresi düşük tenörlü profillit cevherinin aşındırılmalı yıkama yöntemi ile zenginleştirilme olanakları araştırılmıştır. Profillit, kuvars ve kaolinitin başlıca mineraller olarak bulunduğu cevher numunesi %13,90 Al_2O_3 ve %79 SiO_2 içermektedir. Çalışmada; pülp katı oranı, karıştırma süresi, karıştırma hızı ve besleme tane boyunun aşındırılmalı yıkamaya etkisi incelenmiş ve optimum zenginleştirme koşulları belirlenmiştir. Al_2O_3 içeriğinin en yüksek olduğu ürüne, besleme tane boyutu -2 mm olan cevherin aşındırılmalı yıkama ile zenginleştirilmesiyle ulaşılmıştır. %27,30 Al_2O_3 ve %63,90 SiO_2 içerikli bu ürün, %63,88 Al_2O_3 verimiyle elde edilmiştir.

ABSTRACT: In this study, enrichment possibility of low grade pyrophyllite ore from Malatya-Pütürge region was investigated by attrition scrubbing method. The ore sample in which pyrophyllite, quartz, kaolinite are the main minerals contains 13.90% Al_2O_3 and 79.00% SiO_2 . Effect of feed solid ratio, mixing time, mixing speed and feed particle size on the results of attrition scrubbing were examined and optimum operating parameters were determined. The best result was achieved with the ore sample ground to -2 mm and then subjected to attrition-scrubbing. The highest concentrate grade with 27.30% Al_2O_3 and 63.90% SiO_2 content was obtained with 63.88% Al_2O_3 recovery.

1. GİRİŞ

Profillit, $Al_2Si_4O_{10}(OH)_2$, bir hidrate alüminyum silikat mineralidir. Yapısında teorik olarak %28,3 Al_2O_3 , %66,7 SiO_2 ve %5 H_2O vardır. Görünüş ve fiziksel özellikleri bakımından talka benzer ve birçok araştırmacı tarafından aynı grupta sınıflandırılır. Talkta, profillitten farklı olarak, Al^{3+} iyonlarının yerini Mg^{2+} iyonları almıştır. Ayrıca profillit talktan daha sert olup, ergime sıcaklığı oldukça yüksektir. Bu nedenle yüksek kaliteli seramik ve refrakter ürünlerin üretiminde önemli bir hammadde konumundadır (Konrad, 2000). Profillitin kristal sistemi monoklinik; ortalama özgül ağırlığı 2,84-2,90 gr/cm^3 ; mohs sertliği 1-2; dilinimi mükemmel; renk ve parlaklığı beyaz, grimsi beyaz, yeşilimsi, inci parıltılı, şeffaf-yarı şeffaftır.

Profillit, 1150-1300°C'de beyaz renkte pişmekte; 1600-1700°C'de ergimektedir. Suda kolay dağılır,

seyreltik asitle tepkime vermez ve öğütüldüğünde az plastik bir harç oluşturur. Profillit ateşe dayanıklı olup, 1200°C'de kristobalit ve mullite (amorfl silika) dönüşür ve mullitleşme reaksiyonları 1400-1450 °C 'ye kadar devam eder; sertliği 1-2'den 7-8'e yükselir. Termal iletkenliği, genleşme katsayısı, sıcak yük deformasyonu, ters termal genleşmesi ve kütle yoğunluğu düşüktür. Mükemmel tekrar ısıtma stabilitesi vardır. Ergimiş metal ve curufların sebep olduğu korozyona karşı dirençlidir. Düşük ısıtma büzülmesi gösterir ısı iletim özelliği yüksek, ısı genleşme katsayısı ise düşüktür (Cornish, 1983).

Profillitin bu özellikleri sanayinin birçok kolunda kullanılmasını sağlamaktadır. Profillitin masif şeklinde olanları genellikle refrakter malzeme için uygun kabul edilir. Alümina oranı, yüksek kaliteli refrakter ürünlerde %15-18, düşük kaliteli ürünlerde %12-18 olmaktadır. Refrakter tuğla ve blokların üretiminde zirkonla değişik oranlarda karıştırılarak hammadde olarak kullanılır. Seramik

sanayinde genellikle kristal formdaki profillitler kullanılır. Yüksek alümina içeriği ve ısıl özelliğinden dolayı kullanımı avantaj sağlar (Açıkalın, 1991). Seramik reçetesine feldispat yerine profillit katıldığında fire ve çatlama azalır, seramik ürünün sır kabul etme yeteneği ve ani sıcaklıklara dayanıklılığı artar. Temel kullanım alanlarının yanı sıra beyaz çimento, lastik-plastik, kâğıt, boya, sabun, tekstil ve kozmetik sanayinde, soda camı, zift, beyaz tutkal, yapıştırıcı üretiminde ve ayrıca bitkisel yağları süzmede filtrasyon yardımcı maddesi olarak da kullanılmaktadır (Temur, 2001).

Türkiye'de bugüne kadar belirlenmiş profillit cevheri yalnızca Malatya-Pütürge yöresinde bulunmaktadır. Jeolojik rezervi toplam 20 milyon ton olup, maden yatakları 1988 yılından beri özel sektör tarafından açık maden işletme yöntemleriyle işletilmektedir (Temur, 2001). Malatya profillit cevheri genellikle riyalitler, dasitler ve daha az olarak da andezitler içindeki feldispatların hidrotermal veya metasomatik alterasyonu sonucu oluşmuştur. Yataklarda profillite hemen her zaman kaolinit, kuvars, pirit, manyetit, hematit eşlik eder (Chessex ve Yazgan, 1991). Üretilen düşük tenörlü cevherler çimento endüstrisine satılmaktadır. Düşük tenörlü cevherlerin, profillit mineralinin doğal yüzeyliliğinden yararlanarak köpüklü flotasyonla ya da birlikte bulunduğu kuvarsla aralarındaki sertlik ve kırılma farkından yararlanarak zenginleştirilebileceği belirtilmektedir (Erdemoğlu ve Sarıkaya, 1999).

Bir mineralin kırılma gücü, o mineralin darbeye, baskıya karşı gösterdiği dirençle ifade edilmektedir. Kolay kırılan gevrek mineraller, zor kırılan dayanıklı minerallere göre, daha fazla ince tane verirler. Bu durumda bazen kıymetsiz mineral iri boyutta kalırken kıymetli mineral fazla ufalanabilir; bazen de bunun tersi olabilir. Her iki durumda da iri ve ince ürünlerin alındığı bir sınıflandırma yapılsa kıymetli mineral ya da mineraller belirli ölçülerde zenginleştirilebilir. Sınıflandırma işlemi, boyut küçültme sonrası doğrudan yapılabilmesi gibi dağıtma ve yıkama sonrası da yapılabilir. Cevher hazırlamada aşındırma yıkama ile zenginleştirme olarak bilinen bu yöntem, ön zenginleştirme ya da son zenginleştirme amaçlı kullanılmaktadır.

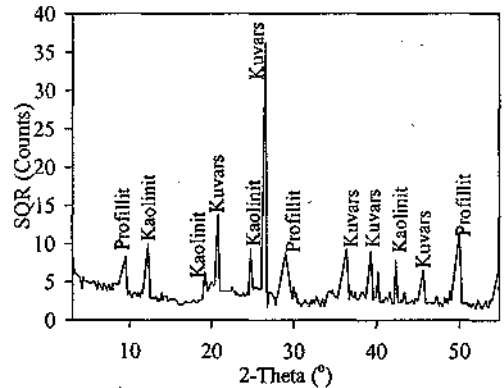
Profillitin birlikte bulunduğu kuvars ile aralarındaki sertlik, kırılma farkından ve suda dağılabilme

özelliğinden yararlanılarak aşındırma yıkama ile zenginleştirilmesi olanaklarının araştırılması bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Malzeme

Çalışmada kullanılan profillit cevher numunesi Malatya-Pütürge yöresinde profillit üretimi yapılan bölgeden sağlanmıştır. 75 mikron altına öğütülmüş cevherin X-Işınları difraktometresiyle (XRD) yapılmış mineralojik analizi ana minerallerin profillit ($\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$), kuvars (SiO_2), ve kaolinit ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) olduğunu göstermiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışmada kullanılan profillit cevherin XRD analizi sonucu belirlenen başlıca mineralleri.

Cevherin X-Işınları floresans spektrometresi (XRF) ile yapılan tam kimyasal analiz sonuçları ise Çizelge 1'de verilmiştir. Ayrıca Çizelge 1'de, bazı sektörler tarafından kullanılan profillit cevherinin bileşenleri de verilmiştir. Bu verilere göre; cevher numunesi Al_2O_3 içeriğinin oldukça düşük, SiO_2 içeriğinin yüksek olduğu görülmektedir. Cevherin diğer oksit bileşenleri ise sektörlerce kabul edilebilir oranlardadır.

Çizelge 1. Cevher numunesinin ve bazı sektörlerde kullanılan profilit cevherinin bileşenleri.

Ana Bileşen	Deney Numunesi	Kontak Refrakter (a)*	Fırın Döşemesi (b)*	Seramik İşleri (c)*
Al ₂ O ₃	13,90	15,80	20,60	28,20
SiO ₂	79,00	78,50	73,90	65,80
Fe ₂ O ₃	0,35	0,38	0,45	0,11
TiO ₂	0,35	0,39	B.Y.	0,18
MgO	0,26	0,12	B.Y.	0,01
CaO	0,18	0,30	B.Y.	0,01
MnO	0,01	B.Y.	B.Y.	B.Y.
Na ₂ O	0,07	0,11	0,12	0,10
K ₂ O	0,14	0,24	0,44	0,04
P ₂ O ₅	0,10	B.Y.	B.Y.	B.Y.
A.K.	5,64	3,90	4,30	5,10

a) Metalurjik ve çelik endüstrisi için Al₂O₃ %14-20 ve Na₂O+K₂O %0,5 den küçük olmalıdır.

b) Fırın döşemesi için Al₂O₃ %18-20 ve toplam alkali miktarı %1 olmalıdır.

c) Sanatsal uygulamalar, zemin ve duvar fayansları, sıhhi seramikler ve elektrik porselenleri için Al₂O₃ en az %22, Fe₂O₃ ve Na₂O en fazla %0,5 olmalıdır.

*CIM Bulletin Report, 1994.

B.Y. Bilgi yok; A.K. Ateşte kayıp.

2.2. Yöntem

Aşındırılmalı-yıkama yöntemi genel olarak, boyut küçültme işlemleriyle ufalanan malzemeye oluşturulmuş pülün uygun bir hücre içerisinde dağıtılmasından sonra bir sınıflandırıcı vasıtasıyla sınıflandırılması işlemlerini içermektedir.

Karıştırma-dağıtma işlemi 9 cm çapında, 22 cm derinliğinde bir cam hücre içerisinde yapılmıştır. Dağıtma işleminin etkisini artırmak için hücrenin içine 1 cm eninde, 20 cm uzunluğunda 3 adet paslanmaz çelik plaka eşit aralıklarla tutturulmuştur. Karıştırma işlemi için Denver marka laboratuvar tipi flotasyon makinesine bağlı 6 cm çapında, 1,4 cm eninde, altı adet düz kanatçığı olan bir karıştırıcı pervane kullanılmıştır. Hücre içerisinde belirli süre karıştırılarak dağıtılmış malzeme, belirlenen süre sonunda boşaltılarak sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma işlemi için 200 mm çapında, 50 mm derinliğinde ASTM E-11 model standart test elekleri kullanılmıştır. Eleme işlemi Ro-tap otomatik eleme makinesinde 15 dakika süreyle yaş olarak yapılmıştır. Ürünler etüve 105°C de kurutulduktan sonra elek analizi yapılmıştır.

Elek üstü ürünlerin Al₂O₃ tenörü XRF ile, SiO₂ tenörü ise gravimetrik olarak belirlenmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Boyut Küçültme

Aşındırılmalı yıkama deneyleri, tane boyları farklı olan altı grup numune ile (-4,75; -2,00; -0,85; -0,60; -0,30 ve -0,15 mm) yürütülmüştür. Altı farklı tane boyutunda besleme malzemesi hazırlamak için 10-15 cm büyüklüğündeki parçalardan oluşan yaklaşık 150 kg profilit cevherinin tamamı önce çeneli kırıcıda 1 cm'nin altına kırılmıştır. Orijinal olarak ferromanyetik mineral içermediği tespit edilen kırılmış numune, kırma işlemi sırasında kırıcı çene astarlarından karışmış olabilecek demir parçalarından temizlenmek için düşük alan şiddetli kuru manyetik ayırıcıdan geçirilmiştir. Azaltılmış altı parça numune sırasıyla -4,75; -2,00; -0,85; -0,60; -0,30 ve -0,15 mm tane boyutuna öğütülmüştür. Kırıcı, değirmen ve öğütme koşulları Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Kırıcı, değirmen ve öğütme koşulları.

Kırma		
Kırıcı	Türü	Üstten mafsallı çeneli kırıcı
	Ağız açıklığı	100x150 mm
	Boğaz açıklığı	0-20 mm arası ayarlanabilir
	Kırma kapasitesi	50-150 kg/saat
	Motor özellikleri	4 HP, 1400 d/d, 380 v
Öğütme		
Değirmen	Malzemesi	Porselen
	Uzunlukxçap	220x130 mm
	Hacimce doluluk oranı	%65
	Çalışma Hızı	75 dev/dak
	Öğütme süresi	7 dakika
Öğütme	Öğütme Yöntemi	Kuru öğütme
	Malzemesi	Porselen
	Çapı	20, 25, 35 mm çaplı bilyalardan 1/3, 1/3, 1/3 oranında
Öğütme	Özgül ağırlığı	3,30 %5 gr/cm ³
	Bilya şarjı	Değirmen iç hacminin %35'i

Öğütme süresi uzadıkça kuru öğütülmüş profilitin orijinal kristal yapısını kaybettiği, tabakalarında kaymalar meydana geldiği bildirilmektedir. Ayrıca, 7 dakikadan sonraki öğütmelerin profilitin ısı

davranışını değiştirdiği rapor edilmektedir (Rodríguez and Sánchez-Soto, 1991). Bundan dolayı öğütme işlemlerinde öğütme süresi 7 dakika alınmıştır.

3.2. Aşındırıcı Yıkama

Besleme malzemesi katı oranı, karıştırma süresi, karıştırma hızı ve besleme tane boyunun aşındırıcı yıkamaya etkisini incelenmiş ve en uygun çalışma koşulları belirlenmiştir. Her bir parametrenin çeşitli değer aralıklarında yapılan deneylerden elde edilen optimum değer bir sonraki deneyde sabit değer olarak alınmıştır.

3.2.1. Besleme Katı Oranının Etkisi

Besleme katı oranının aşındırıcı yıkamaya etkisini belirlemek için farklı katı oranlarında (Karıştırma süresi 30 dakika, karıştırma hızı 1000 devir/dakika) aşındırıcı yıkama deneylerine ait sonuçlar Çizelge 3'te verilmiştir. Elek analizi sonuçları beslenen malzemenin aşındırıcı yıkama öncesi elek analizi sonuçlarıyla karşılaştırıldığında, ince malzeme miktarındaki en fazla artış %70 katı oranında elde edildiği görülmektedir. %70'in üzerindeki katı oranında ince malzemedeki düşüş, yüksek katı

yoğunluğunda taneler arasındaki aşınma etkisinin azalmasıyla izah edilebilir.

3.2.2. Karıştırma Süresinin Etkisi

Optimum karıştırma süresini belirlemek için pülpte katı oranının %70, karıştırma hızının 1000 devir/dakika olarak sabit tutulduğu çeşitli karıştırma sürelerinde yapılan aşındırıcı yıkama sonuçları Çizelge 4'de verilmektedir. Karıştırma süresi uzadıkça ince malzeme oranını artmaktadır. İnce malzeme miktarındaki en belirgin artışa 60 dakikada ulaşılmıştır. Beslemede ince malzeme miktarı %11,72 iken, %70 pülpte katı oranıyla yapılan aşındırıcı yıkama deneyi ile ince malzeme miktarı %28,13'e çıkmıştır. 90 ve 120 dakikalık sürelerde yapılan aşındırıcı yıkamada ince malzeme oranlarında anlamlı bir artış olmamıştır.

3.2.3. Karıştırma Hızının Etkisi

Değişik karıştırma hızlarında (pülpte katı oranı %70, karıştırma süresi 60 dakika) yapılan aşındırıcı yıkama sonuçları Çizelge 5'te verilmiştir. İnce malzeme miktarı artışı dikkate alındığında en yüksek miktara 1500 devir/dakika karıştırma hızıyla ulaşılmıştır.

Çizelge 3. Pülpte katı oranının (PKO) aşındırıcı yıkamaya etkisi. (Besleme tane boyu: -2,00 mm)

Tane Boyu Aralığı, μm	Besleme Elek Analizi	%50 PKO	%60 PKO	%65 PKO	%70 PKO	%75 PKO
	Miktar, %	Miktar, %	Miktar, %	Miktar, %	Miktar, %	Miktar, %
-2000 +850	41,76	39,18	39,41	38,76	36,16	38,99
-850 +600	11,54	9,15	8,59	9,14	8,36	7,99
-600 +300	14,31	12,72	12,61	12,44	11,86	12,46
-300 +150	11,40	9,21	8,97	8,94	9,53	9,23
-150 +75	9,27	7,78	7,63	7,58	8,87	8,32
-75	11,72	21,96	22,79	23,14	25,22	23,01
Toplam	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Çizelge 4. Karıştırma süresinin aşındırıcı yıkamaya etkisi. (Besleme tane boyu: -2,00 mm)

Tane Boyu Aralığı, μm	Besleme Elek Analizi	15 Dakika	30 Dakika	45 Dakika	60 Dakika	90 Dakika	120 Dakika
	Miktar, %	Miktar, %	Miktar, %	Miktar, %	Miktar, %	Miktar, %	Miktar, %
-2000+850	41,76	41,44	37,26	36,85	36,44	35,27	34,41
-850 +600	11,54	9,09	8,98	9,08	9,27	8,87	8,61
-600 +300	14,31	12,83	12,35	12,12	11,19	11,24	11,11
-300 +150	11,40	8,65	8,85	8,72	8,07	7,62	7,70
-150 +75	9,27	7,61	7,63	7,25	6,90	6,91	6,94
-75	11,72	20,38	24,93	25,98	28,13	30,09	31,23
Toplam	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Çizelge 5. Karıştırma hızının aşındırma yıkamaya etkisi. (Besleme tane boyu: -2,00 mm)

Tane Boyu Aralığı, μm	Besleme Elek Analizi	750 dev./dak.	1000 dev./dak.	1500 dev./dak.	1750 dev./dak.
	Miktar, %	Miktar, %	Miktar, %	Miktar, %	Miktar, %
-2000 +850	41,76	39,50	37,61	33,11	32,83
-850 +600	11,54	8,89	8,68	8,09	7,94
-600 +300	14,31	13,15	11,62	10,09	10,80
-300 +150	11,40	9,17	8,22	7,68	7,45
-150 +75	9,27	7,83	7,05	7,39	7,38
-75	11,72	21,46	26,82	33,64	33,60
Toplam	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Çizelge 6. Besleme tane boyunun aşındırma yıkamaya etkisi.

Besleme Tane Boyu mm	Tane Boyu Aralığı, μm	Fraksiyonel				Toplam Elek Altı (T.E.A)			
		Miktar %	Al ₂ O ₃ %	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ Verimi %	Miktar %	Al ₂ O ₃ %	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ Verimi %
-4,75	-4750+2000	42,44	6,29	84,73	19,20	100,00	13,90	79,00	100,00
	-2000+850	11,40	8,10	91,70	6,61	57,56	19,51	74,78	80,80
	-850+600	2,13	6,30	94,20	0,96	46,16	22,33	70,60	74,19
	-600+300	2,16	3,70	96,90	0,55	44,03	23,12	69,45	73,23
	-300+150	1,22	3,60	95,45	0,31	41,87	24,12	68,04	72,68
	-150+75	1,58	6,20	92,88	0,70	40,65	24,74	67,23	72,37
	-75	39,07	25,50	66,20	71,67	39,07	25,50	66,20	71,67
	Toplam	100,00	13,90	79,00	100,00				
-2,00	-2000+850	33,06	6,08	91,09	14,46	100,00	13,90	79,00	100,00
	-850+600	8,15	8,52	91,42	4,96	66,94	17,76	77,76	85,53
	-600+300	11,09	8,57	91,27	6,83	58,79	19,05	75,86	80,57
	-300+150	7,73	7,94	90,90	4,39	47,70	21,49	72,28	73,74
	-150+75	7,45	10,14	89,60	5,47	39,97	24,12	68,68	69,35
	-75	32,52	27,30	63,90	63,88	32,52	27,30	63,90	63,88
	Toplam	100,00	13,90	79,00	100,00				
-0,85	-850+600	17,51	7,71	82,87	9,71	100,00	13,90	79,00	100,00
	-600+300	22,66	8,20	85,90	13,38	82,49	15,21	78,18	90,29
	-300+150	15,74	8,70	85,75	9,86	59,83	17,87	75,26	76,91
	-150+75	12,48	10,33	80,49	9,28	44,09	21,14	71,51	67,05
	-75	31,61	25,40	68,00	57,77	31,61	25,40	68,00	57,77
	Toplam	100,00	13,90	79,00	100,00				
-0,60	-600+300	34,84	6,37	86,15	15,97	100,00	13,90	79,00	100,00
	-300+150	20,21	7,71	83,17	11,22	65,16	17,93	75,18	84,03
	-150+75	14,29	18,26	77,12	18,78	44,95	22,51	71,59	72,81
	-75	30,66	24,50	69,00	54,03	30,66	24,50	69,00	54,03
	Toplam	100,00	13,90	79,00	100,00				
-0,30	-300+150	39,52	9,37	84,79	26,62	100,00	13,90	79,00	100,00
	-150+75	23,89	9,00	80,15	15,47	60,47	16,87	75,23	73,38
	-75	36,58	22,00	72,00	57,91	36,58	22,00	72,00	57,91
	Toplam	100,00	13,90	79,00	100,00				
-0,15	-150+75	47,04	7,48	83,74	25,32	100,00	13,90	79,00	100,00
	-75	52,96	19,60	74,80	74,68	52,96	19,60	74,80	74,68
	Toplam	100,00	13,90	79,00	100,00				

3.2.4. Besleme Tane Boyunun Etkisi

Aşındırılmalı yıkamada besleme tane boyunun etkisini incelemek ve uygun besleme tane boyunu belirlemek için farklı tane boylarında beslemeler ile aşındırılmalı yıkama deneyleri yapılmıştır. Deneyler, besleme tane boyu -4,75; -0,20; -0,85; -0,60; -0,30 ve -0,15 mm olan numuneler üzerinde aşağıdaki deney koşullarında yapılmıştır.

- Pülp te katı oranı : %70
- Karıştırma süresi: 60 dakika
- Karıştırma hızı : 1500 devir/dakika.

Sonuçlar Çizelge 6'da verilmiştir. Aşındırılmalı yıkama işlemleri neticesinde hangi tane boyut ya da boyutların konsantre olarak alınabileceğini tespit etmek için fraksiyonel değerlerin yanında toplam elek altı değerleri de verilmiştir.

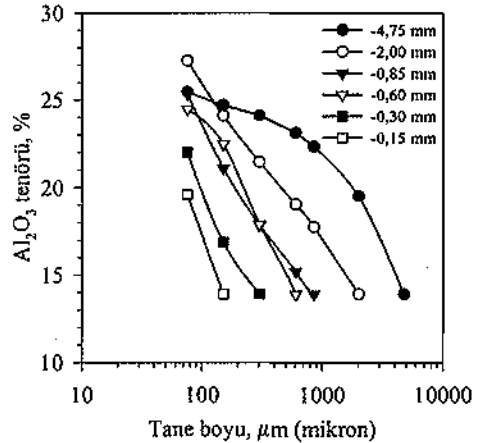
Her elek aralığında bulunan malzemenin Al_2O_3 verimi, söz konusu elek aralığındaki Al_2O_3 miktarının beslemedeki Al_2O_3 miktarına bölünmesiyle hesaplanmıştır.

Farklı tane boyutuna sahip altı besleme malzemeleriyle yapılan aşındırılmalı yıkama işlemleri neticesinde oluşturulmuş olan Çizelge 6'dan elde edilen sonuçlar genel olarak yorumlandığında, tane boyu küçüldükçe Al_2O_3 tenörünün arttığı, SiO_2 tenörünün ise azaldığı görülmektedir. En yüksek Al_2O_3 tenörüne kullanılan en ince elek fraksiyonunda (-75 μm) ulaşılmıştır. İnce boyutlarda Al_2O_3 tenörünün artması, profililit ve kaolinitin bu boyutlarda daha fazla birikmiş olabileceğini göstermektedir. Bu durum, kuvarsa göre sertliği düşük olan profililit ve kaolinitin ince boyutlarda daha fazla ufalanmış olmasıyla açıklanabilir. Böylece, profililit ve kaolinit belirli boyutun altında kuvarstan büyük ölçüde ayrılmaktadır. Al_2O_3 tenörünün en yüksek olduğu sonuçlar, özellikle, iri tane boyunda beslemelerle yapılan aşındırılmalı yıkama ile elde edilmiştir.

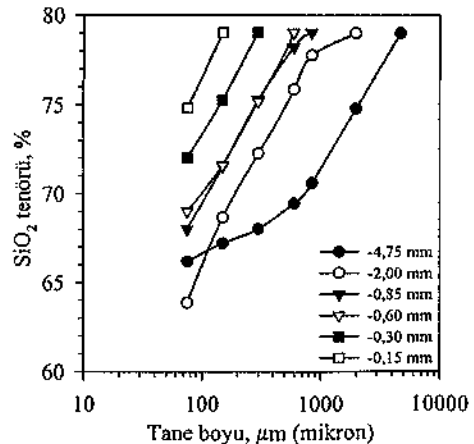
Tane boyu- Al_2O_3 tenörü ilişkisi Şekil 2'de, tane boyu- SiO_2 tenörü ilişkisi Şekil 3'te verilmiştir. Seramik, refrakter malzeme ve tünel fırınlarının yapımında kullanılan bazı profililit cevherlerinin Al_2O_3 tenörleri incelendiğinde; seramik işleri için en az %22 Al_2O_3 , refrakter malzeme yapımı için %18-20 Al_2O_3 , metalurji ve çelik endüstrisinde tünel fırınların imalinde %14-20 Al_2O_3 tenörünün yeterli olmaktadır (Çizelge 1). Bu üç endüstrinin

istediği yeterli Al_2O_3 tenörüne büyük oranda ulaşılmıştır. Örneğin, en iri boyutta besleme malzemesiyle (-4,75 mm) yapılan deney sonucunda %22,33 Al_2O_3 tenörüne 850 μm altında ulaşılmıştır.

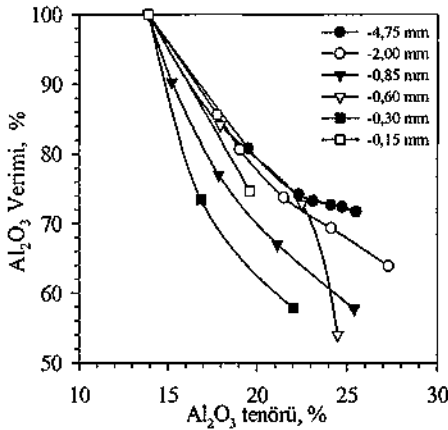
Toplam elek altı ürünlerin Al_2O_3 tenörü ve bu elek altı ürünlerin Al_2O_3 verimi Şekil 4'te gösterilmiştir. Genel olarak, Al_2O_3 tenörü arttıkça Al_2O_3 verimi azalmaktadır (Şekil 4).



Şekil 2. Farklı tane boyutlarında besleme malzemesi ile yapılan deneyler sonucunda toplam elek altı malzeme için tane boyu- Al_2O_3 tenörü ilişkisi.



Şekil 3. Farklı tane boyutlarında besleme malzemesi ile yapılan deneyler sonucunda toplam elek altı malzeme için tane boyu- SiO_2 tenörü ilişkisi.



Şekil 4. Farklı tane boyutlarında besleme malzemesi ile yapılan deneyler sonucunda toplam elek altı malzeme için Al₂O₃ tenörü- Al₂O₃ verimi ilişkisi.

Bu durum, iri boyutta besleme ile (-4,75 ve -2,00 mm gibi) yapılan deneylerde ince boyutlarda profililit ağırlıklı malzeme miktarındaki azalmayla, ince boyutta besleme ile (-0,30 ve -0,15 mm gibi) yapılan deneylerde ise ince boyutlarda Al₂O₃ tenöründeki azalma ve kuvars miktarındaki artmayla açıklanabilir.

4. SONUÇLAR

Malatya-Pütürge yöresi düşük Al₂O₃ tenörlü profililit cevherinin aşındırıcı yıkama ile zenginleştirilmesi çalışmasıyla elde edilen sonuçlar aşağıda verilmektedir.

1. Besleme pülpte katı oranı, karıştırma süresi, karıştırma hızı ve besleme tane boyutu aşındırıcı yıkama ile zenginleştirmede önemli değişkenlerdir. Her bir değişkenin etkisi incelendiğinde %70 pülpte katı oranı, 60 dakika karıştırma süresi, 1500 devir/dakika karıştırma hızı ve -2,00 mm besleme tane boyutunda optimum profililit içeriğine sahip ürün alınabilmektedir.
2. Optimum koşullarda farklı tane boyutunda beslemeyle yapılan zenginleştirmelerde ince elek fraksiyonlarında profililit zenginleşmesinin olduğu görülmüştür. Al₂O₃ içeriğinin en yüksek olduğu ürün, -2,00 mm besleme malzemesiyle

elde edilmiştir. Beslenen malzeme miktarına göre ağırlıkça %32,52 oranında, %27,30 Al₂O₃ ve %63,90 SiO₂ içerikli bu ürün %63,88 Al₂O₃ verimiyle kazanılmıştır.

3. Profililitin kullanım alanları dikkate alındığında bölgede zenginleştirilip bu şekilde değerlendirilecek önemli miktarda cevher bulunmaktadır. Aşındırıcı yıkama sonrası sınıflandırma işlemlerinin uygulandığı basit bir zenginleştirme tesisi bölgedeki düşük tenörlü cevherlerin çimento üretimi dışında örneğin seramik sektörüne de satılabilmesine olanak sağlayacaktır.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, bu çalışmayı 2000/38 Nolu Araştırma Projesi olarak destekleyen İnönü Üniversitesi Araştırma Fonu'na teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

- Açıkalın, N., 1991. *Dünyada ve Türkiye'de Profililit*, MTA Genel Müdürlüğü Fizibilite Etüdları Dairesi, Ankara.
- Chessex, R., and Yazgan, E., 1991. *Geology and Tectonic Evolution of the Southeastern Taurides in the Region of Malatya*, TPJD Bulletin, v. 3/1, December, s.9-11.
- CIM Bulletin Report, 1994. *Industrial Minerals: The Beneficiation of Canadian Talc and Pyrophyllite Ores*, CIM Bulletin s.65:87.
- Cornish, B.E., 1983. *Pyrophyllite, Industrial Minerals and Rocks*, S.J.Lefond (Ed.), SME Publications, New York, s.1085-1108.
- Konrad, C.R., 2000. *Pyrophyllite*, The American Ceramic Society Bulletin, August, s.73-74.
- Perez-Rodríguez, J.L., Sánchez-Soto, P.J., 1991. *The Influence of the Dry Grinding on the Thermal Behavior of Pyrophyllite*, Journal of Thermal Analysis, 37:1401.
- Erdemoğlu, M., Sarıkaya, M., 1999. *Malatya-Pütürge Profililit Cevherinin Flotasyonla Zenginleştirilmesi*, 3. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 14-15 Ekim İzmir, s.124-131.
- Temur, S., 2001. *Endüstriyel Hammaddeler*, Konya, s.299-300

Kömüre Dayalı Termik Santral Uçucu Küllerinden Otoklav Yöntemi ile Hafif Tuğla Üretimi

T. Çiçek & M. Tanrıverdi

Dokuz Eylül Üniversitesi Müh. Fak. Maden Müh. Bölümü Bornova, İzmir

ÖZET: Ülkemizde her yıl yaklaşık 10 milyon ton uçucu kül, kömüre dayalı termik santrallerde elektrik enerjisi üretiminde atık olarak ortaya çıkmaktadır. Büyük miktardaki bu uçucu küllerin çok az bir kısmı çimento ve beton üretiminde hammadde olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada termik santraller için büyük bir sorun teşkil eden uçucu küllerin hafif ve ısı yalıtımı yüksek tuğla olarak değerlendirilebilme imkanları araştırılmıştır. Uçucu kül, kum ve sönmüş kireç karışımlarının yüksek basınçta buhar ile kürlenmesi yöntemi kullanılarak çeşitli deney şartlarında tuğla örnekleri elde edilmiş ve bu örnekler testlere tabi tutulmuştur. Çalışmada, termik santral uçucu küllerinden inşaat sektöründe kullanılabilecek nitelikte tuğlalar üretilebileceği konusunda ümit verici sonuçlar elde edilmiştir.

ABSTRACT: Yearly about 10 million tonnes of fly ash is produced as waste in coal fired thermal power plants in Turkey. Only a small amount of these are utilized as raw material in the production of cement and concrete. In this study, the utilization of the fly ash in the production of light weight bricks is investigated. Fly ash, sand and hydrated lime mixtures were steam autoclaved under different test conditions for production of brick samples. The results of this study suggest that it is possible to produce light weight bricks from fly ash.

1. GİRİŞ

Uçucu kül mikronize kömür ile çalışan termik santrallerde ortaya çıkan ve ülkemizde genellikle termik santral yakınlarındaki büyük alanlara atık olarak yığılan bir malzemedir. Ülkemizde özellikle linyit kömürü ile çalışan santrallerden uçucu küller 10 milyon tona varan miktarlarda atık olarak ortaya çıkmaktadır. Bu açıdan bakıldığında uçucu küller çevresel bir sorun olarak görülmektedirler. Bu küllerin çeşitli özellikleri araştırmacılar tarafından incelenmiş ve çoğunun endüstride ve inşaat sektöründe kullanılabilir kalitede oldukları tespit edilmiştir (Bayat, 1998). Ülkemizde ve dünyada uçucu küllerin değerlendirilmesi amacıyla çeşitli araştırmalar yapılmış ve bu araştırmalar süregelmektedir. Araştırmalar neticesinde uçucu küller için özelliklerine bağlı olarak çimento, seramik, boya, plastik, tarım, çevre ve inşaat sektörlerinde bir çok uygulama alanları bulunmuştur (Baykal ve Döven 2000, Tütünlü ve Atalay, 2001, Iyer ve scot 2001, Pimraska ve ark.

2001, Pron ve ark. 2002, Toktay ve Çetin 1991). Ülkemizde uçucu kül daha ziyade uçucu küllü çimento ve beton üretiminde kullanılmaktadır. Ancak kullanılan miktarlar bu sektörlerin isteği standartlara uygun kalitedeki uçucu küllün teminindeki zorluklardan ötürü diğer ülkelere kıyasla çok azdır. Ülkemizde uçucu kül kullanımının sadece bu sektörlerle sınırlı kalmasının diğer başlıca sebebi uçucu küllerin diğer sektörlerde kullanımına yönelik Ar-Ge çalışmalarının yetersizliğidir.

Kum/kireç tuğlaları (sand/lime bricks) gibi yapı malzemesi üretiminde malzemenin sertleştirilmesi $\text{CaO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ (C-S-H) oluşumuna dayanır (Ball ve Carroll 1999, Baoju ve ark. 2001, Peng ve ark. 1999) Kalsiyum silikat hidrat (C-S-H), Ca(OH)_2 ile SiO_2 in 125-200 °C sıcaklıklarda ve yüksek buhar basıncında bünyesine su alarak tepkimeye girmesi ile oluşur. Bu reaksiyonda öncelikle kireççe zengin bir Tobermorit jeli oluşur. Bu fazın tahmini içeriği

$C_7S_4H_n$ olup, ilerleyen reaksiyon ile daha fazla SiO_2 in bünyeye alınması ile kireç oranı daha düşük bir kalsiyum silikat hidrat olan $C_5S_4H_n$ fazı ve sonunda $C_2S_3H_2$ oluşur (Al-Wakeel ve ark., 1999). Yüksek oranda SiO_2 içeren uçucu küllerin kireçle ile karıştırılıp buharla kürlenme ile yapı malzemesi üretiminde kullanılması fikrinin dayanağı genelinde kalsiyum silikat hidrat oluşumudur. Klimesch ve Ray (Klimesch ve Ray, 1998) tarafından yapılan bir araştırmada Al_2O_3 in varlığında $CaO-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ (C-A-S-H) fazının da oluştuğu gözlenmiştir. Bu sebepten uçucu küllerde bulunan Al_2O_3 in de kireç bazlı, buharla kürlenmiş malzeme üretiminde kalsiyum aluminat silikat hidrat oluşumuna katkısı olabileceği tespit edilmiştir.

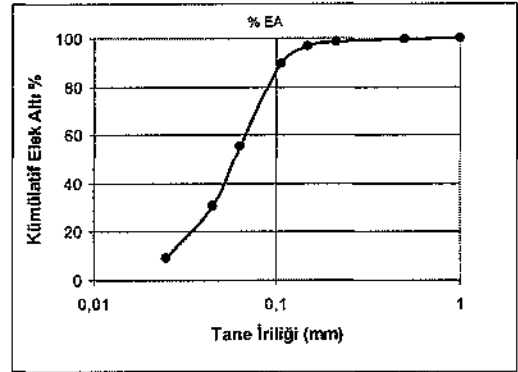
2. MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışmada Seyitömer Termik Santraline ait uçucu külün, kum ve kireç ile değişik oranlarda karıştırılarak yüksek basınç altında buharla kürlenerek tuğla yapımında kullanılabilirliği araştırılmıştır. Seyitömer Termik Santralinden alınan uçucu külün kimyasal özellikleri Çizelge 1 de ve tane boyut dağılımı Şekil 1 de verilmiştir. Çalışmalarda % 99 SiO_2 içeren kuvars kumu, % 75-80 SiO_2 içeren yıkanmış doğal kum ve % 95 $Ca(OH)_2$ içeren sönmüş toz kireç kullanılmıştır.

Çizelge 1. Seyitömer uçucu küllerinin kimyasal kompozisyonu.

Kömür Tipi	Linyit
Yığın Yoğunluğu (g/cm^3)	0,90
SiO_2 (%)	57,21
Al_2O_3 (%)	20,39
Fe_2O_3 (%)	10,89
CaO (%)	2,75
MgO (%)	4,96
K_2O (%)	1,36
Na_2O (%)	0,40
TiO_2 (%)	0,81
Kızdırma Kaybı (%)	0,94
Cd (ppm)*	-
Pb (ppm)*	79.0
Zn (ppm)*	112.6
Cu (ppm)*	98.8
Cr (ppm)*	454.5
Ni (ppm)*	1975.9
Mn (ppm)*	790.4

* (Bayat. 1998)



Şekil 1. Seyitömer uçucu külü tane boyu dağılımı

Çalışmaların ilk bölümünde kum katkısı olarak 200 mikron altına öğütülmüş % 99 SiO_2 içeren kuvars kumu kullanılmıştır. Bu aşamada optimum Uçucukül/kum/kireç karışım oranı, presleme basıncı, buhar basıncı, ve kürlenme süresinin tespiti hedeflenmiştir. Bu amaçla Çizelge 2 de verilen hammadde karışım oranlarında ve deney şartlarında her tip tuğla için 10 ar adet tuğla örnekleri elde edilmiştir.

Hazırlanan yaklaşık 100 g ağırlığındaki uçucukül+kum+kireç karışımları % 14 civarında nem içerecek şekilde su ile karıştırıldıktan sonra 4.5 cm çapında silindirik kalıba dökülerek preslenmiştir. Elde edilen silindirik tuğla örnekleri ELE marka max. 4 MPa basınca sahip otoklavda kürlenmiştir. Otoklavdan alınan tuğlalar bir gün süreyle açık havada bekletildikten sonra örneklerin ELE marka tek eksenli basınç cihazında basınç dayanımları tespit edilmiştir. Tuğlaların basınç dayanımları tesbit edilirken her tuğla tipi için hazırlanan tuğlalardan 5 adedi kırılarak elde edilen dayanım değerlerinin ortalaması alınmıştır. Ayrıca tuğla örneklerinin yoğunluk, su emme ve genleşme/büzülme oranları gibi özellikleri de tespit edilmiştir.

Çizelge 2. Test Parametreleri

Tuğla Kodu	Kuvars Kumu (%)	Uçucu Kül (%)	Kireç (%)	Nem (%)	Presleme Basıncı (kgf/cm ²)	Otoklav Basıncı (MPa)	Otoklav Süre (saat)	Numune sayısı
T 1	0	90	10	14	<5	1	9	10
T 2	10	80	10	14	<5	1	9	10
T 3	20	70	10	14	<5	1	9	10
T 4	30	60	10	14	<5	1	9	10
T 5	40	50	10	14	<5	1	9	10
T 6	20	72	8	14	<5	1	9	10
T 7	20	70	10	14	<5	1	9	10
T 8	20	68	12	14	<5	1	9	10
T 9	20	66	14	14	<5	1	9	10
T 10	20	68	12	14	<5	1	9	10
T 11	20	68	12	14	100	1	9	10
T 12	20	68	12	14	200	1	9	10
T 13	20	68	12	14	250	1	9	10
T 14	20	68	12	14	300	1	9	10
T 15	20	68	12	14	200	0.5	9	10
T 16	20	68	12	14	200	1	9	10
T 17	20	68	12	14	200	1.5	9	10
T 18	20	68	12	14	200	2	9	10
T 19	20	68	12	14	200	1.5	3	10
T 20	20	68	12	14	200	1.5	6	10
T 21	20	68	12	14	200	1.5	9	10
T 22	20	68	12	14	200	1.5	12	10
T 23	20	68	12	14	200	1.5	6	10
T24*	20	68	12	14	200	1.5	6	20*

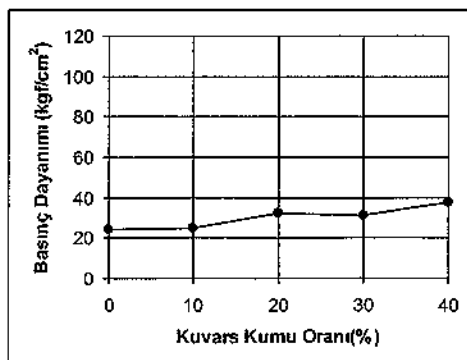
* HerDoğal kum tane fraksiyonu için (-0.1, - 0.2, - 0.5 and - 1 mm) 5'er adet tuğla yapılmıştır.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Kum Katkısının Tuğla Basınç Dayanımı Üzerine Etkisinin Tespiti

Kum katkı oranının etkisinin araştırılması için Çizelge 2 de T1, T2, T3, T4 ve T5 olarak kodlandırılan tuğla örnekleri hazırlanmıştır. Bu örneklerin basınç dayanımı test sonuçları Şekil 2 de verilmiştir. Kum katkı oranı arttıkça tuğlaların dayanımı da artmıştır. T5 kodlu tuğla örneklerinde (% 40 Kuvars kumu + % 50 Uçucu kül + % 10 kireç) basınç dayanımı 37.4 kgf/cm² olarak en yüksek değere ulaşmıştır. Ancak T3 kodlu tuğla örneklerinde (% 20 Kuvars kumu + % 70 Uçucu kül + % 10 kireç) bu değer % 86'sı (32.1 kgf/cm²) elde edildiğinden ve çalışmanın amacının mümkün olduğu kadar yüksek oranda uçucu külü

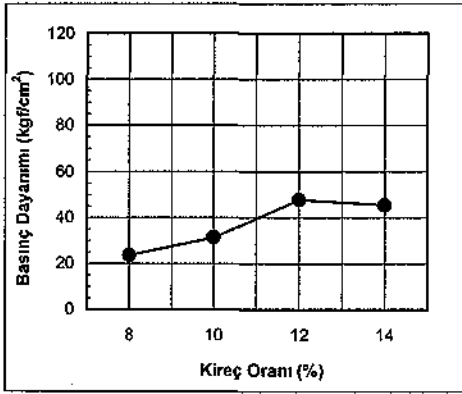
değerlendirmek olduğundan % 20 kum katkısı optimum olarak alınmıştır.



Şekil 2. Kuvars kumu oranının basınç dayanımına etkisi.

3.2. Kireç Oranının Tespiti Amacıyla Yapılan Basınç Dayanımı Testleri

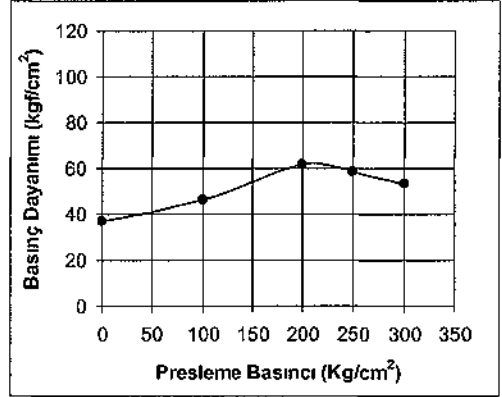
Optimum % 20 kuvars kumu katkı oranında, kireç miktarının tuğlanın dayanımına etkisini görmek ve en uygun kireç oranını belirlemek için hazırlanan T6, T7, T8 ve T9 kodlu tuğla örneklerinin basınç dayanım test sonuçları Şekil 3 de verilmiştir. Bu testlerde en yüksek basınç mukavemeti % 12 kireç katkısında 47.5 kgf/cm^2 olarak elde edilmiştir. % 12 den fazla kireç katkısının tuğla dayanımına olumlu bir etkisinin olmadığı tespit edildiğinden çalışmanın bundan sonraki aşamasında kireç oranı % 12 olarak uygulanmıştır.



Şekil 3. Kireç oranının basınç dayanımına etkisi.

3.3. Presleme Basıncının Etkisi

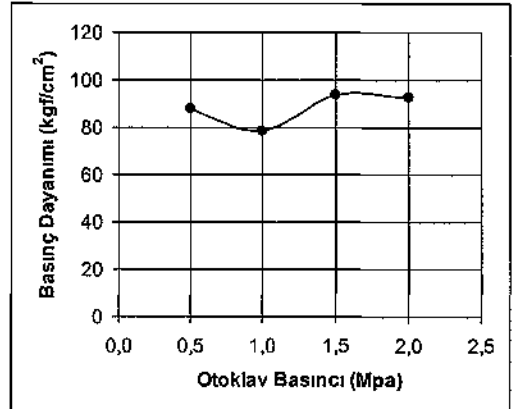
% 68 uçucu kül , % 20 kuvars kumu ve % 12 kireç içeren karışım ile <5 , 100, 200, 250 ve 300 kgf/cm^2 basınç altında preslenerek elde edilen tuğla örneklerinin (T10 – T14 kodlu tuğla örnekleri) basınç dayanımları Şekil 4 de verilmiştir. 200 kgf/cm^2 presleme basıncında en yüksek basınç dayanımına (61.7 kgf/cm^2) ulaşılmıştır. 200 kgf/cm^2 den sonra basınç dayanımında azalma meydana gelmiştir. Bunun nedeni 200 kgf/cm^2 üzerindeki presleme basıncında örnekte meydana gelen yapısal deformasyona bağlanabilir.



Şekil 4. Presleme basıncının tuğla basınç dayanımına etkisi.

3.4. Otoklav Basıncının Etkisi

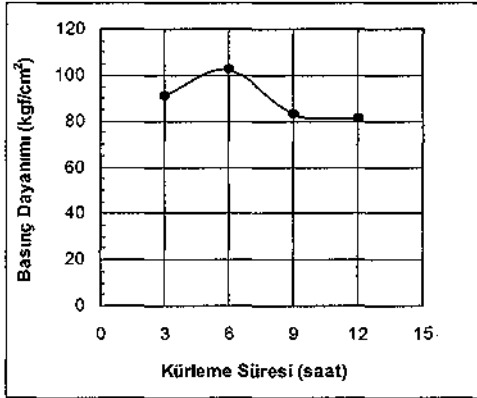
Otoklav basıncının etkisinin araştırılması için Çizelge 2 de T15 –T18 olarak kodlandırılan tuğla örnekleri hazırlanmıştır. Bu örneklerin basınç dayanım test sonuçları Şekil 5 da verilmiştir. Bu deney serisinde 1.5 MPa buhar basıncından daha yüksek basıncın tuğlanın basınç dayanımını olumlu yönde etkilemediği tespit edilmiştir. Her ne kadar daha düşük basınçlarda da sağlam tuğlalar elde edilsede en uygun otoklav buhar basıncının 1.5 Mpa olduğu kabul edilmiştir.



Şekil 5. Otoklav basıncının basınç dayanımına etkisi.

3.5. Kürlenme Süresinin Etkisi

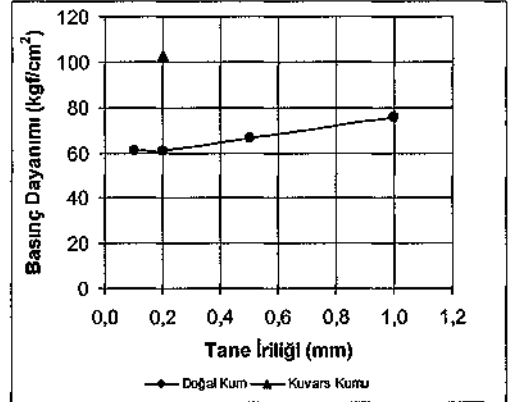
Kürlenme süresinin basınç dayanımına etkisi incelendiğinde (T19- T20 kodlu tuğla örnekleri) 6 saatlik kürlenme süresinden sonra basınç dayanımında yaklaşık % 20 oranında azalma olduğu görülmüştür (Şekil 6). Bu sebepten 6 saatlik kürlenme süresinin daha uygun olduğu kabul edilmiştir.



Şekil 6. Kürlenme süresinin basınç dayanımına etkisi.

3.6. Doğal Kum Katkısının ve Kum Tane Boyutunun Tuğla Basınç Dayanımına Etkisi

Doğada bol miktarda bulunan ve öğütülmüş kuvars kumundan daha ekonomik olan dere kumunun kum katkılı uçucu küllü tuğla yapımında kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla farklı tane boyutlarında (-1, -0.5, -0.2, - 0.1 mm) sınıflandırılmış doğal kum ile belirlenen optimum deney koşullarında tuğla örnekleri elde edilmiştir. Bu tuğlalara ait basınç dayanımı test sonuçları Şekil 7 de verilmiştir



Şekil 7. Doğal kum ile yapılan tuğlalarda kum tane iriliğinin basınç dayanımına etkisi

Şekil 7 de Doğal kum ile yapılan tuğlaların - 0.2 mm kuvars kumu ile yapılanlara oranla daha az dayanım gösterdiği görülmektedir. Doğal kum ile yapılan tuğlaların dayanımlarının düşük olması bu kumun içerdiği SiO₂ oranının daha az olmasına bağlanabilir.

3.7. Su Emme Testleri

Su emme testlerinin sonuçları Çizelge 3'de verildiği gibidir. Buradan da görüldüğü üzere aynı deney şartlarında hazırlanan tuğlaların su emme değerleri genel tuğla standartlarına göre oldukça yüksektir. Bu nedenle bu tuğlaların yapı sektöründe kullanılması uygun görülmemektedir. Su emme oranlarının daha düşük seviyelere çekilebilmesi için tuğlaya hidrofobik özellik kazandırabilecek malzemelerin de katkı olarak kullanılması gereği ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 3. Su emme deney sonuçları

	% su emme oranı
-0.2 mm kuvars kumu	40.5
-0.1 mm (doğal kum)	34.7
-0.2 mm (doğal kum)	34.5
-0.5 mm (doğal kum)	34.1
-1 mm (doğal kum)	32.8

3.8. Isı İletim Katsayısının Tespiti

Optimum şartlarda hazırlanmış uçucu küllü tuğlaların ısı iletim katsayıları SHOWA DENKO marka Shotherm QTM tipi cihazı ile Hot-wire yöntemiyle tespit edilmiştir. Kuvars kumu katkılı uçucu küllü tuğlaların ısı iletim katsayısı 0.34 W/m.⁰K ve doğal kum katkılı tuğlaların ise 0.36 W/m.⁰K olarak tespit edilmiştir.

4. SONUÇLAR

Seyitömer uçucu külleriyle yapılan deneysel çalışmalar sonucunda optimum deney koşulları ve elde edilen tuğla özellikleri (T 23 ve T24 kodlu tuğlalar) Çizelge 4 te verilmiştir.

Çizelge 4. Deney sonuçları

	Kuvars -kumu - 0.2 mm	Doğal kum - 1 mm
Kum (%)	20	
Uçucu Kül (%)	68	
Kireç (%)	12	
Nem (%)	14	
Presleme Basıncı (kgf/cm ²)	200	
Otoklav Basıncı (MPa)	1.5	
Kürleme Süresi (saat)	6	
Yoğunluk (g/cm ³)	1.14	1.27
Basınç Dayanımı (kgf/cm ²)	102.5	78.0
Isı Yalıtımı W/m ⁰ K	0.34	0.36
Su emme oranı (%)	40.5	32.8

Bu çalışmada şu önemli sonuçlara varılmıştır:

- Seyitömer uçucu küllerinin buharda kürleme yöntemi ile tuğla üretiminde kullanılabileceği tespit edilmiştir.
- Yüksek oranda SiO₂ içeren kum katkısının tuğla dayanımına olumlu bir etkisi olduğu tespit edilmiştir. En uygun kuvars kumu veya doğal kum katkı oranının % 20 civarında olduğu belirlenmiştir.
- Optimum sönmüş kireç katkı oranı % 12 olarak tespit edilmiştir
- Presleme basıncının tuğla basınç dayanımına olan etkisinin büyük olduğu ancak 200 kgf/cm² den daha yüksek

basınçların tuğlaların dayanımı olumsuz yönde etkilediği görülmüştür.

- Optimum otoklav buhar basıncı ve kürleme süresi 1.5 Mpa ve 6 saat olarak tespit edilmiştir.
- Kuvars kumu katkısı ile yapılan uçucu küllü tuğlaların basınç dayanımları 100 kgf/cm² civarında iken doğal kum katkısı ile yapılan tuğlalarda basınç dayanımları 80 kgf/cm² olarak daha düşüktür.
- Kuvars kumu katkılı uçucu küllü tuğlaların yoğunlukları 1.15 g/cm³, doğal kum katkılı tuğlaların yoğunlukları ise 1.27 g/cm³ civarındadır. Buradan görüldüğü üzere bu tuğlalar geleneksel tuğlalardan (yoğunluk 1.5 – 1.8 g/cm³) daha hafiftirler.
- Uçucu küllü tuğlaların ısı iletim katsayısı 0.34 W/m.⁰K olduğu tespit edilmiştir. Bu tuğlaların TS 704 ve TS 705 standartlarında tanımlanan tuğlalara (1800 kg/m³ pişmiş tuğlada: 0.7 W/m.⁰K) göre ısı yalıtımının çok daha yüksek olduğu belirlenmiştir.
- Bu çalışmada elde edilen uçucu küllü tuğlaların su emme oranları % 30-40 arasındadır.
- Yapılan hesaplarda uçucu küllü ve kum katkılı tuğlaların üretiminde kullanılan ısı enerjisi sarfiyatı 100 kcal/kg dan daha azdır. Bu değer geleneksel tuğla üretiminde kullanılan ısı enerjisi sarfiyatının yaklaşık 5 ila 8 de biri kadardır.

Sonuç olarak bu çalışmada geliştirilen tuğla tipinin ekonomiye katma değer getirecek bir ürün olarak inşaat sektöründe kullanılabileceği görülmektedir. Bu tip tuğlaların üretimi ile termik santral uçucu küllerinin çevresel olumsuzluklarını en aza indirmenin de yolu açılmış olacaktır. Ayrıca geleneksel tuğla üretiminde kullanılan kilin elde edildiği kil ocaklarının ve pişirmede ortaya çıkan atık gazların çevreye verdiği rahatsızlığa da azalma olacaktır. Bu tuğlaların hafif ve ısı yalıtımı yüksek olmaları sebebiyle inşaat ve bina iklimlendirme maliyetlerinde azalma kaydedilecektir.

Daha hafif, ısı yalıtımı daha yüksek ve su emme oranı daha düşük tuğla elde etmek için çalışmalar devam etmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada desteklerinden dolayı Öztüre Holding A.Ş ne teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Al-Wakeel, E.I., El-Korashy, S.A., Uossef, H.N., 1999. *Promotion effect of C-S-H phase nuclei on building cadium silicate hydrate phase*, Cement & Concrete Research, V.21, p.173-180
- Ball, M. C., Carroll, R. A., 1999. *Studies of hydrothermal reactions of UK pulverized ashes. Part 1: reactions between pulverized fuel ash and calcium hydroxide*, Advances in Cement Research, V.11, No. 2, p. 53-61
- Bayat, O., 1998. *Characterisation of Turkish fly ashes*, Elsevier Science Ltd Fuel, V. 77, N. 9-10, p.1059-1066
- Baykal, G., Döven, A.G., 2000. *Utilization of fly ash by pelletization process; theory, application areas and research results*, Elsevier Science Ltd. Resources Conservation & Recycling, V.30, p. 59-77
- Baoju, L., Youjun, X., Shiqiong, Z., Jian, L., 2001. *Some factors affecting early compressive strength of steam-curing concrete with ultrafine fly ash*, Elsevier Science Ltd Cement and Concrete Research V. 31, p. 1455-1458
- Iyer, R.S., Scott, J.A., 2001. *Power station fly ash - a review of value-added utilization outside of the construction industry* Resources, Elsevier Science Ltd Conservation and Recycling V.31, p. 217-228
- Klimesch, D.S., Ray, A., 1998. *Effect of quartz particle size on hydrogarnet formation during autoclaving at 180 °C in the CaO-Al₂O₃-SiO₂-H₂O system*, Cement and Concrete Research, V. 28, N. 9 P. 1309-1316
- Peng, G., Feng, N., Chan, S.Y.N, 1999. *Formation and Strehghth of crystalline calcium silicate hydrate prepared by single autoclaving process*, Advances in Structural Engineering, V.2, No. 3, p. 191-197
- Poon, C.S., Kou, S.C., Lam, L., 2002. *Use of recycled aggregates in molded concrete bricks and blocks*, Elsevier Science Ltd Construction and Building Materials V.16, Issue 5, p. 281-289
- Pimraksa, K., Wilhelm, M., Kochberger, M., Wruss, W., 2001. *A New Approach to the Production of Bricks Made of 100% Fly Ash*, International Ash Utilization Symposium, <http://www.flyash.info/agenda.html>
- Tütünlü, F., Atalay, Ü., 2001. *Utilization of Fly Ash in Manufacturing of Building Bricks*, International Ash Utilization Symposium, <http://www.flyash.info/agenda.html>
- Toktay, M., Çetin, B., 1991. *Preslenmiş, buhar kürü uygulanmış uçucu kül-kireç tuğlalarının dayanım ve su emme özellikleri*, Teknik dergi, TMMOB. İnşaat Mühendisleri Odası, C. 1, s. 385-394

Afyon Mermer Tozu ve Soma Uçucu Kül Katkılı Betonların Donma-Çözülme Özellikleri ve Ekonomik Değerlendirilmesi

O. Ünal & T. Uygunoğlu

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon

ÖZET: Beton bileşimi içerisinde hacim olarak farklı oranlarda katılan yapay agregalarla üretilen betonların donma-çözülme özellikleri araştırılmıştır. Bu amaçla birinci seri betonların üretiminde uçucu kül, ikinci seri betonlarda mermer tozu kullanılmıştır. Uçucu kül, %10, %20, %30 oranlarında, mermer tozu ise %10, %15 ve %20 oranlarında beton içerisinde katılmıştır. Üretilen beton numunelerinde, 0,65 su/çimento oranı ve 300 kg/m³ çimento dozajı esas alınmıştır. Aynı çimento dozajı ve su/çimento oranında kontrol betonu da üretilmiştir. Tüm numunelere 28 gün sonra donma-çözülme çevrimi uygulanmıştır. Numuneler üzerinde, su emme deneyine bağlı olarak difüzyon katsayıları hesaplanmıştır. Donma-çözülme deneyinden önce ve sonra ultrases geçiş süresi ölçülmüş ve buna bağlı olarak elastisite modülleri hesaplanmıştır. Ayrıca basınç deneyine göre dayanımlar belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, %10-15 oranında uçucu kül veya %10 mermer tozunun beton karışımında kullanılması halinde ekonomik yarar sağlanabilir.

ABSTRACT: Freeze-thaw properties of concrete produced with different amount of artificial aggregates in volumetric composition are investigated. For this purpose, two series of samples are produced. The fly ash and marble dust are used to produce the samples. While the fly ash ratios are 10, 20 and 30 %, the marble dust ratios are 10, 15 and 20 % in volumetric composition. The 0.65 water/cement ratio and 300kg/m³ cement dosage are selected as reference. A control concrete sample is also produced having the same dosage. A freeze thaw cycle is applied to the samples produced after 28 day. Depending on the water absorption exponent, the diffusion coefficients are calculated. The elasticity modulus are calculated before and after the freeze-thaw experiment depending on the ultrasonic transmission time. The strength of the sample are also determined by a composition test. Depending on the experientiel result, economical benefit can be achieved by using 10-15 fly ash or 10 % marble dust in the concrete mixture.

1. GİRİŞ

Endüstriyel hammaddelerin inşaat sektöründe değerlendirilmesi üzerine çalışmalar devam etmektedir. Hazır beton üretiminde betonun dayanımı ve dayanıklılığı üzerine yapılan çalışmalarda değişik malzeme ve metotlar kullanılmaktadır. Bunlardan betonun geçirimsizliğini ve işlenebilmeyi sağlamak amacıyla karışımdaki çimento ağırlığının belirli oranı uçucu kül ile ikame edilerek beton üretilmiş ve olumlu sonuçlar alınmıştır(Sun ve ark.,1999). Diğer taraftan ince malzeme oranını ayarlamak amacıyla mermer tozu atıklarının değerlendirilmesi önem kazanmaktadır. Düşük enerjili yoğun malzemelerin Portland

çimentosuna daha fazla enerji kazandırması amacıyla ya doğrudan ya da çimentoyla yer değiştirilerek ilave edilmesini teşvik etmektedirler. Mineral katkılardan olan uçucu kül betonun dayanıklılık karakteristikleri üzerine önemli bir etkiye sahiptir. Betonun dayanıklılığına etki eden en önemli olaylardan biri donma ve çözülmedir(Dolch ve ark.,1995).

Donma olayı zararlı etkisini, betonun bileşenlerinden olan agrega taneleri ve çimento hamuru fazlarının her ikisinde de gösterir. Eğer donmaya dayanıklı bir beton elde etmek istiyorsak çimento hamurunun kompasitesini büyük,

agreganın porozitesi küçük olan malzeme seçilmelidir(Postacıoğlu,1987).

Uçucu kül katılarak elde edilen betonların donmaya karşı dayanımı konusunda net ve kesin sonuçlar elde edilememiş, bu da deney şartlarına ve kür süresinin farklılığına bağlanmış olmakla beraber, uçucu küllü betonların normal betonlardan daha fazla kür süresine ihtiyaç duydukları tespit edilmiştir. Aksi takdirde uçucu külün betonun dona dayanıklılığını olumsuz etkilediği düşünülmektedir.

Beton üretiminde çimento yerine ağırlıkça %15 civarında uçucu kül kullanıldığında normal betonlara eşdeğer dayanım sağlanmaktadır. Daha yüksek oranda uçucu kül kullanılması durumunda ise beton dayanımında azalma oluşmaktadır. Bunun nedeni uçucu küde ($SiO_2 + Fe_2O_3 + Al_2O_3$) S+F+A toplam miktarının yeterli olmasından kaynaklanmaktadır. Belirtilen oranlarda uçucu kül kullanarak üretilecek betonda önemli ölçüde ekonomik yarar sağlanması mümkündür.

Taze ve sertleşmiş betonun farklı özelliklere sahip olması istenmektedir. Taze betonun işlenebilmesi, sertleşmiş betonun da yüksek bir basınç mukavemetine sahip olması ve zaman içinde bu özelliğini kaybetmemesi veya olumsuz yönde değiştirmemesidir (Postacıoğlu,1987).

Mermer endüstrisini son yıllarda ilgilendiren en önemli konu çevresel kirliliğe neden olan atıklardır. Ancak mermer işletmeciliğinde moloz toz ve paleden ürünleri satılabilir ve değerlendirilebilir bir hammadde olmaları sebebiyle artık bir madde olup, üretim esnasında ortaya çıkan havuz çöktürleri de çeşitli işlemlerden sonra işe yarayan hem bir hammadde hem de ekonomik açıdan değerli bir malzeme olabilir(Albayrak, 1985).

Mermer tozu, en küçük boyutlu mermer atıkları olup mermer işleme tesislerinde blokların ve plakaların kesilmesi esnasında açığa çıkan ve büyük çoğunluğu 1mm'nin altında olan mermer tanecikleridir. Kesme işleminin suyla yapılması nedeniyle bu atıklar direkt olarak suya karışır ve şlam halinde çöktürme havuzlarından veya kek olarak arıtma tesislerinde depolanır. Atıklar, değişik özelliklere sahip mermer tozlarından ve içine karışan yabancı maddelerden oluşmaktadır (Ünal ve ark.,2001).

Mermer atıklarının beton üretiminde kullanılması üzerine yapılan bir çalışmada(Ünal ve ark.,2003), beton üretiminde ince malzeme oranının %10'u mermer tozu ile yer değiştirmesi halinde basınç dayanımında belirli bir artış yaptığını belirtmiştir.

Bu çalışmada soma termik santraline ait uçucu kül, Afyon bölgesi mermer tozu, kırmataş ve bağlayıcı olarak PKÇ/A32.5 portland kompoze çimentosu kullanılarak üretilen beton numunelerinin donma-çözülme özellikleri araştırılarak sonuçların beton üretiminde kullanılabilirliği belirlenmeye çalışılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1 Malzeme Özellikleri

Agrega: İki ayrı seri halinde yapılan çalışmada ince malzeme olarak 0-4mm tane dağılımına sahip kırma kum, iri malzeme olarak da 4/16 tane grubunda kırmataş I ve 16/31.5 tane grubunda kırmataş II malzemeleri kullanılmıştır. Mermer tozu ince malzeme ile, uçucu kül çimento ile yer değiştirilerek karışım hesapları yapılmıştır. Beton bileşimine giren agregaların elek analizleri TS 706'ya göre yapılarak granülometreleri çizelge 2.1'de verilmiştir.

Uçucu kül: Beton karışımlarında Soma termik santraline ait uçucu kül kullanılmış olup, kimyasal analiz sonuçları Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Agregaların Granülometri Değerleri

Elek açıklığı	31.5 (mm)	16 (mm)	8 (mm)	4 (mm)	2 (mm)	1 (mm)	0.25 (mm)
Kırma kum	100	100	100	95	60	32	15
Kırma taş I	100	97	27	8	0	0	0
Kırma taş II	100	16	3	0	0	0	0
Mermer tozu	100	100	100	100	35	8	1

Mermer tozu: Afyon İncehisar'da bulunan mermer işletmesine ait çöktürte havuzundan getirilen malzeme üzerinde gerekli deneyler yapılabilmesi için bazı işlemler uygulanmıştır. 2mm açıklıklı elekten elenerek elde edilen mermer tozunun çeşitli özellikleri araştırılmıştır. Karışımlarda kum ile

beraber ince malzeme miktarının ayarlanmasında kullanılan mermer tozunun özellikleri Çizelge 2.1'de, kimyasal özellikleri de Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Mermer Tozu ve Uçucu Külün Kimyasal Özellikleri

Bileşik Adı	Oranlar (%)	
	Mermer Tozu	Uçucu Kül
SiO ₂	4.67	46,51
Al ₂ O ₃	--	25,47
Fe ₂ O ₃	0.03	4,88
(S+F+A)		76,86
CaO	51.80	15,94
MgO	0.40	0,67
Na ₂ O	--	0,36
K ₂ O	--	1,7
SO ₃	--	2,78
A.Z	41.16	--
Kızdırma kaybı	--	1,35

Çimento: Beton karışımlarında Afyon SET çimento fabrikasının üretimi olan PKÇ/A32.5 tipi portland kompozite çimentosu kullanılmıştır. TS 24'e göre çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri çimento fabrikası laboratuvarında yapılmış ve sonuçların TS 19'da belirtilen standart değerlere uygun olduğu görülmüştür. Çimentonun kimyasal özellikleri Çizelge 2.3'de verilmiştir.

Çizelge 2.3. PKÇ/A 32.5 Çimentosu Kimyasal Özellikleri

Bileşik Adı	%
SiO ₂	20-25
Al ₂ O ₃	5-10
Fe ₂ O ₃	2-4
CaO	63-67
MgO	0.5-2.7
Na ₂ O	--
SO ₃	1-2.5
Diğer maddeler	0.5-2

2.2 Beton Karışımı ve Üretimi ve Deney Sonuçları

Hem Uçucu kül hem de mermer tozu katkılı beton bileşimlerinde çimento dozajı 300, maksimum agrega çapı 31,5mm ve optimum su/çimento oranı 0,65 olarak seçilmiştir. Karışımlara katılan uçucu kül miktarı çimento ağırlığının %10-%20 ve %30 oranlarında çimento miktarı ile, mermer tozu da %10-%15 ve %20 oranlarında 0-4mm tane

grubundaki ince malzeme ile yer değiştirilerek beton serileri üretilmiştir. Her iki seri de karışımın granülometri eğrisi A32-B32 referans eğrileri arasında kalacak şekilde agrega oranları %40 kırma kum, %35 kırmataş-I ve %25 kırmataş-II olarak belirlenmiştir. UKB ile uçucu kül katkılı betonlar, MT ile de mermer tozu katkılı betonlar sembolize edilmişlerdir.

Numuneler kalıp sökülmesinden 28 gün sonra testlere tabi tutulmuş olup deney gününe kadar normal sıcaklıktaki kirece doymuş su içerisinde kür edilmişlerdir. Donma-çözülme deneyi, 28 günlük suya doymuş 100x100x100 mm'lik küp numunelerin 3 saat -20 °C sıcaklıkta dondurucuda tutulduktan sonra 2 saat +4-6 °C su içerisinde çözündürülmesi bir periyot sayılmış olup, bu işlemin hafta boyunca 25 defa tekrarlanmasıyla gerçekleştirilmiştir.

Üretilen 10cm.lik küp numuneler üzerinde donmadan önce ve çözülmeden sonra birim ağırlık ve ultrases geçiş süresi ölçüldü. 15cm.lik küp numuneler üzerinde de tek eksenli basınç deneyi uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar yardımıyla her seriye ait numunelerin birim ağırlıkları, ultrases hızları ve basınç dayanımları hesaplanmıştır. Numunelerin donmaya dayanıklılığı elastisite modullerindeki değişimlere göre belirlenmiştir. Buna göre ultrases hızı (V) ile betonun elastisite modülü (E) arasında $E = 10^5 \times V^2 \times \frac{\Delta}{g}$ bağıntısından

yararlanılmıştır(Postacıoğlu,1987). Burada V ultrases hızı (km/sn), Δ betonun birim ağırlığı (kg/dm³), $g=9,81m/sn^2$ ve E numunenin elastisite modülü (kgf/cm²)'dür. Donmadan önce ve çözülmeden sonraki değerlere göre sonuçlar hesaplanarak çizelge 2.5'de verilmektedir.

Ayrıca kılcalılık ve su emme deneyi yapılmıştır. Kılcalılık deneyi sonuçları UYAN'ın geliştirdiği matematiksel modele uyarlanarak difüzyon katsayıları hesaplanmıştır(Uyan,1975). Buna göre etüvde kurutulan numunelerin birim zamanlarda emdiği su miktarları tesbit edilerek kılcal su emme-zaman grafiği çizilmiştir. Deney sonucunda elde edilen noktalara "En küçük kareler metoduna" göre en uygun doğru çizilmiştir. Bu doğrunun eğiminden (S) yararlanılarak $D'=(\pi/4)*S^2$ (cm²/dak) bağıntısı ile difüzyon katsayısı(D') hesaplanmıştır. Ayrıca sonuçlar arasındaki ilişki regresyon katsayısına (R) göre belirlenmiştir.

Çizelge 2.4. Beton Numunelerine ait Sonuçlar

Beton Türü	Basınç Dayanımı (MPa)	Görünen Porozite (%)	Birim Ağırlık (kg/dm ³)	D'	R
Şahit	21.6	12	2,12	9,62	0,92
UKB 10	19.9	13	2,13	4,91	1
UKB 20	22	11	2,16	3,14	0,89
UKB 30	21	12	2,21	5,94	0,86
MT10	21.5	13,8	2,14	7,07	0,90
MT15	18	14,6	2,10	12,57	0,96
MT20	16	16,5	2,07	21,65	0,98

Çizelge 2.5. Donma-Çözülme Özellikleri

Beton Türü	Donmadan Önce		Çözülmeden sonra	
	Elastise Modülü (MPa)	V (km/sn)	Elastise Modülü (MPa)	V (km/sn)
Şahit	40267	4,32	39921	4,30
UKB 10	42215	4,41	37609	4,16
UKB 20	42170	4,38	39200	4,22
UKB 30	43487	4,40	39902	4,21
MT10	38004	4,18	22979	3,2
MT15	32197	3,88	24378	3,3
MT20	30407	3,80	19865	3,1

3. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

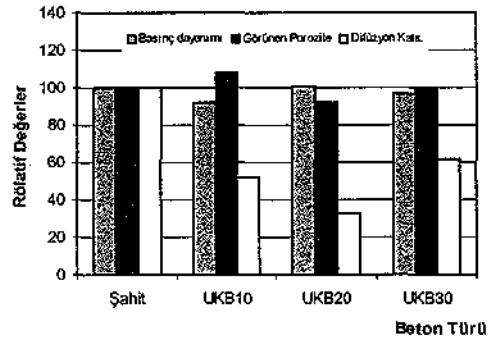
Yapılan deneysel çalışmanın birinci bölümünde, bağlayıcı malzemenin belirli oranları uçucu kül ile, ikinci bölümünde ise ince malzeme miktarı mermer tozu ile değiştirilerek numuneler üretilmiştir.

Üretilen numunelerin taze beton deneylerinden işlenebilme üzerine uçucu külün olumsuz bir etkisi görülmemiştir. Ancak karışımlarda mermer tozu artışına bağlı olarak işlenebilme zorlaşmıştır.

15*15*15 cm boyutunda küp numuneler üzerinde basınç dayanımları, 10*10*10 cm boyutunda küp numuneleri üzerinde önce su emme deneyi daha sonra donma-çözülme çevrimleri uygulanmıştır. Her iki bölümde elde edilen değerlerin şahit numune değerlerine göre karşılaştırma yapılabilmesi amacıyla rölatif değerleri hesaplanarak değişimleri grafik ortamında incelenmiştir.

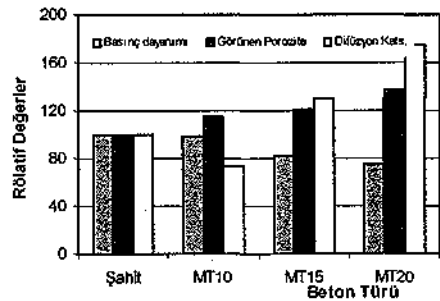
28 günlük uçucu kül katkılı numunelerde basınç dayanımları ile uçucu kül miktarı arasındaki ilişki incelendiğinde, genel olarak beton içerisine katılan uçucu kül miktarı arttıkça dayanımda şahit betonun dayanımına göre çok az azalma eğilimi görülmüştür (Şekil 3.1).

UKB10 betonlarında basınç dayanımı %9 oranında azalırken görünen porozite de %10 civarında artmıştır. Diğer uçucu kül betonlarında bu ilişki tersinedir. Buna göre çimentonun %15-20'si uçucu kül ile değiştirilerek üretilecek betonların istenilen dayanımı vermesi ile atık malzemelerin değerlendirilmesi açısından ekonomik fayda sağlanabilir.



Şekil 3.1. UKB Betonların Rölatif değerleri

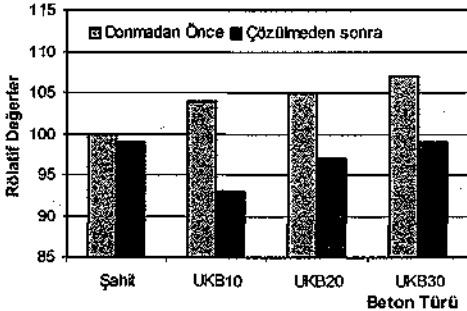
Yapılan çalışmada uçucu kül katkılı betonların görünen porozite ile basınç dayanımları arasındaki ilişkinin uygun olduğu görülmüştür. Yani porozite artarken dayanım azalmaktadır.



Şekil 3.2. MT Katkılı Betonların Rölatif değerleri

Öte yandan karışımda ince malzeme yerine kullanılan mermer tozu miktarı artışına paralel olarak basınç dayanımlarında azalma eğilimi belirgin şekilde görülmektedir (Şekil 3.2). Bu azalma oranı MT20 için yaklaşık olarak %22 civarında iken MT10 için daha azdır.

Uçucu kül katkılı betonların aksine mermer tozu katkılı betonlarda porozite ile basınç dayanımı arasındaki ilişki tam tersine olduğu görülmüştür. Yani mermer tozu katılması durumunda şahit betonun dayanımında azalma görülürken doğal olarak porozite değerleri artmaktadır. Buna göre karışımlarda %10 civarında mermer tozu kum ile karıştırılarak beton üretiminde değerlendirilebilir. Ayrıca mermer tozu katkılı betonların su emme deneyi sonuçlarına göre belirlenen görünen porozite ile difüzyon katsayılarındaki değişim benzer olup mermer tozu miktarı artışına bağlı olarak artma eğiliminde olduğu görülmüştür.

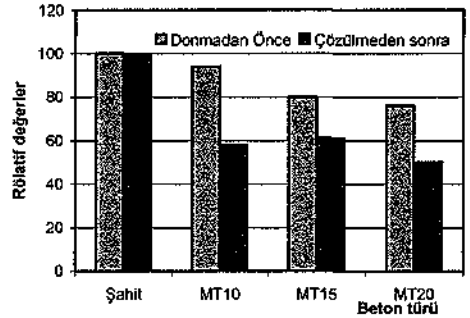


Şekil 3.3. UKB Elastisite Modülü Rölatif değerleri

Uçucu kül ve mermer tozu katkılı betonların donma-çözülme çevrimleri sonucunda dayanıklılığını belirlemek amacıyla elastisite modüllerindeki değişimler incelendiğinde, UKB numunelerinde donmadan önce şahit numune değerlerine göre elastisite modüllerinde bir artış olmuştur (Şekil 3.3). Ancak çözülmeden sonra %10 UKB'da azalma olduktan sonra uçucu kül miktarına bağlı olarak kısmen artma eğilimi görülmüştür. Burada donma-çözülme etkisi en fazla %10 UKB'de görülmüştür. Diğer UKB karışımlarında donma-çözülme etkisi daha azdır.

Mermer tozu katkılı betonlarda donma-çözülmenin elastisite modülüne etkisi dayanımlarda olduğu gibi UKB'da görülen ilişkinin tersi görülmüştür (Şekil 3.4). Yani elastisite modülleri

şahit numuneye göre hem donmadan önce hem de çözülmeden sonra mermer tozu miktarı artarken azalma eğilimi vardır.



Şekil 3.4. MTB Elastisite Modülü Rölatif değerleri

Donma-çözülme etkisinin mermer tozu katkılı numunelerde daha fazla olmasının nedeni görünen porozite ve buna bağlı olarak difüzyon katsayılarının uçucu külü betonlarınkinden daha yüksek çıkmasına bağlanabilir. Dolayısıyla uçucu külün karışımlarda bağlayıcı olarak kullanılması halinde iç yapıda boşluk oranı daha az olurken, ince malzeme yerine mermer tozu kullanılması durumunda boşluk oranı artmaktadır. Böylece uçucu kül ile mermer tozu katkılı betonların davranışlarının farkı olduğu görülmüştür.

SONUÇLAR

Termik santrallerde açığa çıkan uçucu kül ve mermer işleme atölyelerinde üretim sonrası havuzlarda biriken ve çevresel kirliliğe neden mermer tozunun beton üretiminde değerlendirilerek ekonomiye kazanç sağlamak amacıyla yapılan deneysel çalışmada bulunan sonuçlar şöyle özetlenebilir.

- Karışımda mermer tozu veya uçucu kül kullanılması halinde betonun işlenebilirliği özelliğinde olumsuz bir etki görülmemiştir.
- Beton üretiminde ince malzeme miktarının %10-15 oranında mermer tozu ile değiştirilmesi halinde dayanımda şahit numuneye göre önemli bir azalma görülmemektedir.

- Uçucu kül katkılı betonlarda ise bağlayıcının belirli kısmı uçucu kül ile değiştirilmesi halinde dayanımlarda bir değişiklik görülmemiştir.
- Her iki serinin basınç dayanımları şahit numuneye göre incelendiğinde olumsuz etki mermer tozu katkılı betonlarda uçucu küllü betonlara göre daha fazladır.
- Mermer tozu katkılı betonlarda dayanımlar azalırken görünen porozite ve difüzyon katsayıları artmış uçucu küllü betonlarda ise bu ilişki tersine değişmiştir.
- Donma çözülme etkisinde numunelerin elastisite modüllerindeki değişimleri, mermer tozu katkılı betonlarda azalma eğiliminde, uçucu küllü betonlarda ise artma eğiliminde olmuştur. En fazla olumsuz etki UKB10 ve MT10 karışımlarında görülmüştür.
- Sonuç olarak endüstriyel atıklar olarak isimlendirilen mermer tozu ve uçucu külün %10-15 oranlarında ayrı ayrı beton karışımlarında değerlendirilmesinin yanı sıra birlikte karışıma katılması ile de olumlu sonuçların alınacağı söylenebilir. Böylece çevreye verdikleri zarar en aza indirilerek ekonomik yarar sağlanmış olunacaktır.

KAYNAKLAR

- Albayrak, Hasan Fehmi., Beton Ve Deneyleri El Kitabı D.S.İ. Ankara 1985
- Dolch, W.L.,Diamond, S.,1995.Durability of concrete. Part 39 of Civil Engineering handbook, Editor-in-chief, W.F.Chen. Boca Raton: CRC
- Postacıoğlu,B., 1987. Beton, cilt 2., Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul.
- Sun, W., 1999. Damage and Damage Resistance Of High Strength Concrete Under The Action Of Load And Freeze-Thaw Cycles", Cement and Concrete Research, Vol.29,
- Uyan, M.,1975. Beton ve harçlarda Kılcalılık Olayı, Dr.tezi. İ.T.Ü., İnşaat Fakültesi.
- Ünal, O., Kibici, Y., 2001., Mermer Tozu Atıklarının Beton Üretiminde Kullanılmasının Araştırılması, Türkiye III.Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Afyon.
- Ünal, O., Demir, İ., Ergün, A., 2003. Mermer Atıklarının (Havuz Çökeltisi) Beton Üretiminde Kullanılmasının Araştırılması. AKÜ. Bilimsel Araştırma Projeleri komisyonu. Proje. Afyon

Bazık Pomzanın (Osmaniye-Ceyhan Yöresi) Yapı Tuğlası Üretiminde Kullanılması

İ. Demir, Y. Kibici & A. Yıldız

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon

ÖZET: Bu çalışmada tuğla üretiminde kullanılan kil hammaddesine; (A) katkısız olarak (%100 tuğla kili), (B) tuğla kiline ağırlıkça %30 oranında (-1 mm) tane boyutunda bazık pomza, (C) ağırlıkça %30 oranında (-2+1 mm) tane boyutunda bazık pomza kumu katılarak, ekstrüzyon yöntemi ile yeterli sayıda deney örneği üretilmiştir. Örnekler 900°C'de ve son sıcaklık derecesinde 2 saat pişirilmiştir. Söz konusu hammaddelerden üretilen laboratuvar örneklerine T.S.E. standartlarına göre testler uygulanmış, test sonuçları standart değerlerle karşılaştırılarak üretilen örneklerin inşaat sektörü açısından uygunluğu araştırılmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda; pomzanın yapı tuğlası üretiminde kullanılabileceği belirlenmiştir. Ayrıca tuğlanın birim hacim ağırlığında düşme belirlenmiş, hafif ve yalıtım değerine sahip yapı malzemesi üretiminde değerlendirilebileceği sonucuna varılmıştır. Bütün serilerde basınç dayanımı değerlerinin standartlarda verilen değerleri karşıladığı belirlenmiştir.

ABSTRACT: In this study, it was produced samples by using extrusion method from production of brick clay clays which into: (A) Without adding (100% brick clay), (B) Adding of basic pumice, (-1 mm) particle sized, in rates of wt 30%, (C) Adding of pumice, (-2+1 mm) particle sized, in rates of wt 30%. Every each samples were fired at 900°C and at final temperature for 2 h. Tests that based on TSE standards were applied on laboratory samples produced from these raw materials. Then test results were compared with standard values and suitable of produced samples were investigated in the view of building sector. As a result, it was obtained that pumice raw materials can be used as building bricks. It was observed that, bulk density of brick was decreased. Thus, it can be use as light and insulation building materials. In all series of samples compressive strength of the sample is suitable to standard values.

1.GİRİŞ

Bu çalışmada tuğla kiline ağırlıkça %30 oranında ve farklı tane boyutlarında bazık kökenli pomza hammaddesi katılarak; yapı tuğlasına göre birim hacim ağırlığı daha düşük, porozitesi yüksek yapı tuğlası üretimi amaçlanmıştır.

Pomzanın belirgin özelliği gözenekli ve camı olmasıdır. Yoğunluğu 0,5-1 g/cm³ , sertliği 5-6 civarındadır. Hafifliği nedeniyle beton biriket ve blokların yapılmasında, gözenekliliği nedeniyle inşaatlarda ısı ve ses izolasyonu sağlamak amacıyla kullanılan ideal bir malzemedir.

Pomza, volkanik olaylar sonucunda oluşmuş, fiziksel ve kimyasal etkenlere karşı dayanıklı, süngerimsi, bol gözenekli camı volkanik bir kayadır. Bir başka deyişle pomza çok poroz olan volkanik taş camıdır da denilebilir. Oluşumu sırasında bünyedeki gazların, ani olarak büneyi terk etmesi ve ani soğuma nedeniyle, makro ölçekten mikro ölçeğe kadar sayısız gözenek içerir. Gözenekler arası genelde (özellikle mikro gözenekler) bağlantısız boşluklu olduğundan permeabilitesi düşük, ısı ve ses yalıtımı oldukça yüksektir. TS standartlarında pomza; birbirine bağlantısız boşluklu, sünger görünümlü, silikat esaslı, birim hacim ağırlığı genelde 1 g/cm³'ten az, camı dokulu ve sertliği Mohs skalsına göre

yaklaşık 6 olan volkanik bir madde olarak tanımlanır (Gündüz vd. 1998).

Kil minerallerinde mevcut toplam mineral bileşimi, tane boyut dağılımı, konsolidasyon derecesi ve işleme şartları, kilin teknolojik özelliklerini belirleyen temel esaslardır. Killerde önemli teknolojik özellikler şunlardır: tane boyutu dağılımı, plastiklik, kuru mukavemet, pişmiş ürün mukavemeti, termal vitrifikasyon aralığı, pişme rengi, kuruma ve pişme küçülmesi, su emme kapasitesi, pişmiş bünyenin porozitesi v.b. (Konta, 1995).

İçinde kil minerali ihtiva eden, belli ölçülerde su ile karıştırıldığında plastik hamur halinde şekillenme özelliğine sahip ve (900-1000)°C' de pişirildiğinde çatlamadan sertleşebilen bütün topraklar, tuğla-kiremit imaline elverişli hammaddelerdir. Tuğla toprağı genellikle illit, az montmorillonit, kaolinit, kuvars, demir mineralleri (limonit, hematit, vb.), az miktarda organik maddeler ve suda çözülebilen tuzlar ihtiva eder (Köktürk, 1997).

Afyon yöresinde tuğla üretiminde kullanılan killerde aşırı plastisite nedeniyle kuruma ve pişme sırasında oluşan çatlamaları önlemek amacıyla yapılan deneysel çalışmada; hammadde içerisine ağırlıkça %10-15 oranında ince tane boyutunda karbonat içermeyen temiz dere kumu katılarak kuruma ve pişirme testleri uygulanmıştır. Sonuçta %10-15 oranındaki kum katkının kuruma ve pişme sırasında oluşan çatlamaları önlediği saptanmıştır (Orhan ve Demir, 1998).

Tuğla- Kiremit toprakları düşük sıcaklıklarda eriyen, diğer seramik ürünlerinin yapımında kullanılan killere göre daha az saf olan ve genellikle pişme rengi kırmızı olan killerdir. Şekillendirmede iki yöntem kullanılır. Plastik şekillendirmede; hammaddenin %18-23 arasında nemlendirilerek vakum preslerde, yarı kuru preslemede ise hammaddenin %8-14 arasında nemlendirildikten sonra 100 -250 kgf/cm² basınç altında preslerle şekillendirilir. Yarı kuru presleme yönteminde kuruma ve pişme küçülmesi düşük olmasına karşın nispeten dona dayanımının düşük, yüzeyin pürüzlü olduğu ve blok tuğla üretimi gibi yüksek boşluklu ürün eldesinin zor hatta imkansız hale geldiği, bu nedenle kuruma ve pişme küçülmesi ve kuruma probleminin daha fazla olmasına karşın, şekillendirme problemlerini aşabilmek ve üretim

hızını arttırabilmek amacıyla tuğla sektöründe plastik şekillendirme tercih edilmektedir (Üzer ve Tola, 1987; Kibici, 2002).

Volkanik küllerin eritici olarak; düşük ve yüksek plastisiteli killerden üretilen seramik ürünlerin özelliklerine etkisi konusunda yapılan çalışmada; öğütülmüş bu volkanik külden katkısız (%0) ve %30'a kadar katkılı olarak hem düşük plastisiteli ve hem de yüksek plastisiteli kile katılarak üretilen deney örnekleri 1100°C'de pişirilmiştir. Sonuçlar %5 ve %10 olarak katılan küllün düşük plastisiteye sahip killerin mekanik ve fiziksel özellikleri üzerinde çok az bir etki yaparken, %15 ve üzerindeki katkı oranlarının basınç mukavemetini iki katına çıkardığı, poroziteyi önemli ölçüde düşürdüğü ve doğrusal küçülme yüzdesinde çok az bir artış olduğu saptanmıştır (Knight, 1999).

2. MATERYAL ve METOT

Çalışmada kullanılan malzemeler ve uygulanan yöntemler bu bölümde verilmiştir.

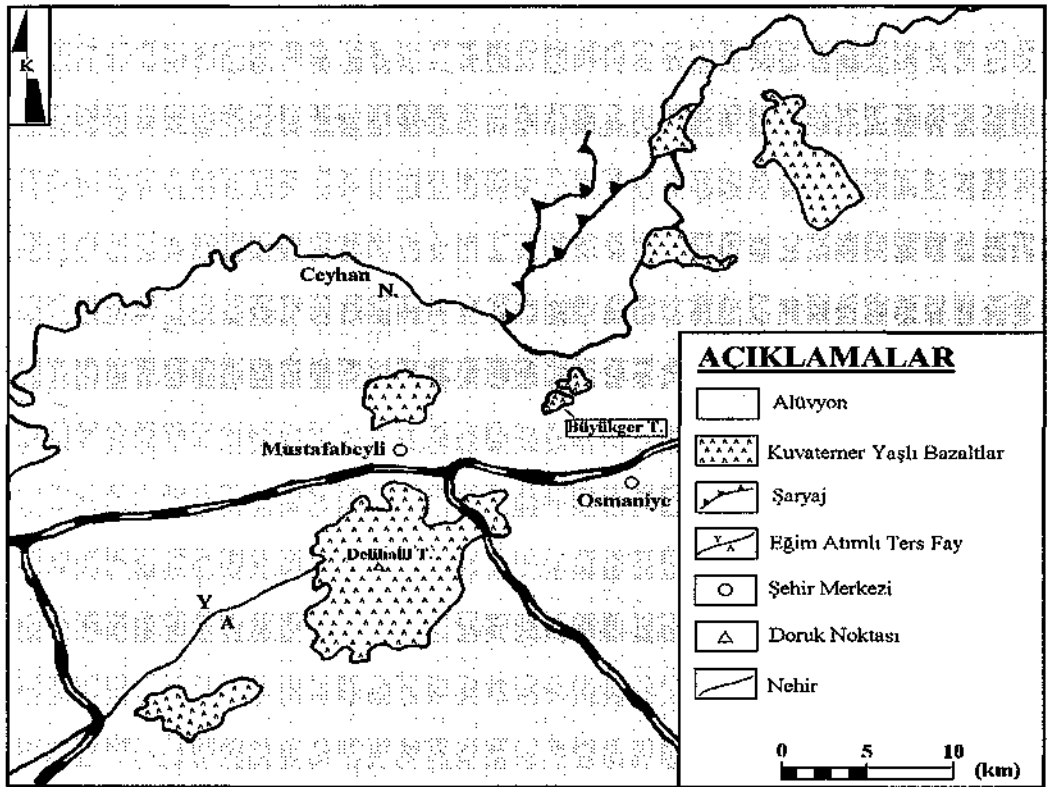
2.1. İnceleme Alanının Jeolojik Konunu

İnceleme alanı, Güneyde İskenderun körfezi ve Kuzeyde Ceyhan nehrinin dirsek yaptığı kısım arasında olup, aşağı yukarı bir doğrultu boyunca bu alanda genç bir bazaltik volkanizma "*Plato Bazaltları*" yer almaktadır. Çalışma alanındaki tüm kaya birimlerini örten bu plato bazaltları kuvaterner yaşlıdır. Çalışma alanındaki Kuvaterner yaşlı bazaltlar yaklaşık KD-GB yönlü bir doğrultu boyunca lekeler şeklinde yüzeylenmektedir. En geniş yüzeylemeyi Delihalil tepe dolayında vermekte olup, Delihalil tepe ana volkan konisi ile, Kocahama tepe, Domuz tepe, Tüysüz tepe, Üçtepeler ve Büyükger tepe gibi tali volkan konileri gözlenmektedir (Bilgin ve Ercan, 1979).

İnceleme sahasında geniş yayılım gösteren bazaltlar Anadolu-Arabilistan-Afrika levhalarının KD-GB yönlü tektonik kuvvetlere bağlı olarak gelişen ve *Kahramanmaraş Fay Sistemi*'ni meydana getiren, bu ana fay zonları boyunca kıtasal volkanik bazaltlar meydana gelmiştir (Işık, 1999). İnceleme alanındaki Kuvaterner yaşlı bazaltlar Harita 1'de izleneceği üzere İskenderun Körfezi'nin KD-GB yönünde devam eden bir hat boyunca lekeler halinde yüzeylenirler. Bu saha içerisinde geniş

yayılım gösteren ve çok geniş sahaları kapsayan bazalt lav akıntıları "Delihalil tepe" ana volkan bacası ile Kocahama tepe, Domuz tepe, Tüysüz tepe, Üç tepeler ve Büyükger tepe gibi tali volkan bacalarından yayılmıştır. Volkan bacaları arazide yükseltisi az olan tepeler halinde, yüzeyde ise bazaltik boşluklu, sünger yapıları "Pomza" veya cürufur, tüfler şeklinde yapılar gösterirler. Yüzeyde siyah, koyu gri, kahverengi, kirli kırmızı, yer yer pembe bazaltlar, çeşitli boyutlarda, genellikle köşeli, tümüyle gaz boşluklu, hafif serbest malzeme şeklindedir (Belen, 1995). Delihalil tepe volkan bacasında tutturulmamış, piroklastik parçalar

yığılma şeklinde görülür. Delihalil tepesi oluşturan piroklastikler, fiziksel görüntüleri, genellikle köşeli, tane boyları 0,5-10 cm arasında, yer yer daha büyük parçalar da içermektedir. Ancak, ortalama boyutu 5-6 cm arasındadır. Parçalı malzeme tutturulmamış, atmosferik koşullarda dışarıdan müdahale yapılmadan bile birbirlerinden ayrılmaktadırlar. Parçalar genellikle siyah, kirli kırmızımsı, kahverengi olanlara da rastlanır. Piroklastikler içerisinde boyutları 10-20 cm arasında değişen tipik volkan bombaları da yer almaktadır (Belen, 1995).



Harita 1. Osmaniye-Ceyhan yöresindeki Kuvaterner bazaltlarının dağılımı, (Bilgin ve Ercan, 1979 'dan Yeniden Düzenlenerek Alınmıştır).

Adana-Ceyhan bazaltları üzerinde yapılan mikroskobik incelemeler neticesinde bazaltların gaz boşluklu bir yapıda, boşlukların kısmen iri boyutlu ve bademsi şekilli oldukları ve boşlukların ise birbirlerine bağlantılı oldukları tespit edilmiştir.

Ayrıca mikroskobik incelemelerde bazaltların plajiolas, olivin, piroksen ve opak minerallerden meydana geldikleri ve plajiolaların iğnemi mikrolitler şeklinde oldukları belirlenmiştir (Aslan, 1999).

2.2. Çalışmada Kullanılan Malzemeler

Çalışmada tuğla üretiminde kullanılan kil hammaddesi ve Osmaniye Ceyhan yöresinde bulunana bazik kökenli pomza kumu kullanılmıştır. İnceleme alanındaki Delihallil tepeden alınan örnekler üzerinde yapılan kimyasal analiz sonuçları çizelge 1'de verilmiştir. İnceleme alanındaki

bazaltların kimyasal analiz sonuçlarının Mac Donald ve Katsura, (1964) tarafından geliştirilen $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ diyagramına yerleştirilmeleri sonucunda 6, 7, 8, 9, 10 nolu örneklerin *Alkalen*, 1, 2, 3, 4, 5, 11, 12, 13 nolu örneklerin ise *Subalkalen* karakterde oldukları belirlenmiştir (Çizelge 1) (Bilgin ve Ercan, 1979).

Çizelge 1. Adana-Ceyhan bazaltlarının kimyasal analiz sonuçları.

Oksit (%)	SUBALKALEN					ALKALEN					SUBALKALEN		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
SiO_2	48,14	49,58	49,16	49,36	49,89	50,25	51,52	50,99	50,64	47,07	49,94	51,50	48,28
Al_2O_3	15,84	14,79	13,33	13,94	17,28	16,09	16,56	13,73	15,05	14,86	16,69	16,30	15,43
Fe_2O_3	5,27	3,38	1,31	3,03	1,93	2,72	3,26	3,39	2,44	4,08	2,01	2,80	2,64
FeO	6,55	8,03	9,71	8,53	7,00	7,20	9,01	9,36	7,03	7,20	6,90	7,90	8,60
MgO	7,33	7,30	10,41	8,44	7,90	7,02	4,87	5,42	6,80	8,52	7,28	5,90	8,42
CaO	9,34	10,36	10,93	10,30	11,51	11,81	10,41	9,38	11,64	11,47	11,86	9,80	10,22
Na_2O	2,93	2,37	2,15	2,13	2,77	2,81	1,97	2,75	2,03	2,24	2,76	2,50	2,27
K_2O	0,62	0,43	0,51	0,38	0,16	0,20	0,37	0,80	0,80	0,20	0,16	0,86	0,64
TiO_2	1,96	1,98	2,29	2,50	1,23	1,56	1,03	3,57	1,03	1,66	1,51	1,20	1,73
P_2O_5	0,17	0,24	0,16	0,26	0,15	0,15	0,12	0,39	0,14	0,16	-	-	0,23

Çizelge 2. Çalışmada kullanılan tuğla kilinin kimyasal bileşimi.

	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	SO_3	Fe_2O_3	Kızd.Kay.	TOPLAM
Kil	49,20	21,08	3,79	2,68	3,89	0,90	1,40	6,94	9,50	99,38
Literatür Değ.	42,7-64,5	16,3-20,6	0,7-9,5	0,8-6,2	1,7-3,6	0,1-0,8	0,3	2,8-7	6,3-11,5	100

Kil örneklerinden elde edilen kimyasal analiz sonuçlarının çizelge 2'de verilen literatür değerlerle karşılaştırıldığında; SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , MgO , Fe_2O_3 , SO_3 , Na_2O ve kızdırma kaybı değerlerinin uygun olduğu saptanmıştır. Ancak kil hammaddesinde kimyasal yapıdan ziyade fiziksel davranışların önemli olduğu kabul edilmektedir. Pomza örneği sonuçlarının da literatür değerler ile uygunluk sağladığı görülmektedir.

2.2. Deney Örneklerinin Üretilmesi

Deney örneklerinin üretiminde tuğla kili çeyreklemeye yöntemi ile gerekli miktarda alınarak 1 mm açıklıklı valsli kırıcıda ezilerek hazırlanmıştır. Deney numunesi için kullanılacak bazik pomza hammaddesi laboratuvar tipi valsli kırıcıda ezilerek; (-1 mm) ve (-2+1 mm) tane boyutlarında olmak üzere iki farklı tane sınıfına ayrılmıştır.

Karşılaştırmalı sonuçlar alabilmek için 3 ayrı seride deney örneği hazırlanmıştır (Çizelge 3)

Bütün malzemeler önce etiv kuru su haline getirildikten sonra hassas terazide tartılarak belirlenen oranlarda alınmıştır. Önce pomza hammaddesi üzerine su püskürtülerek su emmesi sağlanmış ve belirlenen oranlarda alınan kil ve pomza malzemeler sert plastik kıvama gelinceye kadar su ilave edilerek el ile yoğrulmuştur. Bu beş farklı karışım olarak hazırlanan çamur nemini kaybetmeyecek biçimde 24 saat bekletildikten sonra plastik şekillendirmeye hazır hale getirilmiştir. Hazırlanan karışım laboratuvar tipi vakumlu (ekstrüzyon) preste, kesit ölçüleri 75x40 mm boyutunda ve %35 delik alanına sahip kalıp (vakum ağız) kullanılarak üretilmiş, tel kesme aparatı ile numune boyları 100 mm olarak kesilmiştir. Her bir deney serisi için yeterli sayıda

deney örneği üretilmiştir. Örneklerin yaş tartıları ve boyut uzunlukları ölçülerek kaydedilmiştir. Deney örnekleri normal hava koşullarında 48 saat bekletildikten sonra değişmez ağırlığa gelinceye kadar (ortalama 12 saat) 110°C'de etüvde kurutulmuştur. Kurutma sonunda örnekler ortam koşullarından etkilenmeden oda sıcaklığına (21°C) getirilmiştir. Kuru ağırlıkları ve boyut ölçümleri yapılarak kaydedilmiştir.

Şekillendirme ve kurutma işlemi tamamlanmış örneklerle ilgili gerekli veriler (hassas tartım ve boyut ölçümleri) belirlendikten sonra yapı tuğlaları için uygun olan 900°C sıcaklıkta elektrikli fırında pişirilmiştir. Pişirme süresi toplam 8 saat olarak alınmış ve son sıcaklık derecesinde 1 saat bekletilmiştir. Pişirme sonunda numuneler yeterli sıcaklığa kadar soğuduktan sonra ortam şartlarından etkilenmeden oda sıcaklığına (21°C) geldikten sonra hassas tartım ve boyut ölçüm işlemleri yapılmıştır.

3. BULGULAR

3.1. Plastiklik Suyu, Kuruma Küçülmesi, Toplam Doğrusal Küçülme ve Kızdırma Kaybı Değerleri

Elde edilen fiziksel değerler Çizelge 3'te verilmiştir. İnce taneli pomza katkının plastisiteyi azaltarak olumlu katkı yaptığı, buna karşılık iri taneli pomza katkının plastiklik değerleri üzerinde önemli bir etkisi olmadığı belirlenmiştir. 110 °C'de elde edilen kuruma küçülmesi sonuçlarına göre pomza katkının kuruma küçülmesine önemli bir etkisi olmadığı belirlenmiştir. 900 °C 'de pişirilen örnekler üzerinde elde edilen toplam doğrusal küçülme ve kızdırma kaybı değerleri hesaplanmıştır. Buna göre pomza katkının toplam küçülmeyi bir miktar artırdığı, ancak bunun önemsiz derecede kaldığı belirlenmiştir. Elde edilen kızdırma kaybı değerlerinin bilinen değerleri geçmediği, ancak pomza katkılı (B) ve (C) serilerinde kızdırma kaybı değerlerinde artış belirlenmiştir (Çizelge 2).

Çizelge 3. Plastiklik suyu, kuruma küçülmesi, toplam küçülme ve kızdırma kaybı değerleri

Seri Adı ve % Karışımı	Plastiklik (%)	Kuruma Küçülme (%)	Toplam Küçülme (%)	Kızdırma Kaybı (%)
A- %100 Kil	31,50	4,21	5,63	6,06
B- %70 kil+ %30 Pomza (-1 mm)	22,77	5,28	5,85	10,33
C- %70 kil+ %30 Pomza (-2+1 mm)	29,15	5,01	5,55	9,62
Literatür değerler	13,20- 40,7	max: 8	max: 10	10-13

3.2. Su Emme ve Birim Hacim Değerleri

Pomza katkılı örneklerin su emme değerleri maksimum değerlere yaklaşmıştır. Katkısız örnekler göre bazik pomza katkının su emmeyi olumsuz yönde etkilediği belirlenmiştir. Pomza katkılı örneklerde birim hacim ağırlık değerlerinin TS 705 standardında az delikli (delik oranı % 35) tuğlalar için verilen değerleri sağladığı, tuğlaya göre daha hafif bir bünye elde edildiği saptanmıştır. İnce taneli (-1 mm) pomza katkının, iri taneli (-2+1 mm) pomza katkısına göre birim hacim ağırlığında

bir miktar artışa neden olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeni olarak tane yapısının incelenmesi ile birlikte, toplam porozitede meydana gelen azalmanın yol açtığı düşünülmektedir. Bütün örnek serilerinde hem deprem yönetmeliğinde ve hem de TS 705'te yığma yapı tuğlaları için istenen basınç dayanımı değerleri elde edilmiştir (çizelge 4). Katkısız (A) serisine göre; (B) serisinde önemli bir artış elde edilmiştir. (C)) serisinde (B) serisine göre bir miktar azalma belirlenmiştir. Bu azalmaya iri taneli pomzanın gözenek yapısındaki boşlukların büyümesinin neden olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 4. Su emme, birim hacim ağırlığı ve basınç dayanımı değerleri

Seri Adı ve % Karışımı	Su emme (%)	Birim Hacim Ağırlığı (Kg/m ³)	Basma Dayanımı (MPa)
A- %100 Kil	15,35	1218	6,06
B- %70 kil+ %30 Pomza (-1 mm)	16,07	1145	10,33
C- %70 kil+ %30 Pomza (-2+1 mm)	17,75	1160	7,91
Literatür değerler	max: 18	1001-1200	min: 5,0

3.3. Dona Dayanım Testi

Dona dayanım testi sonuçları çizelge 5'te verilmiştir. Buna göre iri taneli (B) ve (C)

serilerinde pomza katkının dona dayanım değerini bir miktar azaltıcı etki yaptığı, ancak bunun önemsiz olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 5. Dona dayanım testi sonuçları.

Seri Adı ve (%) Karışımı	Dona Dayanım Testi Sonucu Saptanan Bulgular
(A)- %100 Kil	Önemsiz sayılabilecek pullanma saptanmıştır. Don sonu ağırlık kaybı % 1,4 olarak belirlenmiştir.
(B)-% 70kil+%30 Pomza. (-1 mm)	Önemsiz sayılabilecek pullanma ve dökülme saptanmıştır. Don sonu ağırlık kaybı % 1,8 olarak belirlenmiştir.
(C) % 70kil+%30 Pomza. (-2+1mm)	Önemsiz sayılabilecek pullanma ve dökülme saptanmıştır. Don sonu ağırlık kaybı % 1,65 olarak belirlenmiştir.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Çalışmada elde edilen sonuçlar ve tartışma bu bölümde ve sonuçlara ilişkin grafikler ekte sunulmuştur.

Plastisite sonuçları değerlendirildiğinde; pomzalı karışım serilerinde tuğla killeri için literatürde verilen %13 ile %40 değerlerini geçmediği ve uygun olduğu belirlenmiştir. Kuruma küçülmesi sonuçları bütün karışım serilerinde tuğla killeri için literatürde verilen max %8 değerini geçmediği, pomza katkının kuruma küçülmesi değerini önemsiz sayılabilecek bir miktar artırdığı belirlenmiştir. Toplam küçülme değerleri her üç seride de tuğla killeri için literatürde verilen max %10 değerini geçmediği ve uygun olduğu saptanmıştır. Pomza katkının toplam küçülmeyi bir miktar artırdığı ancak bunun önemsiz derecede kaldığı belirlenmiştir. Su emme değerleri bakımından katkısız (A) serisine göre pomza katkının su emme oranını bir miktar artırdığı belirlenmiştir. Bu artışa karışıma giren pomza hammaddesinin gözenekli yapısının sebep olduğu düşünülmektedir.

Pomza katkının birim hacim ağırlığı değerlerinde azalmaya yol açtığı ve buna pomza hammaddesinin gözenekli bünye yapısının neden olduğu düşünülmektedir. Pomza katkılı örneklerde birim hacim ağırlığının azalması toplam bina yüklerinde bir azalma sağlayacağı, gözenekli bünye yapısı nedeniyle normal tuğlaya göre daha iyi ısı ve ses izolasyonu özelliğine sahip olacağı düşünülmektedir.

Basınç dayanımı bakımından katkısız (A) serisine göre iri taneli (C) serisinde bir miktar artış elde edilirken ince pomza katkılı (B) serisinde önemli derecede artış elde edilmiştir. Sonuç olarak pomza katkı ile üretilen deney örneklerinin tümü basınç dayanımı bakımından Deprem Yönetmeliği ve TS standartlarına uygunluk sağlamıştır. Bazik pomza katkının kızdırma kaybı değerlerini azaltıcı yönde etkilediği ve olumlu katkı yaptığı belirlenmiştir.

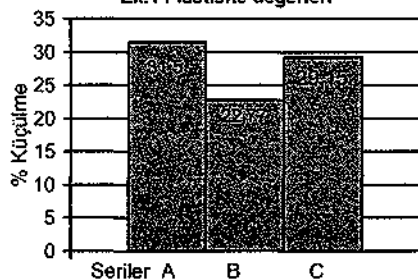
Deneyisel çalışmalar sonucunda iki farklı tane boyutunda bazik pomzanın tuğla üretiminde kullanılan kil ile karıştırılması sonucu üretilen deney örneklerinin üretim süreçleri ve mekanik özellikleri saptanmıştır. Pomzanın kapalı gözenekli yapısının tuğla ürünün bünyesinde de gözenekli bir yapı oluşturacağı ve tuğlanın ısı yalıtım değerinin artacağı düşünülmektedir. Bu nedenle pomza katkılı tuğlada ısı yalıtım değerinin araştırılması konusunda ayrı bir çalışmanın yapılması yararlı olacaktır.

KAYNAKLAR

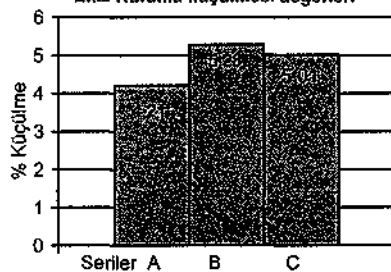
- Anonim, 1985, TS 705: *Fabrika Tuğlaları- Duvarlar İçin ve Düşey Delikli Hafif Tuğla*, Ankara.
- Anonim, 1986, TSE 4790: *Tuğla ve kiremit topraklarının deney metodu*, Ankara.
- Anonim, 1999, "Afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelik," İ. M. O., İzmir.

- Aslan, T., 1999. *Piroklastik (Kor Kırıntılı) Kayaçlar, Özellikleri ve Sınıflandırılması, Bir Örnek Delihallil Volkanizması*, Ç. Ü. Müh. Fak. Jeoloji Müh. Böl. Bitirme Ödevi, Adana.
- Belen, N., 1995. *Osmaniye-Dörtöyöl-Erzin Yöresi Kuvaterner Bazaltlarının Jeolojisi, Petrografisi*, Ç. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Müh. Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Adana.
- Bilgin, A. Z. ve Ercan, T., 1979. *Ceyhan-Osmaniye Yöresindeki Kuvaterner Bazaltların Petrolojisi*, M.T.A. Raporu No: 6798, Ankara.
- Gündüz L., Sarıışık, A., Tozaçan, B., Uğur, İ., Çankıran, O., 1998. *Pomza Teknolojisi*, Isparta.
- Işık, A., 1999. *Mustafabeyli-Aslanınarı-Kırmtılı-Tatarlı (Osmaniye) Yöresi Kuvaterner Yaşlı Bazaltlarının Jeolojisi ve Petrografisi*, Ç. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Müh. Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Adana.
- Kibici Y., 2002. *Seramik Hammaddeleri ve Teknolojik Özellikleri*, 30-44, Afyon.
- Knight, J., C., 1999. *Influence Of Volcanic Ash Flux On Ceramic Properties Of Low Plasticity Clay And High Plasticity Clay Of Trinidad*, British Ceramic Journal, 1. 98, 24-28.
- Konta, J., 1995. *Clay and Man: Clay Raw Materials In The Service of Man*, Applied Clay Science, 10, 275-335.
- Köktürk, U., 1997. *Endüstriyel Hammaddeler*, Dokuz Eylül Üniversitesi Yayını, Yayın No:205.
- Orhan, M. ve Demir, İ., 1998. *Tuğla Killerinde Rötire Değerlerinin Azaltılması Üzerine Bir Araştırma*, Gazi Üni. Fen Bil. Dergisi, C.11, No: 2, 383-392.
- Üzer, M. ve Tola, Ç., 1987. *Tuğla Kiremit Topraklarında Kuruma Problemleri Ve Elektrolit İlavesinin Kurumaya Etkisi*, Saydam Matbaacılık, Ankara.

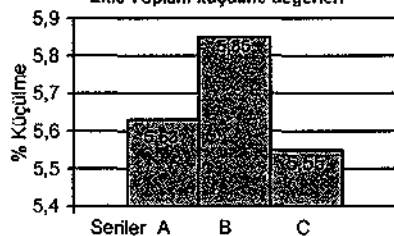
Ek.1 Plastisite değerleri



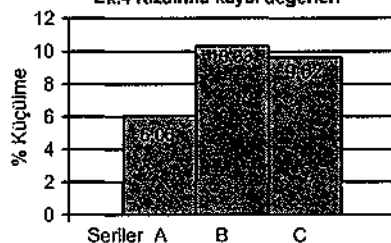
Ek.2 Kuruma küçülmesi değerleri



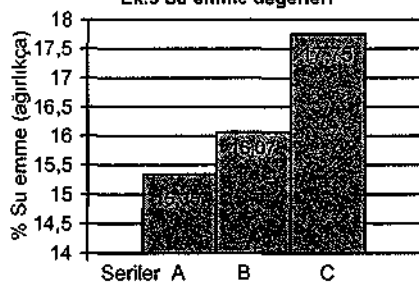
Ek.3 Toplam küçülme değerleri



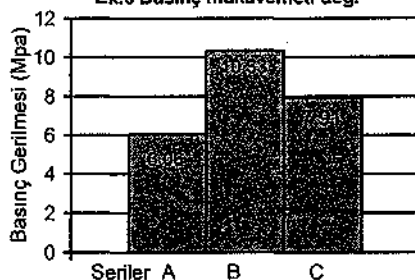
Ek.4 Kızdırma kaybı değerleri



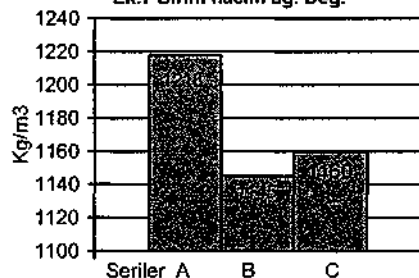
Ek.5 Su emme değerleri



Ek.6 Basınç mukavemeti değ.



Ek.7 Birim hacim ağı. Değ.



Kalorifer Külü Kullanılarak Yapı Bloğu Üretilmesinin Araştırılması

İ. Demir, S. Başpınar, Y. Kibici & A. Yıldız

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon

ÖZET: Türkiye de ısıtmada yakıt olarak çok büyük boyutlarda kömür kullanılmaktadır. Bu durum depolama alanlarında büyük miktarlarda atık külün depolanarak çok büyük boyutlarda yer kaplamasına ve değişik çevre sorunlarına yol açmaktadır. Diğer yandan gelişmiş inşaat yöntemleri, geleneksel yapı malzemelerindeki sıkıntılar ve endüstriyel atıkların bol miktarda ortaya çıkması yeni yapı malzemelerinin geliştirilmesini desteklemektedir. Bu çalışmada, konutların ısıtılmasında açığa çıkan kömür külünün yapı malzemesi üretiminde kullanılması araştırılmıştır. Bu amaçla atık sahasından alınan kül örneklerin kimyasal yapısı belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan kömür külüne bağlayıcı olarak kireç ve çimento ilave edilmiştir. Karşılaştırma yapabilmek için farklı karışım oranlarında deney örnekleri üretilmiştir. Örnekler belli süre kür edildikten sonra fiziksel ve mekanik testler uygulanmıştır. Sonuçta atık külün ekonomik şartlarda yapı blokları üretiminde kullanılabileceği belirlenmiştir.

ABSTRACT: Large quantities of coals have been used as fuel domestic use for heating in Turkey. It has been causing a considerable furnace-waste that has been dumped into landfills. On the other hand enhanced construction activities, shortage of conventional building materials and abundantly available industrial wastes have promoted the development of new building materials. In this study, usage of coal ash as supplementary building material was investigated. For this purpose, chemical analysis of the ash samples were determined. Lime and cement were added to the coal ash as a binder. In order to get comparable results samples were prepared with different composition. After certain time of curing, physical and mechanical tests were conducted. It was concluded that, waste ash can be used economically for the production of building blocks.

1. GİRİŞ

Kalorifer ve sobalarda kömürün yakılması sonucu açığa çıkan kömür külleri (curuf) çöp depolama alanlarında önemli yer kaplamakta, bu atıkların depolanması ve yönetimi değişik çevre sorunlarına yol açabilmektedir. Ülkemizde konutların ısıtılmasında doğalgaz kullanımının yanı sıra yaygın olarak kömür kullanılmaktadır. Yanma sonucu kömürün bünye yapısına göre belli oranlarda kül ortaya çıkmaktadır. Atık küller genellikle belediyeler tarafından çöp depolama alanlarında toplanmaktadır. Kül atıklar depo alanlarında çok büyük boyutlarda yer kaplamakta ve değişik çevre sorunlarına yol açmaktadır. Bu konuda bugüne kadar bir çok çalışma yapılmıştır (Short &

Kinniburgh, 1978; Orchard, 1979; Mindess & Young, 1981; Shetty, 1993; Basri, Mannan & Zain, 1999; Kumar, 2003;).

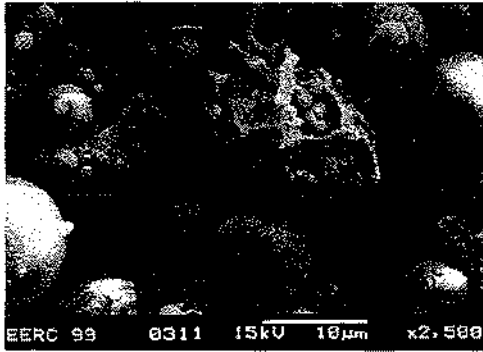
Bu çalışmada kalorifer külünün kireç-çimento bağlayıcı ile birlikte kullanılarak birim hacim ağırlığı düşük ve gözenekli, yapı blokları üretimi amaçlanmıştır.

2. MALZEME ve YÖNTEM

2.1. Çalışmada Kullanılan Malzemeler

Çalışmada hammadde olarak atık kül kullanılmıştır. Bağlayıcı olarak 25 kg'lık torba ambalajlı toz kireç

ve katkılı Portland çimentosu kullanılmıştır. Atık külün kimyasal analizi Çizelge 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Kömür külünün elektron mikroskop resimleri (ACAA, 2003).

Çizelge 1. Atık külün kimyasal bileşimi.

Oksit	Kalorifer Külü (%)
SiO ₂	33,61
Al ₂ O ₃	21,21
CaO	7,52
MgO	1,98
K ₂ O	1,26
Na ₂ O	0,34
SO ₃	1,42
Fe ₂ O ₃	9,65
TiO ₂	1,19
Kızd.Kay.	15,14

2.2. Test ve Deneylerde Kullanılan Araç ve Cihazlar

Deneylerin uygulanmasında kullanılan araç ve cihazlar aşağıda belirtilmiştir. Kül numunelerinin elenmesinde titreşimli elek makinesi kullanılmıştır. Numunelerin kurutulması işlemi sırasında Elektro - Mag 420 D tipi max 300°C’lik sıcaklık değerlerine sahip $\pm 5^{\circ}\text{C}$ etüv kullanılmıştır. Örneklerinin şekillendirilmesinde 50 mm çap ve 100 mm yüksekliğinde plastik silindirik kalıplar kullanılmıştır. Basınç mukavemeti deneyleri için 25 ton kapasiteli dijital göstergeli basınç presisi kullanılmıştır.

2.3. Deney Örneklerinin Hazırlanması

Numunelerin hazırlanması bu bölümde verilmiştir. Yeterli miktarda alınan kül etüv kurusu haline getirildikten sonra çene açıklığı 1 mm olan merdaneden geçirilerek ezilmiştir. Malzeme daha sonra 1 mm’lik elekten elenmiştir. Çalışmada ana

hammadde olan küle bağlayıcı olarak kireç ve çimento katılmıştır. Karışım oranları ağırlık esasına göre belirlenmiş ve üç ayrı seride deney numunesi üretilmiştir (Çizelge 2). Belirtilen oranlarda alınan malzemeler önce kuru karışım yapıldıktan sonra plastik kıvama gelinceye kadar su ilave edilip homojen bir hamur elde edilene kadar karıştırılmıştır. Tüm seriler için su/bağlayıcı: 0,60 alınmıştır. Bu haldeki hamur plastik kalıplara serbest döküm yolu ile dökülerek hazırlanmıştır. Kalıplarda boşluk kalmaması için şişirme yapılmıştır Her bir deney serisi için en az 12 örnek üretilmiştir. Döküldükten 24 saat sonra örnekler kalıptan çıkarılarak nemli ortamda (nemli bez ile korunarak) 28 gün bekletilmiştir.

Çizelge 2. Deney örneklerinin karışım oranları.

Örnek Kodu	Kül (%)	Kireç (%)	Çimento (%)
KA	60	25	15
KB	65	25	10
KC	70	15	15

2.4. Örneklere Uygulanan Test ve Deneyler

Örnekler üzerinde Arşimet Prensibi uygulanarak porozite, hacim ağırlığı (bulk yoğunluk), görünür yoğunluk ve su emme değerleri belirlenmiştir. Bunun için örnekler önce etüv kurusu haline getirilerek tartılmıştır (W_1). Daha sonra su içinde 48 saat bekletilerek su emmeleri sağlanmıştır. Arşimet terazi düzeneğinde su içinde tartılarak su içindeki ağırlıkları belirlenmiştir (W_2). Sudan çıkarılan örneklerin su emmiş doygun ağırlıkları tartılarak belirlenmiştir (W_3). Aşağıdaki eşitlikler yolu ile örneklerin porozite, hacim ağırlığı (bulk yoğunluk), görünür yoğunluk ve su emme değerleri belirlenmiştir.

$$\% P = \frac{(W_3 - W_1)}{(W_3 - W_2)} \times 100 \quad (1)$$

$$Ha = \frac{W_1}{(W_3 - W_2)} \quad (2)$$

$$Gy = \frac{W_1}{(W_1 - W_2)} \quad (3)$$

$$\% Se = \frac{(W_3 - W_1)}{W_1} \times 100 \quad (4)$$

Burada: %P: Görünür porozite, Ha: Hacim ağırlığı (bulk yoğunluk), Gy: Görünür yoğunluk, Se: Su emme W_1 : Pişmiş Kuru ağırlık (Pişmiş Ürünlerde) veya. etüv kuru su ağırlık (pişmemiş ürünler için, beton, taş .vb.) gr, W_2 : Su içindeki ağırlık gr., W_3 : Doygun ağırlık (sudan çıkarılan numune yüzeyi nemli bezle silinerek havada tartılır) gr.

Deney örnekleri 25 tonluk basınç presinde kırılarak basınç mukavemetleri belirlenmiştir. Örnekler uygulanan yükleme hızı $0.25 \text{ kgf/cm}^2.\text{sn}$ olarak belirlenmiştir.

3. BULGULAR

Çalışmadan elde edilen sonuçlar bu bölümde verilmiştir.

Üç ayrı seride hazırlanan örneklerin porozite, hacim ağırlığı, görünür yoğunluk ve su emme değerleri çizelge 3'te verilmiştir.

Porozite değerleri sırasıyla %29,3-32,01-37,0 olarak belirlenmiştir. Bu değerler kül oranının artması ile doğru orantılı olarak artmıştır. Karışımdaki bağlayıcı miktarı ile porozite arasında ters bir ilişki belirlenmiştir. Buna göre bağlayıcı oranı arttıkça porozite değerlerinde azalma belirlenmiştir. Porozite değerleri malzemenin birim hacim ağırlığı, su emme oranı, ısı ve ses yalıtımı özelliklerini etkileyen faktör olarak önem taşımaktadır.

Çizelge 3. Deney örneklerinin porozite, hacim ağırlığı, görünür yoğunluk ve su emme değerleri.

Numune Kodu	Porozite (%)	Hacim ağırlığı (gr/cm^3)	Görünür yoğ. (gr/cm^3)	Su emme (%)
KA	29,38	1,13	1,59	25,72
KB	32,01	1,12	1,65	28,60
KC	37,0	1,11	1,85	33,33

Birim hacim ağırlığı değerleri sırası ile 1,13-1,12-1,11 gr/cm^3 olarak belirlenmiştir. Normal beton birim hacim ağırlığı $2,4 \text{ gr/cm}^3$ olarak kabul edilmektedir. Buna göre deney örnekleri ile normal beton birim ağırlığı karşılaştırıldığında %100'e yakın bir azalma gerçekleşmiştir.

Görünür yoğunluk değerleri sırasıyla 1,59-1,65-1,85 gr/cm^3 olarak belirlenmiştir. Karışımdaki kül

oranı arttıkça görünür yoğunluk değerlerinde artış belirlenmiştir.

Örneklerin ağırlıkça su emme değerleri sırasıyla %25,72; %28,60; %33,33 olarak belirlenmiştir. Karışımdaki kül oranı arttıkça su emme değerlerinde artış belirlenmiştir. Buna kül miktarındaki artış ile birlikte katı faz oranının azalması ve gözenek miktarının artmasının neden olduğu düşünülmektedir.

Deney örneklerinin basınç mukavemeti değerleri Çizelge 4'te verilmiştir. Elde edilen basınç mukavemeti değerlerine göre KA serisi örneklerin Deprem Yönetmeliği ve TS 705'te taşıyıcı duvar elemanları için verilen 50 kgf/cm^2 basınç dayanımını karşılamaktadır. KB ve KC serisi örneklerin ise yük taşımayan bölme duvar elemanı olarak kullanılması uygun olacaktır.

Çizelge 4. Örneklerin basınç dayanımı değerleri (kgf/cm^2).

Numune seri Adı	KA	KB	KC
Basınç Day.	51,25	25,50	16,55

4. ÖNERİLER

Ülkemizde konutların ısıtılmasında yılda milyonlarca ton kömür kullanılmakta ve atık olarak milyonlarca ton kül ortaya çıkmaktadır. Bu çalışma konutların ısıtılmasında kullanılan kömür külünün kireç ve çimento ile bağlanarak hafif ve gözenekli duvar elemanları üretilmesi konusunda bir ön çalışma niteliğindedir. Porozite değerleri ve buna bağlı olarak su emme değerleri nispeten yüksektir. Ancak duvar içinde kullanılacağı ve doğrudan su etkilerine maruz kalmayacağı dikkate alındığında yüksek porozitenin ısı yalıtım özelliğini ve yapının nefes alma yeteneğini olumlu etkileyeceği düşünülmektedir. Çalışma atık malzemelerin geri dönüşümünün sağlanması bakımından önem taşımaktadır. Çalışmanın ileri aşamalarında daha farklı karışım oranları ve bağlayıcılar kullanılarak geliştirilmesi ve örneklerin ısı yalıtım katsayıları ölçülerek yalıtım değerleri belirlenmesi uygun olacaktır.

KAYNAKLAR

H., B., Basri, M., A., Mannan, M., F., M., Zain, 1994. *Concrete Using Waste Oil Palm Shells as Aggregate*. Cem. Concr. Res. 29 (4) 619-622.

S., Kumar, 2003. *Fly Ash-Lime- Phosphogypsum Hollow Blocks for Walls and Partitions*. Building and Environment, 38, 291-295.

S., Mindess, J., F., Young, 1981. *Concrete*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.

D., F., Orchard, 1979. *Concrete Technology*. Fourth ed., Applied Science Publishers, Science Publishers, London.

M., S., Shetty, 1993. *Concrete Technology*. S., Chand, India.

A., Short, W., Kinniburgh, 1978. *Lightweight Concrete*. third ed., Applied Science Publishers, London.

<http://www.eerc.und.nodak.edu/carrcl/>; 1993,

American Coal Ash Association (ACAA).

Kağıt Üretim Teknolojisini Değiştiren Mineral: Kalsiyum Karbonat (CaCO_3)

E. Sabah

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Afyon

Z.E. Erkan

Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir

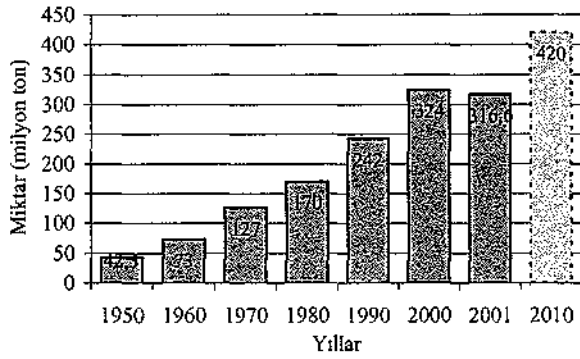
ÖZET: Özellikle 20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren ofset baskı teknolojisinde meydana gelen gelişmeler, kağıdın kalitesinin geliştirilmesine yönelik talepleri hızla artırmıştır. Dolgu ve kaplama pigmenti üreticileri sektörden gelen bu tür istekler karşısında, kağıdın optik ve baskı özelliklerini daha da arttıran kalsiyum karbonat (CaCO_3) kullanımına yönelmiştir. Batı Avrupa'da alkali kağıt üretimine geçişle birlikte kaolin yerine gittikçe artan miktarlarda kalsiyum karbonat tüketilmeye başlanmış, mikronize öğütme, talk yüzeyini CaCO_3 ile kaplama, kimyasal çöktürme ve partikül-selektif öğütme gibi proseslerle CaCO_3 'ün sahip olduğu özellikler daha da geliştirilmiştir. Günümüz pigment pazarında değişik ürün gamlarında satışa sunulan öğütülmüş doğal kalsiyum karbonatlar (GCC) ve sentetik (çöktürülmüş) kalsiyum karbonatlar (PCC), çok renkli ofset baskı tekniği için gerekli olan yüksek beyazlık ve opaklığa sahip kağıt üretiminde, kağıdın kalitesini belirleyen önemli hammadde haline gelmiştir. 2002 yılı itibarıyla kağıt-karton üretimi için dünyada tüketilen dolgu ve kaplama pigmenti 25 milyon ton civarında olup, bunun %50'den fazlasını GCC ve PCC oluşturmaktadır.

ABSTRACT: Developments in the offset pres technology, especially in the second half of 20th century, rapidly increased the demand to develop paper quality. Due to such demands from the producers of filler and coating pigments had diverted the use of CaCO_3 to optical and press properties of paper. Due to the shift to alkali paper production in Western Europe, kaolin is increasingly replaced by CaCO_3 , and the properties of CaCO_3 were more improved by such processes as micronized grinding, coating the talk surface with CaCO_3 , chemical precipitation and particle-selective grinding. Synthetic calcium carbonates (PCC) and ground natural calcium carbonates (GCC) which are marketed in various product scales in the current market, in the production of paper with high enough whiteness and opacity for the multicolor offset pres technique, have become important raw materials for providing quality paper. By the year 2002, the filling and coating pigments used for hard paper production in the world is approximately 25 million tons where more than 50% of it is composed of GCC and PCC.

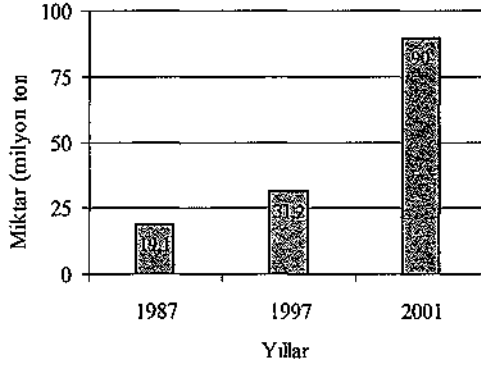
1. GİRİŞ

Dünyada en çok tüketilen maddelerden biri olan ve tüketim rakamları ile ülkelerin adeta kalkınmışlık düzeyinin bir göstergesi haline gelen kağıt; lifsel yapıli hammaddelerin kesme, saçaklandırma, su emdirmeye, kurutma gibi işlemler sonucunda hidrojen bağları oluşumuyla düzgün bir tabaka haline dönüştürülmüş şeklidir. Dünyada üretilen kağıt ve karton miktarı 1950 yılında 42.5 milyon ton iken, bu rakam 1980 yılında 170 milyon ton'a ve 2000

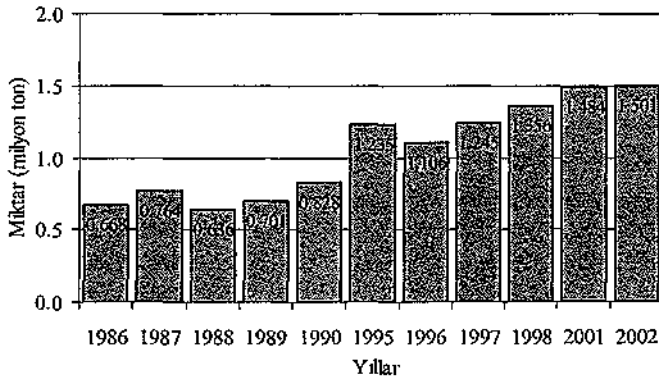
yılına gelindiğinde ise 324 Milyon ton'a ulaşmıştır; 2001 yılı sonu itibarıyla üretim miktarı 316.6 milyon ton olup, bir önceki yıla göre bir miktar düşme meydana gelmiştir. Bunda ABD'ye 11 Eylül'de yapılan saldırının önemli etkisinin olduğu sanılmaktadır (Jenekens vd., 2002). Tahminler, üretim miktarının 2010 yılında yaklaşık 420 milyon ton'a ulaşacağı yönündedir (Şekil 1). Günümüzde fert başına kağıt tüketimi 200 kg geçen Batı Avrupa'da, 1987-2001 yılları arasında üretilen kağıt ve karton miktarları ise Şekil 2'de ayrıca verilmiştir.



Şekil 1. Dünya kağıt ve karton üretiminin gelişim trendi (Autio vd., 1997; Kogler, 2000; Jahrestbericht, 2002).



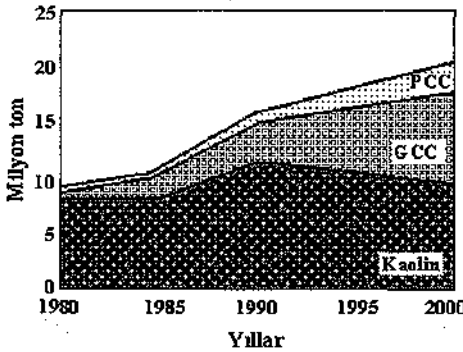
Şekil 2. 1987-2001 Batı Avrupa kağıt ve karton üretimi (Arnold, 1998; Finnische Forstindustrie Statistik, 2002).



Şekil 3. Türkiye kağıt-karton üretimi (United Nations Statistic, 2003; DPT, 2000; FINPRO, 2003; Sarrafoğlu, 2003).

Avrupa Birliği'ne aday olan ve fert başına 32 kg kağıt tüketimiyle dünya sıralamasının sonlarında yer alan Türkiye'de, üretimin yıllara göre dağılımı Şekil 3'de gösterilmiştir.

Kağıt üretiminde ligno-selülozik lifsel maddelerin yanı sıra çeşitli mineral maddelerin kullanımı asırlardır bilinen bir olgudur. Literatür bilgileri, Avrupa'da kağıt üretiminde dolgu maddesi kullanımının 1800'lü yılların ilk yarısında başladığını (Beuleke, 2001; Naydowski, ...), ancak Renkli Ofset Baskı tekniğinin 20. yüzyılın ortalarından itibaren siyah-beyaz baskı sisteminin önüne geçmesi ile kaliteli beyaz kağıda olan talebin artması ile, 80'li yıllardan itibaren kullanımın hızla arttığını göstermektedir (Şekil 4).



Şekil 4. Dünyada kağıt üretimi için tüketilen mineral madde miktarlarının yıllara göre dağılımı (Beuleke, 2001).

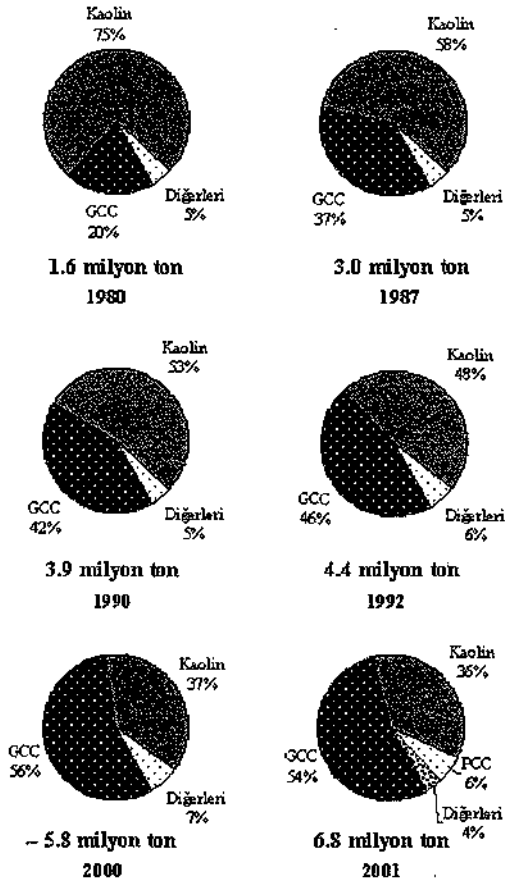
Dolgu ve kaplama amaçlı olarak kullanılan mineral maddeler, ucuz olmalarının yanı sıra sahip oldukları fiziksel özellikler ile de kağıdın kalitesine önemli katkılar sağlamaktadır. Kağıt üretiminde mineral madde kullanımı ilk olarak jips, sentetik baryum sülfat ve talk ile başlamış, daha sonra bunların yerini kaolin almış ve dolgu maddesi olarak kaolin kullanımı 1980 yılına kadar yoğun bir şekilde devam etmiştir. Kaolinin bu denli yaygın bir şekilde kullanılmasında, jipsin suda hızla çözünmesinin verdiği olumsuzluk ve sentetik baryum sülfat fiyatlarının artması etkili olmuştur. Özellikle 1980'den itibaren çok renkli ofset baskı tekniğinin hızlı gelişmesiyle yüksek beyazlık ve opaklığa sahip kağıda olan talep artmış; bu durum, dolgu ve kaplama pigmenti olarak kağıda yüksek beyazlık sağlayan ve dolayısıyla renkli baskı kalitesini

yükselten kalsiyum karbonat kullanımını gündeme getirmiştir. Kağıt kalitesinin artırılmasına yönelik sektörden gelen talepler, dolgu ve kaplama pigmenti üreticilerini kaolin yerine gittikçe artan miktarlarda kalsiyum karbonat üretimine yöneltmiştir. Asit ortamda kağıt üretiminden alkali-bazik kağıt (Alkaline Paper) üretimine geçişle birlikte dolgu pigmentleri yaklaşık %50 katkı oranıyla tüm dünyada, özellikle Avrupa da, son 25 yılda kağıdın kalitesini belirleyen önemli bir hammadde konumuna gelmiştir.

Bu çalışmada, kağıt üretim teknolojisi (alkali-bazik) dünya ölçeğinde değiştiren öğütülmüş doğal kalsiyum karbonat (CaCO_3) mineralinin dolgu ve kaplama pigmenti olarak kullanımı ele alınmış, bunun son 20 yıllık gelişim trendi üzerinde durulmuş, üretim teknolojisi ve ürün özellikleri hakkında detaylı bilgilere yer verilmiştir.

2. KAĞIT SEKTÖRÜNDE KALSİYUM KARBONAT KULLANIMI

Kağıt-karton üretiminde dolgu ve kaplama pigmenti olarak kalsiyum karbonat kullanımı, kağıt üretim teknolojisi (alkali kağıt üretimi) dünya ölçeğinde değişmiş, 70'li yıllarda araştırma amaçlı birkaç ton CaCO_3 tüketilirken (Naydowski, ...; Naydowski, 1999) günümüzde bu rakam milyonlarca tona (~10 milyon ton üzeri) ulaşmıştır (Mineset Partner Report, 2002). Kağıt sektöründe, alkali kağıt üretimine geçişle birlikte, yüksek beyazlık ve opaklık, kağıdın yüzey özelliklerini iyileştirme, üretimde kullanılan makinelerin hızlarını artırma, yüksek baskı kaliteli kağıt üretme vs. şeklinde özetlenen yeni görüş (konsept), özellikle Batı Avrupa'da mikronize kalsiyum karbonata olan talebi hızla arttırmış, 20 yıl önce, kaplama pigmentleri arasında, %20 oranında öğütülmüş doğal kalsiyum karbonat (GCC) tüketilirken 2002 yılına gelindiğinde bu oran sentetik (çöktürülmüş) kalsiyum karbonat (PCC) tüketimi ile birlikte %62'lere yükselmiştir. Şekil 5'den de görüldüğü gibi, 1980'li yıllarda tercih edilen kaolin 1992 yılından itibaren yerini CaCO_3 'e terk etmeye başlamıştır. Üreticileri kalite kağıt ile Batı Avrupa pazarının %85'ine hakim olan 10 firma, 1996 yılından bu yana dolgu ve kaplama pigmenti olarak %85-100 gibi değişen oranlarda CaCO_3 kullanmaktadır (Naydowski, ...).



Şekil 5. Batı Avrupa'da kaplama pigmenti pazarının gelişim trendi (Arnold, 1998; Kogler, 2000; Kugge, 2003).

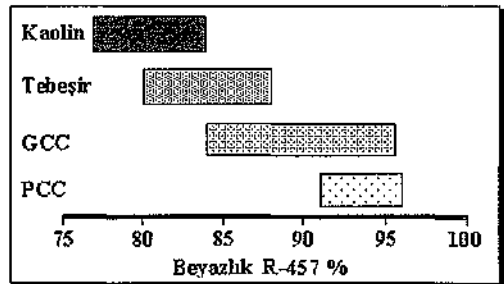
Günümüz pigment pazarında kalsiyum karbonat ile birlikte azda olsa talep gören diğer mineraller kaolin, talk ve titanyum dioksittir. Çizelge 1, sözkonusu pigmentlerin mineralojik ve fiziksel özelliklerini göstermektedir. Bu mineraller, kimyasal yapıları, mekanik ve optik özellikleriyle birbirlerinden ayrılmaktadır. Bilhassa yüksek beyazlık, kırılma indeksi ve ince tane boyutu gibi özellikleri nedeniyle CaCO_3 kökenli kayalar, diğerlerine nazaran daha fazla tercih edilmektedir. Alkali (bazik) özellik göstererek kağıdın dayanıklılığını arttıran kalsiyum karbonat kökenli kayalar; tebeşir, kireçtaşı ve mermerdir (Şekil 6). Kalsit olarak adlandırılan kristalin CaCO_3 minerali ise dünya pigment pazarında çok az miktarda

tüketilmekte olup, esas tüketim alanı bulan kalsiyum karbonatlar, %95 ve üzeri CaCO_3 oranına sahip iri kristalli mermerler ve tebeşirdir.

	• Zayıf dayanımlı sedimanter kayaç • Yaş: 80-110 milyon yıl	Kristalin
	• Güçlü dayanımlı sedimanter kayaç • Yaş: 110-150 milyon yıl	Kristalin
	• Metamorfik kayaç • Yaş: 300-500 milyon yıl	Kristalin

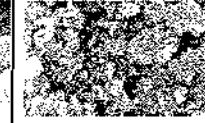
Şekil 6. Doğal kalsiyum karbonatlar (Arnold, 1998; Kogler, 2000).

Tebeşir, zayıf dayanım ve düşük beyazlığa sahip bir sedimanter kayadır. Kireçtaşı tebeşirden daha sert olup, beyazlığı daha yüksek bir kalsiyum karbonattır. Tebeşir ve kireçtaşının yüksek basınç ve sıcaklıkta tekrar kristalize olmasıyla oluşan mermer ise kalsiyum karbonatlar arasında en yüksek beyazlığa sahip metamorfik bir kayadır. Kağıt-karton üretiminde kullanılan öğütülmüş doğal kalsiyum karbonat (GCC), sentetik (çöktürülmüş) kalsiyum karbonat (PCC), tebeşir ve kaolinin beyazlık yüzdeleri Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Dolgu ve kaplama pigmentlerinin beyazlık dereceleri (Laufmann, 1995).

Çizelge 1. Kağıt ve Karton Üretiminde Kullanılan Pigmentlerin Özellikleri (Kogler, 2000; Gruber, 2002).

	GCC	PCC	Kaolin	Talk
				
Mineralojik Yapı	Tebeşir, Kireçtaşı, Mermer	Tebeşir, Kireçtaşı, Mermer	Alüminyum Silikat	Magnezyum silikat
Kimyasal Bileşim	CaCO_3	CaCO_3	$\text{Al}_2(\text{OH})_4(\text{Si}_4\text{O}_{10})$	$\text{Mg}_3(\text{OH})_2(\text{Si}_4\text{O}_{10})$
Kristal Yapı	rombusal	Skalenodrik	Tabakalı	monoklinik
Sertlik (Mohs)	Tebeşir 1 Mermer 3	Tebeşir 1 Mermer 3	1-2.5	1
Yoğunluk (g/cm^3)	2.7	2.7	2.8	2.7
Yüzey Alanı (m^2/g)	3-4	3-10	4-7	5-20
Beyazlık (%)	82-92	95-98	70-90	70-88
Kırılma İndeksi	1.58	1.56	1.56	1.57
Boyut Aralığı (μm)	0.5-5	0.2-0.5	0.3-5	0.2-5

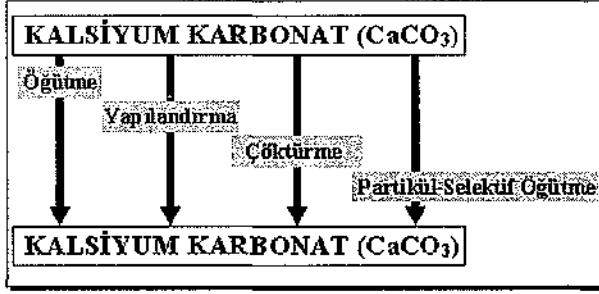
Özellikle Kuzey Amerika'da yaygın bir şekilde kullanılan PCC, kimyasal bir işlemden geçirildiği için kaolin, tebeşir ve GCC'ye nazaran daha yüksek saflığa sahip olup, beyazlık değeri çok daha yüksek bir pigmenttir. Kaolin, tebeşir ve mermerin beyazlık yüzdelilerinin düşük olmasının nedeni değişen oranlarda renk verici safsızlıklar içermeleridir. PCC'nin beyazlık derecesine eşdeğer düzeyde beyazlık veren doğal kalsiyum karbonat ise mikronize boyutta öğütülmüş mermerdir. Kağıt ve kartonun kaplama işlemlerinde tane inceliğinin ve formunun önemi büyüktür. Öğütülmüş doğal CaCO_3 'ün kaplama pigmenti olarak kağıda kazandırdığı özellikler;

- yüksek beyazlık,
- reolojik özelliklerin iyileşmesi,
- yüksek katı oranı sağlaması,
- kaplama makinelerinin hızını artırma,
- düşük enerji tüketimi,
- bağlayıcı tüketiminde azalma,
- yüksek baskı kalitesi.

Bunların yanında, CaCO_3 'ün sertliği ve buna bağlı aşındırıcı özelliği kaolin ve talka nazaran daha fazla olduğu için üretim esnasında bıçaklarda ve elek aksamında aşınmalara neden olmakta ve üretilen kağıdın aşındırıcı özelliğini de artırmaktadır. Baskı ve fotokopi makinelerinde bazı problemlere yol açan bu durum, CaCO_3 'ün tane boyutu inceliğini arttırmakla bir ölçüde bertaraf edilebilmektedir (Erkan ve Malayoğlu, 2001).

3. CaCO_3 -ÜRÜN GELİŞTİRME PROSESLERİ

Kağıt endüstrisi için dolgu ve kaplama pigmenti üretiminde Batı Avrupa'da yeni konsept, ürün çeşitliliği ve yeni üretim teknolojileridir. Bu amaçla doğal kalsiyum karbonat, değişik proseslere tabi tutularak (Şekil 8) farklı formda yeni CaCO_3 ürünler elde edilmekte ve bu ürünler sayesinde kağıt hamurunda açığa çıkabilecek muhtemel olumsuzlukların bertarafı mümkün olabilmektedir.

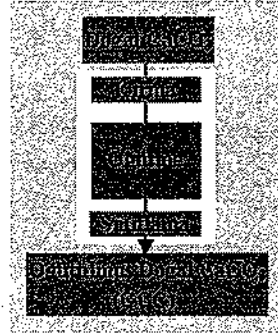
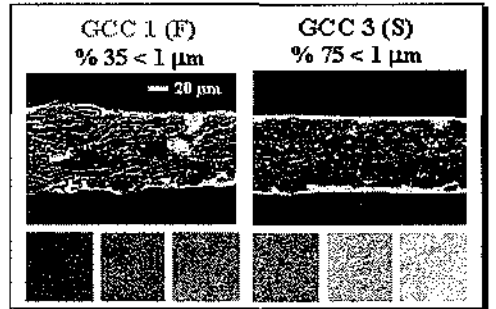
Şekil 8. CaCO₃ - Ürün geliştirme proseslerinin şematik gösterimi.

Şekil 8'den de görüldüğü gibi, hammadde olarak kullanılacak doğal kalsiyum karbonat öğütme, yeniden yapılandırma (Co-structuring), çöktürme (precipitation), partikül-selektif öğütme (particle-selective grinding) gibi proseslerden geçirilmek suretiyle yeni CaCO₃ ürünleri elde edilebilmektedir.

3.1. Öğütme

Dolgu ve kaplama pigmenti olarak kullanılmak üzere ince ve çok ince boyutta CaCO₃ elde etmek için kuru ve yaş olmak üzere iki temel öğütme tekniği uygulanır (Şekil 9). Kuru sistemde, öğütme aparatları ve yine kuru olarak çalışan sınıflandırıcı ekipmanlar (elek veya havalı klasifikatörler) kullanılır. Yaş sistemde ise öğütme ortamı sudur. Öğütme işlemi müteakip mikronize taneler, iri tanelerden hidrosiklonlarla ayrıldıktan sonra bekleme tanklarında çöktürülür. Pres veya vakumlu filtrelerde rutubeti düşürülerek kuru veya süspansiyon halinde kağıt sektörünün hizmetine sunulur. Yaş sistem, kuru sistemlerin ekonomik olmadığı ve/veya yüzey alanı 5 m²/g'ın üzerinde olan çok ince boyutlarda uygulanır.

Avrupa'da kağıt sektöründe genellikle %60'ı 2 µm altına sulu öğütülmüş CaCO₃ dolgu pigmenti olarak kullanılırken, kapla pigmenti için en az %88-90'ı 2 µm altına indirilmiş mikronize CaCO₃ tercih edilmektedir. Mikronize boyuta öğütülmüş CaCO₃, selülozik lifleri, iri boyutlu CaCO₃'e nazaran, daha iyi kaplamakta (Şekil 10), böylelikle kağıdın opaklık ve beyazlık özelliği artmaktadır. Bunun sağladığı avantaja, kağıdın baskı kalitesi yükselmektedir.

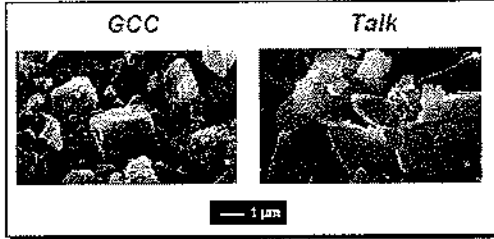
Şekil 9. Doğal CaCO₃ boyut küçültme genel akım şeması.

Şekil 10. Tane boyutunun kaplama üzerindeki etkisinin REM görünümü (Beuleke ve Burri, 1999; Burri, 2000).

3.2. Yeniden Yapılandırma

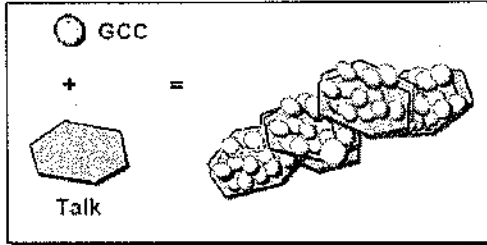
Bu yöntemde, öğütülmüş doğal kalsiyum karbonat ve talk kombinasyonu ile doğal CaCO₃'e yeni bir form kazandırılarak CaCO₃'ün pigment özelliği iyileştirilmektedir. Şekil 11'de Raster elektron

mikroskop (REM) resminde görüldüğü gibi, farklı kristal yapılarına sahip kalsiyum karbonat ve talk birbirleriyle muameleye tabi tutulmak suretiyle, CaCO_3 'ün yüksek beyazlık vasfı, talkın tabakalı yapısı ile birleştirilmiş ve bu kombinasyon sayesinde yeni özelliğe sahip bir CaCO_3 ürünü elde edilmiştir (Şekil 12).



Şekil 11. GCC ve Talk'ın REM görüntüleri (Beuleke ve Burri, 1999).

Talk ile muamele sonucunda yeni bir yapı kazanan GCC, kaplama pigmenti olarak kullanıldığında, mat kağıtların yüzey özelliklerini iyileştirerek kağıda daha yüksek bir beyazlık sağlamakta, özellikle LCW (Light Weight Coated) kağıtlarında baskı kalitesini artırmaktadır.

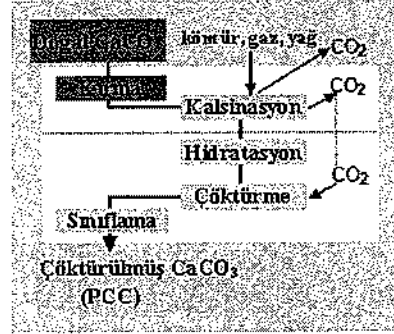


Şekil 12. GCC / Talk kombinasyonu (Beuleke ve Burri, 1999; Burri, 2000).

3.3. Çöktürme

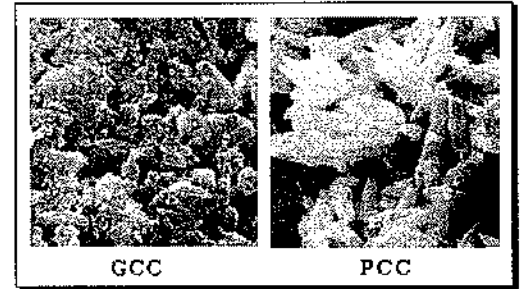
Sentetik (çöktürülmüş) kalsiyum karbonat (Precipitated Calcium Carbonate) üretiminin değişik yöntemleri olmasına rağmen en çok tercih edileni, saf kireç taşlarının kalsinasyonu ile üretilendir. 900°C 'de gerçekleştirilen kalsinasyon sonucu açığa çıkan CaO , suda çözülerek kireç sütü, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ oluşturulur. İri tanelerin tasfiye edilmesinden sonra süspansiyona CO_2 şarjı yapılarak çöktürülmüş CaCO_3 (PCC) üretilir (Şekil

13). Malzeme, daha sonra filtre edilir, yıkanır ve kağıt sektörünün hizmetine genellikle süspansiyon halinde sunulur.



Şekil 13. Sentetik (Çöktürülmüş) kalsiyum karbonat (PCC) üretim akım şeması.

Bu yöntemde CaCO_3 aragonit formundadır ve GCC'ye nazaran saflığı daha yüksektir (Şekil 14). Doğal kalsiyum karbonatın kimyasal çöktürme işlemi sonucunda kazanmış olduğu bu yapı ve yüksek yüzey alanı sayesinde, kağıdın opaklığı ve parlaklığı, düşük hacimlerde PCC kullanımı ile bile artmakta, yine bununla kaplama makinelerinin sorunsuz bir şekilde çalışması sağlanmaktadır.

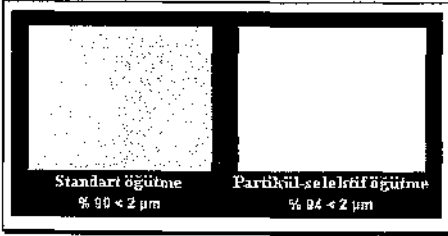


Şekil 14. GCC ve PCC'nin elektron mikroskop görüntüleri (Laufmann, ...).

3.4. Partikül-Selektif Öğütme

Bu alandaki amaç, 1993 yılında uygulanan bir öğütme tekniğiyle, geniş bir boyut aralığından ziyade benzer tane boyutunda ancak dar bir boyut aralığında öğütme gerçekleştirmek ve ürün gamı açısından daha esnek çözümler üretmektir.

Mie (1908), Holst (1957) ve Weber (1961)'in teorisine dayalı olarak geliştirilen bu öğütme tekniğiyle (Naydowski, ...) elde edilen boyut dağılımı sayesinde standart öğütülmüş GCC'ye nazaran daha yüksek kaplama sağlanmakta, böylelikle kağıdın opaklığı ve parlaklığı daha da artmaktadır (Şekil 15). Bu yöntemle GCC'ye kazandırılan bu özellik, CaCO_3 üreticilerini yıllardır hayalini kurdukları tabaka yapılı CaCO_3 üretim teknolojilerine daha da yakınlaştırmıştır (Beuleke ve Burri, 1999).



Şekil 15. Partikül-selektif öğütmenin kağıdın kalitesine etkisi (Naydowski, ...).

4. SONUÇLAR

Gerek ülkemizde ve gerekse dünyada, özellikle Batı Avrupa'da, yıllar itibarıyla kağıda olan talep hızla artmış, günümüze gelindiğinde bu talep; dünyada 317 milyon, Batı Avrupa'da 90 milyon, ülkemizde ise 1.5 milyon tona ulaşmıştır.

20. yüzyılın ortalarından itibaren renkli ofset baskı tekniğinin siyah-beyaz baskı tekniğinin önüne geçmesiyle birlikte kaliteli beyaz kağıt-kartona olan talep hızla artmış, buna paralel olarak kağıt-karton üretiminde mineral madde kullanımı da hızla yükselmiştir. Özellikle 1980 yılından sonra çok renkli baskının hızla yaygınlaşması sonucunda yüksek beyazlık ve opaklığa sahip kağıda olan talep artmış, bu durum, dolgu ve kaplama pigmenti olarak öğütülmüş doğal kalsiyum karbonatın daha yaygın bir şekilde kullanımını gündeme getirmiştir. Asit ortamda kağıt üretiminden alkali (bazik) kağıt üretimine geçilmesi CaCO_3 'e olan talebi daha da artırmış, 20 yıl önce kaplama pigmenti olarak %20 oranında GCC kullanılırken günümüze gelindiğinde bu oran, PCC ile birlikte %61'e ulaşmıştır.

Kağıt sektöründe yıllardır dolgu ve kaplama pigmenti olarak kullanılan kaolin, 1992 yılından itibaren yerini GCC ve PCC'ye terk etmiştir.

Kağıt sektörü için dolgu ve kaplama pigmenti üretiminde yeni konsept, ürün çeşitliliği ve buna uygun üretim teknolojilerinin geliştirilmesidir. Doğal kalsiyum karbonatlar, bu amaç doğrultusunda değişik proseslerden geçirilerek kağıdın kalitesini daha da arttıracak formda yeni CaCO_3 ürünler elde edilmektedir. Mikronize öğütme, yeniden yapılandırma, kimyasal çöktürme ve partikül-selektif öğütme gibi proseslerle yeni özellikler kazanan doğal kalsiyum karbonatlar, kağıdın beyazlığını, opaklığını ve dolayısıyla kalitesini yükseltmekte, kaplama makinelerinin çalışma şartlarını daha da iyileştirmektedir.

KAYNAKLAR

Arnold, M., 1998. *Natürliches Calciumcarbonat in gestrichenem Papier und Karton*, 12. Internationale Konferenz der Papierindustrie, Cesky Krumlov-Tschechien.

Autio, E., Dietrichs, E., Führer, K. und Smith, K., 1997. *Innovation Activities in Pulp, Paper and Paper Products in Europe*, STEP Group, Report to European Commission, DG-XIII European Innovation Monitoring System EIMS Project 94/112, Oslo-Norway, 166 p.

Beuleke, E., 2001. *Pigmente-die erfolgreiche Ergänzung zur Faser*, Zeitschrift ipw-Das Papier, Nr. 11, 41-45.

Beuleke, E. und Burri, P., 2001. *Streichpigmentkonzepte der Zukunft*, PTS Streicherei-Symposium, München.

Burri, P., 2000. *Pigment Concept for Improved Paper and Print Properties*, ATIP Conference, Tour-France.

DPT, 2000. *Kağıt Sanayi özel İhtisas Komisyonu Raporu*, 8. Beş yıllık Kalkınma Planı, DPT: 2525-ÖİK: 541, Ankara, 78 s.

Erkan, Z.E. ve Malayoğlu, U., 2001. *Kağıt-Karton Sanayinde Kullanılan Endüstriyel Hammaddeler ve Özellikleri*, 4. Endüstriyel Hammaddeler

- Sempozyumu, Ed: H. Köse, V. Arslan ve M. Tanrıverdi, İzmir, 250-257.
- Finnische Forstindustrie Statistik, 2002. *Profuktion von Papier und Karton in Westeuropa 2002*, Verband der Finnischen Forstindustrie, Fakten und Zahlen 2003.
- FINPRO, 2003. *Turkey: The Candidate Member of EU and The Land of Opportunities*, FINPRO-TURKEY, Newsletter-5, 1-8.
- Gruber, E., 2002. *Füllstoffe und Streichpigmente; Eigenschaften, Auswirkungen in Papieren*, Vorlesung Sommersemester 2002, Fachgebiet Nachwachsende Rohstoffe der Technische Universität Darmstadt, Darmstadt Universität, 1-10.
- Jahrestbericht, 2002. *Die Internationale Papier- und Kartonproduktion 2000/2001*, Verbandes der Schweizerischen Zellstoff-, Papier- und Kartonindustrie, Schweiz.
- Jenekens, M., Meck, D., Endler, H. und Judt, M., 2002. *Der weltweit rasant wachsende Markt für gestrichene Papiere und Kartons*, Zeitschrift ipw-Das Papier, Nr. 10, 37-54.
- Kogler, W., 2000. *Streichpigmente unter dem Aspekt gegenwärtiger und zukünftiger Anwendungen*, Streichereifachtagung, Boppard-Deutschland.
- Kugge, C., 2003. *Consolidation and Structure of Paper Coating and Fibre Systems*, Ytkerniska Institutet, Institute for Surface Chemistry, Stockholm-Sweden, 74 p.
- Laufmann, M., *Natural Ground and Precipitated Calciumcarbonate in Woodfree Papermaking*, OMYA Technical Service, Oftringen-Switzerland.
- Laufmann, M., 1995. *Natural Ground CaCO₃ Filler in Alkaline Woodfree Paper*, Alkaline Papermaking Conference, Jakarta-Indonesia.
- Mineset Partner Report, 2002. *The Global Outlook for Extender and Filler Minerals in Paper*, Mineset Partners LLC, Rockaway.
- Naydowski, C., *Füllstoffe in der Papierindustrie*, Plüss-Stauffer AG/OMYA, Oftringen-Schweiz, 10 s.
- Naydowski, C., 1999. *The Contribution of Minerals in the Paper Value Creating Chain*, Plüss-Stauffer AG/OMYA, Oftringen-Schweiz, 7 s.
- Sarrafoğlu, F., 2003. Kağıt Sektörü Yaralarını Sardı, MÜSİAD Kağıt-Ambalaj ve Matbaacılık Meslek Komitesi Başkanı M. Tavaslı ile Görüşme, Yeni Şafak, 2 Haziran 2003 Ekonomi sayfası.
- United Nations Statistic, 2003. Statistic Division, Department of Economic and Social Affairs.

Nevşehir Yöresi Pomzasının Yer Karosu Massesinde Kullanımı Üzerine Araştırmalar

A. Kartal, R. E. Konuk & A. Evcin

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon

ÖZET: Bu çalışma kapsamında Nevşehir yöresinde temin edilmiş bir Pomza numunesi karo yapımında kullanılan hammaddelerle değişik reçetelerde kullanılarak teknik özellikler üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Laboratuvar koşullarında hazırlanan masse numuneleri presleme yöntemi ile şekillendirilerek işletmede hızlı pişirim koşullarında 1185 °C'de pişirilmiştir. Pomzanın tek başına ve karışımlarının su emme, üç nokta eğilme mukavemetleri, küçülmeleri, ısısal genleşmeleri ve renk görüntüleri tespit edilmiştir. Söz konusu edilen Pomza numunesinin yüksek oranda SiO₂ ihtiva eden amorf bir yapı olduğu 1000 °C'de % 4,9, 1100 °C'de % 0 su emme oranına, ikinci sıcaklıkta % 21 oranında küçülme ve 765 kg/cm² mukavemete sahip olduğu tespit edilmiştir. Artan pomza oranına bağlı olarak karışımların küçülmeleri artmış, su emme oranları düşmüş, mukavemetleri yükselmiş, ısısal genleşme katsayıları düşmüş ve renkleri koyulaşmıştır. Küçülme ve renk üzerindeki olumsuz etkiye rağmen bilhassa su emme ve mukavemetteki olumlu etki nedeni ile hammaddenin karo masselerinde kullanılabileceği ortaya çıkmaktadır.

ABSTRACT: In this study, pumice material from Nevşehir region of Turkey was added to mass prescriptions with various ratios to investigate its influence on several properties. Samples with different compositions were pressed and fired at 1185 °C. Sintered samples were tested for water absorption, bending strength, shrinkage, thermal expansion, and color changes. Pure pumice is determined to be an amorphous material containing high ratio of SiO₂, and exhibiting 4.9 % and 0 % water absorption at 1000 °C and 1100 °C, respectively. At the temperature where zero absorption is observed, 21% shrinkage and 765 kg/cm² strength were measured. As the pumice ratio increases in a mass, water absorption and thermal expansion decreased providing higher strength and more shrinkage. Samples with higher pumice were darker in color. Despite the high shrinkage and color change, improved strength and water absorption properties make pumice a promising raw material for the tile industry.

1. GİRİŞ

Pomza volkanik hareketler neticesinde oluşan çok gözenekli amorf bir yapıdadır. Gözenekler geniş bir boyut dağılımına sahip ve önemli oranda bağlantısız olduğunda ısı ve ses yalıtımı oldukça yüksektir /1/. Bileşiminde genelde SiO₂, Al₂O₃, alkali ve toprak alkali metal oksitler ve Fe₂O₃ yer almaktadır. Asidik karakterde olanlarında SiO₂ oranı yüksek toprak alkali metal oksit ve Fe₂O₃ oranları düşük bazik karakterli olanlarından tersi durum söz konusudur /1/. Dünya pomza rezervlerinin 17996.10⁶ ton olduğu ve bunun 2836.10⁶ tonunun Türkiye'de bulunduğu tahmin

edilmektedir /2/. Pomza için başlıca kullanım alanları olarak inşaat, tekstil, tarım, kimya ve diğer endüstriyel alanlar belirtilmektedir. Seramik ürünleri ve sırları yapımında ise kullanımının araştırıldığı bilinmektedir /3/. Yukarıda ifade edildiği şekilde bir nevi doğal bir cam olan yurdumuzun değişik bölgelerinde bulunan bu hammaddenin pişirim prosesinde sinterlemeyi olumlu etkileyebileceği düşüncesi ile bu araştırmaya konu edilmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Pomzanın Karakterizasyonu

Deneylerde kimyasal bileşimi Çizelge 1'de verilen Nevşehir taraflarından temin edilmiş bir Pomza

numunesi kullanılmıştır. Numuneyi karakterize etmek için tek başına öğütülüp preslendikten sonra 900, 1000 ve 1100 °C sıcaklıklarda pişirilmiş akabinde su emme, üç nokta eğme mukavemeti ve küçülme testlerine tabii tutulmuştur. (Çizelge 2)

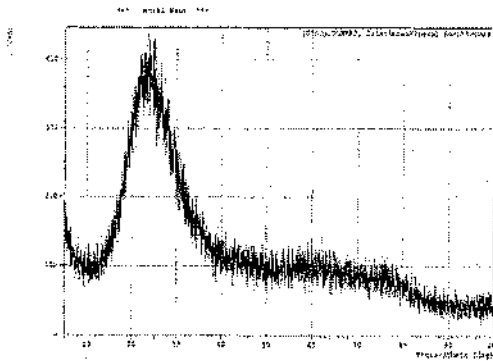
Çizelge 1. Çalışmada kullanılan pomza numunesinin ve masse yapımında kullanılan diğer hammaddelerin kimyasal bileşimleri (% Ağ)

	Feldspat	Kaolen	Kum	Kil 1	Kil 2	Granit	Pomza
SiO ₂	68,28	71,77	90,08	59,75	58,20	73,14	70,15
Al ₂ O ₃	19,28	14,90	5,67	25,06	25,51	16,09	13,60
Na ₂ O	9,43	3	0,09	0,08	0,4	3,46	3,73
K ₂ O	0,54	5,75	0,33	2,42	2,18	5,12	4,70
CaO	0,94	0,50	0,16	0,09	0,23	0,76	1,43
MgO	0,42	0,27	0,12	0,66	0,71	0,28	0,19
Fe ₂ O ₃	0,28	1,12	0,51	2,94	2,99	0,30	1,26
TiO ₂	0,38	0,28	0,60	1,19	1,16	0,08	0,14
A.K	0,45	1,97	2,02	7,06	8,22	0,59	4,37

Çizelge 2. Değişik sıcaklıklarda pişirilmiş pomza numunelerinin % pişme küçülmesi, % su emme ve üç nokta eğme mukavemeti değerleri

Sıcaklık °C	P.K. %	S.E. %	σ (kg/cm ²)
900	2,75	30,5	10
1000	15,45	4,9	308
1100	21,10	0	765

Numunenin amorf bir yapıda olduğu XRD analizi sonucunda anlaşılmaktadır (Grafik 1).



Grafik 1. Pomzanın XRD grafiği

2.2. Masse Reçeteleri ve Numune Hazırlama

Çalışmalar kapsamında pomzasız bir baz reçeteye artan oranlarda pomza ilave edilerek kimyasal bileşimleri Çizelge 1'de verilmiş karo yapımında kullanılan hammaddelerle dört farklı reçete elde edilmiştir (Çizelge 3).

Çizelge 3. Reçeteler

	Pomza	Feldspat	Kaolen	Kum	Kil 1	Kil 2	Granit
A	0,0	7	33	8	8	40	4
B	11,1	7	33	8	8	40	4
C	25,0	7	33	8	8	40	4
D	42,8	7	33	8	8	40	4

Karışımlar 500 g kapasiteli jet laboratuvar öğütücüsünde 63 µm elek bakiye % $4,5 \pm 0,2$ olacak şekilde öğütülmüştür. Massede kullanılan katı madde: su oranları 65:35 olup, elektrolit olarak camsuyu ve STPP toplam % 0,3 oranında kullanılmıştır. Litre ağırlıkları 1640 ± 10 g/l olan süspansiyonların viskoziteleri 175 ± 5 cP olarak tespit edilmiştir. Süspansiyonlar tepsiler içerisinde etüve kurutulduktan sonra ezilerek toz haline getirilip % $6 \pm 0,5$ oranında nemlendirilmiş ve 1 mm delik çaplarına sahip elekten geçirilip homojenleşmesi için poşet içerisinde 1 gün bekletilmiştir.

Numuneler su emme, küçülme ve renk analizleri için 5 cm çapında 30 bar basınçla, mukavemet ve Harkort testleri için ise $5 \times 10 \text{ cm}^2$ ebatlarında 80 bar basınçla hidrolik bir laboratuvar presinde şekillendirilmiştir. Kurutulmuş numuneler refrakter plakalar üzerinde işletme fırınında 1185°C 'de 43 dakika pişirim süresinde pişirilmiştir.

3. TEST SONUÇLARI

Şekillendirme, kurutma ve pişirme sonrası uzunlukları kumpasla tespit edilen numunelerin % küçülme değerleri küçülme formülü ile hesaplanmıştır. Ham, kuru ve pişirme sonrası mukavemetler, üç nokta eğilme mukavemeti testinde belirlenen kırılma kuvveti değeri kullanılarak tespit edilmiştir. Su emme oranları suda dört saat kaynatılan numuneler üzerinde belirlenmiştir. Her reçeteye ait her test için en azından 3 numune teste tabii tutulmuş ve ortalama değerleri sonuç olarak belirlenmiştir (Çizelge 4).

Çizelge 4. 1185°C 'de pişirilmiş numunelerin % pişirme küçülmesi (PK), % su emme (SE) ve üç nokta eğilme mukavemeti değerleri (σ)

Numune	PK %	SE %	$\sigma \text{ (kg/cm}^2\text{)}$
A	6,8	2,8	397
B	7,5	2,3	440
C	8,5	1,1	478
D	9,2	1,0	475

Reçetelerde artan pomza oranına bağlı olarak pişirme sonrası renk koyulaşmaktadır. Renk durumu üç filtre yöntemi ile tespit edilmiştir (Çizelge 5).

Çizelge 5. Üç filtre renk ölçüm değerleri L (+açıklık - koyuluk), a (+ kırmızı - yeşil), b (+ sarı - mavi)

Reçete	L	A	B
A	63,10	7,14	20,40
B	61,50	7,03	20,40
C	57,23	6,10	18,62
D	58,55	5,62	19,54

Pomzasız baz numune (A) ile en fazla pomza ihtiva eden numunenin (D) ısısal genleşme davranışları dilatometre ile test edilmiştir (Çizelge 6).

Çizelge 6. Dilatometre ölçümleri ile tespit edilen A ve D numunelerinin ısısal genleşme katsayıları $\times 10^{-7} \text{ K}^{-1}$

	100	200	300	400	500	600	700	800
A	60	58	78	85	94	96	96	90
D	59	62	59	61	69	73	68	62

Pomza ihtiva eden numunenin ısısal genleşme katsayısı pomzasız numuneye göre düşük çıkmaktadır. Buna rağmen işletme sırası ile sırlanıp pişirilen numunelere yapılan Harkort testlerinde herhangi bir olumsuzluk tespit edilmemiştir. Etüvde 150°C 'de ısıtılan numuneler suda şoklanmış ve bu işlem 10 defa tekrarlanmıştır.

4. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Pomza numunesinin tek başına pişirilmesi durumunda 1000°C 'de iyi bir sinterlenme derecesine ulaştığı ortaya çıkmaktadır. 900°C 'de % 2,5 olan pişirme küçülmesi % 15'in üstüne, % 30,5 olan su emme % 5'in altına ve 10 kg/cm^2 civarında olan mukavemet 308 kg/cm^2 'ye çıkmaktadır. 1100°C 'ye kadar sıkı yapı oluşumu ve mukavemet artışı devam etmektedir. Su emme oranının sıfıra düşmesi yapıda açık gözenek kalmadığını göstermektedir. Diğer yandan da yüksek bir mukavemet elde edilebilmesinin ancak toplamda porsuz bir bünye ile mümkün olabileceği bir gerçektir. Küçülmedeki sürekli artışta porsuz yapı oluşumunun diğer bir göstergesidir. Pomzanın yüksek SiO_2 oranına rağmen düşük sıcaklıkta sinterleşmesi ve erimesinin birinci derecede XRD ile tespit edilen amorf yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Artan pomza oranı ile karışım numunelerinin su emme oranlarının düştüğü, mukavemetlerinin arttığı ve küçülmelerinin fazlalaştığı belirlenmiştir. Pomzanın amorf bir yapıda olması ve toplam % 8,4 civarında alkali metaloksit ihtiva etmesi sinterleşmeyi olumlu etkileyerek gözenek oranı düşük ve sıkı mukavemetli bir yapı oluşmasını sağlamaktadır. Pomzanın Fe_2O_3 oranı, yerine ikame edildiği Kil 2'den daha düşük olmasına rağmen numune renklerinin artan pomza oranı ile hafif koyulaşmasının sinterlenme derecesinden kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Pomza ihtiva eden numunenin pomzasız numuneye göre daha düşük bir ısısal genleşme katsayısına sahip olmasının Pomzanın yüksek oranda SiO_2 , düşük oranda Al_2O_3 ihtiva etmesinde ve amorf yapıda

olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. SiO_2 camının ısısal genleşme katsayısı çok düşüktür ve burada etkili olmaktadır /4/. Küçülmenin artışı ve renkteki hafif koyulaşma olumsuzluk olarak görülmekle birlikte diğer teknik özelliklerinin iyileşmesi hammaddenin karo masselerinde belirli oranlarda kullanılmasının uygun olabileceğini ortaya koymaktadır.

KAYNAKLAR

- /1/. Gündüz, L. ve Sarıışık, A., Pomza Teknolojisi, Cilt 1, Isparta 1998
- /2/. DPT Araştırma Komisyonu, Çimento Hammaddeleri ve Yapı Malzemeleri, Cilt 2. VII. Beş Yıllık Kalkınma Planı Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Ankara, 1996
- /3/. Tomsuk, F., Yer Karosu Üretiminde Alternatif Ergitici olarak Pomzanın Kullanım İmkânının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2001
- /4/. Scholze, H., Glas Natur, Struktur und Eigenschaften, Springer – Verlag Berlin Heidelberg New York 1977.

Cam Atıklarının Çimento Üretiminde Katkı Maddesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması

T. Kavas, M. Y. Çelik & A. Evcin

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon

ÖZET: Bu çalışmada, ince tane boyutlarına kadar öğütülmüş cam atıklarının çimento sanayiinde katkı maddesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaç doğrultusunda, ilk olarak tamamı 200 μm ' nin altına öğütülmüş cam atıklarının aktivasyon deneyi sonucunda puzolanik aktivite değerleri belirlenmiş ve daha sonra Portland Çimentosu (PÇ 42.5) bünyesine % 5, 10, 15, 20, 25, ve 30 oranlarında cam atık ilavesi yapılarak harç hazırlanmıştır. Hazırlanan farklı miktarlarda atık cam içerikli numunelere kimyasal analiz, yoğunluk, % su, 40-90 ve 200 μm 'lik eleklerdeki elek üstü bakiyesi, incelik (cm^2/g), genleşme (mm), priz başı ve sonu (dak.), 2-7-28-90 günlük basınç ve eğilme dayanımı (N/mm^2) deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonrasında, atık cam katkısının artmasına paralel olarak tüm üretilen çimento gruplarında 90 günlük basınç dayanımı değerlerinde % 9 ve eğilme dayanımı değerlerinde ise ortalama % 2.4 azalma belirlenmiştir. Bu sonuçlara rağmen, atık cam katkılarının % 30 değerlerine kadar çimento bünyesine ilavesi, çimentonun mekanik özellikleri açısından kayıp teşkil etmesine rağmen, saha betonları gibi mukavemet değerlerinin ön plana çıkmadığı durumlarda, rahatlıkla kullanılabilmesi, katkı maddesinin bir atık malzeme olması ve bu yolla çimento sanayiine kazandırılabilmiş olması düşünüldüğünde, atık camların çimento sanayiinde değerlendirilebileceği sonucuna varılmıştır.

ABSTRACT: In this study, it was investigated of usability fine particle sized glass waste in cement industry as an additive material. For this purpose, at first the puzolanic activity value of glass waste which was ground under 200 μm particle sizes was determined. After that activation test, glass waste was added to Portland Cement 42.5 (PÇ 42.5) in proportion of 5, 10, 15, 20, 25 and 30 %. Experiments of chemical analysis, density, water %, % oversize of 40, 90 and 200 μm sieves, fineness, soundness, setting time (initial and final), compressive and bending strength (2, 7, 28 and 90 days) were made on cement samples. After the tests results, it was determined that values of compressive and bending strengths of all cement groups decreased in parallel to increasing of glass waste addition and decreasing proportion of PÇ 42.5. As a conclusion, glass waste can be use as an additive material until 30 % in production of Portland cement in spite of losing 9 % in comprehensive strength and 2.4 % in bending strength in situation in which not importance comprehensive and bending strength at the first step. In addition to, by this way glass waste was gained to cement industry and evaluated as an additive material in cement industry.

1. GİRİŞ

Son yıllarda çimento sanayiindeki öğütme kapasitesinin hızlı artışına bağlı olarak arz-talep dengesi bozulmuş ve bu durum üreticileri istenilen standart değerlere bağlı kalmak koşulu ile çimentoya ilave edilebilen ucuz, yeni katkı maddeleri arayışına yönlendirmiştir. Atık

maddelerden bir çoğu ya da en azından bir kısmı ise çimento veya diğer sanayi kollarında hammadde olarak değerlendirilebilecek kimyasal ve fiziksel değerlere sahiptir.

Sanayileşme ile beraber refah artışı olarak nitelendirilen hayat seviyesinin yükselmesi, birtakım sorunları da beraberinde getirmiştir.

Tüketim artışına bağlı olarak oluşan katı atıkların miktarı da artarak çevreyi kirletici boyutlara ulaşmıştır. Tüm gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde katı atıklar sosyal, ekonomik ve çevresel sorunların en büyüğünü oluşturmaktadır. Son yıllarda, özellikle büyük kentlerde atıkların denetim ve kontrol altına alınmasına yönelik çalışmalar hızlandırılmıştır. Bu amaçla üzerinde önemle durulan konulardan birisi de kentsel katı atıkların geri kazanılarak, ekonomiye bir katkı sağlanmasıdır (Anon (a), 2001).

Çizelge 1. Türkiye katı atık kompozisyonu (Anon(a), 2001).

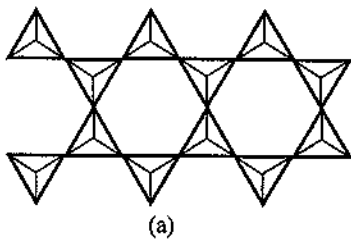
Atık Cinsi	%
Organik atık (mutfak, park, bahçe)	65.45
Kül, cüruf, taş, toprak	22.48
Geri kazanılabilir malzeme	12.05
Toplam	99.98
Geri kazanılabilir malzeme komp.	%
Kağıt, karton	45.48
Metal	8.62
Cam	18.46
Plastik	13.19
PET, PVC	6.15
Lastik, Kauçuk	3.35
Tekstil	4.88

Çizelge 1'e göre evsel atıkların % 12.05'i geri kazanılabilir nitelikte olup bunun da % 18.46'sı camdır. Geri kazanılabilir atık miktarı yıllık 2-2.5 milyon ton iken bunun yaklaşık 360-450 bin tonu da cam atıklardan oluşmaktadır. Bir çok yerleşim yeri için çok büyük problem teşkil eden katı atıkların önemli bir miktarını oluşturan cam atıklar, bazı durumlarda kaynağında özel olarak ayrılırken, bir miktarı da çöplüklerden ayrılacak suretiyle

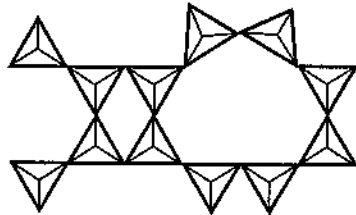
yeniden değerlendirme için toplanmaktadır. Bu atıkların önemli bir bölümü cam eşya üretiminde değerlendirilmektedir.

Bu amaç için özellikle büyük kentlerde katı atıkların kaynağında ayrı-ayrı toplanması için bir takım çalışmalar yürütülmüş ve halen bu amaç doğrultusunda çalışılmaktadır. Çünkü, katı atıkların yeniden değerlendirilmesi çalışmalarının başarısı büyük ölçüde bu çalışmalara bağlıdır. Ülkemizde de tüm dünyada olduğu gibi katı atıkların içerisinde en büyük oranı cam atıkları oluşturmaktadır. Cam agregaları ile cam hamuru arasındaki kuvvetli alkali-silis reaksiyonundan dolayı, kullanımı problemlidir. Günümüzde cam, bir çok değişik alanda kullanılmakla beraber inşaat, oto ve mutfak eşyası alanlarında yoğunlaşmıştır. Cam sektörü ürünleriyle inşaat, otomotiv, beyaz eşya, gıda, içki, meşrubat, ilaç, kozmetik, turizm, mobilya, boru, elektrik ve elektronik gibi bir çok sektöre ve ev kesimine girdi vermektedir (Anon (b), 2001). Gerek kullanım sırasında gerekse değişik nedenlerle sanayide ve evlerde çok miktarda kırık cam atık madde olarak atılmaktadır.

Cam, büyük çoğunluğu kuvarsit olmak üzere, feldspat, dolomit, kireçtaşı ve sodanın belirli oranlarda karışımından meydana gelir. Bu maddelerin eritilerek ani soğutulması sonucunda cam oluşur. Ergimiş halde yüksek viskozite değerine sahip olan bu karışım, ani soğutma sonucunda sıvı haldeki molekül yapısını koruyarak katılaşır. Bu sırada yüksek viskozite ve ağır molekül hareketleri nedeniyle yeni bir molekül yapı oluşturacak zaman bulamayan cam molekülleri, katı halin düzgün kristalli yapısına gelemmez. Dolayısı ile pek çok maddeden sert olan ve katı gibi görünen camın molekül yapısı, bir sıvınıninki gibi düzensizdir (Şekil 1).



(a)



(b)

Şekil 1. a) Bir kristalde düzenli iç yapı (SiO_4 dört yüzlü), b) Bir camda düzensiz iç yapı.

Ticari cam ürünleri kimyasal içeriklerine göre silika camlar, soda-kireç-silika camlar, kurşunlu-alkali silika camlar ve borsilikali camlar olarak sınıflandırılabilir. Bu içeriklerine ve kullanım özelliklerine göre imalat sırasında camların içerisine değişik kimyasal bileşikler ve

renklendirici maddeler ilave edilebilir. Renkli ve renksiz cam atıklarının geri kazanımı sırasında bu özelliğe dikkat edilmesi ve kullanım amacına göre içerdiği kimyasal bileşimin incelenmesi gereklidir (Ott,1986). Çeşitli camların tipik kimyasal bileşimleri çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Çeşitli camların tipik kimyasal bileşimleri (Anon (d), 2001).

Cam Tipi	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	BaO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	PbO (%)	B ₂ O ₃ (%)
Soda-kireç	70-73	1.7-2	0.06-0.24	0.1	9.1-9.8	1.1-1.7	0.14-0.18	13.8-14.4	0.55-0.68	-	-
Kurşun	60-70	-	-	-	1	-	-	7-10	7	15-25	-
Borsilikat	60-80	1.4	-	-	-	-	-	45	-	-	10-25

Cam, agrega-alkali reaksiyonuna karşı hassastır. Çimento içerisinde varolan yüksek alkali miktarı büyük genleşmelere yol açar. Mesela kum-çakıl agregalı betonda 12 ayda % 0.018 genleşme olurken bu oran atık camdan yapılan betonlarda % 0.3’dir. Ancak, atık camlar, betonlar için düşük yoğunluklu agrega olarak bir avantaj sağlar (528 kg/m³). Bu agrega ile yapılan betonlar 28 günlük basınç dayanımı olarak 17 MPa bir değer verir. Atık cam kullanımı sırasında bir takım problemlerin de çözülmesi gereklidir. Mesela, camlar değişik kimyasal bileşimlerinin yanı sıra etiket, metal kapak gibi cama bağlı olan ve taşıdığı maddelerden kaynaklanan kirlilikler vardır. Mesela şeker içeren bir kavanozun kullanımdan önce mutlaka temizlenmesi gereklidir (Ramachandran, 1981).

2. MALZEME VE YÖNTEM

Cam atıkları katkılı çimento üretiminde evlerde pencere camı olarak kullanılan camların atıkları kullanılmıştır. Katkı olarak kullanılan malzemenin XRF yöntemiyle yapılan kimyasal analiz sonuçları çizelge 3’de verilmiştir.

Atık cam katkılı çimento üretmek amacıyla, bilyalı değirmenlerde tamamı 200µm’nin altında olacak şekilde öğütülerek hazırlanmış atık cam numuneleri, Afyon Set Çimento Fabrikasında üretilen PÇ 42.5 çimento klinkerinin, laboratuvar çaplı değirmenlerinde öğütülmesi sırasında % 5 alçıtaşı ile birlikte % 5, % 10, % 15, % 20, % 25 ve % 30 oranlarında katılmıştır. Öğütme sonrasında Portland Katkılı Çimentosu (PKÇ 42.5) numunesi üretilmiştir.

Çizelge 3. Atık camların kimyasal analizi.

Bileşim	%
SiO ₂	73.90
Al ₂ O ₃	1.69
Fe ₂ O ₃ ⁺	0.98
CaO	9.89
MgO	2.96
SO ₃	1.72
K ₂ O	0.45
Na ₂ O	7.86
Çözünemeyen	0.55
Kalıntı	

Üretilen 6 değişik cam katkılı ve standart çimento numunesine kimyasal analiz, elek analizi (40, 90 ve 200µm’lik eleklerdeki elek üstü bakiyesi), blaine, % H₂O, genleşme, priz başı ve sonu ile basınç ve eğilme dayanımı testleri yapılmıştır. Numuneler 40 ve 90 mikronluk elekte elek bakiyesi sırasıyla % 15 ± 1 ve % 0.7 ± 0.1 olacak şekilde öğütülmüştür. Öğütülen bu numuneye TS 687’ye göre kimyasal ve TS 24’e göre fiziksel ve mekanik testler uygulanmıştır. Kimyasal analiz sonuçları çizelge 4 de, fiziksel testler çizelge 5 de ve mekanik test sonuçları ise çizelge 6 da verilmiştir.

PÇ 42.5 şahit numunesi ile altı değişik atık cam katkısı ile üretilen farklı PKÇ 42.5 numuneleri analiz ve deney sonuçları karşılaştırılmış ve kazanılan yada kaybedilen değerler incelenerek sonuçlar bölüm 3 de verilmiştir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Çimento sanayiinde kullanılan katkı maddelerinin bünyesine gireceği çimento özelliklerine katkı sağlaması için puzolanik aktivite özelliklerinin bulunması gerekir. Bu nedenle kimyasal, fiziksel ve mekanik testlere başlamadan önce atık cam katkılarının puzolanik aktivite deneyi yapılmıştır (Çizelge 4).

Çizelge 4. Atık camın puzolanik aktivitesi.

% Elek Üstü			Yoğ. (gr/cm ³)	Eğilme Day. (N/mm ²)	Basınç Day. (N/mm ²)
40µ	90µ	200µ			
15.4	0.2	0.0	3.33	2.2	5.7

Atık camların puzolanik aktivite değerinin bulunmasının ardından, PÇ 42.5 ve elde edilen tüm PKÇ 42.5 çimento karışımların atık cam miktarının artmasına paralel olarak hangi oksit değerlerinde azalma ya da artış olduğunu saptamak ve bu oksitlerin fiziksel ya da mekanik testler üzerindeki etkilerini görebilmek açısından kimyasal analizleri yapılmıştır (Çizelge 5).

Çizelge 5. PÇ 42.5 ve atık cam katkısıyla elde edilen karışımın kimyasal analiz sonuçları.

No	PÇ 42.5 %	Atık Cam %	Jips %	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	SO ₃ %	K ₂ O %	Na ₂ O %	K.K %
1	100	---	---	19.96	5.20	2.85	62.20	2.56	3.03	1.06	0.25	2.10
2	90	5	5.0	22.55	4.86	2.83	59.95	2.56	2.92	1.02	0.57	2.10
3	85	10	5.0	24.83	4.77	2.72	57.84	2.65	2.80	0.99	0.95	1.90
4	80	15	5.0	27.45	4.50	2.62	54.56	2.70	2.62	0.93	1.44	1.88
5	75	20	5.0	30.06	4.52	2.55	51.88	2.85	2.50	0.88	1.87	1.90
6	70	25	5.0	31.80	4.30	2.38	49.00	2.96	2.30	0.83	2.26	1.77
7	65	30	5.0	34.68	3.96	2.32	46.56	2.97	2.16	0.80	2.70	1.80

Çizelge 5'de yer alan kimyasal analiz değerleri incelendiğinde, 1 no'lu numune olan PÇ 42.5 numunesinin SiO₂ değerinin % 19.96 değeri ile en düşük değer olduğu ve 7 no'lu numunenin ise % 34.68 değeri ile en yüksek değerde olduğu görülmektedir. Bu doğrudan katkımızın bir atık cam katkısı olmasından ve kimyasal içeriğinde % 73.90 gibi yüksek miktarda SiO₂ değeri bulundurmasından kaynaklanmaktadır. Fe₂O₃, MgO

Kimyasal analizlerin ardından fiziksel testlere başlanmış ve testler sırasında her çimento tipinin 40, 90 ve 200µm'lik eleklerdeki elek üstü bakiyeleri, özgül yüzey alanları (Blaine), % su ve üretilen çimento numuneleri içerisinde serbest kalan CaO ve MgO değerlerinden kaynaklanan genleşme değerleri bulunmuştur (Çizelge 6).

Daha sonra mekanik deney çalışmalarına geçilmiş ve bu testlerde priz zamanı (başlangıç ve bitiş), basınç ve eğilme dayanım değerleri bulunmuştur (Çizelge 7). Bilindiği gibi bir çimento tipi ne olursa olsun basınç ve eğilme dayanımları ilk olarak değerlendirilir. Bunun nedeni çimento özelliklerinde yer alan diğer kriterlere az yada çok hakim olunabilmesi sayılabilir. Örneğin; Blaine değeri öğütmeye bağlı bir kriterdir ve ayarlanabilir. Yine aynı şekilde priz süresi alçı taşının % ilave miktarına bağlı olarak süre açısından kısaltılabilir yada uzatılabilir.

Bu nedenlerden dolayı ilk olarak atık cam katkısı miktarına bağlı olarak basınç ve eğilme dayanımı değerleri temel değerler olarak ele alınmalıdır.

değerlerinde klinker ve katkı değerlerinin birbirine yakın oksit değerleri içermelerinden dolayı dikkate değer bir değişiklik görülmemektedir. Al₂O₃, CaO, SO₃, K₂O değerlerinde artan atık cam katkısına bağlı olarak azalma görülmüştür. Bunun nedeni ise klinkerin bu oksitler açısından katkıdan daha zengin içeriklere sahip olmasıdır. Na₂O değerindeki artış ise atıktaki % içeriğin 7.86 gibi yüksek değere sahip olmasıdır.

Çizelge 6. PÇ 42.5 ve atık cam katkılı çimento numunelerine yapılan fiziksel testler.

No	% Elek Üstü			Blaine (cm ² /g)	H ₂ O (%)	Genleşme (mm)
	40µ	90µ	200µ			
1	15.3	0.7	0.0	4194	27.6	3
2	15.0	0.6	0.0	4247	27.6	3
3	15.1	0.6	0.0	4252	27.8	2
4	14.9	0.7	0.0	4283	27.8	1
5	15.0	0.7	0.0	4341	28.0	1
6	15.1	0.7	0.0	4390	27.8	2
7	15.2	0.7	0.0	4196	27.8	2

Çizelge 6 incelendiğinde 40, 90 ve 200 µm'lik eleklerdeki elek üstü bakiye değerlerinin, özgül yüzey alanı (Blaine) değerlerinin ve % su değerlerinin birbirine çok yakın değerler olduğu

görülmür. Bunun nedeni olarak, kriterlerin sabitlenmesi ve atık cam katkı miktarına bağlı olarak diğer özelliklerdeki değişikliklerin gözlenmesi gösterilebilir.

Çizelge 7. PÇ 42.5 ve atık cam katkılı numunelere yapılan mekanik testler.

No	Priz Zamanı (dak.)		Basınç Dayanımı (N/mm ²)				Eğilme Dayanımı (N/mm ²)			
	Başlangıç	Bitiş	2 G	7 G	28 G	90 G	2 G	7 G	28 G	90 G
1	192	330	27.3	39.6	46.8	55.2	5.8	7.4	8.6	8.9
2	204	324	23.9	36.8	44.7	52.0	5.0	7.1	8.0	8.6
3	216	348	22.2	33.8	43.7	49.7	5.0	6.8	7.8	8.5
4	210	354	19.0	30.0	38.7	49.0	4.3	6.3	7.6	8.5
5	216	378	17.1	29.2	38.5	48.9	4.1	6.0	7.8	8.2
6	282	366	15.9	27.3	37.6	48.7	3.8	5.8	7.2	8.5
7	294	378	13.9	24.2	34.4	47.2	3.6	5.3	6.7	8.9

Üretilen çimento numuneleri priz zamanı, basınç ve eğilme dayanımları açısından irdelendiğinde; atık cam katkısı miktarındaki artışa paralel olarak priz başlangıcı ve sonu sürelerinin uzadığı görülmektedir (Çizelge 7). Bunun nedeni olarak katkı miktarının artışına paralel olarak bünyedeki ana bağlayıcı matriks olan PÇ 42.5 miktarındaki azalmadır. Bu yolla karışımın hidrasyon kabiliyetinde sürekli bir kayıp söz konusu olacaktır.

Basınç ve eğilme dayanımlarında ise yine artan cam katkı miktarına paralel olarak genelde düşme görülmüştür. Bunun nedeni de bağlayıcı miktarındaki azalmadır. Çimento sanayiinde katkı tipi ne olursa olsun katkı miktarının artmasına bağlı olarak değerlerde, özellikle ilk yaşlarda hızlı bir düşüş gözlenir. Bunun nedeni ise katkıların pozolanik aktivitelerini 21 gün ve daha ileri yaşlarda kazanmalarındır. Bu nedenle özellikle katkılı çimentolarda 90 günlük basınç ve eğilme

dayanımları önem kazanmaktadır. Yine çizelge 7 değerleri incelendiğinde 90 günlük basınç ve eğilme dayanımı değerlerinde katkı miktarı artsa bile değerlerdeki düşüş oranının azaldığı görülmür (numune no:3,4,5,6,7).

4. SONUÇLAR

Cam atıklarının PÇ 42.5 bünyesine sırasıyla % 5, 10, 15, 20, 25 ve 30 oranlarında katılmasıyla Portland Katkılı Çimento üretilmiştir. Çalışmada katkı oranının % 30 oranının üzerinde ilave edilmemesi, çimento sanayiinde katkı miktarının genelde % 30 oranlarına kadar kullanılması ve bu oranın üzerinde katkının ilave edildiği durumlarda çimentonun genel özelliklerinin değişmeye başlaması gösterilebilir.

Çalışma sonrasında elde edilen 6 değişik katkı miktarına sahip çimento numunelerinin kimyasal, fiziksel ve mekanik değerleri PC 42.5 şahit numunesi değerleriyle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonrasında kazanılan ve kaybedilen değerlerin birbirleriyle kıyaslamalı olarak değerlendirilmesinden;

i-) Atık cam miktarının artmasına paralel olarak kimyasal içerikte sadece % SiO_2 ve % Na_2O oksit değerlerinde artış olmuştur. Bu durum böyle bir çimentodan yapılacak olan betonda bulunan agrega ile SiO_2 reaksiyonunu geliştirebilir. Ancak, çimento sanayiinde bu durum büyük endişelere yol açmaz. Çünkü; çimento sanayiinde yoğun olarak kullanılan trasların da kimyasal içeriklerinde yüksek % SiO_2 miktarları söz konusudur. Buna rağmen, çimento sanayiinde alkali-agrega reaksiyonları beton bünyesinde hızlı ve kötü niyetli bozulmalara neden olduğu için bu reaksiyonlardan korkulur. Kısacası bu durum çimentonun kalitesi üzerinde olumsuz bir sorun oluşturmaktadır.

ii-) Atık cam katkısının artmasına paralel olarak fiziksel deneylerde herhangi bir sorun oluşmamıştır. Sadece genleşme değerlerinde atık cam katkısının değişim miktarına bağlı olarak farklı değerler elde edilmiştir. Bu durum çimento sanayi için kabul edilen % genleşme değerlerinin oldukça altındadır (% 10 dan küçük olması istenir). Böylece fiziksel deneyler sırasında atık cam katkısının olumsuzluğu söz konusu değildir.

iii-) Cam atık katkısının kullanıldığı ve artırıldığı çimento numunelerinin mekanik testlerden elde edilen değerler incelendiğinde, basınç eğilme dayanımlarında ilk önceleri hızlı bir düşüş gözlenirken (2 ve 7 günlük değerlerde) daha sonraları katkının puzolanik aktivitesinin devreye girmesiyle değerlerde bir iyileşme görülmüştür (28 ve 90 günlük değerlerde). Bu durum çimento hidrasyonunun uzun yıllar azalarak devam ettiği düşünüldüğünde (yaklaşık olarak 50 yıl ve daha üzeri yıllar) olumlu olarak kabul edilebilir. Ayrıca her çimento tipinde yukarıda verilen TS standart değerlerinde (TS 24) basınç ve eğilme dayanımı değerlerinde yaklaşık % 10'a kadar kayıplar kabul edilebilir tolerans aralığındadır. Böylece mekanik testler açısından çok olumsuz sonuçlar elde edilmemiştir.

iv-) Yapılan bu çalışma ile, katı atıkların içerisinde büyük oranı oluşturan cam atıkların çimento sanayiine kazandırılması ve çevremizin kirletilmekten az da olsa kurtarılması mümkündür.

v-) Günümüzde ülkemizde artan çimento öğütme kapasitesine bağlı olarak arz-talep dengesindeki bozulma nedeniyle çimento sanayiinde kar oranları % 1 oranının altına düşmüş ve bu durum çimento üreticilerini çimentoya ilave edilebilen yeni katkı arayışına itmiştir. Bu çalışma çimento sanayi çalışanlarına bir ışık tutmaktadır.

Böylece atık camların çimento sanayiinde şartlar ve kullanım yerleri de dikkate alınmak koşuluyla % 30 değerlerine kadar kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- Anon (a), 2001; "VIII. Beş Yıllık Kalkınma Planı İçme Suyu, Kanalizasyon, Arıtma Sistemler ve Katı Atık Denetimi İhtisas Komisyonu, Katı Atık Denetimi Alt Komisyonu Raporu", D.P.T.Yayınları, Ankara, 136 s.
- Anon (b), 2001; "VIII. Beş Yıllık Kalkınma Planı Taş ve Toprağa Dayalı Ürünler Sanayi Özel İhtisas Komisyonu Raporu (Cam sanayii) D.P.T.Yayınları, Ankara, 30 s.
- Anon (c), 2001; "Alternative Uses of Glass" <http://www.ex.ac.uk/CMS/wtrc/glas.htm>
- Anon (d), 2001; "Waste Glass, Material Description" <http://www.thfr.gov/hnr20/recycle/waste/wg1.htm>
- Meyer, C., 2001; "Cracking an ASR Barrier", <http://www2.worldconcrete.com/pdf/j01D040.pdf>
- Ott, R. W., 1986; "Understanding Glass Recycling" Volunteers in Technical Assistance, Technical Paper 43, Virginia.
- Ramachandran, V.S., 1981; "Waste and By-Products as Concrete Aggregates", Canadian Building Digest, <http://www.nrc.ca/irc/cbd/cbd-e.html>.

Söğüt ve Konya Killerinden Hazırlanan Çamurların Viskozitesine Farklı Deflokanların Etkilerinin İncelenmesi

A. Evcin & T. Kavas

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon

ÖZET: Katı miktarı, kimyasal ve mineralojik bileşim, tane boyut dağılımı ve şekli, çamurun yoğunluğu, elektrolit tip ve içeriği, sıcaklık ve pH gibi çeşitli parametreler döküm çamurunun reolojik özelliklerini etkilemektedir. Bu çalışmada değişik elektrolitlerin Söğüt ve Konya yöresi killlerinden hazırlanan çamurların viskozitelerine etkileri araştırılmıştır. Na_2CO_3 , Na_2SiO_3 ve STPP adlı elektrolitler değişen oranlarda kullanılarak hazırlanan çamurların viskoziteleri ölçülmüştür. Çalışmada % 65 oranında katı içeren döküm çamurları hazırlanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda farklı elektrolitlerle hazırlanan döküm çamurları arasında en düşük viskoziteyi STPP 'nin sağladığı belirlenmiştir.

ABSTRACT: Various parameters like the solid concentration of the slip, chemical and mineralogical composition, particle size and distribution and shape, density of slip, type and content of electrolyte, temperature and pH affect the rheological parameters of slip. In this study, the effect of various electrolytes on Söğüt and Konya clays have been investigated. Slips were prepared by adding various amounts of the electrolytes sodium carbonate, sodium silicate and sodium tripolyphosphate and their viscosity were measured. The slip used in this study had solid concentration about 65 %. The results of the experiments have shown that lowest viscosity is attained in clay and slip prepared with sodium tripolyphosphate.

1. GİRİŞ

Dökümle şekillendirme klasik ya da modern seramik üretiminde yaklaşık 200 yıldan beri kullanılan önemli bir yöntemdir. Bu yöntemde, kullanılan döküm çamurunun reolojik özelliklerinin bilinmesi üretimin kontrolü açısından önemlidir.

Reoloji, bir malzemenin akış ve deformasyon özellikleri ile ilgilenen bir bilim dalıdır. Uygulanan gerilem altında bünyenin deformasyonu olarak tanımlanmaktadır. Reoloji yaş karıştırma, öğütme, çamur döküm, sırlama ve dekorasyon içeren seramik süreçlerde çok önemlidir. Kolloidal süspansiyonların reolojik davranışları temelde aşağıdaki faktörlere bağlıdır :

Dağıtıcı ortamın viskozitesi

Tanecik derişimi

Tanecik boyutu ve şekli

Tanecik-tanecik ve tanecik dağıtıcı ortam

etkileşimi.

Döküm çamurunun bu reolojik özellikleri seramik üretim tekniklerinde büyük öneme sahiptir. Özellikle çamur dökümde şekillendirme prosesinin başarısı reolojik özelliklerin kontrolüne bağlıdır (Özel ve ark., 2002).

Seramik endüstrisinde kullanılan hammaddelerin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin temin edildikleri bölgelere uygulanan hazırlama yöntemlerine bağlı olarak farklılıklar göstermesi hazırlanan döküm çamurunun reolojik özelliklerinin karmaşık olmasına neden olur. Döküm kalınlığı ve döküm hızı çamurun viskozitesi ile kontrol edilir. Bu nedenle işletmelerde döküm çamurunun viskozitesinin sabit tutulması istenir. Döküm çamurunun viskozitesine, karışımı oluşturan hammaddelerin türü, tane irilikleri ve tane şekli, ortamın pH değeri, sıcaklığı, karıştırma şekli ve zamanı yanında kullanılan suyun saflığının büyük etkisi vardır (Elgün, 2001).

Tipik bir seramik süspansiyonu, son derece ince toz ile inorganik ya da organik olabilen az miktarda katkının akışkan bir karışımıdır. Şüphesiz katkılar, seramik süspansiyonların davranışlarını düzenlemek için kullanılırlar (Dinger, 2002). Geleneksel seramik endüstrilerinde deflokulanlar (Sodyum karbonat, sodyum silikat, tetrasodyum pirofosfat, sodyum tripolifosfat, sodyum poliakrilat, sodyum sitrat vb.), bağlayıcı katkılar (mikrokristalin selüloz, amonyum alginat, metil selüloz, PVA, PMMA, PEG, parafin, wax vb.), plastikleştirici katkılar (Etilen glikol, PEG, Gliserol, vb.) seramik bünyesinin hazırlanması sırasında süspansiyonun özelliklerini geliştirmek için kullanılır. Deflokulanlar sulu seramik süspansiyonların akışkanlığını artırır. Sodyum tripolifosfat (STPP- $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$) etkinliği ve fiyatının ucuz olması nedeniyle yaygın olarak kullanılır (Bondioli ve ark., 2002).

Seramik sanayiinde kil-su süspansiyonlarına eklenen deflokulant miktarı ve cinsi sistemin akışkan hale getirilmesi için çok önemlidir. Seramik çamurlarında, kalıpların az ıslanması ve kalınlık almanın hızlı olması için yüksek yoğunluk, kalıbın her bir köşesine ulaşabilmesi için düşük viskozite, döküm işlemi bittiğinde kalıptan çamurun kolaylıkla boşaltılabilmesi için uygun tiksotropi olması gereken özelliklerdir (Elgün, 2001). Tiksotropi, durgun haldeki bir massenin mekanik kuvvetlerin etkisinde zamana bağlı olarak viskozite değerinin belli bir değere ulaşması ve kuvvet geri çekildiğinde tekrar yükselmesi davranışdır. Bu nedenle döküm prosesinde her bir yeni hammadde için reolojik özelliklerinin önceden belirlenmesi gerekmektedir (Güler ve ark., 1998).

Kil mineralleri katyonlar (Si^{+2} , Al^{+3} , Mg^{+2} ve diğerleri) ile anyonlardan (O^{2-} ve OH^-) oluşup köşe, kenar ve yüzeylerinde kırık bağlar mevcuttur. Öğütme sırasında yüzey alanları artarken kırık bağların sayısı da artmaktadır. (Elgün, 2001)

Kil mineralinin bünyesinde bulunan bazı iyonların çözümlerde bulunan iyonlarla yer değiştirmesi sonucu iyon değişimi meydana gelmektedir. Bu değişim susuz ortamda da gerçekleşebilmektedir. Kil minerallerinin değişebilir katyonları; Ca^{+2} , Mg^{+2} , H^+ , K^+ , NH_4^+ ve Na^+ ; değişebilir anyonları ise SO_4^{2-} , Cl^- , PO_4^{3-} dır. (Çağatay, 1984)

Kil minerallerinde yer değiştirebilen Na^+ ve K^+ gibi iyonlar birbiri üzerine stoklanmış kil parçacıklarının oluşturduğu agregalarda plaka ara yüzeylerine absorbe olurlar. Eğer kil agregalar su içinde dağılırlarsa alkaliler serbest kalarak suya geçer, böylece kil tanelerinin taban yüzeyleri negatif olarak yüklenirler. Kenarlar ise pH'a bağlı olarak pozitif veya negatif yükü yüklenirler. (Ergün, 2000)

Kil su süspansiyonları üzerine yapılan çalışmalar, sudaki OH^- iyonlarının kil parçacığının serbest yüzeyi tarafından adsorbe edildiğini ve böylece kil tanelerinin negatif yüklü hale geldiğini ve bu yükün süspansiyon içerisindeki katyonları çekme eğilimi gösterdiğini ortaya koymuştur. Bunun sonucu olarak tanecığın hemen yakınında ve taneciği çevreleyen su ortamında pozitif yük bakımından zenginlik olmakta ve böylece yüzey yükü karşıt yükü dengelenerek elektriksel nötrlük ve dolayısıyla flokulasyon sağlanmaktadır (Elgün, 2001)

Kil bünyelerinde inorganik bazlı deflokulanların etkilerinde ; sodyum silikat serbest alkali ve silisik asit vermek üzere hidrolize olur. Silisik asit ise koruyucu kolloid olarak adlandırılır ve killerin flokulasyon eğilimini azaltır. Çözünmeyen kalsiyum ve magnezyum silikatlar oluşur. (Ergün, 2000 ve Özel, 1999).

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada öncelikle seramik sektöründe kullanılan Söğüt ve Konya yöresi killlerinden hazırlanan çamurların akış özellikleri üzerine değişik elektrolitlerin etkileri incelenmiştir. Kütahya Güven Çini ve Aşanlar Ltd. Şti. 'den temin edilen İlhisar Yakacak kili ve Konya Doğanhisar kili kullanılmıştır.

Elektrolit olarak sodyum silikat (Aklar Kimya, d=1,41, % 50), sodyum tripolifosfat (teknik, İsrail) ve sodyum karbonat (Soda San. A.Ş., Kromsan) kullanılmıştır.

Killerin kimyasal analizi Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Kimyasal analiz

	Konya Kili	Söğüt Kili
SiO ₂	63,00	60,89
Al ₂ O ₃	17,15	18,74
Na ₂ O	0,98	1,12
K ₂ O	1,27	1,33
CaO	5,16	5,10
MgO	0,36	0,36
Fe ₂ O ₃	0,96	0,94
TiO ₂	0,85	0,85
LOI	10,27	10,67

% 65 katı derişimlerdeki hazırlanan çamurlarda Elektromag M-822 pH metre ile yapılan pH ölçümleri sonucunda kaydedilen değerler 4,82 ile 6,16 arasında değişmektedir. Bu nedenle bu sonuçlar bu killerin asidik karakterli olduğunu ve izoelektrik noktasının düşük olduğunu göstermektedir.

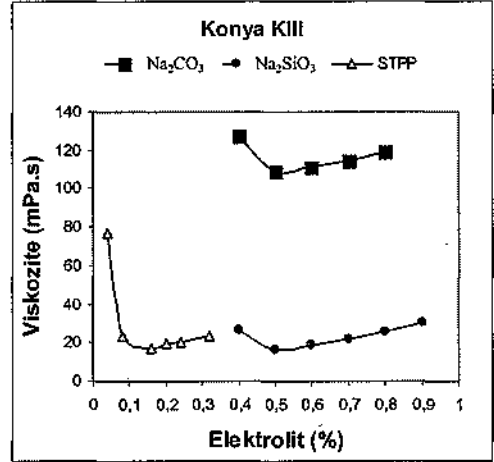
2.2. Çamurun Hazırlanması

Başlangıç olarak kurutulmuş kil havanda dövüldükten sonra 180 µm elekten elenmiş ve laboratuvar tipi dakikada 700 devir hızla çalıştırılan pervaneli mekanik karıştırıcıda suyla karıştırılmıştır. Açılma sırasında, istenen katı:su oranında (65:35) yeteri derecede akma özelliğine sahip olacak şekilde hazırlanan çamurlar, bir gece bekletilmiş ve daha sonra elektrolit ilaveleri yapılmıştır. Elektrolit ilaveleri kuru bazda olup viskozite değerleri Brookfield DV II viskozimetresiyle ölçülmüştür.

Konya yöresi kilinden hazırlanan çamurun litre ağırlığı 1727 g/L, Söğüt yöresi kilinin ki ise 1716 g/L olarak hesaplanmıştır.

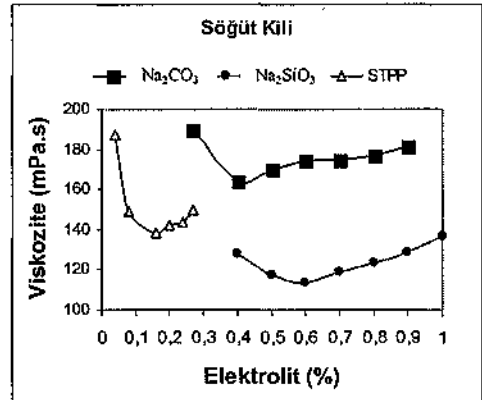
3. TEST SONUÇLARI

Yapılan çalışmada Konya ve Söğüt yöresine ait kilin Brookfield DV II viskozimetresinin 2 nolu spindle ve 50 rpm hızında Na₂SiO₃, Na₂CO₃ ve STPP miktarına bağlı olarak viskozite ölçümleri sırasıyla Şekil 1 ve 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Konya yöresine ait kilin elektrolit miktarına göre viskozite değişimi.

Konya yöresine ait kilin viskozite ölçümü sonucunda optimum elektrolit miktarları Na₂CO₃, Na₂SiO₃ ve STPP için sırasıyla % 0,5 , % 0,5 ve % 0,16 çıkmıştır.



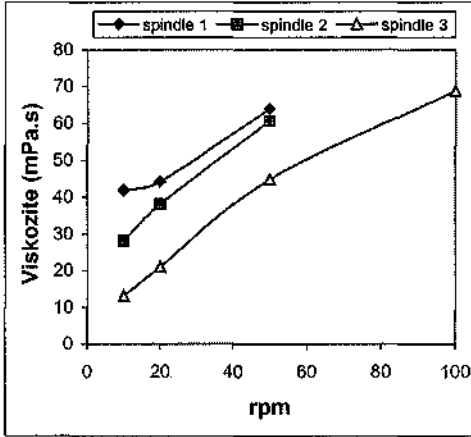
Şekil 2. Söğüt yöresine ait kilin elektrolit miktarına göre viskozite değişimi.

Söğüt yöresine ait kilin viskozite ölçümü sonucunda optimum elektrolit miktarları Na₂CO₃, Na₂SiO₃ ve STPP için sırasıyla % 0,4 , % 0,6 ve % 0,16 çıkmıştır.

Yavuz Ergün İstanbul ve Söğüt yöresi killeri üzerine yaptığı çalışmada organik deflokulantların (Na-poliakrilat, Na-polikarboksilat) özellikle yüksek katı konsantrasyonlarında, fosfat ve fosfat

silikat karışımı anorganik deflokanlara göre killeri defloküle etmede daha etkin olduğu göstermiştir. Sodyum silikat ve sodyum tripolifosfat karşılaştırıldığında, STPP viskoziteyi daha fazla düşürmektedir.

Viskozimetrede kullanılan spindle'in ve dönme hızının viskozite değerine etkisini görmek amacıyla, Söğüt kilinin optimum Na_2SiO_3 miktarında farklı spindle ve hıza göre viskozite ölçüm değerleri Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Spindle cinsi ve hızının viskoziteye etkisi.

Şekil 3'ten görülebileceği gibi Spindle numarası ve hız arttıkça viskozite değeri de artmaktadır.

4. SONUÇLAR

Seramik bünyeleri oluşturan killerden hazırlanan çamurların viskoziteleri elektrolit cinsi ve miktarından etkilenmektedir. Elektrolitler yüksek katı oranlarında düşük viskoziteli çamur hazırlanmasına imkan vermektedir.

Konya kili için optimum elektrolit miktarları Na_2CO_3 için % 0,5, Na_2SiO_3 için % 0,5 ve STPP için % 0,16'dır.

Söğüt kili için optimum elektrolit miktarları Na_2CO_3 için % 0,4, Na_2SiO_3 için % 0,6 ve STPP için % 0,16'dır.

Şekil 1-2 'den görülebileceği gibi elektrolit miktarının artmasıyla viskozite değeri önce

azalırken belli bir değerden sonra artmaya başlamıştır. Bu artışın nedeni, minimum viskozite değerinden sonra ortamda aşırı miktarda Na^+ kationunun bulunmasıdır. Aşırı miktarda Na^+ kationları, difüz tabakaya yığılarak difüz tabakanın kalınlığını azaltır. Bunun sonucunda zeta potansiyeli düşer ve çamurun flokulasyonuna neden olur.

Sodyum karbonat, sodyum silikat ve sodyum tripolifosfat kullanılarak hazırlanan çamurların viskoziteleri karşılaştırıldıklarında Konya kili için en düşük viskoziteyi STPP ve Na_2SiO_3 sağlamasına rağmen miktar olarak STPP daha düşük bir oranda çıkmıştır. Söğüt kili için ise en düşük viskozite ve en düşük miktar Na_2SiO_3 tarafından sağlanmıştır.

Organik elektrolitler killeri defloküle etmede inorganiklere göre daha etkilidir. Bu tip elektrolitler hem düşük oranlarda kullanılmakta ve hem de benzer viskozite değerlerine yüksek katı oranlarında çamur hazırlanmasına imkan vermektedir.

Ayrıca inorganik ve organik elektrolitlerin birlikte kombinasyonu ile maksimum katı oranlarında optimum elektrolit miktarları tespit edilebilir. Katı derişimlerinin artmasıyla spray kurutucularda daha az su buharlaştırılacak ve böylelikle enerji tasarrufu sağlanacaktır.

KAYNAKLAR

- Bondioli, F., Ferrari, A.M., Miselli, P., 2002, *Deflocculant capability of sodium TPP*, American Ceramic Society Bulletin, 81, 11, 54-57
- Dinger, D.R., 2002, *Rheology of Ceramists*, Dinger Ceramic Consulting Services, 1-27
- Elgün, D. İ., 2001, *Değişik Elektrolitlerin Farklı Killerde Dispersiyon Etkilerinin Belirlenmesi*, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Müh. Fak. Lisans Tezi, Afyon,
- Ergün, Y., 2000, *Yer ve Duvar Karolarına Çeşitli Deflokanların Etkileri ve Katı Konsantrasyonunun Artırılması*, Anadolu Üniversitesi, Fen Bil. Ens., Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir, 28-29

- Güler, Ç., Balcı, E., 1998, *Effect of some salts on the viscosity of slip casting*, Applied Clay Science, 13, 213-218
- Özel, E., Ay, N., Pütün, E., 1999, *Effect of Electrolytes on Sanitaryware Slip*, American Ceramic Society Bulletin, 78, 5, 73-75
- Özel, E., Kurama, S., Ay, N., 2002, *Slip properties of Sanitaryware*, American Ceramic Society Bulletin, 81, 5, 42-45
- Çağatay, N., Erler, A., 1984, *Jeokimya Temel Kavramlar ve İlkeler*, Ankara, 65-66

Başer Maden Sanayinin İnce Barit Artıklarının Flotasyon ile Zenginleştirilmesi

V. Deniz

Süleyman Demirel Üniversitesi, Müh.-Mim. Fakültesi, Maden Müh. Böl., Isparta

ÖZET: Bu çalışmada, Şarkikaraağaç (Isparta)'da bulunan Başer Maden Sanayinin şlam artıklarından baritin kazanılması amaçlanmıştır. Şlam stoğundan temsili olarak alınan numuneler üzerinde, toplayıcı türü, toplayıcı miktarı, pH ve bastırıcı miktarının flotasyona olan etkisi araştırılmıştır.

Sonuçta, %94'ün üzerinde BaSO_4 tenörlü barit konsantresine, % 48 verimle üç aşamalı temizleme ile ulaşılabileceği ortaya çıkmıştır.

ABSTRACT: The aim of this study is to obtain high grade barite concentrates from low grade and fine tailings using flotation. The effects of collector type, pH and collector and depressant amount have been examined to optimize the conditions for flotation of slime samples.

As a result of the tests, a barite concentrate containing 94% BaSO_4 with 48% recovery was achieved after three cleaning steps.

1. GİRİŞ

Barit, metal mineraller dışında yoğunluğu en fazla olan mineral olup, bu sebepten dolayı petrol sondajlarında, beyaz renkte olmasından dolayı boya sanayinde ve dolgu maddesi olarak geniş kullanım alanı bulmaktadır.

Günümüzde rezervlerin azaldığı ve öğütme masraflarının gittikçe arttığı bir ortamda, jig ve sallantılı masa artıklarının, önemli oranda barit içermesi ve ince boyutta oluşu ile ekonomik açıdan önem kazanmaya başlamıştır. Şlam boyutundaki barit artıklarının flotasyon ile değerlendirilebilmesi son zamanlarda gündeme gelmiştir.

Barit (BaSO_4), flotasyon ile metalik olmayan mineraller grubunda değerlendirilir. Metalik olmayan minerallerin flotasyon temellerini ilk 1962 yılında Aplan ve Fuerstenau, 1973 yılında Clement ve arkadaşları, Carta ve arkadaşları ortaya atmışlardır. Daha sonraları, 1976 yılında Hanna ve Samasundaran, Smith ve Aklitar, Fuerstenau ve

Palmer tarafından oksitlerin flotasyonu üzerindeki çalışmalar da gündeme gelmiştir (Leja, 1982).

Barit cevheri flotasyonu, yağ asitleri ve bunların tuzları veya sülfat/sülfonat tipi toplayıcılar kullanılarak yapılmaktadır. Yağ asitleri, kalsit'ide yüzdürdüğünden sülfonatlara nazaran daha düşük tenörlü konsantre vermektedir (Delice ve ark., 1995).

1975 yılında Martinez ve arkadaşları, Cytec (ABD) firması A-845 tipi toplayıcısını (Uzun zincirli bir an-iyonik sülfosuksinamat) az miktarda kullanarak ve yüksek dozajda Na_2SiO_3 kombinasyonu kullanmak suretiyle % 80 randımanlı % 94 BaSO_4 içerikli barit konsantresi elde etmişlerdir. Baritin, kuvars ve kalsit gibi safsızlıklardan temizlenmesi için pH= 9-11 arasında gerçekleştirilmekte ve Na_2SiO_3 , Tannikasit, Quebracho gibi bastırıcılar da kullanılmaktadır (Delice ve Ark., 1995).

Alkali sülfat ve sülfonatların barit yüzeyine adsorblanma mekanizmaları, Andrew ve Collings

(1989) tarafından incelenmiş ve toplayıcının barit kristalindeki katyona, stern tabakasında (kimyasal) spesifik adsorbladığı gösterilmiştir.

Ba²⁺, barit için potansiyeli belirleyen iyonudur ve BaCl₂ barit flotasyonunda randımanı artırmaktadır. Mineral yüzeyinin hidrasyon azalması, mineral yüzeyinde kolektör etkisini kuvvetlendirmektedir (Hiçyılmaz ve Ark., 1996).

Bu çalışmada, Başer A.Ş.'ye ait % 80'i 75 mikronun altında olan şlam artıklarının (%37.27 BaSO₄), flotasyon ile zenginleştirilmesi araştırılmıştır.

2. MALZEME VE METOD

Deney malzemesi, Başer Maden Sanayinin şlam artıklarının biriktirildiği stoklardan sondaj ile kareyaj yöntemiyle alınıp, deneylerde kullanılan

şlam örneklerinin kimyasal analiz sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Şlam stoğunun kimyasal analiz sonuçları

Eleman	(%)
CaO	8.07
SiO ₂	32.22
Al ₂ O ₃	7.37
Fe ₂ O ₃	1.48
MgO	0.63
SO ₃	46.63
Na ₂ O	1.37
K ₂ O	1.89
BaSO ₄	36.43
Kızdırma Kaybı	0.35

Alınan örneklerin harmanlanması sonucu elek analizi yapılmış ve barit dağılımı ortaya konmuştur (Çizelge 2).

Çizelge 2. Deneylerde kullanılan örneğin elek analizi ve barit dağılımı

Elek Açıklığı (µm)	Miktar (%)	BaSO ₄ (%)	Dağılım (%)	ΣE.A (%)	ΣBaSO ₄ (%)	ΣDağılım (%)
+250	6.6	18.04	3.18	100.00	37.27	100.00
-250	0.9	24.24	0.58	93.40	38.64	96.82
-212	0.65	20.33	0.35	92.50	38.77	96.24
-180	1.00	22.28	0.60	91.85	38.91	95.89
-150	0.72	28.80	0.56	90.85	39.09	95.29
-125	1.28	33.80	1.16	90.13	39.17	94.73
-106	6.92	40.99	7.61	88.85	39.25	93.57
-75	10.31	48.63	13.45	81.93	39.10	85.96
-53	9.75	59.89	15.67	71.62	37.73	72.51
-38	61.87	34.24	56.84	61.87	34.24	56.84
Toplam	100.00	37.27	100.00			

Malzemenin elek analizi incelendiğinde, barit'in boyuta göre zenginleştirmeye uğradığı tespit edilmektedir. Şarkikaraağaç Barit cevherinin, yan kayaçları olan, kalk-şist, kalker, mermer, kuvarsit, kumtaşı, dolomitik kireçtaşı ve kalsit'e göre (Cengiz, 1995) ufalanması çok daha kolay olması sebebiyle elek boyutu incelidikçe barit tenöründe bir artış olmuştur. En ince boyutta ise (-38 mikron), barit tenöründe bir düşüş gözlenmiştir. Bunun sebebi, cevherleşmede mevcut olan serisit ve klorit tipi killerin çok çabuk dağılarak ince boyutta toplanmış olmasıdır.

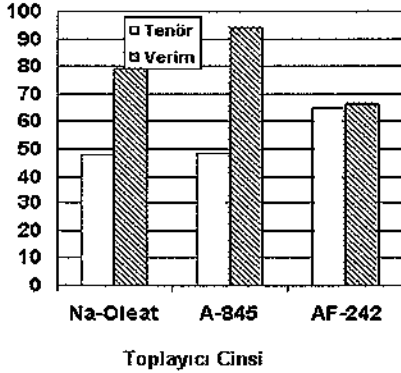
Flotasyon deneyleri, 250 gr'lık temsili numuneler üzerinde 1'l'lik Denver Sub-A tipi laboratuvar tip flotasyon makinesi ile yürütülmüştür.

3. DENEY SONUÇLARI

3.1. Toplayıcı Türünün Belirlenmesi

Toplayıcı türünün belirlenmesi için yapılan sistematik deneyler ve sonuçları Şekil 1.'de verilmiştir.

Deney koşulları	Kondüsyonlama Süresi(dk)
PH = 9 (CaO)	5
Bastırıcı: Na ₂ SiO ₃ (1000 gr/ton)	5
Toplayıcı Miktarı : 800 gr/ton	5
Köpürtücü: Çam yağ(160 gr/ton)	2.5
Köpük alma süresi :	3
Katı oranı : % 20	
Karıştırma hızı: 1500 dv/dk	

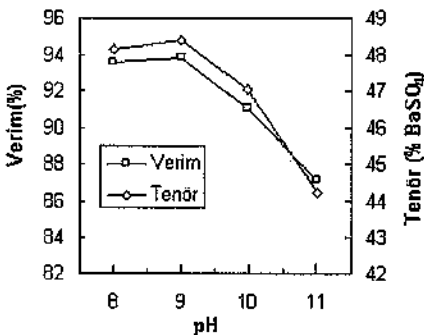


Şekil 1. Toplayıcı türünün barit flotasyonundaki etkisi

Şekil 1'de görüldüğü üzere en yüksek tenörü AF-242 sağlasa da, verim oldukça düşük çıkmaktadır. Özellikle kaba flotasyon sonrası temizleme aşamasında bu verimin çok daha aşağı düşeceği düşünüldüğünde, en uygun toplayıcı cinsi Cytec (ABD) firmasının ürettiği A-845 tipi seçilmiştir.

3.2. pH'in Barit Flotasyonuna Etkisi

Barit flotasyonu genelde bazik ortamda yapılmaktadır. pH'ın etkisi için testler 8 ile 11 arasında yapılmış ve sonuçlar Şekil 2'de verilmiştir.

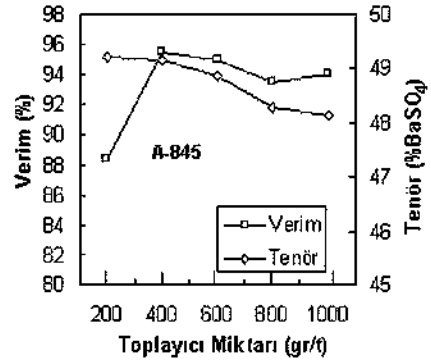


Şekil 2. pH değerlerinin test sonuçları

pH = 9'dan sonra tenör ve verimde düşüş gözlenmiş ve bu nedenle düşük pH'da (pH=8) flotasyonun yeterli olduğu kanısına varılmıştır. Bundan sonraki testler için en uygun pH, 8 olarak kabul edilmiştir.

3.3. Toplayıcı Miktarının Etkisi

Toplayıcı maliyeti açısından tüketimin minimum olarak belirlenmesi için, en uygun pH'da toplayıcı miktarının etkisi araştırılmıştır. Test sonuçları Şekil 3'de verilmiştir.



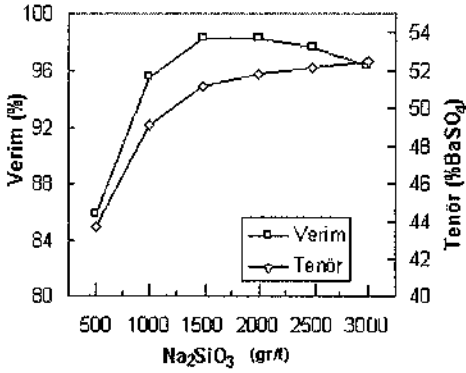
Şekil 3. Toplayıcı miktarı üzerine yapılan testler

Andrev ve Collings (1989)'in öne sürdükleri spesifik adsorbsiyon gereğince çok az kolektör miktarında bile baritin yüzdürülebileceği bu testlerde de tespit edilmiş ve en uygun miktar 400 gr/ton olarak belirlenmiştir.

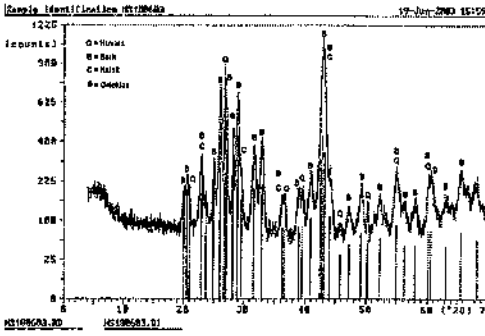
3.4. Bastırıcı Miktarının Etkisi

Bundan önceki testlerde, mekanik taşıma nedeniyle gang minerallerinin yeterince bastırılmadığı ve bu nedenle konsantr tenörünün düştüğü tespit edilmiştir. Tenörün artırılması için bastırıcı miktarının etkisi araştırılmıştır. Test sonuçları Şekil 4'de verilmiştir. En uygun bastırıcı miktarı, 1500 gr/ton olarak belirlenmiştir.

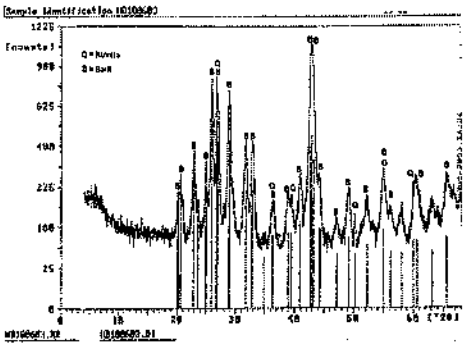
Yapılan kaba flotasyon deneyleri sonucu elde edilen konsantr ve artık ürünleri ile deneylerde kullanılan beslemenin XRD çekilmiştir. XRD sonuçları Şekil 5 -7'de gösterilmiştir. Şekil 6 incelendiğinde, ön konsantrinin bünyesinde kuvars minerallerinin olduğu gözükmemektedir.



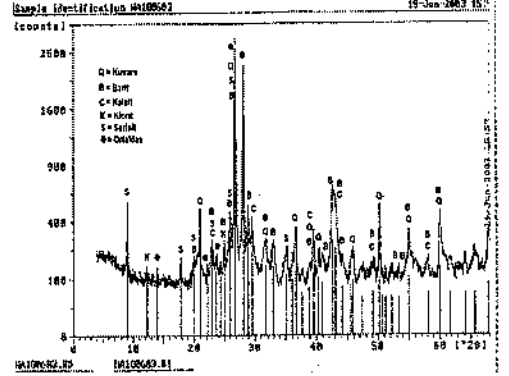
Şekil 4. Bastırıcı miktarının test sonuçları



Şekil 5. Kaba flotasyon deneylerinde kullanılan beslemenin XRD sonuçları



Şekil 6. Kaba flotasyon deneylerinde elde edilen konsantrenin XRD sonuçları



Şekil 7. Kaba flotasyon deneylerinde elde edilen artığın XRD sonuçları

3.5. Temizleme Flotasyon Testleri

Ön konsantrenin mikroskopik ve XRD incelenmesinde, gang minerallerinin varlığı tespit edilmiş ve bu gerekçe ile temizleme devrelerinde bastırıcı miktarı ilavesiyle % BaSO₄ tenörünün artırılmasına çalışılmıştır.

Kaba flotasyon deneylerinde elde edilen ön konsantreye, satılabilir konsantre elde etmek için toplayıcı kullanmaksızın üç seri temizleme flotasyonu uygulanmıştır.

Çizelge 3.'de temizleme aşamasındaki deneylere uygulanan koşullar verilmiştir.

Çizelge 3. Temizleme flotasyon koşulları

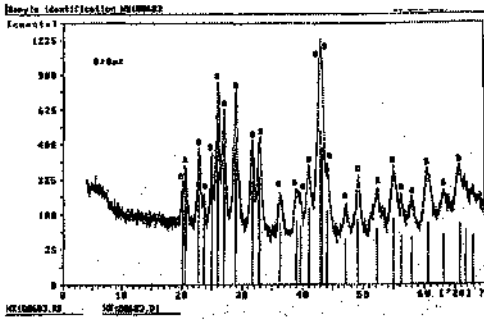
Devre	A845 (gr/t)	Na ₂ SiO ₃ (gr/t)	Çamyağ (gr/t)	Köpük Alma Süresi (sn)
Tem.-3	----	650	---	10+30
Tem.-2	----	1000	----	40
Tem.-1	----	1000	----	60
Kaba	400	1500	160	90

Yapılan temizleme deneylerinde elde edilen sonuçlar Çizelge 4.'de sunulmuştur.

Ayrıca elde edilen konsantrenin XRD sonucu Şekil 8'de gösterilmiştir. Şekil 8'de temiz bir barit konsantresi sağlandığı gözükmektedir.

Çizelge 4. Temizleme flotasyon sonuçları

Ürünler	Miktar (%)	BaSO ₄ (%)	Verim (%)
Kons.10 sn	8.29	98.23	21.85
Kons.30 sn	10.91	91.26	26.71
T. Artık-3	17.38	85.33	39.79
T. Artık-2	11.81	19.84	6.29
T. Artık-1	20.50	2.17	1.20
Kaba Artık	31.11	4.89	4.08



Şekil 8. Temiz konsantrenin XRD sonuçları

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

En uygun toplayıcı cinsi seçiminde etkin toplayıcı olarak Cytec (ABD) firmasının sülfonat tipi toplayıcısı olan A-845 bulunmuştur.

Test işlemlerinde, pH ayarlayıcı olarak kullanılan sönmüş kireğin (CaO), barit flotasyonunda önemli bir etkisi olduğu tespit edilmiştir. Barit ön konsantre tenöründe ki düşüklüğünün nedeni ise, gang minerallerinin köpüğe mekanik olarak taşınmasından dolayı olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle, bastırıcı miktarının (Na₂SiO₃) önemi ortaya çıkmıştır.

Elde edilen ön konsantreye, toplayıcısız iki temizleme aşaması uygulanarak, % 90.10 BaSO₄ tenörlü % 87.85 verimle temiz konsantre elde edilmesi mümkün olmuştur. Bu konsantrenin yoğunluğu 4.35 gr/cm³ olduğu da belirlenmiştir.

Üç kademe temizleme sonunda, 40 saniyelik köpük alma zamanında % 94.27 BaSO₄ tenörlü (4.41

gr/cm³), % 48.06 verimle temiz konsantre elde edilebilmiş, 10 saniyelik köpük alma zamanında ise %98.23'lük BaSO₄ tenörlü (4.48 gr/cm³) konsantre % 22.85 verimle elde edilebilmiştir.

Şlam boyutlu malzemeler için son yıllarda geliştirilen yeni bir gravite yöntemi olan MGS (Multi Gravity Separator) ile yapılan barit zenginleştirme testlerinde %92.55 BaSO₄ tenörlü konsantreyi % 78.41 verimle kazanılmıştır (Deniz, 2000). Bu sonuç, flotasyon testleri ile MGS testlerinin teknolojik ve ekonomik olarak (ilk yatırım ve işletme maliyetlerin açısından) kıyaslanması gereğini ortaya çıkarmıştır. Bu kıyaslama, barit sektörüne katkıda bulunması açısından önem arz etmektedir.

TEŞEKKÜR

Yazar, XRD sonuçları için DEU Maden Müh. Bölümünden sayın Uzm. Hatice YILMAZ'a teşekkür etmeyi bir borç bilir.

KAYNAKLAR

- Andrews, P.R.A. and Collings, R.K., 1989. *Beneficiation of Barite: A Review of Processing Studies at Canmet*, Mining Engineering, June, 145-150.
- Cengiz, O., 1995. *Şarkıkaraağaç Yöresi Barit Yatakları*, Isparta, S.D.Ü. Fen Bil. Enst., Doktora Tezi.
- Delice, K. ve Özbayoğlu, G., 1995. *Gümüşköy Gümüş Cevherinden Barit'in Kazanılması*, Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu'95, İzmir, 15-21.
- Deniz, V., 2000. *Recovery of Barite from BASER Co. Barite Processing Plant Slimes by Using MGS*, GEOSOUND Science and Technology Bulletin on Earth Science, No: 36, 207-212.
- Hiçyılmaz, C. and Ghaemi, M., 1996. *The Effect of Inorganic Agent on the Flotation of Barite and Fluorite*, Changing Scopes in Mineral Processing, Balkema, 261-264.
- Leja, J., 1982. *Surface Chemistry of Froth Flotation*, Plenum Press, New York, p. 39.

Doğal Amorf Silikanın Kinetik Öğütme Parametrelerine Hacimsel Bilya ve Malzeme Doluluk Oranlarının Etkisi

V. Deniz & N. Sütçü

Süleyman Demirel Üniversitesi, Müh.-Mim. Fakültesi, Maden Müh. Böl., Isparta

ÖZET: Bu çalışmada, son yıllarda çimento sektöründe önemli kullanım alanına sahip olan Doğal Amorf Silika (DAS) örneği üzerinde (Isparta-Keçiborlu), kesikli öğütme koşullarında bilya yükü ve malzeme yükünün etkisi bir kinetik model üzerinde araştırılmıştır. Bunun için, öncelikle 1.7–0.106 mm arası $\sqrt{2}$ elek serisine göre 8 dar boyut fraksiyonu hazırlanmış ve laboratuvar bilyalı değirmeninde (20×20 cm) dört farklı malzeme doluluk oranında (%5, %10, %15 ve %20) ve dört farklı bilya yükünde (%10, %20, %30 ve %40), farklı öğütme sürelerinde elde edilen boyut dağılımlarından kırılma hızı ve kümülatif kırılma dağılımı fonksiyonları elde edilmiş ve kinetik model parametreleri (S_b , a_T , α , γ ve ϕ) kıyaslanmıştır. Testler sonucunda, bilya yükü (J) ve malzeme yükünün (f_c) hesaba katan boşluk doldurma oranının ($U = f_c/0.4J$), hem öğütme kapasitesi hem de spesifik öğütme enerjisi açısından ilişkisi tartışılmıştır.

ABSTRACT: In this paper presents the importance and usage of natural amorphous silica, which was recently recognized in the cement industry. Therefore, the effect of powder filing and ball filling was investigated on the natural amorphous silica, taken from Isparta-Keçiborlu region (Turkey), at batch grinding conditions based on a kinetic model. For this purpose, firstly, eight different mono-size fractions were prepared between 1.7 mm and 0.106 mm using a $\sqrt{2}$ sieve series. Then, S_b and B_{ij} equations were determined from the size distributions at different grinding times, and the model parameters (S_b , a_T , α , γ and ϕ) were compared at four different powder filing (5%, 10%, 15% and 20%), and at four different ball filing (20%, 30%, 40% and 50%). Finally, model parameters are discussed for every test. The result of the tests, (interstitial filling fraction ($U = f_c/0.4J$)) to take into consideration of the effect of ball filling (J) and powder filling (f_c) were discussed with respect to maximum mill capacity and specific grinding energy

1. GİRİŞ

Son yıllarda, silika dumanı çimento sektöründe betonun mukavemetine ve uzun ömürlü olmasına katkı sağladığı için çok yaygın kullanımı vardır. Silika dumanlı beton çok yüksek basınç mukavemeti göstermekle birlikte, sülfat ve asitlere karşı betonun dayanımını artırmakta ve bir çok uygulamada klorür geçirgenliğini azaltmaktadır. Amorf silika, bir çok fiziksel ve kimyasal özellikleri ile silika dumanına benzemektedir (Anderson v.d., 2000).

Diyatomit, yüksek doğal amorf silika özelliği ile biyogenetik orijinli sedimanter bir kayaktır. Amorf

silika, birincil olarak diatom piramitler, ikincil olarak çok ince süngerimsi yapılar, dövülmüş silikon iskeletleri ve/veya radiojelen hücre şekilli yapıları içerir (Fragoulis v.d., 2002).

Amorf silika, filtre malzemesi, özel dolgu maddesi, absorbant, izolasyon ürünü, hafif seramik ve çimento malzemesi olarak yaygın kullanımı vardır. Bu kullanım alanlarında, Amorf Silikanın çok ince (mikron) boyutlarında olması arzu edildiğinden öğütülme ihtiyacı duymaktadır (Deniz v.d., 2003).

Ufalama, dünya genelinde elektrik enerjisinin %3 ile %4 gibi bir kısmını ve tipik bir cevher hazırlama tesisinde ihtiyaç duyulan toplam enerjinin %70'in

üzerinde harcayan önemli bir prosestir. Bu nedenle, ufalama verimindeki çok küçük bir kazancın sağlanması, enerji masrafının azalmasına çok fazla etkisi olacaktır (Fuerstenau ve ark., 1999).

Değirmen dizaynı için Bond yöntemi yıllardır kullanılmaktadır. Bond yönteminin deneysel açıdan uzun sürmesi, boyut fraksiyonlarında tam olarak fikir verememesi ve hatalı yaklaşımlara neden olması nedeniyle bir çok araştırmacı tarafından daha etkin modellerin geliştirilmesine vesile olmuştur. Son yıllarda, matematiksel model ve simülasyon teknikleri ortaya atılmış ve özellikle bilgisayar yazılım tekniklerindeki gelişmeler, cevher hazırlamaya da önemli oranda katkıda bulunmuştur (Deniz, 2003).

Son yıllarda, öğütme ile ilgili matris ve kinetik modeller kullanılmaktadır. Bir çok avantajı nedeniyle, Lynch (1977) tarafından ortaya atılan ve Austin tarafından geliştirilen Kinetik model en geçerli model olmuştur (Austin ve ark., 1981).

Austin ve arkadaşları (1984) değirmen spesifik öğütme enerjisinin (m_p), bilya yükü (J) ve boşluk doldurma oranına (U) bağlı ilişkili aşağıdaki eşitlik ile göstermişlerdir.

$$m_p \propto \left[\frac{1 - 0.9375J}{1 + 5.95J^5} \right] \left[\frac{Ue^{-1.2U}}{1 + 6.6J^{2.3}} \right] \quad 0.2 \leq J \leq 0.6 \quad (1)$$

Austin ve arkadaşları (1984) spesifik öğütme enerjisi (m_p) ile boşluk doldurma oranı (U) arasındaki ilişkide en uygun boşluk doldurma oranının $U = 0.8-1.2$ arasında olduğu durum için vermiştir.

Oransal Mutlak Kırılma Hızı olarak ifade edilen S_i ve f_c 'den elde edilen değer, değirmen kapasitesiyle ilgili önemli bir sonuçtur. U 'ya karşı $f_c S_i$ çiziminde maksimum veren bir değer farklılığı en yüksek değirmen kapasitesi için ortaya çıkmaktadır. Shoji ve arkadaşları (1980), kuvars minerali için maksimum kapasite için U değerini 0.4 ile 0.6 olarak bulmuştur.

Shoji ve arkadaşları (1982) bir diğer çalışmalarında ise maksimum kapasite için kuru öğütmede $U=0.83$, yaş öğütmede ise $U=0.76$ olarak bulmuştur.

Deniz ve Onur (2002), pomza üzerinde yaptıkları benzer öğütme yaklaşımında ise $a_T U$ ile U arasındaki ilişkiyi maksimum veren değer $U=0.4$ olarak tespit etmişlerdir.

Bu çalışmada, Isparta-Keçiborlu bölgesinde bulunan Amorf Silika örneği üzerinde, laboratuvar değirmeninde, değirmen kapasitesi ve spesifik öğütme enerjisi açısından bilya yük oranı (J) ve malzeme yük oranının (f_c) kapsayan boşluk doldurma oranı (U) etkisi kinetik model parametreleri ile incelenmiş ve sonuçlar mukayese edilmiştir.

2. TEORİ

Son yıllarda, bilyalı değirmenler için spesifik kırılma hızı ve kümülatif kırılma dağılımı kavramlarını içeren boyut azaltma yaklaşımı kullanılmaktadır (Austin, 1972). Spesifik kırılma hızının bir matematiksel formülü Austin ve arkadaşları (1984) tarafından aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$S_i = a_T X_i^\alpha \quad (2)$$

burada; X_i : i fraksiyonundaki üst boyutu (mm), a_T ve α ise, öğütme şartlarına ve malzemenin özelliklerine bağlı olan model parametrelerdir.

Kırılan veya öğütülen malzemenin hangi boyut fraksiyonlarına nasıl dağıldığı kümülatif kırılma dağılımı fonksiyonu olarak tariflenmiş ve aşağıda gösterilmiştir.

$$B_{i,j} = \sum_{k=i}^j b_{k,j} \quad (3)$$

Kısa öğütme süresi verilerinden elde edilen boyut dağılım eğrisini temsil eden bu fonksiyon da, söz konusu parametreler Austin ve arkadaşlarının (1981) aşağıda verilen, BII yaklaşımından elde edilen $B_{i,1}$ değerlerine karşı nispi boyut grafiği çizildiğinde bulunur.

$$B_{i,1} = \frac{\log[(1 - P_i(0))/(1 - P_i(t))]}{\log[(1 - P_2(0))/(1 - P_2(t))]} \quad i)1 \quad (4)$$

burada;

$P_i(0)$ = i. boyut aralığında beslenen malzemenin kümülatif elek altı %'si

$P_2(0)$ = 2. boyut aralığında beslenen malzemenin kümülatif elek altı %'si

$P_i(t)$ = i. boyut aralığında t anındaki malzemenin kümülatif elek altı %'si

$P_2(t)$ = 2. boyut aralığında t anındaki malzemenin kümülatif elek altı %'si

$$B_{i,j} = \phi_j [X_{i-1}/X_j]^\gamma + (1 - \phi_j) [X_{i-1}/X_j]^\beta \quad (5)$$

burada, ϕ , γ ve β , malzemelerin özelliklerine bağlı olan model parametrelerdir. Bu parametreler, farklı bilya oranları, değirmen çapları v.b. için aynı olup farklı malzeme özelliklerinde farklıdır (Austin ve Luckie, 1972).

3. MALZEME VE METOT

Isparta-Keçiborlu bölgesinden alınmış olan Doğal Amorf Silika örnekleri deneysel malzeme olarak kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan örneğin kimyasal analizleri Çizelge 1'de verilmiştir.

3.1. Öğütme Deneyleri

Öncelikle, Amorf silika örneği üzerinde standart Bond iş indeksi değerini belirlemek için -3.35 mm'lik numune hazırlanmış ve standart Bond değirmeninde test yapılarak iş indeksi 12.32 kWh/ton olarak belirlenmiştir.

Çizelge 2. Standart öğütme şartları

Değirmen	Çap, mm	200			
	Uzunluk, mm	200			
	Hacim, cm ³	6283			
Değirmen Hızı	Kritik (N _c) ^a , dv/dk	101			
	Çalışma(ϕ_c = %75), dv/dk	76			
Bilya	Çap, mm	25.4			
	Özgül Ağırlık	7.8			
	Kalite	Çelik Alaşım			
	Ölçülmüş Boşluk, %	40			
	Hacimsel Bilya doluluk oranı(%J)	20	30	40	50
Malzeme	Özgül Ağırlık	0.67			
	Malzeme Doluluk Oranı (%f _c)	5	10	15	20
	f _c 'ye göre Boşluk doldurma Oranı(%U)	42	83	125	167
	J'ye göre Boşluk doldurma Oranı(%U)	125	83	62.5	50

Daha sonra, laboratuvar tip çeneli kırıcıda kademeli olarak 1.7 mm altına indirilmiştir. Ufalanan numuneler, eleme ile 8 dar boyut fraksiyonunda (-1.7+1.18, -1.18+0.850, -0.850+0.600, -0.600+0.425, -0.425+0.300, -0.300+0.212, -0.212+0.150, -0.150+0.106 mm) hazırlanmıştır. Hazırlanan her fraksiyon, dört ayrı malzeme yükünde (%5, %10, %15, ve %20) ve dört ayrı bilya yükünde (%20, %30, %40 ve %50) laboratuvar çaplı bir bilyalı değirmende kesikli bir tarzda öğütülmüştür. Her bir öğütme periyodu sonrası tüm değirmen şarjı boşaltılarak elek analizi yapılmıştır. Eleme işlemi kuru ve el ile yapılmıştır. Öğütme deneylerinde kullanılan değirmenin özellikleri ve deney koşulları Çizelge 2.'de verilmiştir.

Çizelge 1. Doğal Amorf Silika örneğinin analiz neticeleri

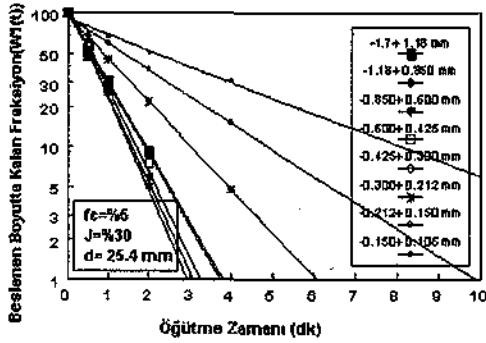
Eleman	(%)
SiO ₂	90.91
Al ₂ O ₃	0.13
TiO ₂	0.12
Fe ₂ O ₃	0.11
CaO	0.36
Na ₂ O	0.07
K ₂ O	0.06
SO ₃	0.27
Kızdırma Kaybı	4.95

4. DENEY SONUÇLARI

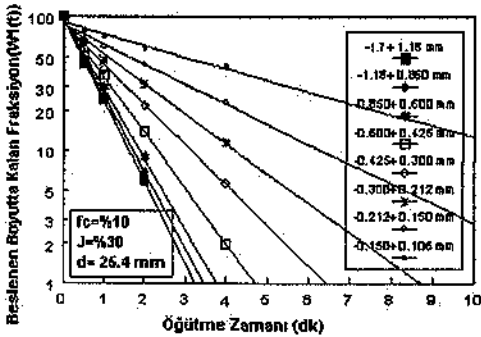
4.1. Spesifik Kırılma Hız Fonksiyonların Belirlenmesi

Dört farklı malzeme doluluk oranı ve dört farklı bilya yük oranında, değişik dar besleme boyut fraksiyonları için birinci derece kırılma kinetiği çizimleri Şekil 1-8'de verilmiştir.

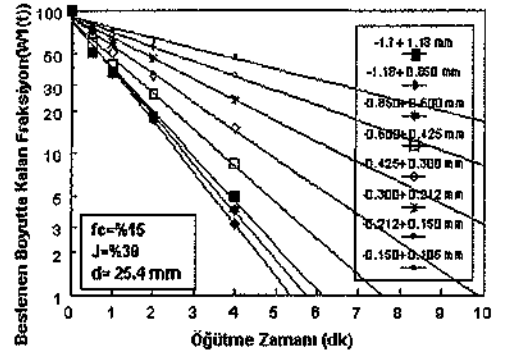
Birinci derece kırılma kinetiği davranışı sergileyen 8 dar besleme boyut fraksiyonları için spesifik kırılma hızları belirlenmiş ve S_1 değerlerine karşı boyut fraksiyonu grafiği malzeme doluluk oranının etkisi Şekil 9'da ve bilya doluluk oranının etkisi Şekil 10'da gösterilmiş ve bu eğrilerden elde edilen kırılma hızı parametreleri Çizelge 3 ve Çizelge 4'te verilmiştir.



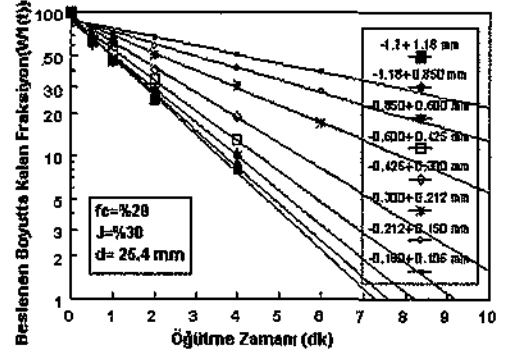
Şekil 1. Amorf Silikanın f_c =%5 için birinci derece kırılma doğruları



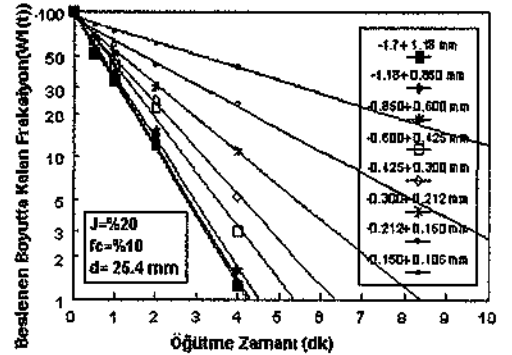
Şekil 2. Amorf Silikanın f_c =%10 için birinci derece kırılma doğruları



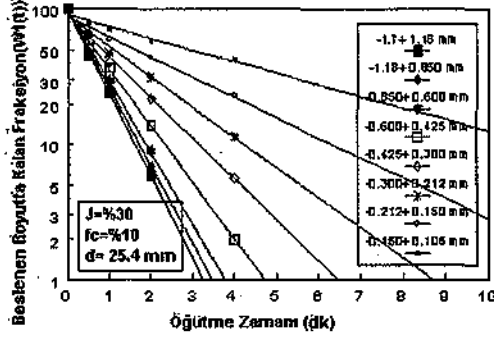
Şekil 3. Amorf Silikanın f_c =%15 için birinci derece kırılma doğruları



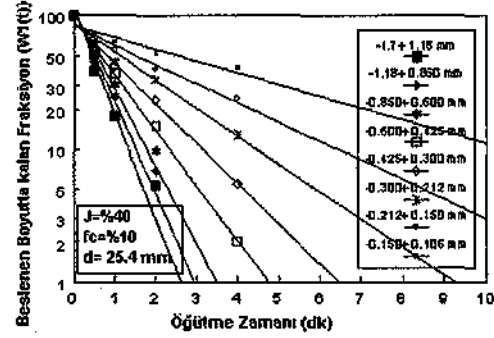
Şekil 4. Amorf Silikanın f_c =%20 için birinci derece kırılma doğruları



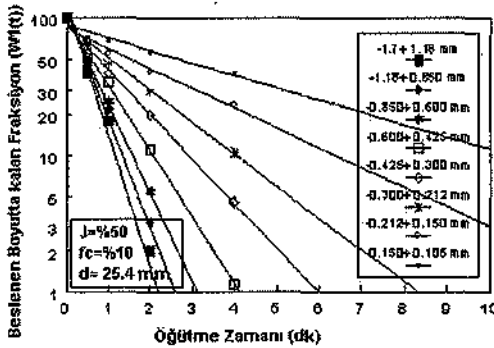
Şekil 5. Amorf Silikanın J =%20 için birinci derece kırılma doğruları



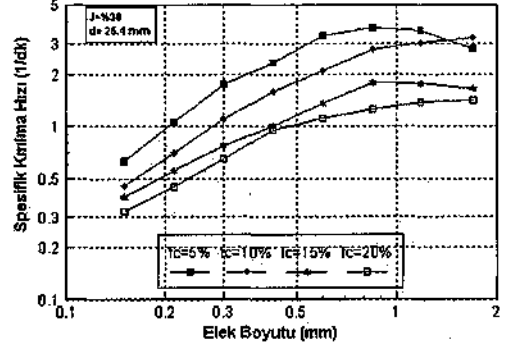
Şekil 6. Amorf Silikanın J=%30 için birinci derece kırılma doğruları



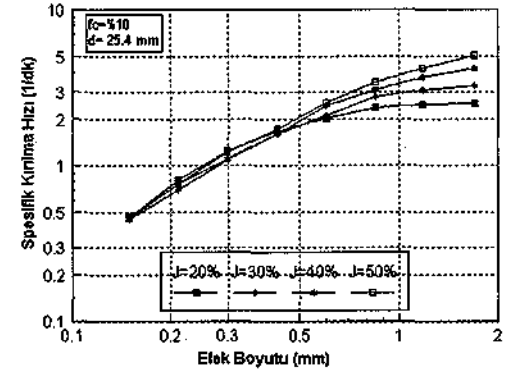
Şekil 7. Amorf Silikanın J=%40 için birinci derece kırılma doğruları



Şekil 8. Amorf Silikanın J=%50 için birinci derece kırılma doğruları



Şekil 9. Farklı malzeme yükü için Amorf Silikanın spesifik kırılma hızı (S_i) eğrileri

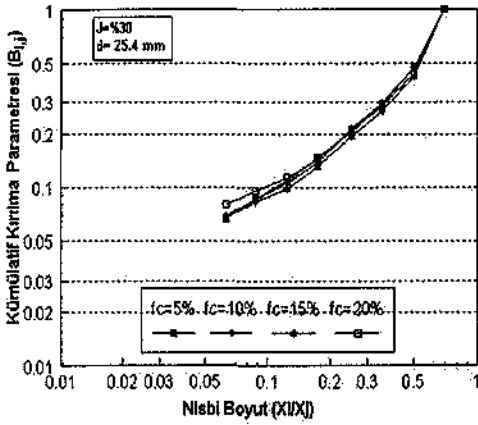


Şekil 10. Farklı bilya yükü için Amorf Silikanın spesifik kırılma hızı (S_i) eğrileri

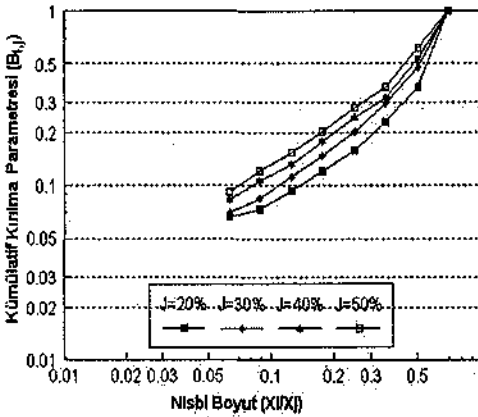
4.2. Kümülatif Kırılma Fonksiyonunun Belirlenmesi

Kümülatif kırılma fonksiyonu (B_{ij}) değerleri, en kısa öğütme sürelerinden elde edilmiş ve verilerin normalize olduğu yani boyuttan bağımsız olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen B_{ij} değerlerine karşılık boyut oran grafiğinden B_{ij} fonksiyonu malzeme doluluk oranı için Şekil 11 ve bilya doluluk oranı için Şekil 12'de verilmiştir.

Kümülatif kırılma fonksiyonlarından elde edilen model parametreleri parça boyut dağılımını ifade etmektedir. Bu parametreler ise Çizelge 3 ve Çizelge 4'te verilmiştir.



Şekil 11. Farklı malzeme yükü için Amorf Silikanın kümülatif kırılma dağılım fonksiyonları



Şekil 12. Farklı bilya yükü için Amorf Silikanın kümülatif kırılma dağılım fonksiyonları

Çizelge 3. Amorf silikanın farklı malzeme yükü için model parametreleri

f_c %	S_1 -0.425+0.300 mm	α	a_T	γ	ϕ
5	1.739	1.47	3.83	0.73	0.39
10	1.101	1.28	2.93	0.64	0.31
15	0.772	0.97	1.85	0.54	0.29
20	0.654	1.02	1.28	0.51	0.27

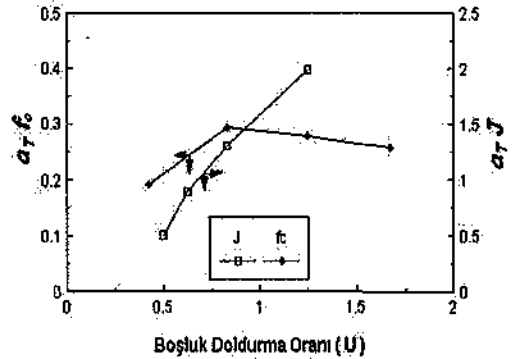
Çizelge 4. Amorf silikanın farklı bilya yükü için model parametreleri

J %	S_1 -0.425+0.300 mm	α	a_T	γ	ϕ
20	1.677	1.23	2.54	0.61	0.24
30	1.597	1.22	2.99	0.67	0.36
40	1.603	1.18	3.26	0.69	0.44
50	1.715	1.25	3.98	0.75	0.53

5. BOŞLUK DOLDURMA ORANI (U) İLE İLGİLİ İLİŞKİLER

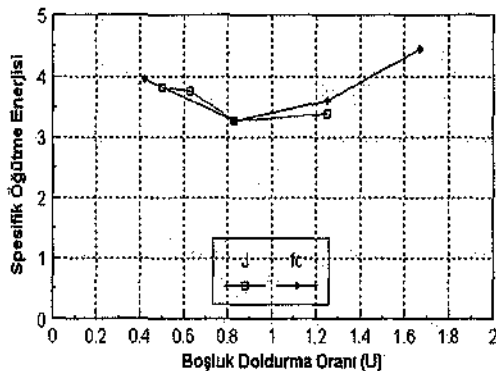
Boşluk doldurma oranı, hem bilya yükü (J) hem de malzeme yüküne (f_c) bağlı olması sebebiyle kapasite ve spesifik öğütme enerjisi ile ilişkilendirilmesi daha doğru sonuç vermesi açısından önemlidir.

Şekil 13'te a_{f_c} ve $a_T J$ karşı U arasındaki ilişki maksimum kapasite için verilmiştir. Şekil 13'ten de görüleceği üzere malzeme doluluk oranının (f_c) değişimine bağlı olan maksimum kapasite değeri Shoji ve arkadaşlarının (1982) belirttiği üzere $U=0.83$ olan değer ile aynı olmuştur. Fakat, bilya yük oranının (J) değişimine bağlı olan maksimum kapasite değeri U 'nun en fazla değeri içinde geçerli olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 13. Maksimum kapasite açısından a_{f_c} ve $a_T J$ ile U arasındaki ilişki

Şekil 14'te ise Austin ve arkadaşlarının (1984) ortaya koyduğu Eşitlik 1'den tespit edilmiş spesifik öğütme enerjisi ile U arasındaki ilişki hem f_c 'nin hem de J 'nin değişimine bağlı olarak verilmiştir.



Şekil 14. Spesifik öğütme enerjisi ile U arasındaki ilişki

Spesifik öğütme enerjisi açısından, malzeme doluluk oranı (f_c) için en uygun boşluk doldurma oranı 0.8–1.0 arasındadır. Bilya doluluk oranı (J) için ise 0.8–1.3 arasındadır.

6. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Dört farklı bilya ve malzeme yükünde Doğal Amorf Silika örneklerinin değişik sürelerde öğütülmesinde, lineer bir doğru vererek birinci derece kırılma kinetiği göstermişlerdir. Ayrıca, kümülatif kırılma dağılım fonksiyonların boyuttan bağımsız olduğu tespit edilmiştir.

S_i değerlerinin ya da a_T değerinin büyük olması, daha etkin bir kırılmanın olacağını ve orijinal parçanın daha çabuk alt boyuta indirgeneceğini anlamına gelmekte olup, elde edilen a_T değerlerine göre, bilya yükü arttıkça hızlı kırılma olacağı, fakat malzeme yükü arttıkça kırılma hızının azalacağı ortaya çıkmıştır.

ϕ değerinin artması en üst boyutların bir alt boyutta daha hızlı kırılacağını ifade etmektedir. Amorf silika örneklerinin ϕ değerlerine bakıldığında, malzeme yükünün artmasının en üst boyutlara etkisinin pek olmadığı ve malzeme yükü arttıkça üst boyutların kırılma hızı azalmaktadır, fakat bilya yükünün artması ile üst boyutların bir alt boyuta daha hızlı kırılacağını görmekteyiz.

γ değerinin büyük olması, ince malzeme miktarının az olduğunu gösterir. Doğal Amorf Silika

örneğinde, γ değerine bakıldığında malzeme yükü arttıkça γ değerinin arttığı, yani malzeme-malzeme sürtünmesi arttığından ince ürün oranında artma olacağı gözükmiştir. Bilya yükünün artması ile γ değerinin çok az bir şekilde arttığı ve ince ürün oranındaki azalışın etkisi az olduğu gözükmektedir.

Maksimum kapasite açısından malzeme doluluk oranı (f_c) için en iyi boşluk doldurma oranı için 0.83 olarak tespit edilirken. Bilya doluluk oranı (J) için 1.5'in üzerine kadar çıkabileceği tespit edilmiştir.

Spesifik öğütme enerjisi açısından bakıldığında ise her iki durum için boşluk doldurma oranının $U=0.8-1.2$ arasında olması yeterli olacağı kabul edilmiştir.

Bu çalışmada göstermiştir ki, öğütme işlemlerindeki enerji maliyeti göz önüne alındığında, her örnek için deneysel verilerin iyi bir şekilde ortaya konması gerekliliği kabul edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Anderson, D., Roy, A., Seals, R.K., Cartledge, F.K., Akhter H. and Jones S.C. 2002, *A Preliminary Assessment of the Use of an Amorphous Silica Residual as a Supplementary Cemetery Cementing Material*, Cement and Concrete Research, Vol.30., 473-445.
- Austin, L.G. 1972, *A Review Introduction to the Description of Grinding as a Rate Process*, Powder Technology, Vol.5, 1-7.
- Austin, L.G. and Luckie, P.T. 1972, *Methods for Determination of Breakage Distribution Parameters*, Powder Technology, Vol.5, 215-222.
- Austin, L.G., Bagga, P. and Çelik, M. 1981, *Breakage properties of some materials in a laboratory ball mill*, Powder Technology, Vol. 28, 235-241.
- Austin, L.G., Klimpel, R.R. and Luckie, P.T. 1984, *Process Engineering of Size Reduction: Ball Milling*, A.I.M.E., S.M.E., New York, USA.

- Deniz, V. and Onur, T. 2002, *Investigation of the Breakage Kinetic of Pumice Samples as Dependent on Powder Filling in a Ball Mill*, Int. J. of Min. Processing, Vol.67, 71-78.
- Deniz, V., 2003, *A Study on the Specific Rate of Breakage of Cement Materials in a Laboratory Ball Mill*, Cement and Concentrate Research, Vol.33, 439-445.
- Deniz, V., Sütçü, N. and Umucu, Y. 2003, *The Effect of Circulating Load and Test Sieve Size on The Bond Work Index Based on Natural Amorphous Silica*, 18th International Mining Congress and Exhibition of Turkey, Chamber of Mining Engineers/Turkey, 517-522.
- Fragoulis, D., Stamatakis, M., Papageorgiou, D., Pentefenyi, L. and Csirik, G., 2002, *Diatomaceous Earth as a Cement Additive - A Case Study of Deposits from North-Eastern Hungary and Milos Island, Greece*, ZKG International, Vol.55, 80-85.
- Fuerstenau, D.W., Lutch, J.J. and De, A. 1999, *The Effect of Ball Size on The Energy Efficiency of Hybrid-Pressure Roll Mill/Ball Mill Grinding*, Powder Technology, Vol.105, 199-204.
- Lynch, A.J. 1977, *Mineral Crushing and Grinding Circuits: Their Simulation, Optimisation, Design and Control*, Elsevier, New York, USA.
- Shoji, K., Losrasb, S. And Austin, L.G., 1980. *The Variation of Breakage Parameters With Ball and Powder Loading in Dry Ball Milling*, Powder Technology, Vol. 25, 109- 114.
- Shoji, K., Austin, L.G., Smalia, F., Brame, K., Luckie, P.T., 1982. *Further Studies of Ball and Powder Filling Effects in Ball Milling*, Powder Technology, Vol. 31, 121- 126.

Karaman ve Civarı Pomza Oluşumlarının Hafif Beton Sektöründe Agregası Olarak Yeri ve Önemi

N. Şapcı & L. Gündüz

Süleyman Demirel Üniversitesi, Pomza Araştırma ve Uygulama Merkezi, Isparta

M. Ulusoy

Selçuk Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, Konya

ÖZET: Pomza taşının farklı endüstri alanlarında kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Bu malzemeler, genellikle inşaat yapı sektöründe, hafif yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Ancak, kimyasal bileşimleri ve yapısal oluşum özellikleri itibarıyla, kullanım alanları da genişlemektedir. Bu bildiride, Karaman ve civarında oluşumu bulunan pomza örnekleri üzerinde yapılan bir araştırmanın bulgularına göre, inşaat sektöründe bu malzemelerin yapı hammaddesi olarak kullanılabilirliği için bilinmesi gereken teknik özellikler verilmiştir. Ayrıca, bu pomza agreganın, diğer pomza agregası türleri ile teknik olarak karşılaştırmaları da tartışılmıştır.

ABSTRACT: The usage of lightweight pumice aggregate shows a gradually rising trend in different industrial areas. In majority, they are used as a lightweight building material in civil structuring sector. However, their usage areas are getting world wide based on their chemical components and also structural formation status. In this paper, according to the research findings carried out on the pumice material of Karaman Region, the technical properties required to know for using the aggregates as a structural raw material in building construction industry were presented in detail and their comparison with the other types of pumice aggregates on a technical aspect was also discussed.

1. GİRİŞ

Beton sektöründe hafif agregası kullanımının önemi, ülkemizde yaşanan elim deprem olayları sonucu daha da iyi anlaşılmalı başlanmış, çoğu beton üreticisi hafif ve doğal malzemelerin beton endüstrisinde farklı amaçlarla kullanımı üzerine ArGe çalışmalarına başlamıştır. Ülkemizde hafif ve doğal agregası olarak kullanılacak malzemeler arasında, farklı yörelerde bulunan pomza oluşumları, volkanik cüruf oluşumları; diatomit ve perlit oluşumlarını sayabilmek mümkündür. Ancak, bu doğal yapıya sahip kayaların, mühendislik açısından ve endüstriyel anlamda bir dizi özellikleri sağlaması gerekmektedir. Bu bakımdan, ilgili TS ve ASTM standartlarında öngörülen prensipler çerçevesinde, bu tür malzemeler üzerinde bir seri deneysel analiz çalışmaları yapılarak, sektörel olarak kullanılabilirlik kriterlerinin tanımlanması ve yorumlanması gerekmektedir.

Ülkemizde İç Anadolu Bölgesi, Karaman ve civarında geniş oluşum dağılımları gözlenen pomza serilerinin, beton endüstrisinde hafif agregası olarak değerlendirilebilirliği, yukarıda söz konusu edilen bağlamda analizleri yapılarak, güncel olarak kullanıla gelmiş ve diğer yörelere ait pomza oluşumları ile teknik açıdan karşılaştırması, hafif agregası sektörü açısından bir ışık tutacaktır. Bu amaçla, Süleyman Demirel Üniversitesi, Pomza Araştırma ve Uygulama Merkezi ve sektör işbirliğinde, bu yöre pomza oluşumları üzerinde hafif agregası olarak değerlendirilebilirliğine ilişkin bir dizi inceleme ve araştırma çalışması yapılmıştır. Bu incelemelerde, Karaman ve civarındaki pomza oluşumlarından alınan örnekler PKRI ve PKRII olarak etiketlenmiştir. Ayrıca, bu malzemenin diğer yörelerin pomza örnekleri ile mukayesesinin yapılabilmesi amacıyla, Nevşehir Bölgesinden alınan pomza agregası örnekleri lokasyonlarına göre PNI ve PNII, Kayseri Bölgesinden alınan pomza agregası örnekleri lokasyonlarına göre PKI ve PKII,

İsparta Bölgesinden alınan pomza agrega örnekleri lokasyonlarına göre de PISI ve PISII olarak kodlanmıştır. Günümüzde, Karaman ve civarındaki pomza oluşumları, hafif yapı elemanı olarak blok endüstrisinde ve hafif agrega olarak sektörel bazda kullanılmaktadır. Ancak, bu pomza oluşumunun, pomza türü ve malzeme karakteristiği açısından, güncel olarak sektörde kullanılan diğer pomza agregaları karşılaştırılması üzerine teknik detay bir çalışmaya rastlamak yeterince mümkün değildir. Bu makalede, Karaman ve civarındaki pomza oluşumlarının diğer pomza türleri ile teknik mukayesesi, yapılan bir dizi deneysel bulgulara göre irdelenmiştir.

2. KARAMAN ve CİVARI POMZA AGREGASI

Agrega örneklerinin makroskopik özellikleri üzerine yapılan incelemelerde, süngerimsi ve boşluklar içeren bir yapıda olduğu gözlenmiştir. Agregatanelerinde, yüksek oranda görülen gözeneklerin bir kısmının açık gözenek, bir kısmının da kapalı gözenek karakterli olduğu gözlenmiştir.

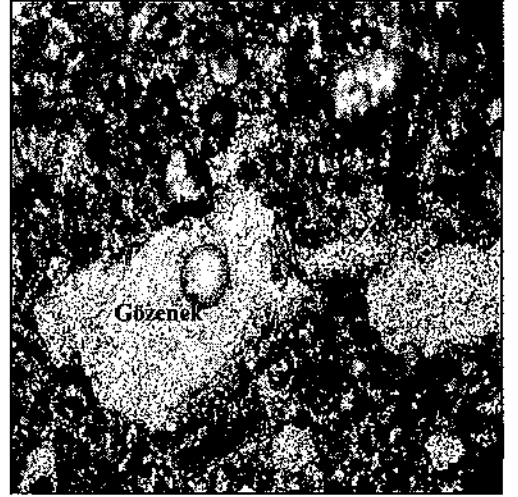
Mikroskopik olarak yapılan incelemelerde ise, agrega yapısının volkanik cam matriksinden oluştuğu belirlenmiştir. Kayaç oldukça poroz bir yapıya sahip olup, matriks içerisindeki boşlukların dağılımı genel olarak homojenlik göstermektedir. Boşlukların boyutları çoğunlukla küçük-orta boyutlu, yer yerde iri boyutlu boşluklar da görülebilmektedir (Şekil 1). Kayaç içerisindeki boşluklar belirli bir şekle sahip olmayıp, özellikle iri boyuttaki boşluklar şekilsiz ve belirli bir yönelme göstermektedirler. Bu yönelme aynı yönde uzunlamasına gelişmiş bir dizilim şeklindedir. Boşluklar genellikle birbirleriyle bağlantısız olup, birbirlerine komşu boşluklar yine birbirlerinden çok ince bir cidarla ayrılmışlardır (Şekil 2). Matriks içerisinde, tanımlanabilecek ölçekte bir akma ve zonlanma yapısı bulunmamaktadır.

Kayaç içerisinde kristaller de bulunmaktadır. Çoğunluğu amfibol olmak üzere, piroksen, biyotit, plajyoklastlar ve opak mineraller gözlenmektedir. Kesitin bazı kısımlarında Amfibol kristallerinin kenar ve dilinimleri boyunca opaklaşmaların olduğu gözlenmektedir (Şekil 3). Opak mineraller kayaç içerisinde az miktarda, öz şekilsiz ve küçük

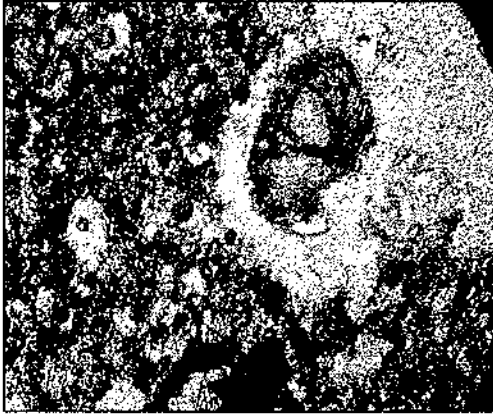
boyutlu mineraller şeklindedir. Bu yapısal olgu, pomza agregalarında genelde görülen yapısal durumu temsil etmektedir (Şekil 4). Bu açıdan irdelendiğinde, PKRI ve PKRII agrega örneklerinin, dasitik özellik gösteren bir kayaç yapısında olduğu gözlenmiştir.



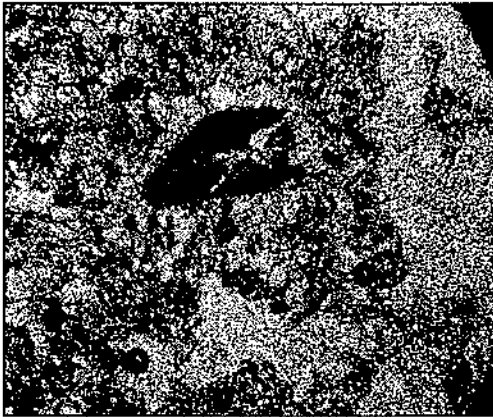
Şekil 1. PKRI agrega örneğinin poroz yapısının görünümü.



Şekil 2. PKRI agrega örneğinin boşluk geometrisi görünümü.



Şekil 3. PKRI agrega örneğinde bulunan minerallerin görünümü.



Şekil 4. PKRI agrega örneğinde bulunan opak mineraller.

3. KARAMAN BÖLGESİ-DİĞER YÖRE POMZA OLUŞUMLARININ TEKNİK KAPASİTELERİ VE MUKAYESESİ

İnşaat sektöründe agrega olarak kullanılacak pomza oluşumlarının detay olarak irdelenebilmesi amacıyla, öncelikle kayaç yapısının oluşum mekanizması açısından etüt edilmesi gereklidir. Kayaçlar oluşum şekillerine bağlı olarak, farklı karakteristik birer yapı gösterebilmekte ve buna bağlı olarak da, kullanım yeri ve özellikleri de farklı olabilmektedir (Gündüz, 2001). Birçok araştırmacı tarafından yapılan etütlerde, kayaçlar

farklı şekillerde sınıflandırılabilir (Uz, 1987, Gass et.al., 1973). Pomza oluşumlarının nitelik olarak irdelenmesinde en yaygın olarak kullanılan, kimyasal sınıflama şeklidir. Bu sınıflandırma, kayaçın kimyasal yöntemlerle analizi sonucu elde edilen elementlere dayanarak yapılmaktadır. Kayaçın kimyasal bileşimine dayanarak, oluşum (jenerik) ve magma özellikleri, kayaç serilerini tanımlamaya yaramaktadır. Bu sınıflandırma, kayaçın yapı, doku ve direkt olarak mineralojik bileşimi hakkında bilgi vermez, ancak, bazı yardımcı yöntemlerle mineralojik bileşimi saptanabilir (Uz, 1987).

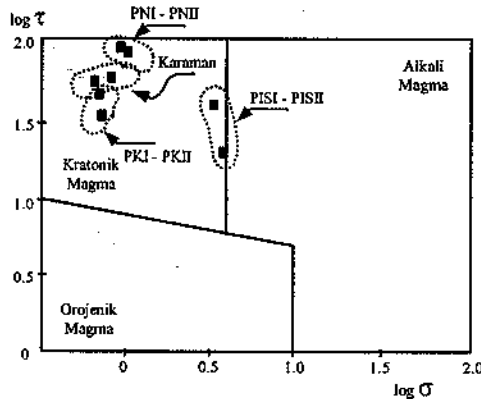
Türkiye'deki farklı yörelere ait ve endüstriyel olarak kullanılan pomza taşı oluşumlarının majör element analiz değerleri Çizelge 1'de verilmiştir. Pomza taşının kimyasal özelliklerinin oluşumunda en etkin majör element SiO_2 olup, agrega kompozisyonun asidik ve/veya bazik karakteristik gösterdiğini sembolize etmektedir. Kayaçın içerdiği SiO_2 oranı, kayaca asidik özellik kazandırdığı gibi, ayrıca abrasif özellik de kazandırmaktadır. Bu nedenle, çeliği rahatlıkla aşındırabilecek bir kimyasal yapı sergileyebilmektedir. Al_2O_3 majör bileşimi ise, ateşe ve ısıya yüksek dayanım özelliği kazandırır. İnşaat sektörü açısından bakıldığında, hafif agrega olarak kullanılacak pomza taşının asidik karakterde olması ve Fe_2O_3 oranının düşük, bunun tersine Al_2O_3 oranında yüksek olması arzu edilmektedir. Bu açıdan Çizelge 1 irdelendiğinde, diğer yöre pomza örneklerinde olduğu gibi, Karaman pomza oluşumları da asidik özellik gösteren bir malzeme yapısında olduğu ve inşaat sektörü açısından arzu edilen kimyasal bileşimleri sağladığı gözlenmektedir.

İnşaat sektöründe hafif agrega olarak kullanılacak pomza agregaların genellikle kratonik bir magma ürünü olan kayaçlar çoğunlukla tercih edilmektedir. Çimento ile bağ yapma kuvvetleri, kratonik magma ürünü agregalarda daha yüksek olduğu tecrübe edilmiştir. Bu bakımdan, pomza agregaların endüstriyel olarak kullanımında, orijinini bilmek önemli bir noktadır. Ayrıca, malzemenin yapısını oluşturan kimyasal bileşenlerine göre orijini tanımlayabilmek de mümkündür. Pomza kayacı, volkanik bir aktivite sonrası meydana geldiği için orijin tanımı, magmanın oluşum şekline göre yapılabilir.

Çizelge 1. Pomza agregası örneklerinin kimyasal bileşimi.

Pomza Agregası	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	MgO	K ₂ O	CaO	TiO ₂	A.K.
PNI	72.00	12.75	1.30	3.90	0.20	4.30	0.70	0.08	4.20
PNII	70.50	13.00	1.20	3.75	0.20	4.55	1.35	0.09	5.25
PKI	66.80	14.75	2.85	3.95	0.80	2.75	2.95	0.33	4.15
PKII	68.50	14.90	3.10	4.10	0.95	2.75	2.90	0.24	2.30
PISI	59.00	16.60	4.80	5.20	1.80	5.40	1.80	0.60	1.60
PISII	61.00	16.90	2.40	5.40	0.70	5.30	3.40	0.30	4.00
PKRI	69.80	13.80	2.00	3.50	0.40	4.00	1.40	0.18	4.00
PKRII	64.30	15.20	3.70	3.30	0.80	2.80	4.00	0.22	3.30

Ritmann'ın 1976'da magmanın oluşum ve kimyasal bileşimine göre geliştirdiği ve önerdiği sınıflama sistemi esas alınarak, pomza kayacı orijinlerine göre tanımlanmış olup (Eşitlik 1 - Eşitlik 2), değerlendirme bulgusu Şekil 5'de verilmiştir. Şekil 5'den de görüldüğü gibi, kayacı oluşturan magma; *Kratonik*, *Orejenik* ve *Alkali* magma olmak üzere 3 ana grupta ele alınmıştır. Karaman pomza oluşumları da Türkiye'deki diğer yöre pomzalarında görüldüğü gibi, *kratonik* magma orijinli bir kayacın yapısına sahiptir. Bu açıdan, inşaat sektöründe arzu edilen *kratonik* magma orijinli malzemeler kategorisinde yer almaktadır.



Şekil 5. Pomza oluşumlarının orijinlerinin irdelenmesi.

$$\sigma = \frac{(Na_2O + K_2O)^2}{SiO_2 - 43} \quad [1]$$

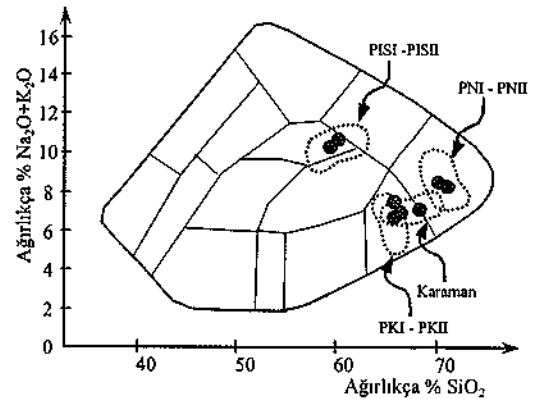
$$\tau = \frac{Al_2O_3 - Na_2O}{TiO_2} \quad [2]$$

Burada;

σ : silika, sodyum ve potasyuma göre kimyasal bileşen, %,

τ : Alüminyum, sodyum ve titanyuma göre kimyasal bileşen, %

Yapısal olarak kayaların irdelenmesinde mukayese kriteri olarak kullanılabilen bir diğer inceleme ise, petrokimyasal açıdan kayaların tanımlanmasıdır. Kayacın silika ve alkali içeriklerine göre yapılan bir sınıflama sistemi, çoğu araştırmacılar tarafından günümüze değin kullanıla gelmiştir. İnşaat sektöründe, hafif agregası olarak günümüze kadar kullanıla gelmiş pomza agregası örneklerinin, riolit, dasit ve traki-andezit yapıda olduğu tecrübe edilmiştir. Bu açıdan, Karaman ve civarı pomza örneklerinin, bu değerlendirme açısından hangi kayacın kategorisinde yer aldığı analiz edilmiştir. Bu analiz bulgusu ve pomza agregası örneklerinin bu sınıflama sistemine göre yapılan değerlendirmesi Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Silika ve alkali içeriklerine göre pomza oluşumlarının mukayesesi.

Şekil 6 irdelendiğinde görüldüğü gibi, pomza oluşumlarından PNI ve PNII türü, Riyolit kökenli bir malzeme yapısında, PKI ve PKII türü, Dasitik kökenli bir malzeme yapısında ve PISI ve PISII türü ise Traki-Andezitik yapıda olduğu görülmektedir. Karaman pomza oluşumları (PKRI ve PKRII) ise Dasitik yapıda olduğu görülmekte olup, pomza kayaçları için genelde görülen yapısal oluşumlardan farklı bir karakter sergilemediği gözlenmektedir.

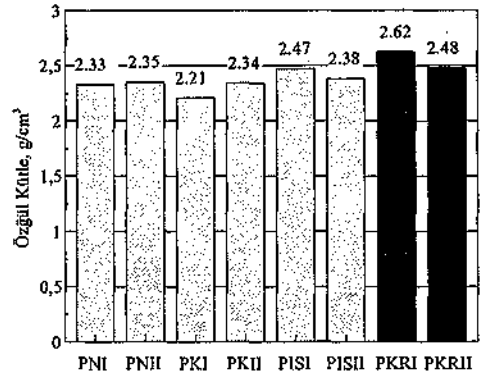
Pomza taşının endüstriyel alanlarda hammadde olarak kullanılabilirliğinin etüdü için, kayacın yapısal özelliklerinin yanı sıra, fiziksel özelliklerinin de bilinmesi gerekmektedir. Genelde, fiziksel büyüklükler olarak malzemede endüstriyel anlamda aranan özelliklerin başında özgül ağırlık, kuru birim ağırlık, su emme kapasitesi, gözeneklilik dağılımı ve karakteristiği, donmaya karşı dayanım, kapilarite (kulcal su nüfuz katsayısı), ateşe dayanıklılık ve sıcaklık etkisinde değişim, ısı iletkenlik analizi, akustik özellikler ve ses yutuculuk değerleri gibi özellikleri gelmektedir (Şener, 1999). Araştırmada ele alınan her bir pomza türü için bu özellikler deneysel olarak belirlenmiş olup, özellikle Karaman pomza oluşumlarının, diğer pomza türlerine göre mukayesesi aşağıdaki alt bölümlerde irdelenmiştir.

3.1. Özgül Ağırlık ve Kuru Birim Ağırlık Analizi

Özgül birim ağırlık, agregata tanelerinin işgal ettiği gerçek birim hacimdeki ağırlık değeri olarak tanımlanmakta (Eriç, 1994) ve TS 3526'da belirtilen esaslara göre deneysel olarak belirlenebilmektedir. Hafif agregata olarak kullanılacak pomza agregaların özgül birim ağırlık değerlerinin minimum 2.1g/cm^3 olması arzu edilmektedir. Karaman pomza örneklerinin özgül birim ağırlık açısından diğer pomza örnekleri ile mukayesesi Şekil 7'de verilmiştir.

Agreganın kuru birim ağırlığı ise, belirli bir hacmi dolduran agregata tanelerinin oluşturduğu ağırlık olarak tanımlanmakta olup, TS 3529 ve DIN 4226'da belirtilen esaslara göre analiz edilebilmektedir. Agreganın kuru birim hacim ağırlığı, bu malzemeden elde edilecek endüstriyel ürünlerin teknik kapasitelerine doğrudan etki etmektedir. Örneğin, agreganın kuru birim hacim ağırlığının yüksek olması, bu malzeme ile üretilen beton veya beton türevi elemanların

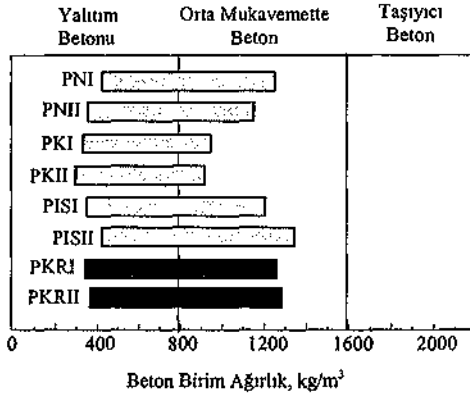
dayanımını iyileştirirken, bu ürünün ısı özelliklerinin de dezavantajlı bir duruma gelmesine neden olmaktadır. Bu tarz etkileşimler, agregaların elde edilecek ürün bağlamında teknik-deneysel olarak detaylı analizlerini gerektirmektedir. Pomza örneklerinin hafif agregata olarak değerlendirilebilirliğinde, agregata tane boyutlarına göre kuru birim hacim ağırlık değerinin $300\text{--}1200\text{ kg/m}^3$ arasında olması tecrübe edinilmiştir. Ayrıca, agregata olarak malzemenin birim ağırlık değerlerini bilmek, ön planlama aşamasında endüstriyel anlamda yorum yapılabilmesine de olanak sağlamaktadır. Bu bakımdan, Karaman pomza agregata örneklerinin diğer pomza agregatları ile mukayesesi Çizelge 2'de verilmiştir. Çizelge 2'den de görüldüğü gibi, PKRI ve PKRII pomza agregata örneklerinin birim ağırlık değerlerine göre, istenilen limit değerleri sağladığı belirlenmiştir. Ayrıca, aynı kayaç kökenine sahip olmalarına karşın, PKRI ve PKRII agregata örnekleri, PKI ve PKII pomza agregata örneklerinden %57 oranında daha ağır bir malzeme olduğu da görülmektedir.



Şekil 7. Pomza örneklerinin özgül birim ağırlık analizi.

Pomza agregata kullanımlarına göre elde edilebilecek betonların birim ağırlık ve dayanım değerleri üzerine yapılan inceleme bulgularına göre, agregata boyutu, türü ve birim ağırlığı ile beton teknik özellikleri arasında önemli bir ilişki bulunmaktadır. Pomza agregatlı betonların, birim ağırlık ve dayanım değişimleri karşılaştırmalı olarak Şekil 8'de verilmiş olup, Karaman pomzasının bu kategoriye yeri de ayrıca gösterilmiş olup, yapısal olmayan ve yalıtım betonu amaçlı yada orta

mukavemette beton elde etmek için kullanılabilecek bir agrega karakteristiğinde olduğu görülmüştür.



Şekil 8. Pomza agregalarla üretilen betonların özellikleri.

3.2. Su Emme Kapasite Analizi

Gözenekli agregaların su emme kapasiteleri, su emme hızları ve içinde bulundurduğu nem yüzdesi, birçok endüstri alanında malzemelerin kullanılabilirlik kriterlerini oluşturmaktadır. Ayrıca, agrega tanelerinin kompasitesi, doluluk oranı, açık ve/veya kapalı gözenek dağılım oranı ve doyma derecesi, malzemenin su emme kapasitesine etki eden başlıca faktörlerdir. Bu faktörler, agreganın birim hacim ağırlık ve özgül ağırlık değerlerine bağımlı olarak tanımlanabilmektedir. Hafif betonun gözeneklerinde tutulan su, betonun genel olarak mekanik ve termik özelliklerini olumsuz yönde etkilediği için, betonun hiç su emmemesi yada minimum ölçülerde su emmesi arzu edilir. Bu nedenle, betonda kullanılacak agreganın, düşük su emme oranına sahip olması gerekmektedir. Betonu oluşturan gözenekli agregaların su emme kapasitesi, gözenek oranlarına ve gözenek yapılarına bağlıdır (Gündüz, 2001). Agregaların su emme oranları

dökme birim ağırlıklarının bir fonksiyonu olarak gösterilebilmektedir. Pomza agrega örneklerinin su emme kapasite değerleri, ASTM C-127/42 ve C-128/57 standartlarında belirtilen esaslara göre analiz edilmiş olup, teknik bulgular Çizelge 3'de verilmiştir. Çizelge 3 irdelendiğinde, PKRİ ve PKRİİ pomza agregalarının, diğer tür pomza agregalarına göre en düşük su emme kapasitesine sahip pomza agregaları olarak görülmektedir. Bu da, bu pomzanın teknik açıdan oldukça dikkat çekici bir malzeme karakteristiğini de gündeme getirmektedir.

3.3. Rötne

Betonlar döküldükten sonra sertleşmelerini tamamlayıncaya kadar mm/m düzeyinde boyutları küçülür. Bu olguya rötne adı verilmektedir. Çekme hızı ve miktarı farklı olan malzemelerin, yapıda birlikte kullanılması, çatlama ve sıva dökülmelerine neden olabilmektedir.

Betonlarda rötrenin büyüklüğü, agregaların mekanik dayanımları ve inceliği, betondaki çimento dozajı ile doğrudan ilgilidir. Pomza agregalar ile elde edilen betonların genel olarak görülen rötne değerleri, Çizelge 4'de verilmiştir.

3.4. Dona Dayanıklılık

Dış ortam şartlarına maruz kalacak agrega kullanımlarında, örneğin beton uygulamalarında, agreganın boşlukları kısmen suya doygun durumda iken sık sık donma-çözülme olayı etkisine maruz kalmaktadır. Bu nedenle de, agreganın bünyesinde kırılmalar ve kılcal çatlaklar meydana gelebilmektedir. Bu olgu, farklı kimyasal çözeltiler yardımıyla, agrega malzemesinin dayanıklılığı test edilebilmektedir (Özer, 1982). Genelde uygulanan çözelti, sodyum sülfat veya magnezyum sülfat çözeltisi olmaktadır.

Çizelge 2. Pomza agrega örneklerinin birim ağırlık analizi.

Pomza Agrega Boyutu	Pomza Türü KBHA, (kg/m ³)							
	PNİ	PNİİ	PKİ	PKİİ	PİSİ	PİSİİ	PKRİ	PKRİİ
0-4 mm	830±5	748±5	550±5	580±3	950±5	860±4	825±5	804±5
4-8 mm	594±5	561±5	382±5	410±3	740±5	610±4	715±5	690±5
8-16 mm	502±5	516±5	330±5	355±3	635±5	380±4	595±5	580±5

Çizelge 3. Pomza agrega örneklerinin su emme ve gözenek analizi.

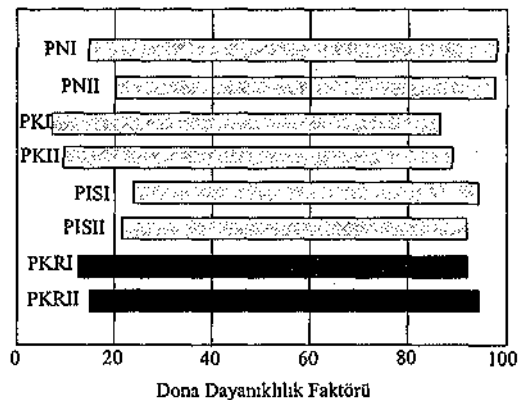
	Boyut	PNI	PNII	PKI	PKII	PISI	PISII	PKRI	PKRII
Su Emme	0-4 mm	22.75	26.20	30.42	28.33	11.08	12.18	9.15	9.91
Oranı	4-8 mm	33.58	35.40	43.61	41.18	15.43	18.76	14.12	14.93
(%)	8-16 mm	39.34	40.30	48.77	46.42	23.37	25.44	19.64	19.81
Açık Gözenek	0-4 mm	23.37	17.83	38.41	35.52	22.41	13.64	7.18	5.94
Oranı	4-8 mm	24.00	22.78	44.67	42.84	29.22	17.86	18.42	15.93
(%)	8-16 mm	30.09	26.76	51.20	48.93	31.33	24.80	23.35	20.35
Kapalı Gözenek	0-4 mm	41.13	50.04	36.51	37.04	47.81	48.13	57.70	61.60
Oranı	4-8 mm	50.47	53.11	38.01	35.99	47.05	45.22	51.17	56.61
(%)	8-16 mm	48.34	51.04	33.80	32.59	47.58	41.84	49.01	56.23
Doluluk	0-4 mm	35.50	31.89	25.08	27.44	29.78	38.23	35.12	32.46
Oranı	4-8 mm	25.53	24.11	17.32	21.17	23.73	36.92	30.41	27.86
(%)	8-16 mm	21.57	22.20	15.00	18.48	21.09	33.36	27.64	23.42

TS 3655 standardında öngörülen *havada donma* veya *kimyasal metotla donma analizi* prensipleri uygulandığında, agregada ağırlık kaybı, havada donmada %4'den fazla, kimyasal metodun uygulanması durumunda sodyum sülfat çözelti uygulamasında %18'den, magnezyum sülfat uygulamasında ise %27'den fazla ağırlık kaybı olmaması arzu edilmektedir. Pomza agregalar için sodyum sülfat çözeltisi etkisindeki ağırlık kaybı değişimleri Çizelge 5'de verilmiştir.

Bu parametrik değerler, pomza agregaların donma-çözülme olgusu sonucu herhangi bir bozunuma uğramadığını göstermekte olup, atmosfer ortamlarına yüksek dayanım özelliği taşımaktadır.

İnşaat sektörü açısından pomza agregaların irdelemesinde kullanılması gerekli bir diğer faktör ise, pomza agrega ile yapılmış betonun *dona dayanım faktörüdür*. Betonun içinde donan suyun meydana getirdiği iç basınç, betonda çatlaklar oluşmasına veya betonun tamamen dağılmasına neden olabilmektedir. Betonların donma ve çözölmeye karşı dayanımlarını arttırmanın en etkili yöntemi, suyun beton içine girmesini önlemektir. Bu konu üzerine yapılan deneysel bulgular ışığında ve literatür taramalarında, beton türlerinin çoğunun farklı karakteristikler gösterdiği belirlenmiş olup, dona karşı dayanımı tanımlayabilmek için geliştirilen, teorik dayanım faktörü tanımlamaları ile beton türleri arasında bir kıyaslama yapabilmek

mümkün olabilmektedir. Pomza agregalar ile elde edilen betonların, don sonrası durumlarını analiz edebilmek için, dona karşı dayanım faktörü tanımlaması yapılmıştır. Bu faktör, betonun dona maruz kalmadan önceki dayanım ve birim hacim ağırlık değeri ile don sonrası basınç dayanım ve birim hacim ağırlık değeri arasındaki değişime bağlı bir faktör olup, pomza agregalı beton için elde edilen değerleri, Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9. Pomza agregalı betonların dona dayanıklılık faktörü.

Çizelge 4. Pomza agregalı betonların rötre değerleri.

	PNI	PNII	PKI	PKII	PISI	PISII	PKRI	PKRII
Rötre (mm/m)	0.03	0.08	0.04	0.07	0.05	0.08	0.04	0.06

Çizelge 5. Pomza agregaların dona dayanıklılık değişimleri.

	PNI	PNII	PKI	PKII	PISI	PISII	PKRI	PKRII
Dona Dayanım, %	0.92	1.72	2.19	2.83	3.45	2.11	1.03	1.67

Şekil 9 irdelendiğinde görüldüğü gibi, PKRI ve PKRII pomza agregası örneklerinin dona dayanım değerlerinin oldukça iyi değerlerde olduğu görülmektedir.

3.5. Kapilarite (Kılcal Su Nüfuz Katsayısı)

Özellikle zemin suyu etkileşimine maruz kalan yapı bölümlerinde yer alan betonların, kapilarite özelliği önemli bir teknik parametredir. Bu parametre, betonda kullanılan gözenekli agregalarda yüksek değerlere ulaşabilmekte olup, agreganın gözeneklilik oranı ve gözeneklerin birbiri ile bağlantılı olup olmama durumunun bir fonksiyonu şeklinde değişim göstermektedir. Agregası bünyesindeki kılcal su hattının ilerlemesi zamana bağlı olarak tespit edildiğinde, agreganın gözeneklilik durumu ve yapısal özelliğine bağlı olarak, bu hareketin belli bir katsayıya göre gerçekleştiği görülmektedir. Bu bakımdan, pomza agregaları, yapısal özellikleri gereği yüksek gözenekliliğe sahip olmaları nedeniyle, her bir agregası türünün kapilarite katsayısı teknik olarak irdelenmiştir. Doğal ortam koşullarında yapılan test bulgularına göre, pomza agregalarının kapilarite özellikleri Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 6 irdelendiğinde, PKRI ve PKRII pomza agregalarının kapilarite değerleri, diğer pomza agregası örneklerinin kapilarite değerleri ile hemen eşdeğer olduğu görülmektedir.

Çizelge 6. Pomza agregaların kılcal su emme kapasite değerleri.

	PNI	PNII	PKI	PKII	PISI	PISII	PKRI	PKRII
Kapilarite (m/h $1/2 \cdot 10^{-3}$)	20-21	24-26	25-28	32-35	19-21	16-19	23-25	22-26

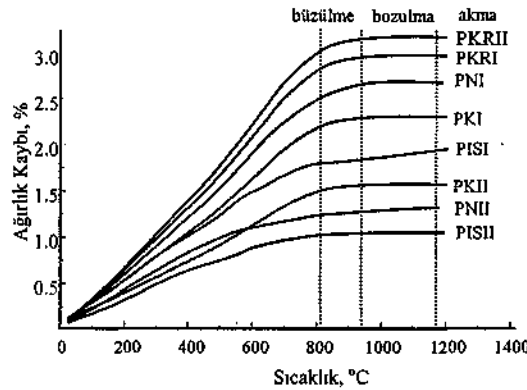
3.6. Ateşe Dayanıklılık - Sıcaklık Etkisi Analizi

Pomza agregası örnekleri üzerinde 20°C – 1250°C arasında yapılan ısıtma işlemlere dayanım analizlerinde, malzemenin farklı sıcaklıklardaki davranış karakteristiği deneysel olarak irdelenmiş olup, ısıtma işlemlere dayanım analiz bulguları Çizelge 7'de verilmiştir.

Çizelge 7 irdelendiğinde, PKRI ve PKRII pomza agregalarının yapısal bozunma ve ergime dereceleri, riyolit kökenli olan pomza agregası örneklerinin değerlerine eşdeğer olduğu görülmektedir. Ayrıca, yapılan bu analizlerde, agregası örneklerinin normal oda sıcaklığından itibaren akma noktasına kadar, sıcaklık değişimindeki karakteristik özellikleri, birim sıcaklık farklılaşmaları için incelenmiştir. Burada, belirli sıcaklık değişimlerinde agregası boyutunda bozulma ölçüsü ve kütle kaybı ilişkisi parametrik olarak irdelenmiştir. Analizlerde, her bir sıcaklık artma adımıyla agregası örneklerinin kütle kaybı, 0.0001 gr hassasiyetle ölçülmüş ve sıcaklığa bağımlı bir kütle kaybı değişim katsayısı tanımlaması araştırılmıştır. Bu parametrenin sıcaklık artma değeri ile ters orantılı olarak değiştiği gözlenmiştir. Pomza agregası örneklerine ait sıcaklığa bağımlı değişim karakteristiklikleri Şekil 10'da verilmiştir.

Çizelge 7. Pomza agregaların ısı işlemlere dayanım analizi.

	PNİ	PNII	PKI	PKII	PISI	PISII	PKRI	PKRII
Yapısal bozulma (°C)	940	935	820	825	820	845	940	935
Ergime Noktası (°C)	1240	1235	1205	1210	1190	1205	1235	1230



Şekil 10. Pomza agregaların sıcaklık-ağırlık kaybı ilişkisi.

3.7. Isı İletkenlik

Yapı sektöründe hammadde olarak değerlendirilen hafif agregalar, birim ağırlıklarının düşük olması sebebiyle, ısı yalıtım amaçlı termik özellikleri, ısısal konforu sağlayacak kompozisyona sahip malzemeler olarak da değerlendirilmektedir. Bu bakımdan, ısısal konfor hesaplaması yapılması gerektiği durumlarda, yapı elemanı eldesinde hammadde olarak kullanılan agrega türüne ait ısı özelliklerinden ısı geçirgenlik katsayı değeri, (λ , kcal/mh°C), ısı direnç değeri, (R , m²h°C/kcal) ve özgül ısı değeri (c , kcal/kg °C) gibi parametrelerin belirlenmesi gerekmektedir. Özgül ısı kapasite değeri, herhangi bir kayacın ısı iletkenlik değerinin

belirlenmesi, ortam koşullarında ısınma ve soğuma olgusunun tanımlanması bakımından irdelenen bir parametredir (Gündüz, 2001). Agreganın özgül ısı kapasitesi, belirli bir sıcaklık ortamında, birim kütesinin sıcaklığını bir derece arttırmak için gerekli olan ısı miktarıdır. Özgül ısı kapasite, genelde "c" parametresi ile sembolize edilmekte olup, birimi ise kcal/kg°C'dir. Pomza agrega türlerinin özgül ısı kapasite değerleri, TS 4048 standardında öngörülen prensip çerçevesinde laboratuvar ortamında geliştirilen bir ölçüm düzeneği ile parametrik değerleri ölçülmüştür (Çizelge 8).

Cisimlerin ısı iletkenlik katsayısı, molekül ve gözenek yapısı ile gözeneklilik oranının bir fonksiyonu olarak tanımlanabilmektedir. Belli bir gözeneklilik oranına sahip cisimlerde, gözenek büyüklüğü etken bir faktör olup, gözenek yarıçapı ne kadar küçük ise ısı iletkenlik katsayısı da o kadar düşüktür (Gündüz, 2001). Bir cismin içinden ısı geçişi, moleküllerin ısı akımı yolu ile olmaktadır. Pomza agregalarının, tane boyutlarına bağlı olarak ısı iletkenlik katsayısı değişimi üzerine yapılan analiz bulguları Çizelge 9'da verilmiştir.

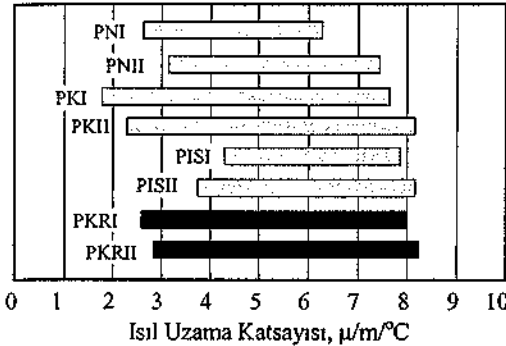
Teorik olarak ısınan cisimler uzar ve rötrede olduğu gibi değişik ısıl uzama katsayısına sahip malzemelerin, yapıda birlikte kullanılması çatlakların oluşmasına neden olabilmektedirler. Betonun donatıya yapışması ve sıva tutmasına da ısıl uzama katsayısı önemli bir rol oynamaktadır. Pomza agrega ile elde edilmiş betonların ısıl uzama katsayıları, yapılan incelemelerle belirlenmiş olup, karakteristik değerler Şekil 11'de verilmiştir.

Çizelge 8. Pomza agregaların özgül ısı kapasite değerleri.

	PNİ	PNII	PKI	PKII	PISI	PISII	PKRI	PKRII
Özgül Isı Kapasitesi (kcal / kg °C)	0.255	0.260	0.243	0.240	0.265	0.253	0.248	0.253

Çizelge 9. Pomza agregaların ısı iletkenlik katsayıları.

Agrega Boyutu	Isı İletkenlik katsayısı, (W/mK)							
	PNI	PNII	PKI	PKII	PISI	PISII	PKRI	PKRII
0-4 mm	0.173 ±5	0.184 ±5	0.132 ±5	0.138 ±5	0.195 ±3	0.187 ±3	0.141 ±6	0.147 ±6
4-8 mm	0.131 ±5	0.144 ±5	0.092 ±5	0.104 ±5	0.183 ±3	0.165 ±3	0.117 ±6	0.121 ±6
8-16 mm	0.112 ±5	0.121 ±5	0.082 ±5	0.096 ±5	0.146 ±3	0.134 ±3	0.093 ±6	0.104 ±6



Şekil 11. Pomza agregalı hafif betonların ısı uzama katsayılarındaki değişim.

Genel bir değerlendirme olarak, hafif agregalar ile elde edilmiş betonlarda, ısı uzama katsayısı yaklaşık 3-9 $\mu\text{m}/^\circ\text{C}$ arasında belirlenmiş olup, sıva tutma ve donatıya yapışma açısından önemli bir problem doğurmamaktadır (Gündüz, 2001). Bu olgu, özellikle Karaman ve civarındaki pomza oluşumlarından PKRI agregası örneği için 4-6 $\mu\text{m}/^\circ\text{C}$ ve PKRII agregası örneği için ise 4-7 $\mu\text{m}/^\circ\text{C}$ arasında bir değişim trendi gösterdiği belirlenmiştir.

Çizelge 10. Pomza agregaların akustik konfor parametreleri.

	PNI	PNII	PKI	PKII	PISI	PISII	PKRI	PKRII
Ses Geçiş Katsayısı	0.20	0.20	0.22	0.22	0.23	0.23	0.21	0.21
Ses Yutuculuk, dB	45-58	45-58	40-55	40-55	45-58	45-58	45-58	45-58

Çizelge 10 irdelendiğinde, diğer pomza agregalarında olduğu gibi, PKRI ve PKRII pomza agregaları ile yapılacak beton uygulamalarında, yapıda akustik konforun sağlanması için yeterli ses

Bu da, PKRI ve PKRII pomza agregalı yapı elemanlarının ısı değişimlerinden hemen hemen yok denecek kadar az etkileneceğini göstermektedir.

3.8. Ses Geçiş ve Ses Yutuculuk

Günümüz koşullarında gürültü kirliliğinin giderek artması, yaşanan kapalı mekanlarda akustik konforun önemini gündeme getirmektedir. Yapılan konutlarda akustik konforun sağlanması, yapıda kullanılan agrega malzemelerinin akustik özellikleri ile doğrudan ilişkilidir. Malzeme yüzeyine çarpan ses enerjisinin bir kısmı yapı elemanının malzeme cinsine ve yüzey yapısına bağlı olarak yutularak (gerisi) yansır. Yutulan ses enerjisinin yüzeye gelen ses enerjisine oranı, ses yutma katsayısı olarak ifade edilmektedir (Gündüz, 1998). İyi bir ses yutumu, pürüzlü ve gözenekli yüzeyli malzemeler ile elde edilir. Gözenekli yapıları sebebiyle, pomza agregaları ile elde edilen betonların ses yutma özellikleri genellikle yüksek olmaktadır. Pomza agregaların ses geçiş katsayısı ve ses yutuculuk değerleri Çizelge 10'da verilmiştir.

yutuculuk değerlerinin sağlanabileceği görülmektedir.

4. SONUÇLAR

Türkiye'nin farklı yörelerinde bulunan pomza oluşumlarının, yapı sektöründe hafif agrega olarak kullanımı için gerekli spesifik değerler, bu araştırmada analiz edilmiş olup, bulgular özetle sunulmuştur. Pomza agrega türlerinin mukayeseleri, teknik özellikler olarak ayrı ayrı irdelenmiş ve sektörel alana uygunluk kriterleri yorumlanmıştır. Bu inceleme bulgularına göre, Karaman ve civarındaki pomza agrega oluşumlarının, birim ağırlık, su emme karakteristiği, basınç dayanım değerleri, ısı iletkenlik, ısıt özellikleri, rötre değerleri ele alındığında, inşaat yapı endüstrisinde hafif beton, hafif yapı elemanı üretiminde önemli bir hammadde ve ısı-ses yalıtım malzemesi olarak kullanılabileceği belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

Eriç, M., 1994. Yapı Fiziği ve Malzemesi, Literatür Yayıncılık, İstanbul, Antalya, s257.

Gass, I.G., Smith P.J., Wilson R.C.L., 1973, Understanding the Earth, Open University Set Book, 383 pp.

Gündüz, L.(editör), 1998. Pomza Teknolojisi, Cilt I, Isparta, s 288.

Gündüz, L., v.d., 2001. *Hafif Agrega Olarak Genleşmiş Kil Ve Pomza Taşının Teknik Özelliklerinin Karşılaştırılması*, 10. Ulusal Kil Sempozyumu, Konya.

Özer, M., 1982. Yapılarda Isı-Su Yalıtımları 2, İstanbul, Özer Yayınları:4, s230.

Şener, F., 1999. *Yalıtımlı Hafif Yapı Hammaddeleri*, Enerji Tasarrufunda Jeotermal Enerjinin Ve Yalıtımlı Hafif Yapı Malzemelerinin Önemi Sempozyumu, MTA, 12-13 Nisan, Ankara, s31-47.

Uz, B., 1987. Petrografi-I, C.1. Magmatik Kayaçlar, Ocak, İstanbul, 286s.

1970-2002 Döneminde Çimento Sektörümüzün İstatistiksel Değerlendirilmesi

A.O. Yılmaz, M. Vıdı, İ. Alp, İ. Çavuşoğlu & E. Yazıcı

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maden Müh. Bölümü, Trabzon

ÖZET: Ülkemizde çimento üretimi 1911 yılında 20.10^3 ton/yıl üretim ile başlamıştır. Çimento üretimimiz yıllar itibarı ile artarak, 1988 yılında en yüksek değer olan $37.4.10^6$ ton/yıl seviyesine çıkmıştır. Ülkemiz 1999 yılı rakamları ile toplam çimento üretiminde (35.10^6 ton/yıl) dünyada 8., tüketim de ise (35.10^6 ton/yıl) 9. sırada, kişi başına bazda ise 538 kg/fert üretim ve 486 kg/fert tüketim ile 6. sırada yer almıştır. 1999 Doğu Marmara Depremi ve 2001 ekonomik krizi sektöre ciddi bir sekte vurmuş, üretim % 20 düşüşle 29 milyon ton/yıl seviyesine düşmüştür. Sektör ciddi darboğalardan sonra 2002 yılında tekrar canlanmaya başlamıştır. Bu bildiride ülkemizin çimento sektörü 1970-2002 döneminde çeşitli göstergelerle (üretim, tüketim, ihracat vb) incelenmiş, ekonomik büyüme ile olan ilişkisi irdelenmiştir. Ayrıca çimento sektörümüzün dünya çimento üretimindeki yeri sayısal değerlendirmelerle ortaya konulmuştur.

ABSTRACT: Cement production in our country started with a production capacity of 20.10^3 ton/year in 1911. The production per year has increased in time and reached its peak in 1988 with the highest production capacity of $37.4.10^6$ ton/ year. Our country, with the total production figures in 1999 (35.10^6 ton/year), was 8th country in the world ; 9th country with consumption figures (32.10^6 ton/ year) and 6th country with production and consumption per capita, which was 538 kg per capita and 486 kg per capita. 1999 Eastern Marmara Earthquake and 2001 economic crisis gave great damage to the sector; production had decreased to 29 million ton/year, with an decrease of 20%. After experiencing serious problems, the sector started to enliven in 2002. In this study, cement sector during the period of 1970-2002 in our country is examined on the base of various indicators (production, consumption, export, etc.) and its relation with economic growth is examined as well. In addition place of our cement sector in the world cement production is revealed through numerical evaluations.

1.GİRİŞ

Ülkemizde çimento üretimi 1911 yılında 20 bin ton/yıl kapasiteli bir fabrikanın faaliyete geçmesi ile başlamıştır. Cumhuriyetle birlikte ülkemizde yeni fabrikalar devreye girmiş, bir taraftan üretim artarken, diğer taraftan artan çimento talebini karşılamak üzere ithalat devam etmiştir. 1950'li yıllarda özel sektör tarafından çimento sanayinde yeni yatırımların yapılması teşvik edilmiş, ülkenin çimento ihtiyacının karşılanması ve başlatılan yatırımların aksamadan yürütülmesi için özel sektör kuruluşları yanında devlet de yeni çimento fabrikalarının inşasına başlamıştır. 1953 yılında Türkiye Çimento Sanayi T.A.Ş. (ÇİSAN) kurulması ile Türk çimento sektörü hızlı bir gelişme

göstermiştir. 1963'lü yıllara gelindiğinde ise, Türkiye yapılan yatırımlarla çimento ihraç eder duruma gelmiştir. 1972 yılından itibaren yeni fabrikaların kurulmasını teşvik etmiş ve üretim 1979 yılında 13.8 milyon ton olmuştur. 1980'li yıllarda inşaat sektöründe bir duraklama başlamış ve çimento fabrikalarında aşırı stokların birikmesine sebep olmuştur. Bu durum üretimlerin kısılmasını ve bir kısım fabrikalarda üretimin durdurulmasını gerektirmiştir. Bu nedenle, devlet ihracatı özendirici tedbirler almış, çimento üreticileri gerek aşırı stokları eritebilmek ve gerekse maliyetlerini düşürmek için tam kapasiteyle çalışmayı sağlamak amacıyla büyük ölçüde ihracata yönelmiştir. 1984 yılının ikinci yarısından sonra Türkiye'de çimento tüketiminde büyük bir artış

başlamış (Çizelge 1, Şekil 1) ve bu artış 1980-1983 yılları arasındaki duraklamayı telafi edecek şekilde 1989 yılına kadar devam etmiştir. Bu dönemde meydana gelen iç talep artışı Türkiye'nin ihracattaki etkinliğini kademeli olarak azaltmıştır. Türkiye çimento sektörü, 1989 yılında başlayan yeniden yapılanma sebebiyle görünüm değiştirmiş, 1989 yılı 2.yarisında kamuya ait beş fabrikanın bir yabancı gruba (Ciment Francais) satılmasıyla da, sektöre yabancı sermaye girişi başlamıştır.1992 sonu itibarıyla kamuya ait 11 çimento fabrikası daha özelleştirilmiştir [DPT, 2001, Sözübir, 2001; www.etimenuk.com.tr]

Bu bildiride ülkemizin çimento sektörü 1970-2002 dönemi itibarıyla çeşitli göstergelerle (üretim, tüketim, ihracat vb) incelenmiş, ekonomik büyüme ile olan ilişkisi irdelenmiştir. Ayrıca çimento sektörümüzün dünya çimento üretiminde ilk 15 sırayı oluşturan ülkeler arasındaki yeri sayısal değerlendirmelerle ortaya konulmuştur.

2.ÇİMENTO SEKTÖRÜMÜZE YÖNELİK İSTATİSTİKSEL DEĞERLENDİRMELER

Çimento sektörümüze yönelik değişik göstergelerle ilgili istatistiksel değerlendirmeler aşağıda yer almaktadır. Ham veriler [TCMB, 2003; DPT, 1996, 2000,2001;Yılmaz, 2003; Safel, 2000] kaynaklarından derlenmiştir:

- Ülkemizin 1970-2002 döneminde çimento-klinker üretimi, çimento iç satışı-ihracatı ile klinker ihracatı ve klinker kapasitesi Çizelge 1'de toplu halde gösterilmiştir. Çizelgede ayrıca 1997 yılından itibaren sektördeki istihdam durumu ve oranlar da yer almaktadır. Ülkemizde ilk olarak 1911 yılında 20.000 ton/yıl kapasite ile başlayan çimento üretimi 319 kat artarak 1970 yılında 6.374.000 ton/yıl seviyesine ulaşmıştır. 1970 yılından itibaren genelde (kriz dönemleri hariç, Şekil 1) sürekli bir artış kaydeden sektör % 488 artışla 1998 yılında en yüksek üretim seviyesi olan 37.488.000 ton/yıl seviyesine çıkmıştır (Çizelge 1, Şekil 1). 1970-2002 dönemi ortalama üretim artış hızı % 5.66 olarak gerçekleşmiştir (Şekil 2). İncelenen 32 yıllık süreçte üretimin devamlılığı açısından ana kırılma noktasını 1999 Doğu Marmara Depremi oluşturmuştur. Depremle beraber üretimde hızlı bir düşüş olmuş, üretim 1988 yılına göre % 20 düşüşle 2001 krizi ile beraber 29 milyon ton/yıl seviyesine gerilemiştir. Dikkat

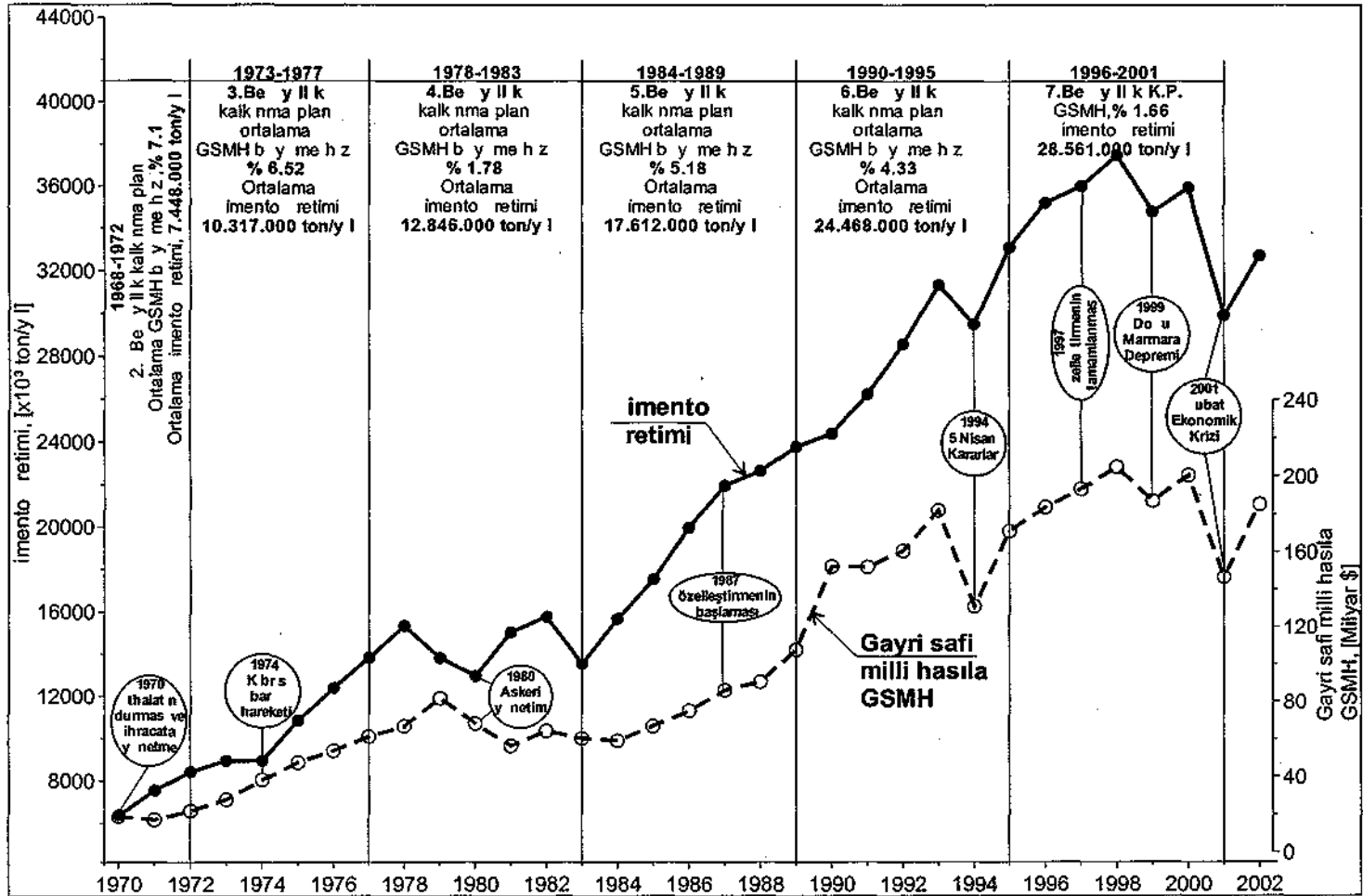
çekici olan çimento sektöründeki iniş ve çıkışlar ülkemiz Gayri Safi Milli Hasılası (GSMH) ile tamamen uyumlu olarak gerçekleşmiştir (Şekil 3). Bu durum iki değişken arasında yapılan regresyon analizinde de net bir şekilde görülmektedir. Regresyon analizinde regresyon katsayısı $r = 0.977$ olarak elde edilmiş, bu ise çimento üretiminin GSMH ile direkt ilintili olduğunu göstermektedir. Sektördeki toparlanma yeni yeni başlamış olup, 2002 yılında % 9 artışla üretim tekrar 32 milyon ton/yıl seviyelerine çıkmıştır.

- Klinker üretimi ise dönem itibarı ile genelde sürekli bir artış eğilimi göstermiş, kriz dönemlerinde üretimde aşırı dalgalanmalar çimento üretimi kadar olmamıştır.1970-2002 dönemi ortalama artış hızı % 5.75 olurken ortalama üretim 18.283.000 ton/yıl seviyesinde gerçekleşmiştir (Çizelge 1). Klinker üretimi ile çimento üretimi arasında doğrusal bir ilişki olduğu belirlenmiştir ($r = 0.984$, Şekil 4). Klinker ihracatı 1981 yılında 182.000 ton ile başlamış olup, 2002 yılında en yüksek rakama 4.463.000 ton/yıl seviyesine ulaşmıştır. 1981-1999 yıllarında toplam klinker üretiminin %1-4 arasında değişen klinker ihracatı, 1999 deprem felaketi ile yükselmeye başlamış, 2002 yılı itibarı ile % 15.13 seviyelerine çıkmıştır. Diğer yandan klinker kapasite kullanım oranı sürekli yükselerek 1992 yılında %100, sonraki yıllarda sürekli düşüş kaydederek, 2002 yılında % 81.47 olmuştur. 1982-2002 yılı ortalaması % 82.21'dir (Çizelge 1, Şekil 5). Benzer şekilde çimento kapasite kullanım oranı da 1997 yılından itibaren sürekli düşerek ekonomik krizin yoğunlaştığı 2001 yılında en düşük değer olan %46.1'e düşmüş 2002 yılında % 9.6 artarak % 50.54'e 1997-2002 ortalaması ise % 56.7 olarak gerçekleşmiştir.
- Çimento iç satışı 1970 yılında 6.1260.000 ton olup, bu yıl [(çimento iç satışı/çimento üretimi) x 100] oranı % 96 olup, dönem ortalaması % 90.86 olarak gerçekleşmiştir. Anılan oran 1982 yılında % 74.66'a düşmüş, 1999 yılından sonra da sürekli bir düşüş kaydederek 2002 yılında % 81.85 seviyesine gerilemiştir. Dikkat edilirse kriz yılları olan bu dönemlerde iç piyasadaki bu daralma ihracat yoluyla aşılmaya çalışılmış, 1982 yılında [(çimento ihracatı /çimento üretimi) x 100] oranı % 25 gibi rekor seviyelere çıkarken, 1982-2002 dönemi ortalaması % 10.08 olmasına karşın, özellikle 1999 yılı krizinden sonra anılan oran % 20'ler seviyelerine tekrar tırmanmıştır (Çizelge 1, Şekil 2). Çimento üretimi ve çimento iç satışı arasında oldukça yüksek ($r = 0.988$) bir ilişki olduğu gözlenmiştir (Şekil 4).

Cizelge 1: Yıllar İtibarıyla Ülkemizin Çimento, Klinker Üretimi, İç satış, İhracat, İstihdam Gelişi ve Oranlar [TCMB, 2003, DPT, 2000,2001]

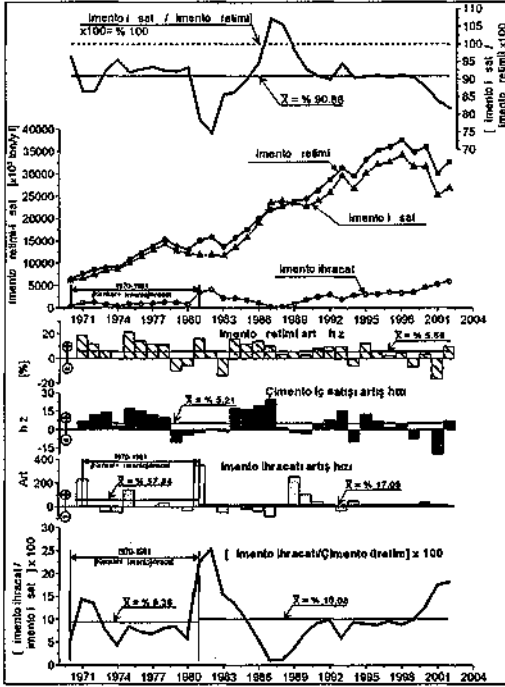
YILLAR	ÜRETİM, SATIŞ VE İHRACAT [X 1000 TON/YIL]							ORANLAR						
	Klinker üretimi [1]	Çimento üretimi [2]	Çimento içsatışı [3]	Çimento ⁽¹⁾ ihracatı [4]	Klinker ihracatı [5]	Klinker üretim kapasitesi [6]	İstihdam	[4/2]x100	[1/2]x100	[1/6]x100	[3/2]x100	[4/2]x100	[4/3]x100	[5/1]x100
1970	6.260	6.374	6.126	326				5,1	98,21		96,11	5,11	5,32	
1971	7.028	7.546	6.520	1081				14,3	93,14		86,40	14,33	16,58	
1972	8.045	8.424	7.270	1144				13,6	95,50		86,30	13,58	15,74	
1973	8.835	8.946	8.273	695				7,8	98,76		92,48	7,77	8,40	
1974	9.046	8.939	8.524	380				4,3	101,20		95,36	4,25	4,46	
1975	9.077	10.849	9.973	922				8,5	83,67		91,93	8,50	9,24	
1976	11.791	12.392	11.511	910				7,3	95,15		92,89	7,34	7,91	
1977	12.836	13.832	12.924	941				6,8	92,80		93,44	6,80	7,28	
1978	13.818	15.344	14.187	1.240				8,1	90,05		92,46	8,08	8,74	
1979	11.866	13.812	12.726	1.178				8,5	85,91		92,14	8,53	9,26	
1980	12.157	12.976	12.087	755		18.730		5,8	93,69	64,91	93,15	5,82	6,25	
1981	13.011	15.044	11.773	3.381		18.730		22,5	86,49	69,47	78,26	22,47	28,72	
1982	14.678	15.778	11.778	4.001	182	18.730		25,4	93,03	78,37	74,65	25,36	33,97	1,24
1983	11.546	13.545	11.561	2.105	266	19.920		15,5	85,24	57,96	85,35	15,54	18,21	2,30
1984	18.395	15.684	13.586	2.137	38	20.465		13,6	117,29	89,89	86,62	13,63	15,73	0,21
1985	14.969	17.544	15.796	1.761	92	20.465		10,0	85,32	73,14	90,04	10,04	11,15	0,61
1986	16.282	20.004	18.935	1.131	119	21.590		5,7	81,39	75,41	94,66	5,65	5,97	0,73
1987	17.829	21.979	23.551	226	117	22.660		1,0	81,12	78,68	107,15	1,03	0,96	0,66
1988	18.423	22.670	23.899	236	21	24.025		1,0	81,27	76,68	105,42	1,04	0,99	0,11
1989	19.775	23.800	23.377	837	261	24.353		3,5	83,09	81,20	98,22	3,52	3,58	1,32
1990	20.252	24.416	22.647	1.719	962	24.784		7,0	82,95	81,71	92,75	7,04	7,59	4,75
1991	23.153	26.261	23.835	2.403	1.170	25.298		9,2	88,16	91,52	90,76	9,15	10,08	5,05
1992	25.489	28.607	25.711	2.831	1.586	25.488		9,9	89,10	100,00	89,88	9,90	11,01	6,22
1993	24.941	31.366	29.603	1.890	1.313	27.828		6,0	79,52	89,63	94,38	6,03	6,38	5,26
1994	25.880	29.515	26.697	2.805	2.404	28.328		9,5	87,68	91,36	90,45	9,50	10,51	9,29
1995	27.094	33.140	30.085	3.024	1.604	29.554		9,1	81,76	91,68	90,78	9,12	10,05	5,92
1996	27.852	35.233	32.087	3.095	603	31.001		8,8	79,05	89,84	91,07	8,78	9,65	2,17
1997	28.706	36.007	32.598	3.457	1.163	32.436	8.390	9,6	79,72	88,50	90,53	9,60	10,60	4,05
1998	29.148	37.488	34.138	3.311	725	32.133	8.684	8,8	77,75	90,71	91,06	8,83	9,70	2,49
1999	27.966	34.817	31.530	3.414	1.133	33.196	8.530	9,8	80,32	84,25	90,56	9,81	10,83	4,05
2000	28.950	35.953	31.515	4.485	2.107	35.096	9.708	12,5	80,52	82,49	87,66	12,47	14,23	7,28
2001	28.746	29.959	25.082	5.213	3.409	35.117	7.736	17,4	95,95	81,86	83,72	17,40	20,78	11,86
2002	29.499	32.758	26.811	5.959	4.463	36.210	7.252	18,2	90,05	81,47	81,85	18,19	22,23	15,13
$\bar{X}$	18.283	21.242	19.294	2.091	1.130	26.354	8.383	9,82	88,33	82,21	90,86	9,82	11,28	4,32
S	7.766	9.917	9.018	1.489	1.178	5.802	844	5,45	8,37	9,78	6,35	5,45	7,20	4,00

$\bar{X}$: Aritmetik ortalama, S: Standart sapma

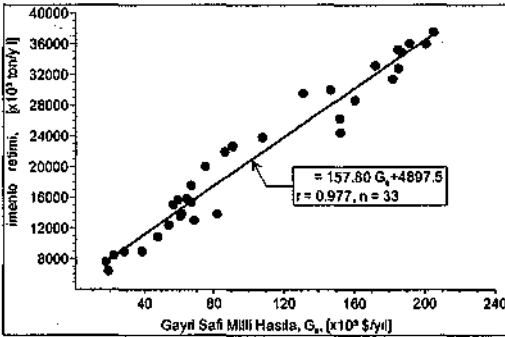


Ham veriler [TCMB, 2003; Arnoğlu, Yılmaz, 2001; Önder Arnoğlu, Yılmaz, 2003] kaynaklarından alınmıştır.

Şekil 1. 1970-2002 Döneminde Ülkemizin Çimento Üretimi ve Gayri Safi Milli Hasıla (GSMH) Gelişimi ve Önemli Tarihi Olaylar.

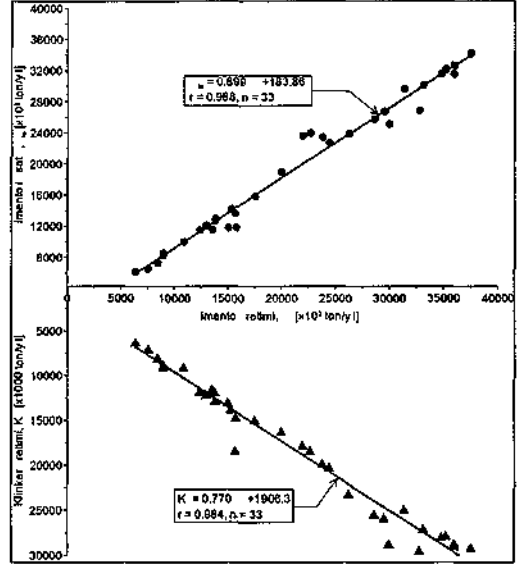


Şekil 2. Yıllar itibarıyla çimento üretimimiz, iç satış ve ihracat gelişimi ile oranlar.



Şekil 3 Gayri Safi Milli Hasıla ile çimento üretimi arasındaki istatistiksel ilişki.

- Kişi başına bazda çimento üretimi, iç satış ve gayri safi milli hasıla değerleri ve [çimento üretimi/içsatış] oranı değişimi Şekil 6'de gösterilmiştir. Ülkemizin 1970 yılında kişi başı çimento üretimi 179 kg/fert, çimento satışı ise 172 kg/fert seviyesinden çimento üretimi 3.2 kat artarak 1998 yılında en yüksek değer olan 575 kg/fert'e, çimento iç satış ise 3 kat artarak 524 kg/fert değerine ulaşmıştır. Anılan değerler sırası



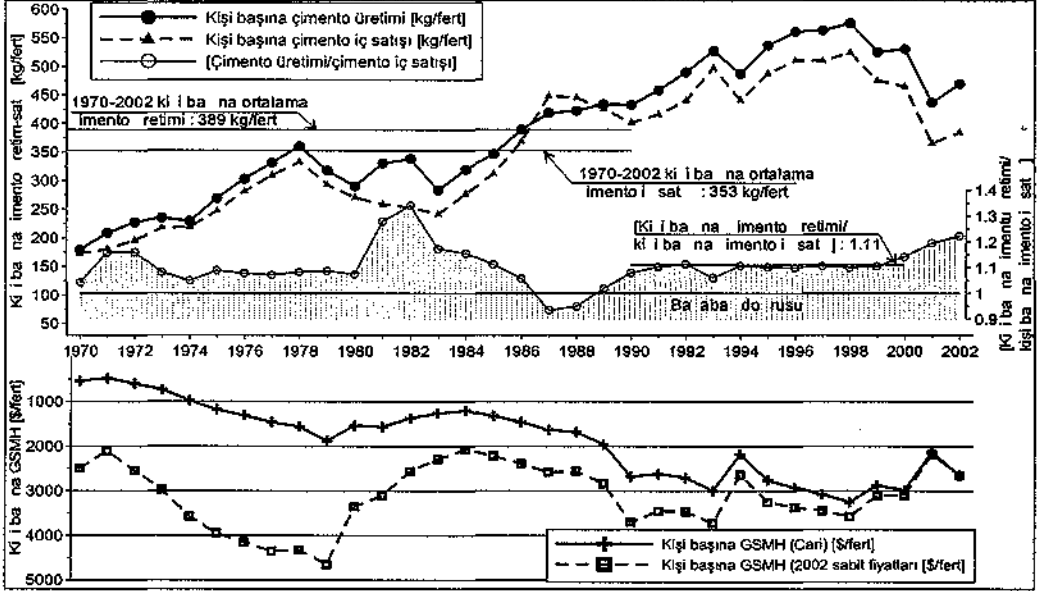
Şekil 4. Çimento üretimi ile çimento tüketimi ve klinker üretimi arasındaki istatistiksel ilişkiler.

Yıl	ÇİMENTO			KLİNKER		
	Çimento kapasitesi [x 1000 Tonn/yıl]	Çimento üretimi [x 1000 Tonn/yıl]	Oran [%]	Klinker kapasitesi [x 1000 Tonn/yıl]	Klinker üretimi [x 1000 Tonn/yıl]	Oran [%]
1997	53.598	36.007	67.18	32.435	28.706	88.50
1998	57.348	37.488	65.37	33.133	29.148	87.71
1999	63.218	34.817	55.07	33.196	27.965	84.25
2000	64.098	35.933	56.09	35.096	28.950	82.49
2001	64.987	29.539	45.46	35.117	28.746	81.86
2002	64.815	32.738	50.34	35.210	29.499	83.77
X	61.344	34.697	56.7	34.671	28.816	83.18
S	4.741	7.723	8.2	1.658	516	3.85
V	7.73	7.89	14.5	4.90	1.79	4.53

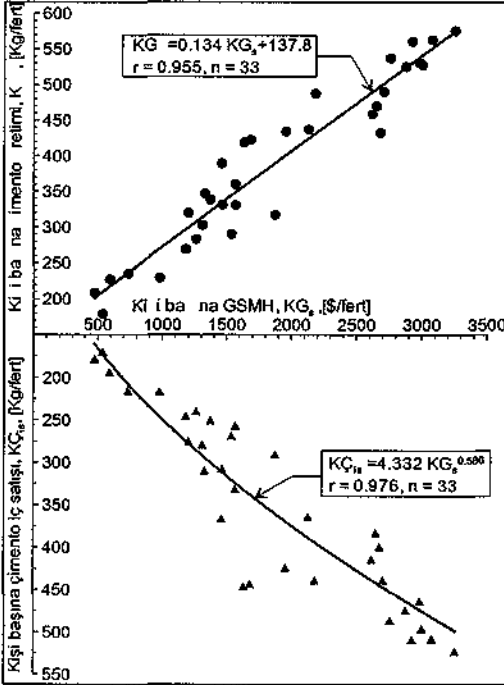
X: Aritmetik ortalama, S: Standart sapma, V: Değişkenlik katsayısı $V = S/X$

Şekil 5. 1997-2002 Döneminde çimento ve klinker üretimi ve kapasite kullanım oranları.

ile 2002 yılında %18, %26 düşerek 470 ve 384 kg/fert olarak gerçekleşmiştir. 1970-2002 dönem ortalaması sırası ile 389 ve 353 kg/fert'tir. [çimento üretimi/içsatış] oranı açısından bakıldığında 1970-2002 dönem ortalaması 1.11 olurken, 1982 yılında 1.32 ve 2002 yılında 1.22 gibi ortalamasının üstünde gerçekleşmiştir. Oranın yüksek olduğu yıllarda ihracatın da artış kaydettiği, diğer kelimelerle çimento sektörünün kriz yaşadığı



Şekil 6. 1970-2002 Döneminde Kişi başına bazda çimento üretimi, iç satışı ve gayrisafi milli hasıla ve [çimento üretimi/iç satışı] oranı gelişimi.



Şekil 7. Kişi başına bazda Gayri Safi Milli Hasıla ile çimento üretimi ve tüketimi arasındaki istatistiksel ilişkiler.

yıllarda sektörel daralmanın ihracat ile aşılma çalışıldığı yıllardır. Aynı dönemde kişi başına GSMH da önemli ölçüde artış kaydetmiş, kişi başına GSMH 1970 yılında 539 \$/fert değerinden yine 1998 yılında çimento üretimindeki gibi en yüksek değere 3255 \$/fert (6 kat) seviyesine çıkmış, sonraki yıllarda ise bilinen nedenlerden (1999 Doğu Marmara Depremi, 2001 ekonomik krizi) dolayı düşerek 2002 yılında 1998 yılına göre % 18 düşerek 2653 \$/fert olarak gerçekleşmiştir. Kişi başına GSMH değerine 2002 yılı sabit fiyatları ile bakıldığında 1970'li yılların son dönemlerinin 4000 \$/fert üzerinde gerçekleşmesi dikkat çekicidir. Genelde bakıldığında ekonomik göstergelerle çimento üretimi ve satışı arasında çok sıkı bir ilişkinin olduğu bilinmektedir. Yapılan regresyon analizinde anılan büyüklükler arasında yüksek seviyede ($r = 0.955$; $r = 0.976$) bir ilişkinin olduğu belirlenmiştir (Şekil 7). Kişi başına gayri safi milli hasıla artarken kişi başına çimento üretimi doğrusal olarak, çimento iç satışı ise üssel olarak artmaktadır. Kişi başına 5000 \$/fert için çimento üretimi 807 Kg/fert, çimento iç satışı ise 637 Kg/fert olmaktadır. 10.000 \$/fert değerinden sonra kişi başına çimento tüketiminde düşüş gözlenmekte, bu ise ülkenin alt yapı çalışmalarında belirli bir doygunluk seviyesine ulaşması ile ilgilidir (Bkz 3. bölüm).

3. DÜNYA ÇİMENTO ÜRETİMİ ve TÜRKİYE

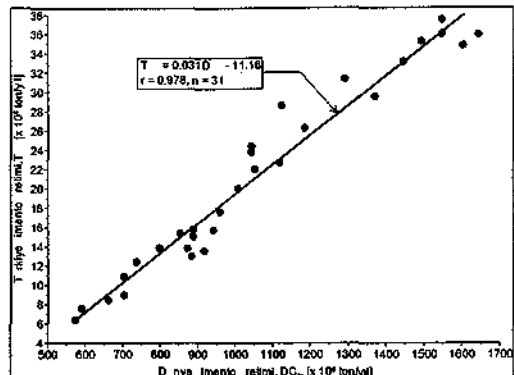
3.1 Genel

Dünya çimento üretimi 1970 yılında 572 milyon ton/yıl'dan 2000 yılında 2.8 kat artarak 1.643 milyar ton seviyesine çıkmıştır. Ülkemizin dünya üretimi içindeki payı 1970 yılında % 1.11'den (6.37 .10⁶ ton/yıl) 2000 yılında yaklaşık 2 kat artarak % 2.19 seviyesine (35.9 .10⁶ ton/yıl) çıkmıştır. Dönem itibarı ile dünya çimento üretimi ortalama artış hızı %3.68 iken ülkemizin çimento üretimi artış hızı (yaklaşık 2 katı) % 6.28 olarak gerçekleşmiştir. Üretimin ortalama etrafındaki dağılımı ifade eden değişkenlik katsayısı ülkemiz için % 47 olmasına karşı dünya üretiminde anılan büyüklük % 30'dur (Çizelge 2). Buradan dünya çimento üretiminin daha stabil geliştiği söylenebilir. Diğer yandan ülkemizin çimento üretimi ile dünya çimento üretimi arasında oldukça yüksek anlamlı lineer bir ilişkinin olduğu belirlenmiştir ($r = 0.978$) (Şekil 8).

Çizelge 2 . 1970-2002 Döneminde Dünya ve Ülkemiz Çimento Üretimi, Ülkemiz Üretiminin Dünya Üretimi İçindeki Oranı ve Artış Hızı

Yıl	Çimento üretimi (x 10 ⁶ ton/yıl)		Çimento üretim artış hızları (%)		Türkiye çimento üretiminin dünya üretimindeki payı (%) (I)	(I)'ın artış hızı (%)
	Dünya	Türkiye	Dünya	Türkiye		
1970	572	6.37	-	-	1.11	-
1971	590	7.55	3.18	18.39	1.28	14.74
1972	661	8.42	12.03	11.64	1.27	-0.36
1973	702	8.95	6.20	6.20	1.27	-0.01
1974	703	8.94	0.17	-0.08	1.27	-0.25
1975	702	10.85	-0.14	21.37	1.55	21.54
1976	735	12.39	4.73	14.22	1.69	9.07
1977	797	13.83	8.39	11.62	1.74	2.98
1978	853	15.34	7.01	10.93	1.80	3.66
1979	872	13.81	2.27	-9.98	1.58	-11.99
1980	883	12.98	1.23	-6.05	1.47	-7.19
1981	887	15.04	0.41	15.94	1.70	15.47
1982	887	15.78	0.08	4.88	1.78	4.80
1983	917	13.55	3.29	-14.15	1.48	-16.89
1984	941	15.68	2.67	15.79	1.67	12.78
1985	959	17.54	1.94	11.86	1.83	9.73
1986	1.008	20.00	5.07	14.02	1.98	8.52
1987	1.053	21.98	4.46	9.87	2.09	5.18
1988	1.118	22.67	6.17	3.14	2.03	-2.85
1989	1.042	23.80	-6.80	4.98	2.28	12.64
1990	1.043	24.42	0.10	2.59	2.14	2.49
1991	1.185	26.26	13.61	7.56	2.22	-5.33
1992	1.123	28.61	-5.23	8.93	2.55	14.95
1993	1.291	31.37	14.96	9.64	2.43	-4.62
1994	1.370	29.52	6.12	-5.90	2.15	-11.33
1995	1.445	33.14	5.47	12.28	2.29	6.45
1996	1.493	35.23	3.32	6.32	2.36	2.90
1997	1.547	36.01	3.62	2.20	2.33	-1.37
1998	1.547	37.49	0.00	4.11	2.42	4.11
1999	1.603	34.82	3.62	-7.12	2.17	-10.37
2000	1.643	35.95	2.50	3.26	2.19	0.75
X	1.038	20.6	3.68	6.28	1.88	2.67
S	31.6	9.87	4.68	8.55	0.42	9.14
V	30.45	47.96	127.04	136.11	22.14	342.03

X: Aritmetik ortalama, S: Standart sapma, V: Değişkenlik katsayısı, V = S/X
Kaynak: <http://www.mmrak.usgs.gov/minerals/pubs/a01-008/cement.pdf>, TCMB, 2003



Şekil 8. Dünya çimento üretimi ile ülkemiz çimento üretimi arasındaki istatistiksel ilişki.

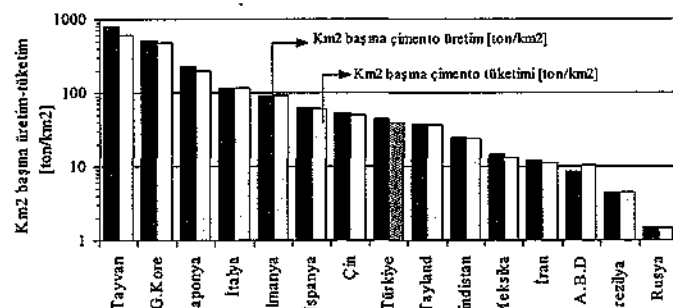
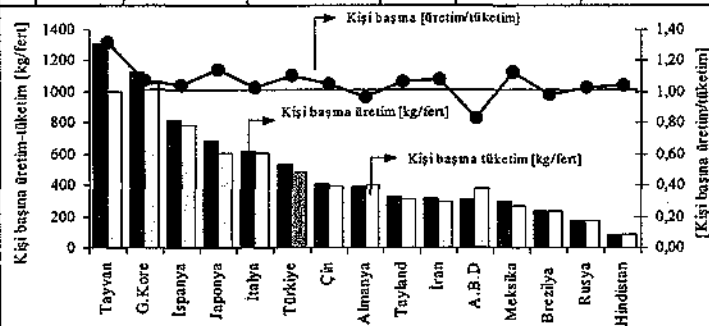
3.2 Kişi başına Çimento Üretimi-Tüketimi

Dünya çimento üretiminde ilk 15 ülkeyi oluşturan ülkelerle ilgili toplu bilgiler Çizelge 3'te gösterilmiştir. Çizelge yakından incelendiğinde şu sonuçlar çıkartılabilir:

- 1999 yılı itibarı ile dünya toplam çimento üretiminde ilk iki sırada Çin (510 .10⁶ ton/yıl) ve Japonya (87 .10⁶ ton/yıl) yer alırken, ülkemiz (35 .10⁶ ton/yıl) ile 8. sırada yer almıştır. Toplam tüketim açısından Çin yine ilk sırada yer alırken (485 .10⁶ ton/yıl), ikinci sırayı ABD almıştır (102 .10⁶ ton/yıl). Ülkemiz (32 .10⁶ ton/yıl) ile 9. sırada yer almıştır. Çin'in üretim ve tüketimde % 30 üzerinde paya sahip olması dikkat çekicidir.
- Kişi başına çimento tüketimi açısından Tayvan 1312 kg/fert ile ilk sırada yer alırken G.Kore 1130 kg/fert ile ikinci sırada, ülkemiz ise 538 kg/fert ile 6. sırada yer almıştır. Ekonomik gelişmişlik açısından önemli bir gösterge sayılan kişi başına çimento tüketimi açısından bakıldığında, ilk sırayı 1054 kg/fert ile G.Kore oluştururken bunu 995 kg/fert ile Tayvan oluşturmuştur. Ülkemiz üretimde olduğu gibi 486 kg/fert ile yine 6. sırada yer almıştır.

Çizelge 3. Dünya Çimento Üretimi ve Tüketiminde ilk 15 Sırayı Oluşturan Ülkelerle ilgili Toplu Bilgiler ve Kişi Başı Üretim-Tüketim Göstergeleri (1999)

No	Ülke	Üretim (x10 ⁶ ton/yıl)	Tüketim (x10 ⁶ ton/yıl)	Nüfus (x10 ³)	Yüzölçümü [x 10 ³ Km ²]	Gayri safi milli hasıla, GSMH [x10 ³ \$/yıl]	Kişi başına, GSMH, [\$/fert]	Nüfus yoğunluğu [fert/km ²]	Kişi başına çimento üretimi [kg/fert]	Kişi başına çimento tüketimi [kg/fert]	Km ² başına çimento üretimi [ton/km ²]	Km ² başına çimento tüketimi [ton/km ²]
1	Çin	510	485	1 244	9 597	980	788	130	410	390	53	51
2	Japonya	87	76	126	378	4.079	32.373	334	690	603	230	201
3	A.B.D	85	102	273	9.809	8.351	30.625	28	312	375	9	10
4	Hindista	84	81	987	3.288	442	448	300	85	82	26	25
5	G.Kore	52	49	46	99	398	8.652	463	1.130	1.054	524	489
6	Brezilya	38	39	163	8.512	555	3.400	19	233	236	4	5
7	İtalya	36	35	58	305	1.136	19.586	190	621	603	118	115
8	Almanya	32	33	82	357	2.079	25.354	230	390	402	90	93
9	Türkiye	35	32	65	781	186	2.862	83	538	486	45	40
10	İspanya	32	31	39	506	552	14.154	77	821	787	63	61
11	Meksika	29	26	98	1.958	484	4.928	50	296	263	15	13
12	Rusya	26	25	147	17.075	333	2.265	9	177	171	2	1
13	Tayvan	29	22	22	36	291	13.167	611	1.312	995	802	608
14	Tayland	20	19	61	513	121	1.984	119	328	308	39	37
15	İran	20	19	63	1.633	236	3.761	38	319	295	12	11



Ham veriler [DPT, 1996, 2000, 2001; Anoğlu, Yılmaz, 2001; Önder Arnoğlu, Yılmaz, 2003] kaynaklarından alınmıştır

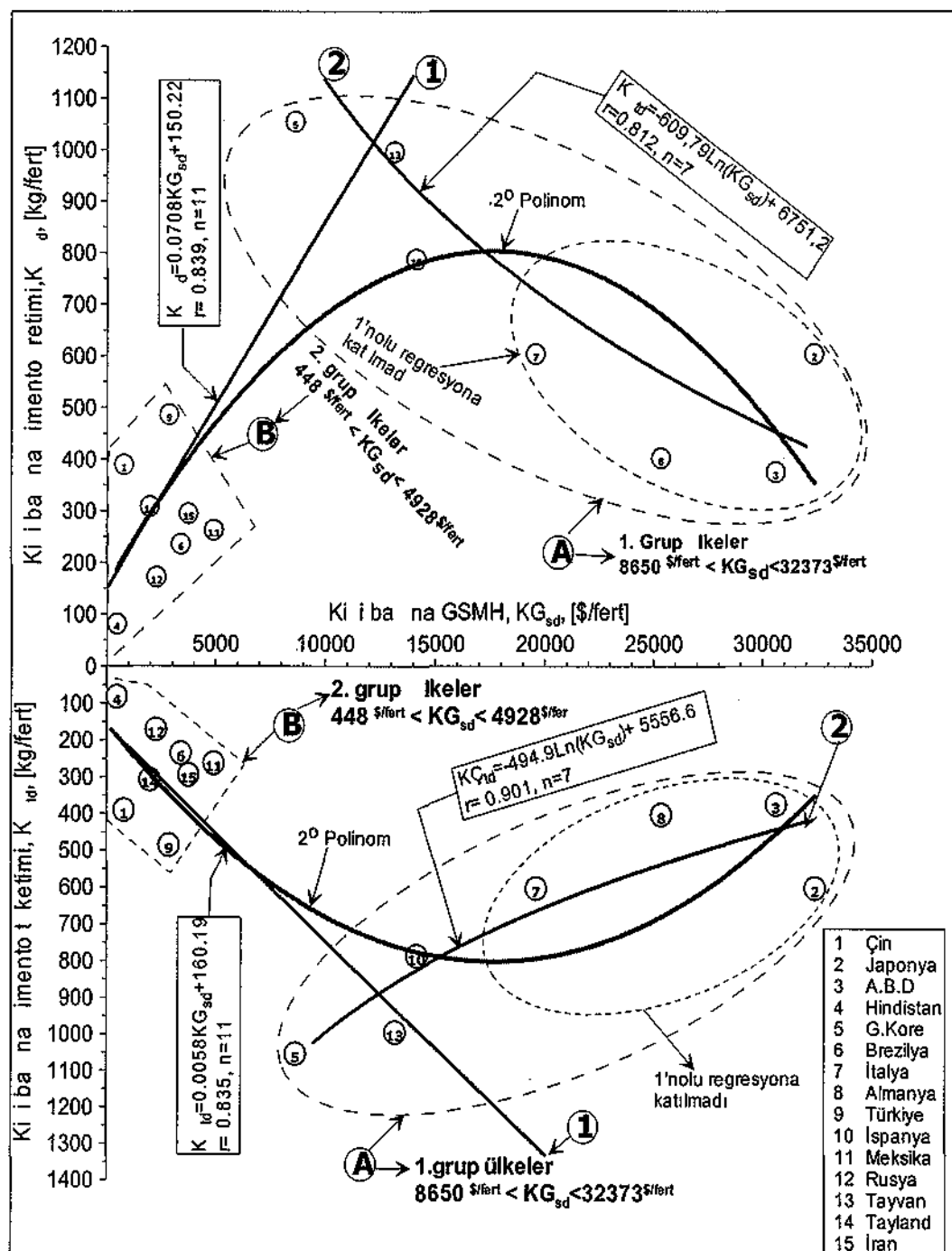
- Çimento üretimi-tüketimine ülke büyüklüğü açısından bakılırsa ilk sırayı yine Tayvan (üretim 802 ton/km², tüketim 608 ton/km²) ve G.Kore (üretim 524 ton/km², tüketim 484 ton/km²) oluştururken ülkemiz 45 ton/km² üretim ve 40 ton/km² tüketim ile 8. sırada yer almıştır

3.3 Değerlendirme

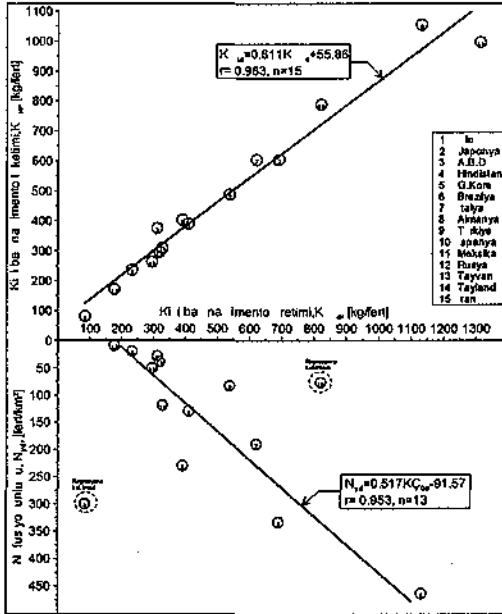
Çimento tüketiminin temel göstergesi, ülkelerin ve bölgelerin kişi başına tükettiği çimento miktarıdır. Bu tüketimin oranı da büyük ölçüde ülkenin ekonomik gelişmesi ile nüfus artış hızı düzeyine bağlıdır. Çimento tüketimi, ülkenin kalkınma sürecinde kişi başına 600-800 kg'lara çıkmakta, kalkınma süreci tamamlandığında ise 400-500 kg'lara düşmektedir. Bu düşüş ülkenin alt yapı çalışmalarında belirli bir doygunluğa ulaşması ile ilgilidir [Aitcin, 2000]. Kalkınmasını tamamlamış ülkelerde sonradan ortaya çıkan bu kapasite fazlalığı da uluslararası ticarete konu olmakta ve bununla çimento bölgesel bir mal olmaktan çıkmaktadır. Dolayısıyla ülkelerin içinde bulundukları ekonomik koşullar sektörde zaman zaman ihtiyaca göre atıl kapasitenin ihraç edilmesini veya açığın ithalatla karşılanmasını gündeme getirmektedir [http://www.etimenkul.com.tr].

Ülkemizin de içine bulunduğu dünya çimento üretimi ve tüketiminde söz sahibi ilk 15 ülkenin kişi başına Gayri Safi Milli Hasıla ile kişi başına çimento üretimi ve tüketimi ilişkisi Şekil 9'da, kişi başına çimento üretimi ile kişi başına çimento tüketimi ve nüfus yoğunluğu arasındaki istatistiksel ilişkiler Şekil 10'de ve nüfus yoğunluğu ile Km² başına çimento üretimi ve Km² başına çimento tüketimi arasındaki istatistiksel ilişkiler Şekil 11'de gösterilmiştir. Şekiller yakından incelendiğinde şu sonuçlar üretilmektedir:

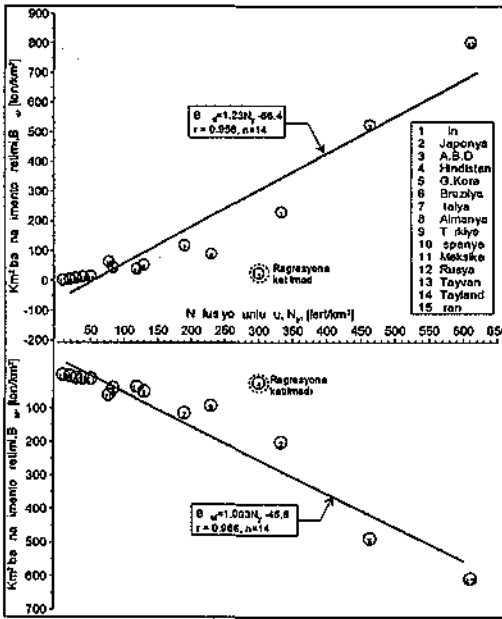
- Ülkelerin kişi başına GSMH ile kişi başına çimento üretimi-tüketimi ilişkisi incelendiğinde ülkeler arasında iki ayrı kümelenme olduğu görülmektedir. 1. grup ülkeler fert başına milli geliri 448 \$/fert - 4928 \$/fert arasında, 2. grup ülkeler ise milli geliri yüksek 8650 \$/fert-32373 \$/fert arasındadır. 2. grup ülkeleri Çin, Hindistan, Rusya, Tayland, Brezilya, Meksika, İran, Türkiye. 1. grup ülkesi ise G.Kore, Tayvan, İspanya, İtalya, Almanya, ABD ve Japonya oluşturmaktadır.
- Genel değişim, düşük gelir grubunda bulunan ülkelerde artan milli gelirle çimento üretimi ve tüketimi artmakta, yüksek gelir grubunda bulunan ülkelerde ise artan milli gelirle çimento üretimi ve tüketiminde azalma görülmektedir. Her iki grup içindeki değişimler kendi aralarında irdelendiğinde oldukça anlamlı regresyonlar belirlenmiş olup, düşük milli gelire sahip ülkelerin değişimi lineer artarken yüksek gelir grubundaki ülkelerin değişimi ise logaritmik ifadeyle azalmaktadır. (1 ve 2 nolu regresyon eğrileri) (kişi başı tüketim için $r = 0.835$, $r = 0.901$; kişi başı üretim için $r = 0.839$, $r = 0.812$).
- Düşük ve yüksek gelir grubundaki ülkeler toplu halde değerlendirildiğinde değişim 2° polinoma uymaktadır. Daha önce de ifade edildiği gibi ülkelerin gelişmişlik düzeyi ile kişi başına çimento tüketimi (alt yapı çalışmalarında belirli bir doygunluk düzeyine ulaştıktan) azalmaktadır. Bu düzey ortalama 600-800 kg/fert seviyesi olarak belirlenebilir [Arnoğlu, Girgin; 2003] Ülkemiz 2. grup ülkeler içinde üst seviyede (486 kg/fert), bir başka deyişle gelişme seviyesinin sonlarında olgunlaşma düzeyine geçiş noktasında olduğu söylenebilir.
- Ülkelerin kişi başına çimento üretimi artarken kişi başı çimento tüketimi ve nüfus yoğunluğu artmaktadır (fert/km²). Değişimin matematik modeli lineer olup, çimento tüketimi için $r = 0.983$, nüfus yoğunluğu için $r = 0.953$ (Hindistan regresyona katılmamıştır). Ülkemiz kişi başına çimento tüketiminde regresyon eğrisi üzerinde yer alırken, nüfus yoğunluğu eğrisinin nispeten uzağında bulunmaktadır.
- Diğer değerlendirmede nüfus yoğunluğu ile Km² başına (ülkenin toplam yüz ölçümü) çimento üretimi ve tüketimi irdelenmiştir. Nüfus yoğunluğunun artışı ile Km² başına üretim ve tüketim lineer olarak artmaktadır (üretim için $r = 0.958$, tüketim için $r = 0.966$). Şekil 11'de ifade edilen ülke kümelenmeleri bu grafikte de görülmektedir. Nüfus yoğunluğu arttıkça Km² başına çimento üretimi ve tüketimi artmaktadır (Hindistan hariç).



Şekil 9. Belli ülkelerin kişi başına Gayri Safi Milli Hasıla ile kişi başına çimento üretim-tüketim ilişkileri (1999)



Şekil 10. Kimi ülkelerin kişi başına çimento üretimi ile kişi başına çimento tüketimi ve nüfus yoğunluğu arasındaki istatistiksel ilişkiler.



Şekil 11. Kimi ülkelerin nüfus yoğunluğu ile Km² başına çimento üretimi ve Km² başına çimento tüketimi arasındaki istatistiksel ilişkiler.

3. SONUÇLAR

- Ülkemizin çimento üretimi ilk olarak 1911 yılında 20.000 ton/yıl üretim ile başlamış, yıllar itibarıyla büyük gelişme kaydetmiş, 1970 yılında 6.3 milyon ton'a, 1998 yılında ise en üst seviye olan 37.4 milyon ton seviyesine çıkmıştır (Çizelge 1)
- Ülkemizin ekonomik gelişmesi ile çimento sektörü arasında çok yakın bir ilişki olduğu belirlenmiştir (Şekil 4). 1974 Kıbrıs Barış Harekati, 1980 askeri yönetimi, 1987 özelleştirme süreci, 1994 ekonomik krizi çimento sektörümüzü olumsuz etkilemiş bu dönemlerde sektörde üretim düşüşleri gözlenmiştir. Bu dönemlerdeki kayıplar sonraki yıllarda nispeten telafi edilmesine karşın özellikle 1999 Doğu Marmara Depremi ve akabinde 2001 yılında yaşanan ekonomik kriz sektörde ana kırılma noktasını oluşturmuş, üretim 30 milyon ton seviyesinin altına düşmüştür (Çizelge 1, Şekil 1).
- Çimento iç satışlarında da yaşanan krizlerin etkisi net bir şekilde görülmektedir. Krizlerin yoğunlaştığı dönemlerde artan üretim fazlası ihracat yoluyla aşılırmaya çalışılmış, özellikle 1982 yılında toplam üretimin %25'i ihracata yönlendirilmiş, sonraki yıllarda anılan oran %8-9 seviyesinde kaldıktan sonra 2001 ekonomik krizinden sonra tekrar % 20'ler seviyesine çıkmıştır. Çimento iç satışı incelenen dönem başı olan 1970'de 6.1 milyon ton'dan 1998 yılında 34.1 ton'a yükselmiş sonra 2002'de 26.1 ton seviyesine düşmüştür. Aynı değerler ihracat için sırası ile 326.10³ ton/yıl, 3.3.10⁶ ton/yıl ve 5.9.10⁶ ton/yıl olarak gerçekleşmiştir.
- Ülkemizin 1970 yılında kişi başı çimento üretimi 179 kg/fert, çimento satışı ise 172 kg/fert seviyesinden çimento üretimi 3.2 kat artarak 1998 yılında en yüksek değer olan 575 kg/fert'e, 2002 yılında %18, %26 düşerek 470 ve 384 kg/fert olarak gerçekleşmiştir. 1970-2002 dönem ortalaması sırası ile 389 ve 353 kg/fert'tir çimento iç satışları ise 3 kat artarak 524 kg/fert değerine ulaşmıştır (Şekil 6).
- Dünya çimento üretimi 1970 yılında 572 milyon ton/yıl'dan 2000 yılında 2.8 kat artarak 1.643 milyar ton seviyesine çıkmıştır. Ülkemizin dünya üretimi içindeki payı 1970 yılında % 1.11'den (6.37 .10⁶ ton/yıl) 2000 yılında yaklaşık 2 kat artarak % 2.19 seviyesine (35.9 .10⁶ ton/yıl) çıkmıştır (Çizelge 2). Dönem itibarı

ile dünya çimento üretimi ortalama artış hızı %3.68 iken ülkemizin çimento üretimi artış hızı (yaklaşık 2 katı) % 6.28 olarak gerçekleşmiştir. 1999 yılı itibarı ile dünya toplam çimento üretiminde ilk iki sırayı Çin (510 .10⁶ ton/yıl) ve Japonya (87 .10⁶ ton/yıl) yer alırken ülkemiz (35 .10⁶ ton/yıl) ile 8. sırada yer almıştır. Toplam tüketim açısından Çin yine ilk sırada yer alırken (485 .10⁶ ton/yıl), ikinci sırayı ABD almıştır (102 .10⁶ ton/yıl). Ülkemiz (32 .10⁶ ton/yıl) ile 9. sırada yer almıştır (Çizelge 3).

- Kişi başına çimento tüketimi açısından Tayvan 1312 kg /fert ile ilk sırada yer alırken G.Kore 1130 kg /fert ile ikinci sıra, ülkemiz ise 538 kg /fert ile 6. sırada yer almıştır. Ekonomik gelişmişlik açısından önemli gösterge sayılan kişi başına çimento tüketimi açısından bakıldığında, ilk sırayı 1054 kg/fert ile G.Kore oluştururken bunu 995 kg/fert ile Tayvan takip etmiştir. Ülkemiz üretimde olduğu gibi 486 kg/fert ile yine 6. sırada yer almıştır.
- Ülkelerin kişi başına GSMH ile kişi başına çimento üretimi-tüketimi ilişkisi incelendiğinde ülkeler arasında iki ayrı kümelenme olduğu görülmektedir. 1. grup ülkeler fert başına milli geliri 448 \$/fert – 4928 \$/fert arasında, 2. grup ülkeler ise milli geliri yüksek 8650 \$/fert-32373 \$/fert arasındadır. Ülkelerin gelişmişlik düzeyi arttıkça kişi başına çimento tüketimi (alt yapı çalışmalarında belirli bir doygunluk düzeyine ulaştığından) azalmaktadır. Bu düzey ortalama 600-800 kg/fert seviyesi olarak belirlenebilir. Ülkemiz 2. grup ülkeler içinde üst seviyede (486 kg/fert), bir başka deyişle gelişme seviyesinin sonlarında olgunlaşma düzeyine geçiş noktasında olduğu söylenebilir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar çalışmanın hazırlanmasında ham verileri cömertçe sunan Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği'ne teşekkürü borç bilir.

KAYNAKLAR

Aitcin, P-C., 2000. *Cements of yesterday and Today Concrete of tomorrow*, Cement and Concrete Research, Elsevier Ltd. Vol 30, pp 1349-1511, September

Arıoğlu, E., Yılmaz, A.O., 2001. *1985-2000 Döneminde Türkiye Ekonomisi'nin Kısa Bir Değerlendirilmesi*, TMMOB Maden Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, Aralık, İstanbul.

Arıoğlu, E., Girgin, C., 2003. *Avrupa Hazır Beton Birliği (ERMCO) Üyesi ve Belli Başlı Ülkelerdeki Hazır beton üretimlerinin İstatistiksel Değerlendirilmesi*, Hazır Beton Dergisi, Türkiye Hazır beton Birliği, Mayıs-Haziran, İstanbul, 52-63

DPT, 1996. *Çimento Hammaddeleri ve Yapı Malzemeleri Cilt 1*, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Çimento Hammaddeleri Ve Yapı Malzemeleri Çalışma Grubu Raporu, Nisan, Ankara

DPT, 2000. *Taş ve Toprağa Dayalı Ürünler Sanayii Özel İhtisas Komisyonu Raporu (Çimento ve Hazır Beton)*, Sekinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, DPT: 2505, ÖİK 525, Ankara

DPT, 2001. *Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Toprak Sanayii Hammaddeleri IV (Çimento Hammaddeleri)*, Sekinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, DPT: 2614, ÖİK 625, Ankara

Önder, İ., Arıoğlu, E., Yılmaz, A.O., 2003. *Türkiye Ekonomisi: Genel Perspektif, Sorunlar, Öneriler ve Madencilik Sektörümüzün Kısa Değerlendirilmesi*, TMMOB Maden Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, Mayıs, İstanbul.

Safel, R., 2000. *İnşaat Sektörü*, Vakıflar Bankası Sektör Araştırmaları Serisi, No: 21, Ekim, İstanbul

Sözübir, A., 2001. *Çimento Sektörü*, Eti Menkul, Mayıs, İstanbul.

Yılmaz, A.O., 2003. *İstatistiklerle Çimento Sektörü*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, (Yayınlanmamış Rapor) Trabzon.

TCMB, 2003. *Çimento İstatistikleri*, Ekim, İstanbul

<http://www.minerals.usgs.gov/minerals/pubs/of01-006/cement.pdf>

<http://www.die.gov.tr>

<http://www.dpt.gov.tr>

www.etimenkul.com.tr

<http://www.cmis.org.tr>

Beyşehir Baritlerinin Flotasyonla Zenginleştirme Olanaklarının Araştırılması

Ş. G. Özkan, İ. Kurşun, K. Çinku, M.F. Eskibalci & A. Duban

İstanbul Üniversitesi, 34320 Avcılar, İstanbul

ÖZET:Bu çalışmada Beyşehir-Şarkikaraağaç bölgesinde özel bir Firmaya ait barit cevherinin zenginleştirilerek, sondaj çamuru spesifikasyonuna uygunluğu ve diğer uygulama alanlarındaki kullanılabilirliği araştırılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan numuneler Yellice Tepe ve Kuyucak barit ocaklarından temsili olarak alınarak İstanbul Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Cevher Hazırlama Laboratuvarlarına getirilmiştir. Tüvenan numune ana bileşen olarak, %77,86 BaSO₄, %14,21 CaO, %2,32 SiO₂, %1,96 Fe₂O₃ içermektedir. Boyut küçültme ve sınıflandırma işlemlerinin ardından optimum koşullarda yapılan flotasyon deneyleriyle %95,80 BaSO₄ tenörlü barit konsantresi %86,40 BaSO₄ kazanma verimiyle elde edilmiştir. Barit konsantresi sondaj çamuru olarak kullanılabileceği gibi, cam ve kimya sektöründe de kullanılabilir niteliktedir.

ABSTRACT: In this study, beneficiation studies were carried out on barite samples provided from a private company in Beyşehir-Şarkikaraağaç region in order to produce suitable concentrates for drilling mud specifications and other applications. For the experimental studies, representative samples were taken from in Yellice Tepe and Kuyucak deposits and were brought into Mineral Processing Laboratory of Istanbul University. They were prepared by taking homogenization into consideration accordingly. The raw sample contains 77.86 %BaSO₄, 14.21 %CaO, 2.32 %SiO₂, and 1.96 %Fe₂O₃ as main components. Flotation experiments were carried out after size reduction and classification operations at optimal conditions. Then a barite concentrate with 95.80 %BaSO₄ grade was produced with recovery of 86.40 %BaSO₄. Finally, it was determined that, this barite concentrate could be used for drilling mud, glass and chemical industries.

1. GİRİŞ

Kimyasal bileşimi BaSO₄ olan barit en çok bilinen baryum mineralidir. Beyaz, opal veya yarı şeffaf görünümlüdür (Özbek vd. 1974). İçerdiği demirden dolayı kırmızı ve kahverengi, karbonlu maddelerden dolayı da siyah, sarı, kırmızı ve mavi renklerde de görülebilmektedir. Saf barit %65.7 BaO, %34.30 SO₃ içermektedir(Curreli vd.,1994). Metalik olmayan minerallerin en ağır olan baritin özgül ağırlığı 4.5 gr/cm³, sertliği 2.5-3.5 arasındadır(Özbaş vd., 1995). İlk barit üretimi 1845 yılında A.B.D.'de yapılarak boya sanayiinde kullanılmıştır. 1908'li yıllara gelindiğinde kimyasal baryum eldesinde kullanılmaya başlayan barit'in 1926 yılında sondaj çamurunda kullanılması üzerine gerek üretim ve gerekse tüketiminde önemli

artışlar meydana gelmiştir. Ülkemizde ise barit madenciliği 1964 yılından sonra gelişme göstermiştir (İskit 1978, DPT,2001).

Baritin kullanım alanları şu şekilde özetlenebilir;

Sondaj Sanayii: Baritin kullanım alanları içinde sondaj çamurunun payı %70-80 civarındadır(Gündüz vd., 1994). Sondaj çamuruna katılan barit, sondaj sırasında çıkan malzemenin yukarıya iletilmesini ve kuyu çeperinin sağlamlaştırılmasını sağlar. Bu sanayiide kullanılan baritin özgül ağırlığı 4,2 gr/cm³'den fazla olması, Ca ve Mg konsantrasyonunun 250 ppm'i aşmamış olması, faydalı bileşenin en az %92 BaSO₄ içermesi ve 325 mesh'e kadar öğütülmesi gerekir (TS 919, 2003 DPT,2001).

Kimya Sanayii: Üretilen baritlerin yaklaşık %10'u kimya sanayiinde kullanılır (Davarcı, 2001). Kimyasal türevleri, yoğunluğunun fazla olması, parlaklığı ve kimyasal etkilere karşı direnç göstermeleri nedeniyle birçok endüstri dalında tercih edilmektedir. Özellikle bazı işletmelerde elde edilen $BaCO_3$ 'den üretilen diğer baryum bileşikler metalürjide, makine yağlarında, çanak-çömlek yapımında, kağıt, sulu boya ve muşamba üretiminin yanı sıra fotoğrafçılıkta ilgili alanlarda tüketilmektedir (DPT, 2001).

Dolgu Maddesi Olarak: Baritin yaklaşık %10'u bu amaçla kullanılır. Barit diğer özelliklerinin yanı sıra radyasyonu emmesinden dolayı birçok sektörde dolgu malzemesi olarak kullanılır. Boya sanayinde dolgu amaçlı kullanılan baritteki $BaSO_4$ tenörünün %95'ten fazla, Fe_2O_3 'ün 500 ppm'den az, suda eriyen tuzların %0,2'den az, nem oranının %0,5'ten az olması istenir. Barit plastik ve kauçuk üretiminde ağırlığı arttıran önemli bir dolgu maddesidir (TS 5633).

Cam Sanayii: İşlenilebilirliği ve parlaklığı arttırmada kullanılır. Televizyon ve bilgisayar monitörlerinde radyasyonu önleyen filtrelerin önemli bir katkı maddesidir (TS 5632).

Diğer Sektörler: Nükleer reaktör inşaatlarında, reaktörün atık sularının temizlenmesinde, patlayıcı yapımında, ilaç ve şeker sanayinde, içme sularının klordan arındırılmasında, kaliteli asfalt yapımında debriyaj ve fren balatalarının yapımında, seramik endüstrisinde sertlik ve parlaklık verici olarak kullanımının yanı sıra bataklıkların kurutulmasında kullanılır (DPT, 2001, Davarcı, 2001).

Türkiye'nin barit üretiminin büyük bölümü sondaj sanayiine yönelik olmakla beraber rafine ürün üretimi de büyük önem taşımaktadır. Söz konusu rafine ürünler arasında, bazı özel boyalar için kullanılan litofor, baryumun; karbonat, nitrat gibi türevleri bulunmaktadır (DPT, 2001). Ancak bunların kullanımları için uluslararası kabul görmüş standart yoktur. Alıcıların taleplerine göre ürün spesifikasyonları belirlenmektedir.

Başlıca Türk standartları; sondaj çamuru için TS 919, cam sanayii için TS 5632, lastik sanayii için TS 5633 ve boya sanayii için ise TS 11296'dır. Ülkemizde 2001 yılı itibarıyla tabii baryum sülfat ve tabii baryum karbonat ürünleri ithalatı 100 bin \$

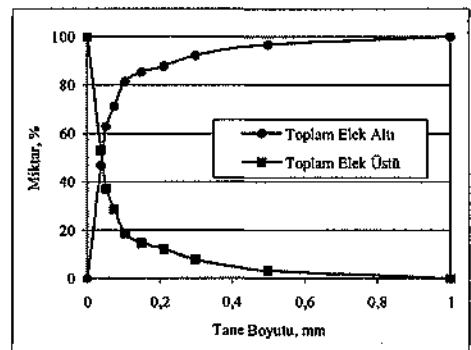
iken aynı ürünlerin ihracatı ise sadece 7 milyon \$ olarak gerçekleşmiştir (DTM, 2002).

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Numune Tanımlama

Deneysel çalışmalarda Özel bir Firmanın Beyşehir Barit işletmesine ait Konya ili Beyşehir ilçesi Yellice, Başkoyak ve Kuyucak ocaklarına ait cevherler kullanılmıştır. Yapılan mineralojik incelemeler sonucunda cevher içerisinde ana mineral olarak barit, gang minerali olarak kalker, muskovit, biyotit'in yanı sıra limonit, götit ve turmalin gibi demir oksit mineralleri tespit edilmiştir. Barit bantları beyaz olup, 1-2 mm ye varan hematit kapanımları içermekte; ayrıca çatlak yüzeyleri hematit boyalı görülmektedir. Barit bantlarının kalınlığı 2-3 cm kalınlığındadır. Kalsit bantları koyu gri, gri laminallı bantlar şeklindedir.

Yapılan mikroskopik incelemeler sonucunda numune içerisindeki baritin %80'inin 300 mikronun altında, tamamının ise 212 mikronun altında serbestleştiği belirlenmiştir. Bu durum göz önünde bulundurularak, boyut küçültme işlemleri sırasında öğütmenin kademeli yapılması ve numunenin serbestleşme boyutu olan 212 mikron tane boyutunun altına indirilmesine karar verilmiştir. Öğütülmüş numunenin Kümülatif elek eğrileri Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1: Öğütülmüş Barit Cevherinin Toplam Elek Altı-Elek Üstü Eğrileri

Zenginleştirme deneyleri öncesinde boyut küçültme amacıyla kırma, tane serbestleşmesini sağlamak amacıyla ise öğütme deneyleri yapılmış ve

optimum öğütme süresi tespit edilerek elde edilen ürünler, daha verimli bir zenginleştirme işlemi için boyuta göre sınıflandırılmıştır.

Öğütülmüş numunenin kümülatif elek eğrilerinden de görüldüğü üzere d_{80} tane boyutu 150 mikron

civarındadır. Tüvenan numunenin yapılan kimyasal analizi sonucunda %77,86 $BaSO_4$, %14,21 CaO , %2,32 SiO_2 , %1,96 Fe_2O_3 , %0,15 MgO , %0,21 $SrSO_4$ içerdiği tespit edilmiştir. Öğütülen numunenin öğütme sonrası tane boyutuna bağlı barit tenör ve dağılımları Çizelge 1'de verilmiştir

Çizelge 1: Öğütme Sonrası Tane Boyutuna Bağlı Barit Tenör ve Dağılımları

Tane Boyutu (mm)	Ağırlık (gr)	(%)	Tenör (%) $BaSO_4$	Dağılım $BaSO_4$ (%)	Toplam Elek Altı (%)	Ağırlık, %	$BaSO_4$	Dağılım, $BaSO_4$
-1+0,5	196	5,03	75,00	4,84	100,00	77,86		100,00
-0,5+0,3	104	2,67	75,20	2,58	94,97	78,01		95,16
-0,3+0,106	425	10,91	75,50	10,57	92,30	78,09		92,58
-0,106+0,038	1350	34,64	78,50	34,93	81,40	78,44		82,00
-0,038	1822	46,75	78,40	47,08	46,75	78,40		47,08
Toplam	3897	100,00	77,86	100,00	-	-		-

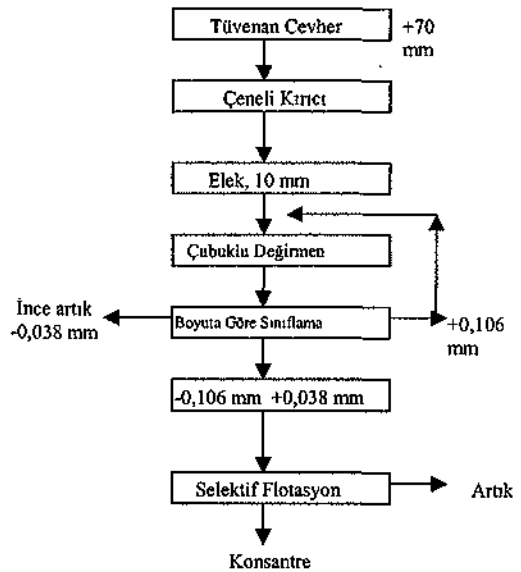
Çizelge 1 incelendiğinde, malzemenin %46,75'inin 38 mikron altına geçtiği ve barit içeriğinin %82'sinin -0,106 mm boyutunda yoğunlaştığı görülmektedir. Bu verilerden yola çıkarak malzemenin flotasyon deneyleri öncesinde -0,106 mm, -0,106 +0,038 mm ve -0,038 mm boyut fraksiyonlarına ayrılarak zenginleştirme deneylerine tabi tutulmasına karar verilmiştir (Hiçyılmaz vd. 1996, Lukac 1997).

2.2. Flotasyon Deneyleri

Bu deneyler esnasında gang mineralleri olan kalker, mika, kuvars ve demir oksitlerin ters flotasyonla uzaklaştırılması ve baritin yüksek verimle seçimli olarak kazanılması amaçlanmıştır. Flotasyon ile zenginleştirme çalışmaları laboratuvar tipi Denver Sub-A flotasyon makinesi kullanılmak suretiyle 2 lt'lik hücre ile gerçekleştirilmiştir. Flotasyon deneylerinde kullanılmak üzere; -0,106 mm, -0,038 mm ve -0,106+0,038 mm'lik üç farklı fraksiyonda malzemeler hazırlanarak, kollektör miktarı (AP 845, anyonik tip, alkil saksinamat) ve köpürtücü cinsinin (AF70, Alkol tipi) flotasyon işlemine olan etkisi araştırılmıştır.

-0,106 mm ve -0,038 mm'lik fraksiyonlara uygulanan flotasyon deneylerinde, ince boyuttaki şlamın flotasyonu olumsuz etkilemesi nedeniyle artıktaki barit kaçağı fazla olmuş ve iyi bir verim elde edilememiştir.

Deneyisel çalışmaların akım şeması Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2: Deneyisel çalışmalarda uygulanan proses akım şeması

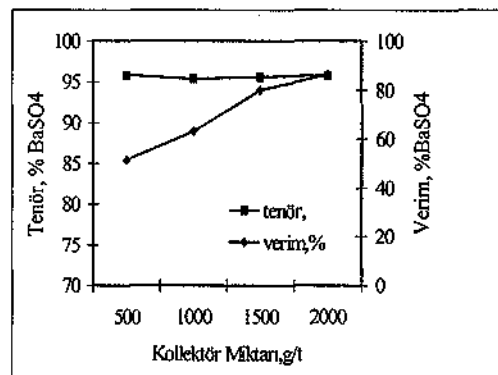
Gerçekleştirilmiş olan flotasyon deneyleri sonucunda, tüm boyut gruplarında en iyi verim aşağıda verilen deney koşullarda alınmış olup optimum koşullarda elde edilen deney sonuçları Çizelge 2'de verilmiştir.

Tane boyutu:	-0,106+0,038 mm
Pülp Kati Oranı	%20
Toplayıcı Reaktif	AP845- 2000 g/t
Bastırıcı Reaktif	Na ₂ SiO ₃ -1000 g/t
Köpürtücü	AF70- 50 g/t
pH	Doğal pH
Sıcaklık	Oda sıcaklığı
Flotasyon Zamanı	5 dk

Çizelge 2: Optimum şartlarda elde edilen deney sonuçları

ÜRÜNLER	AĞIRLIK (%)	TENÖR % BaSO ₄	VERİM, BaSO ₄ %
KONSANTRE	70,80	95,80	86,40
ARTIK	29,20	36,55	13,60
BESLENEN	100,00	78,50	100,00

-0,106+0,038 mm'lik boyut grubuna uygulanan flotasyon deneylerinde, farklı kollektör miktarlarına bağlı olarak elde edilen sonuçlar Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3: -0,106 +0,038 mm boyutuna uygulanan flotasyon deneylerinde kollektör miktarı ile tenör-verim ilişkisi

Çizelge 2 ve Şekil 2'den de görüleceği üzere %95,80 BaSO₄ tenörlü konsantre %86,40 BaSO₄ kazanma verimiyle elde edilmiştir.

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada doğrudan satışı mümkün olmayan düşük tenörlü kalker bantlı barit cevherinden, flotasyon yöntemi kullanılarak sondaj, cam ve

kimya sanayiinde kullanım için barit konsantreleri üretimi amaçlanmıştır.

Tüvenan numuneye yapılan elek analizi sonuçlarından yola çıkarak, eleme işleminin sondaj amaçlı kullanıma uygun konsantrelerin elde edilmesinde tek başına yeterli olamayacağı tespit edilmiştir.

Baritin serbestleşme tane boyutu 212 µm olarak gözlenmiş olup tüvenan numunenin fazla şlama kaçmadan bu boyuta indirilmesi gerekmektedir.

Öğütülmüş malzeme içerisinde bulunan şlam, flotasyonu olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle barit numunelerinin öğütülmesi esnasında şlam oluşumunu minimize etmek amacıyla kademeli öğütme uygulanmalı ve flotasyon deneylerine başlamadan önce malzeme içerisindeki şlam uzaklaştırılmalıdır.

Barit, yağ asitleri ile kolaylıkla yüzdüğü gibi, sülfat ve sülfonatlar ile de yüzebilmektedirler. Genellikle gang mineralleri de bu reaktiflerle yüzmekte olup temiz bir barit konsantresi alınabilmesi için köpürtücü ilavesine dikkat etmek ya da bastırıcıları özenle seçmek gerekmektedir.

Optimum flotasyon deneyleri sonucunda, %95,8 BaSO₄ tenörlü konsantre %86,40 BaSO₄ kazanma verimi ve %70,80 ağırlık oranıyla elde edilmiştir.

Elde edilen barit konsantresi, spesifikasyonları itibari ile (BaSO₄ %95,80, Fe₂O₃ %0,27 ve tane boyutu -0,106 mm +0,038 mm) sondaj çamuru uygulaması için uygun nitelikte olduğu gibi, cam ve kimya endüstrilerinde de kullanıma sunulabilecek özelliktedir.

KAYNAKLAR

- Atak S., 1982. *Flotasyon İlkeleri ve Uygulaması* İTÜ Made Fakültesi, İstanbul
- Curreli L., Ghiani M., Peretti R. & Zucca A., 1994. *Production of Baryte Concentrates for Specials Uses*, 5. International Mineral Processing Symposium, p:269-275, 6-8 September Cappadocia/TURKEY.

- Davarcı G., 2001. *Beyşehir Baritlerinin Zenginleştirme Olanaklarının Araştırılması*, İ.Ü. Bitirme Projesi.
- DTM, 2002. Dış Ticaret Müsteşarlığı, Seçilmiş Maden Ürünleri İhracatı
- DPT, 2001. Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Genel Endüstri Mineralleri Çalışma Grubu Raporu Cilt IV, Ankara
- Gündüz M., Girgin İ., 1994. *Separation of Baryte and Fluorite from Kızılcaören (Eskişehir) Bastnaesite ore by flotation*, International Mineral Processing Symposium, p:275-283, 6-8 September Cappadocia/TURKEY.
- Hiçyılmaz C., Ghaemi M., 1996. *The Effect of Inorganic Agents on the Flotation of Barite and Fluorite*, 6. International Mineral Processing Symposium, p:261-265, 24-26 September Kuşadası/TURKEY
- İskit M., 1978. *Konya-Beyşehir İlimen Köyü Barit Yatakları Nihai Etüt Raporu*, Etibank Maden Araştırmalar Daire Başkanlığı
- Lukac J., 1997. Aggregation and temperature in Barite Flotation, 7. Balkan Conference on Mineral Processing, p: 42-47, 26-30 May ROMANIA.
- Özbaş K.E., Hiçyılmaz C., Özbayoğlu G., 1995. *Beylikahır Barit ve Fluorit Minerallerinin Zenginleştirilmesi*, 1. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, s:7-14, 21-22 Nisan İZMİR.
- Özbek B., Üstün Z., 1974. *Beyşehir-Hüyük İlimen Köyü ve Çevresindeki Barit Zuhurlarının Detay Jeolojisi*, MTA Rapor Derleme No: 5422.
- TSE, 2003. TS 919. *Petrol Kuyusu Sondaj Çamuru Katkı Maddesi-Barit*.
- TSE, 2003. TS 5632 *Barit-Cam İmalinde Kullanılan*
- TSE, 2003. TS 5633. *Barit-Lastik Sanayiinde Kullanılan*.
- TSE, 2003. TS 11296. *Boya Sanayiinde Kullanılan*

Bir Kireçtaşı Ocağında Uygulanan Patlatma Delik Çapı Değişiminin Sonuçları

Ö. Akkoyun

Dicle Üniversitesi, Diyarbakır

ÖZET: Bu çalışmada, kireçtaşı ve taşocaklarında yapılan patlatma uygulamalarına değinilmiş ve bir kireçtaşı ocağındaki patlatma çalışmasında yapılan iyileştirme ve sonuçları sunulmuştur. Çalışmada patlatma delik çapları değiştirilerek patlatma uygulamaları yapılmış ve değişimin patlatma ve dolayısıyla ocak işletme ekonomisine etkileri incelenmiştir. Sonuçta 89 mm delik çapı ile 1 ton kireçtaşı üretmek için ortalama 0,206 kg ANFO ve 0,005 kg dinamit kullanılırken; önerilen 102 mm delik çapı ile 1 ton kireçtaşı üretmek için ortalama 0,180 kg ANFO ve 0,003 kg dinamit tüketimi gerçekleştirilmiştir. ANFO giderlerinde %12, dinamit giderlerinde ise %30'lara varan gerilemelere, çimento fabrikasının istediği ürün tane boyunda kireçtaşı üretimine devam edilerek ulaşmak mümkün olmuştur.

ABSTRACT In this paper, some information about blast practices that are being applied in stone quarries and the results of an improvement about bench blasting in a limestone quarry are presented. During the research, several bench blasting operations had been done by changing the diameter of blasthole to find out the effects of this change on blast and mining costs. As a result of this research, instead of using 0.206 kg ANFO and 0.005 kg dynamite for 3^{1/2} inches blasthole diameter, it's only needed to use 0.180 kg ANFO and 0.003 kg dynamite for 4 inches diameter to produce one tone limestone. 12% reduction in ANFO cost and 30% reduction in dynamite cost could have been possible by continuing limestone production in product particle size that the cement factory demands.

1. GİRİŞ

Bilindiği gibi yaklaşık yüz yıllık bir kanun ile işletilen taş ocakları; çimento endüstrisinde hammadde olarak, baraj inşaatlarında taş ve yol malzemesi, riprap (kaya dolgu) ve ince dolgu malzemesi gibi farklı amaçlarla işletilmektedirler. Ülkemizdeki çimento fabrikalarının sayısı 40 dolayındadır (Anon, 2003). Bir çimento fabrikasının bir veya daha fazla sayıdaki kireçtaşı ve marn ocağı ile çalıştırıldığı düşünülürse toplamda bu ocakların sayısının azımsanmayacak sayıda olduğu anlaşılabacaktır.

Her ilimizde bir yada daha fazlasına rastlayabileceğimiz bu işletmelerin bir kısmında açık maden işletme üretim şartlarına uygun olarak oluşturulmuş basamaklardan delme patlatma

yöntemi ile üretim yapılırken (Alpaydın ve Salgır, 1998) yol yapım malzemesi ve benzer malzeme üretmek için taşocağı olarak işletilen büyük bir kısmında; eski bir üretim yöntemi olan galeri patlatmasına dayalı üretim biçimi uygulanmaktadır (Kaya ve diğ., 2003).

Galeri patlatmasında; üstteki ve öndeki kaya yükleri ile ceplere doldurulan patlayıcı miktarının çok iyi dengelenmesi gerekir. Uygulamada patlayıcı madde miktarı ya az seçilmekte ya da galerinin konumu iyi ayarlanmadığından parçalanma yetersiz olduğu için ikincil delme-patlatma emek ve maliyetine ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca; çok miktardaki patlayıcı maddenin aynı anda patlatılması sonucu kontrolsüz şekilde fırlayan taşlar, yüksek oranda hava şoku ve titreşim gibi bir çok çevresel sakıncaları da bulunmaktadır. Kesinlikle terk edilmesi gereken

galeri patlatması yönteminin bir çok sakıncalı tarafı bulunmaktadır (Bilgin ve diğ., 2003).

Ayrıca gelişen şehirlerimizin sınırlarının büyümesi ile birlikte üretime yıllar önce başlayan bir çok ocak, yerleşim yerlerine çok yakın uzaklıkta kalmıştır. Bu durumun sonucunda ses, titreşim, kaya savrulması gibi bir çok rahatsız edici durumların yaşanması kaçınılmaz hale gelmiştir. Bu ve benzeri olumsuzluklar da göz önüne alınarak yavaş yavaş da olsa galeri patlatması uygulamalarından vazgeçilerek basamak patlatması ile üretim yöntemine geçilmeye başlanmıştır (Elevli ve diğ., 2003).

1.1. Basamak Patlatmaları

Basamak patlatmalarının uygulandığı üretim yönteminde; basamakların, belirli bir düzen içerisinde delinip patlatılması sonucunda ortaya çıkan malzemenin kazılıp yüklenmesi temeli esas alınmıştır.

Patlatmanın uygulanacağı kayacın jeolojik ve yapısal özellikleri en önemli parametre olarak değerlendirilmektedir. Değiştirilemez bir özellik olan kayacın yerinde özelliklerine rağmen basamak patlatmasında patlatmayı kontrol altına alabilecek, değiştirilebilir parametreler aşağıdaki gibi sayılabilirler;

- Basamak yüksekliği
- Delik çapı
- Patlatma delik düzeni
- Kullanılan patlayıcı madde miktar ve cinsi
- Ateşleme sistemi

Basamak yüksekliği işletmede kullanılacak kazıcı-yükleyici makine kazı kolunun boyuna bağlı olarak belirlenir. Patlatma delik düzeni, kaya yapısının özelliklerine bağlı olarak patlayıcı maddenin kaya içerisine homojen bir şekilde dağıtılması esasına dayanmaktadır. Delikler arası mesafe, delik ayna mesafesi (dilim kalınlığı), kare delik düzeni, şerbeş delik düzeni gibi bir çok değişik parametre, kayacın ve kullanılan patlayıcı madde özelliklerine bağlı olarak seçilebilmektedir. Ayrıca ateşleme sistemi olarak ifade edilen; "hangi miktar patlayıcının hangi zaman diliminde patlatılacağına kontrolü" de, sismik şok, taş savrulması, hava şoku gibi

olumsuz etkilerin kontrolü için önemli parametrelerdir.

1.2. Patlatma Delik Çapının Önemi

Basamak patlatmalarında patlatma verim ve ekonomisini etkileyen en önemli parametrelerden birisi de delik çapıdır. Delik çapı, öncelikle patlayıcının kaya yapısı içinde dağılma derecesini işaret eder. Küçük çaplı deliklerde patlayıcı kaya yapısı içinde daha iyi dağılmıştır (Erkoç, 1996).

Delik çapı, patlatma ekonomisini yakından etkilemektedir. Büyük çaplı deliklerde ise delik geometrisinin (dilim kalınlığı*delik çapı) geniş olmasına bağlı olarak elde edilen pasa, iri taneli bir karakter göstermektedir. Çapın büyümesi ve delik geometrisinin genişlemesi, tüketim kalemlerini düşürdüğü için maliyeti düşürmektedir. Her işletme kendi özel koşullarına uygun olarak (kaya yapısı, istenen ürün tane boyu vb.) kendisine en uygun delik çapını tespit etmelidir (Erkoç, 1996).

Patlatma sonucunda ince tane boyuna sahip, homojen boyutlu ürün elde edebilmek için patlayıcı maddenin kaya içerisine iyi dağılması hedeflenerek kullanılan küçük çaplı delik düzeni, delik sayısında artış, delici makine giderlerinde ve her delik için kullanılan birincil (başlatıcı) patlayıcı madde giderlerindeki artışa beraberinde getirecektir.

Buna karşın, delik delme giderleri ve başlatıcı giderlerini azaltmak için delik çapında yapılacak artış ise iri boyutlu ve jeolojik yapıya (süreksizlik sistemlerinin durumu yönelmesi) ve kayacın özelliklerine bağlı olarak ikincil patlatmayı gerektirecek takoz ve taban gibi istenmeyen sonuçlar doğuracaktır.

Tüm bu nedenlerden dolayı patlatmanın yapılacağı ocak jeolojik şartları, çevre şartları, kaya özellikleri, istenen ürünün tane boyu, ürün tane boyu için izin verilen homojenlik değerleri gibi bir çok parametre göz önünde tutularak en uygun delik çapını seçmek; patlatma işlem ve ekonomisi açısından önemli bir çalışma olacaktır.

Belirli kaya özelliklerine göre ilişkilendirilmiş delik çapı, delik ayna mesafesi, delik boyu gibi bir çok parametre için literatürde verilmiş bir çok eşitlik söz konusudur. Ancak kaya özellikleri, süreksizlik

sistemlerinin yapı ve pozisyonları, çevresel koşullar her yerde hatta aynı ocağın farklı yerlerinde dahi farklılık göstermektedir.

Bu nedenle literatürdeki çalışmalar incelendikten sonra patlatmanın yapılacağı yerde yapılacak kontrollü patlatmalar ile (her seferinde bir parametre bir miktar değiştirilerek) her ocak için o ocağa özgü delik çap ve patlatma düzeni yeniden değerlendirilmelidir. Patlatma parametreleri tespit edildikten sonra da delinen delikler ve yapılan her patlatma yakından kontrol edilerek kayada meydana gelebilecek muhtemel değişimler izlenmeli ve kayadaki değişimlere göre parametrelere bu değişimler yansıtılmalıdır. Örneğin kayada içindeki silis içeriğinin artması ya da kayada zayıf bir zona girilmesi durumunda delikler arası mesafe veya patlayıcı madde miktarlarında değişiklik düşünülmelidir.

Bu çalışma kapsamında, bir çimento fabrikasına hammadde üretmek için işletilen bir kireçtaşı ocağında farklı patlatma delik çapları ile patlatma denemeleri yapılmıştır. İki ayrı boyuttaki delik çapları ile yapılan denemelerden elde edilen veriler ve sonuçları sunulmuştur.

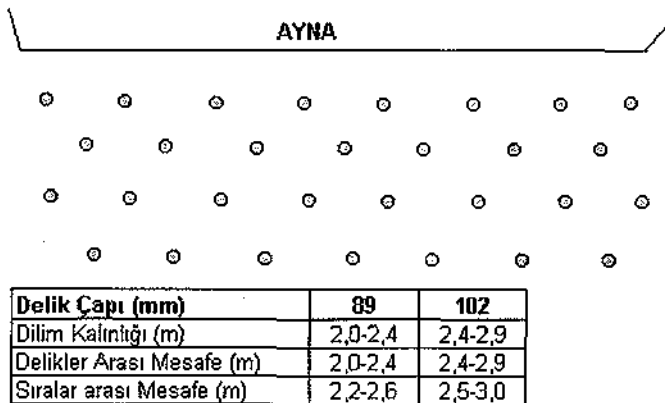
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Çalışmanın yapıldığı Dağyaka işletmesi Ankara'ya yaklaşık 50 km uzaklıkta bulunmaktadır. İşletmede üretim dört ayrı aynadan yapılmaktadır. Basamaklar

ortalama 9 m. yüksekliğindedir. Ocak alanı içinde bir büyük ve çok sayıda küçük fay ile bunlara bağlı olarak gelişen süreksizlik sistemleri mevcuttur. Aynalar; genelde bu süreksizlik sistemlerine paralel gelişen çatlak sistemlerinin ayırdığı iri bloklar aile bunların arasında az da olsa gözlenen eski dere yataklarına ait alüvyon kırıntılarını içeren ince taneli, delmede sorunlar yaratan zonlardan oluşmaktadır.

Günlük ortalama 2500-3500 ton kalker üretimi yapılan işletmede bir adet delici makine, bir adet lastik tekerlekli yükleyici, iki adet paletli ekskavator (Beko), bir adet dozer bulunmaktadır. Üretim, mevcut delici makine ile günde ortalama 7-10 adet delinebilen ve boyları ortalama 10 m. olan patlatma deliklerinin patlayıcı maddeler ile patlatılması ile yapılmaktadır.

Patlayıcı madde olarak hazır ANFO, yemleme olarak jelatin dinamit ve elektrikli kapsül kullanılmaktadır. Delik ayna mesafesi 2,0 m-2,9 m arasında değişmektedir (Şekil 1). Delik delme düzeni seçimi için daha önceden yapılan çalışmaların sonucunda şaşbeş delik düzeninin uygun olduğu görülmüş ve uygulamaya devam edilmiştir (Akkoyun ve Ayhan, 2001).



Şekil 1. Genel Delik Düzeni ve Boyutlandırmadaki Değişim

Yapılan patlatmalar sonrası çıkan malzeme, kamyonlar vasıtasıyla çimento fabrikasına taşınmakta, fabrika girişinde kantardan geçen malzeme ile ilgili her türlü tonaj bilgisi bu sayede takip edilmektedir. Bir aynadaki patlatmadan çıkan malzeme tamamen bitmeden başka bir patlatma malzemesinden yükleme yapılmadığı için bir patlatma sonucunda toplam kaç ton kalker yüklendiği tam olarak kayıt altına alınabilmektedir. Patlatma sonucunda çıkan malzemenin tane boyu dağılımı da bir patlatmanın değerlendirilmesi açısından çok önemli bir parametredir. İşletmeden üretilen kalkerin tüketicisi konumundaki SET Ankara çimento fabrikasının belirlediği en büyük tane boyu 70 cm dir.

Bir üretim patlatmasından çıkan tüm malzemenin tane boyu dağılımını doğru tespit etmenin uygulamadaki zorluğundan dolayı tane boyu dağılımı ölçümü yapılamamıştır ancak Çalışmanın yapıldığı süre boyunca fabrikadan sevk edilen kalkerin; en büyük tane boyu değeri olan 70 cm in üzerine çıktığına dair hiçbir uyarı da alınmamıştır. Aynı şekilde, çap değişimi sonrasında çıkan ürün için ikincil patlatma ya da kırma gibi bir uygulamaya da gidilmemiştir.

Okakta yapılan incelemeler sırasında patlatmalardan çıkan kayaç miktarı ile hesaplanan teorik miktar arasında, gerçek miktar lehine büyük farklılıklar görülmüştür. Ayrıca, patlatmalardan sonra patlatma aynasında düz bir sırt oluşmadığı, mevcut kırık ve çatlak sistemlerinin de etkisi ile gevşeyen malzemenin iş makineleri tarafından sökülerek aynadan alınabildiği, bu nedenle de

kazılan miktarın, teorik üretim miktarından fazla çıktığı gözlemlenmiştir. Bu durumun doğal sonucu olarak da ufalanmış, gereğinden fazla olarak boyutu küçültülmüş malzeme miktarında artış gözlenmiştir.

Aşırı kırma uygulamasından vazgeçmek ve ocaktaki süreksizlik sistemlerinden de faydalanabilmek için patlatma delik çapının büyütülmesi düşünülmüş ve mevcut 89 mm çaplı delikler ile 102 mm çaplı deliklerin kıyaslanacağı bir çalışma yapılmıştır. Çalışmanın başlamasının ardından, ocakta yapılan ve mevcut bulunan 89 mm çaplı delik delme makinesi ile delinen delikler, delik geometrisi ve kullanılan patlayıcı madde ile üretilen kireçtaşı miktarı verilerinin kaydedildiği 13 patlatma verileri elde edilmiştir.

Bu patlatmalara ilişkin veriler Çizelge 1. de verilmiştir. Mevcut delik çapı ile yapılan patlamalar ile ilgili kayıtlar yapıldıktan sonra delik çapını büyütme için çalışmalar başlatılmış, ancak işletmede kullanılan delici makine ve kompresörün yeni delik çapı ve delme takımı ile çalışamayacağı görülmüştür. Bu durumun ardından bir delici makine kiralanarak, var olan kompresörün çevirebileceği en büyük delici takım çapı olan 102 mm çapa sahip delici takım delici makinenin kiralanmasına karar verilmiştir.

Yapılan araştırma sonucunda yeni delik makinesi ve kompresörü kiralanmış ve çalışmaya başlamıştır. Yeni delik çapı ile delinen delikler ile yapılan 12 adet patlatmaya ait veriler de gözlemlenmiştir. Bu veriler Çizelge 2 de verilmiştir.

Çizelge 1. 89 mm delik çapı ile yapılan patlatma verileri

Patlatma no	Çap (mm)	Delik sayısı	Delik boyu (m)	Delikle r arası (m)	Sıralar arası (m)	ANFO (kg)	Dinami t (kg)	E- kapsül (adet)	Üretim (ton)	özgül şarj (kg/ton)
1	89	41	10	2,2	2,4	1700	45	41	8.550	0,199
2	89	39	10	2,3	2,5	1600	40	39	7.850	0,204
3	89	42	10	2,2	2,4	1650	40	42	9.050	0,182
4	89	46	10	2,4	2,6	1900	45	46	10.750	0,177
5	89	38	10	2,3	2,5	1700	35	38	8.450	0,201
6	89	51	10	2,4	2,6	2300	50	51	11.250	0,204
7	89	50	10	2,3	2,5	2250	50	50	11.050	0,204
8	89	49	10	2,2	2,4	2200	50	49	9.550	0,230
9	89	48	10	2,3	2,5	2150	50	48	9.300	0,231
10	89	40	10	2,4	2,6	1800	40	40	7.500	0,240
11	89	38	10	2,2	2,4	1700	40	38	7.250	0,234
12	89	59	10	2	2,2	2650	60	59	11.450	0,231
13	89	62	10	2,1	2,3	2800	60	62	16.050	0,174

Çizelge 2. 102 mm delik çapı ile yapılan patlatma verileri

Patlatma no	Çap (mm)	Delik sayısı	Delik boyu (m)	Delikler arası (m)	Sıralar arası (m)	ANFO (kg)	Dinamit (kg)	E-kapsül (adet)	Üretim (ton)	Özgül Şarj (kg/ton)
14	102	40	10	2,4	2,5	2250	40	40	11.500	0,196
15	102	52	10	2,5	2,7	2900	50	52	17.500	0,166
16	102	53	10	2,6	2,8	3000	50	53	14.050	0,214
17	102	71	7	2,7	2,9	4050	60	71	15.050	0,269
18	102	40	10	2,8	3	2250	45	40	11.550	0,195
19	102	38	10	2,7	2,9	2150	45	38	10.500	0,205
20	102	39	10	2,8	3	2200	45	39	14.850	0,148
21	102	46	10	2,9	3	2650	50	46	17.850	0,148
22	102	48	10	2,8	3	2700	55	48	18.950	0,142
23	102	61	7	2,7	2,9	3450	60	61	16.500	0,209
24	102	29	10	2,8	3	1650	30	29	9.500	0,174
25	102	41	10	2,8	3	2337	45	41	17.500	0,134

89 mm delik çapı ile yapılan 13, 102 mm delik çapı ile yapılan 12 adet patlatmaya ilişkin elde edilen verilerin özeti Çizelge 3 de verilmiştir. Bu çizelgeden de görüleceği gibi patlatma delik sayıları, toplam delik sayıları ve sonuçta üretilen kireçtaşı tonajlarının farklı olmasından dolayı iki delik çapının kıyaslamasını yapmak güç olmaktadır.

Bu nedenle bir ton kireçtaşı üretimi esas alınarak elde edilen veriler üretim değerine bölünerek Çizelge 4 elde edilmiştir. Çalışma sırasında patlatma teorik tonaj ve gerçek tonajlar tespit edilirken bir farklılıkla karşılaşmıştır. Patlatma paterni teorik tonajı üzerinden yapılan tüm hesaplamalara rağmen gerçekleşen tonaj her zaman fazla çıkmaktadır.

Hatta kalkerin nispeten yumuşak olduğu üst basamaklardan üretim yapıldığında örselenen

basamak aynasından sökülen taşlar, ekskavatörün kendi imkanları ile kazdığı malzemelerin de etkisi ile teorik tonajın çok üzerinde malzemeler elde edilmiştir.

Çizelge 3. Patlatmalardan elde edilen verilerin özeti

	Delik Çapı	
	89	102
Toplam Patlatma Sayısı	13	12
Toplam Üretim	128.050	175.300
Toplam Delik Sayısı	603	558
Toplam ANFO (kg)	26.400	31.587
Toplam Dinamit (kg)	605	575
Toplam E.Kapsül (Adet)	603	558

Çizelge 4. Bir ton kireçtaşı üretmek için yapılan birim üretim değerleri

1 Ton Kireçtaşı İçin	Delik Çapı		Değişim (%)
	89	102	
Delik Sayısı	0,0047	0,0032	32,4
ANFO (kg/ton)	0,2062	0,1802	12,6
Dinamit (kg/ton)	0,0047	0,0033	30,6
E.Kapsül (Adet/ton)	0,0047	0,0032	32,4
ANFO (\$/ton)	0,1275	0,1114	12,6
Dinamit (\$/ton)	0,0055	0,0039	30,6
E.Kapsül (\$/ton)	0,0049	0,0033	32,4
Toplam Patlayıcı Maliyeti (\$/ton)	0,1380	0,1186	14,03

Çalışmanın yapıldığı dönem boyunca ocakta üretim dışındaki amaçlar için de (yeni ayna açılması, basamak oluşturulması, yol yapılması vb.) bazı delme-patlatma çalışmaları yapılmıştır ancak bu işlemler sonucunda çıkan kireçtaşı yüklenmediği için değerlendirme dışı tutulmuştur.

3. SONUÇLAR

Her iki delik çapı ile yapılan patlatma uygulamalarından elde edilen veriler incelendiğinde şu sonuçlara ulaşmak mümkün olacaktır;

Öncelikle bir ton kireçtaşı üretmek için gerekli olan delik sayısında %32 oranında düşme meydana gelmiştir ki bu; delik delme giderleri, delici makine personeli giderleri gibi diğer kalemleri de etkileyecektir. Delik sayısının azalması, delik çapı büyütülmesi uygulamalarında beklenen bir sonuçtur.

Bir ton kireçtaşı üretmek için kullanılması gereken patlayıcı madde miktarlarında düşme meydana gelmiştir. Bu düşüş, ANFO da %12,6 ya; Dinamitte %30 a ulaşmıştır. Toplam patlayıcı madde giderlerindeki düşüş %14 olarak gerçekleşmiştir. Özgül şarjın bir kaya tipi için çok fazla değişmemesi öngörülmüş, ancak çalışma öncesi kullanılan delik çapının ocak jeolojik yapısı ve kayaç özellikleri ile tam bağdaşmadığı, patlatma sonrası çıkan malzemenin çok ufalanmış-kırılmış olmasından yola çıkılarak, küçük delik çapı ve dar patern ile fazla kireçtaşı üretebilmek için gereğinden fazla patlayıcı madde kullanılmasına gidildiği sonucuna varılabilir.

Bu nedenle doğru delik çapı ve doğru patern ile hem tane boyu sınırlamaları içinde kalmış ve hem de kullanılan patlayıcı madde miktarı birim olarak düşmüştür. Buna, ocağın farklı basamaklarda farklı sertlik ve çatlak sistemlerine sahip yapılarda olması da eklenince her atım için farklı özgül şarj değerleri ortaya çıkmıştır. Ancak genel olarak delik çapı büyüdüğü için genişleyen patern, özgül şarjı da değiştirmiştir.

Üretilen kireçtaşının alıcısı konumundaki çimento fabrikası, çalışma süresince üretilip gönderilen kireçtaşı tane boyutundan kaynaklanan bir olumsuzluk belirtmemiştir. Ocakta yerinde yapılan gözlemlerde, üretilen kireçtaşının boyutunun biraz

büyüdüğü, bunun da yükleme ve taşıma işlemlerinde sanılanın aksine kolaylık sağladığı ve yağışsız geçen yaz aylarında önemli bir sorun olan toz sorunu da bir miktar azalma olduğu gözlemlenmiştir.

Bir işletmede delik çapının büyütülmesinden kaynaklanan olumlu sonuçların diğer işletmelerde de aynen gözleneceğini söylemek doğru bir yaklaşım olmayacaktır. Her işletme ve ocak için şartlar göz önüne alınarak çalışmalar yapılmalı ve patlatma parametreleri değiştirilerek yapılacak uygulamalar ile en uygun değerler elde edilmelidir.

Parametreler değiştirilirken dikkat edilmesi gereken hedefler ise başta emniyet koşulları olmak üzere; en uygun delme ve patlatma maliyetinde ve istenilen tane boyunda malzeme üretmek olmalıdır.

Ayrıca çalışmalar yapılarak parametreleri belirlenen işletmelerde kontrol sürmeli ve değişmesi muhtemel kayaç ve ocak şartlarına göre ve yenilenen patlayıcı madde teknolojisine göre patlatma parametreleri yeniden gözden geçirilmelidir.

KAYNAKLAR

- Akkoyun, Ö. ve Ayhan, M., 2001. *Dağyaka Kalker Ocağında Uygulanan Kare ve Şeşbeş Delik Düzenlerinin Karşılaştırılması*. Yerbilimleri, Adana, 213-219.
- Alpaydın, E. ve Salgır, H., 1998. *Gebze Taşocaklarında Delme-Patlatmada Uygulanan Yenilikler*. 3. Delme ve Patlatma Sempozyumu, Ankara, 117-126.
- Anonim, 2003, www.tcma.org.tr
- Bilgin, A., H., Orica Nitro AŞ., Nitromak AŞ., 2003. TMMOB-Maden Mühendisleri Odası Patlatma Müh. Semineri Notları, Ankara, (yayınlanmamış).
- Elevli, B., Akçakoca, H., Uysal, Ö., Ediz, G.I., 2003. *Kırdar Taşocagında Galeri Atımından Çevreye Duyarlı Basamak Sistemine Geçişin Teknik ve Ekonomik Değerlendirilmesi*. 3. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, İstanbul, 179-183.

Erkoç, Ö. Y. , 1996. *Kaya Patlatma Tekniğinde Yöntem ve Maliyet Karşılaştırması*. 2. Delme ve Patlatma Sempozyumu, Ankara 193-201.

Kaya, R., Kesimal, A., Yılmaz, E. ve Erçikdi, B., 2003. *Karadeniz Sahil Yolu Projesi Kapsamında Trabzon'da İşletilen Taş Ocaklarında Yapılan Patlatmaların Çevresel Açidan İncelenmesi*. 3. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, İstanbul, 91-97.

Eczacıbaşı Duvar Karosu Uygun Sır ve Renklendirme Çalışmaları

A. Yamık, A. Uçar, İ. Nuhoglu & M. Akbaş

Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya

ÖZET: Bu çalışmada, Eczacıbaşı Karo Seramik Fabrikası çalışma koşullarına uygun olarak bünye üzerine transparant sır geliştirilmesi ve bu sırı renklendirme çalışmaları yapılmıştır.

Sır hatalarını önlemek, bünye ile uyumunu sağlamak için oluşturulan sır reçetelerinde Na – feldispat miktarı azaltılmış ve kuvars miktarı artırılmıştır. Böylece %22 Na-fldispat, %10 dolomit, %16 çinko oksit, %40 kuvars, %6 kil ve %6 manyezit içeriğiyle hazırlanan sır reçetesinde bünye ile uyum sağlanmış ve herhangi bir sır hatası da görülmemiştir.

Bünye üzerine standartlara uygun olarak geliştirilen sırın viskozite ve tiksotropi değerleri %0.3 CMC ve %0.47 STPF kullanılarak 25 sn. olarak sağlanmış ve beş ana renkten oluşan boyalar ile renklendirilmiştir.

ABSTRACT: within this study, fitting transparent glaze is to taken form on the tile body and this glaze is colored was carried out in the working conditions in Eczacıbaşı Diamond Flagstone Ceramic Factory.

Amount of Na-feldspar has been reduced and amount of quartz has been increased on glaze recipes, which have been formed to prevent glaze error and provision to the body. Thus, any error has been found and adaptation has been provided on recipes that has been prepared with content of %20 Na-feldspar, %10 dolomite, %16 zinc – oxide, %40 quartz, %6 clay and %6 magnesite.

Viscosity and thixotropy of glaze has been provide as 25 second by use of 0.3% CMC and 0.47% STPF and it has been coloured by paint which has been formed from five main colour.

1. GİRİŞ

Seramik karolar iki tabakadan oluşurlar. İç tabaka tanelerin sinterleşmiş karışımından oluşan gözenekli tabakadır. Görülebilen dış tabaka yani yüzey tabakası, genellikle çeşitli inorganik maddelerin karışımından oluşur ve sır olarak adlandırılır. Sır çatlaksız, amorf, homojen ve ince camı tabakadır. Karo sırrı $\text{Li}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$, $\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ ve $\text{MgO}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$ üçlü denge diyagramlarına göre hazırlanır (Jose and Alarcon, 2003, Sainz, 1990, Parmalee, 1973). Alkaliler yüksek genleşme katsayısına sahip olmaları nedeni ile, sırlarda çatlama hatasına yol açmaya her zaman yatkındırlar. Bu durum Na_2O 'da daha fazladır. SiO_2

ortaya çıkan çatlakları gidermesine rağmen sırrın erime derecesini yükseltir. ZnO , MgO ve CaO sırlarda parlaklığı artırdıkları gibi, düşük genleşme katsayısı nedeni ile sır çatlağını da önlerler (Arcasoy, 1983).

Sırlı seramik karoların yüzey özellikleri pratikte sırrın özellikleri ile eş değerde olduğu için seramik plakaları örten sırların kullanım alanlarına göre standartlarda öngörülen; yüzey düzgünlüğü, asit ve bazlara dayanıklılık, çizilme sertliği, aşınma dayanımı, ısıl şoka dayanıklılık, otoklav dayanımı ve leke tutma testi gibi özelliklerin asgari limitlerin üstünde olması istenmektedir Yüzeyin kullanım

koşullarına dayanıklılığı uygun bileşimde sır reçetesi yapılarak ayarlanabilir. İstenen bu özelliklerin beraberinde getirdiği teknolojik, estetik ve ekonomik şartlarda dikkate alındığında, uygun bir sır üretiminin ne kadar karmaşık olduğu daha iyi anlaşılmaktadır (Kartal, 1998). Bu nedenle günümüzde rekabet unsuru da göz önüne alınarak firmalar ürettikleri sır reçetelerini gizli tutmaktadırlar.

Sırların genel kural olarak ısı genleşme katsayısı açısından bünye ile uyum halinde olması gerekir. Teorik olarak sır ile bünenin uyum halinde olması için ısı genleşme katsayılarının eşit olması gerekmektedir. Fakat uygulamalar sıran genleşme katsayısının büneden yaklaşık % 5 daha küçük olması gerektiğini göstermektedir. Bu durum, gerilme altında davranış ve rutubet genleşmesi ile açıklanmaktadır. İnce camı tabaka, kalın bünyeye karşı daha çok gerilmeye maruz kalmakta, ancak genleşme katsayısı daha düşük tutularak basınç gerilmesi altında bırakılmakta ve böylece sıra dayanıklılık kazandırılmaktadır. Zira camların basınç gerilmesi, çekme gerilmesine göre yaklaşık 10 katı daha fazla değerdedir. İkincisi ise bünenin rutubet genleşmesi özelliğidir. Seramik bünye, içerisinde

mikro gözenekler ve Ca iyonları ihtiva etmekte, bunlar zamanla su absorbe ederek ve hidratlaşarak bünyeyi genişletmekte (rutubet genleşmesi), ve sır tabakasını çekme gerilimine maruz bırakarak kopma ve çatlamalara neden olmaktadır. Ancak, sıran genleşme katsayısı düşük tutularak bünyede daha sonra oluşacak genleşmeleri karşılamak mümkündür (Göktaş, 1998).

Bu çalışmanın amacı, Eczacıbaşı Karo Seramik (EKS) Fabrikasında üretilen duvar karosuna uygun olarak değişik sır ve renk alternatiflerinin araştırılmasıdır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmalarda, kimyasal bileşimi Çizelge 1'de görülen hammaddeler ile oluşturulmuş, Çizelge 2'de verilen bünye bileşimindeki duvar karosu üzerinde (Akbaş, 2002), Eczacıbaşı Karo Seramik Fabrikasından alınan hammaddelerle hazırlanan uygun sır denemeleri yapılmış, daha sonrada bu sıran renklendirme çalışmalarına geçilmiştir.

Çizelge 1. Bünye reçetelerinde kullanılan hammaddelerin kimyasal analizleri (EKS)

Hammadde	Söğüt Kumlu Kili (%)	Söğüt Plastik Kili (%)	İstanbul Kumlu Kili (%)	İstanbul Plastik Kili (%)	Kalsit (%)	Sarmaşık Silisi (%)
SiO ₂	72.35	53.8	62.87	57.49	---	86.24
Al ₂ O ₃	17.05	30.2	21.98	26.34	---	8.60
Fe ₂ O ₃	2.17	1.5	2.27	2.30	0.04	0.36
TiO ₂	0.68	0.89	1.33	1.26	---	0.07
CaO	0.44	0.47	0.56	0.52	54.96	0.37
MgO	0.17	0.65	0.50	0.53	0.40	0.48
Na ₂ O	0.31	0.42	0.1	0.38	---	0.59
K ₂ O	0.44	0.85	1.72	2.79	---	2.24
CaCO ₃	---	---	---	---	99.20	---
A.Z	6.39	10.95	7.01	8.06	43.29	0.85

Çizelge 2. Duvar karosu bileşimi

Hammaddeler	Bileşim (%)
Plastik	Söğüt Plastik Kili 11
Killer	İstanbul Plastik Kili 14
Kumlu	Söğüt Kumlu Kili 45
Killer	İstanbul Kumlu Kili 12
CaCO ₃	11
SiO ₂	7
Toplam	100

2.1. Duvar Karosu Sır Çalışmaları

Sır reçetesi oluşturulurken Eczacıbaşı Karo Seramik Fabrikasında kullanılan sır hammaddeleri, seramik karolar ve işletme şartları göz önünde tutulmuş ve hazırlanan sır reçeteleri ile aşağıdaki sır denemeleri yapılmıştır.

1. Otoklav deneyi: Numunelerin üzerine malahit yeşili sürülerek otoklav cihazında 5 atm. de 1 saat bekletilmiştir. Soğutulduktan sonra yine üzerine malahit yeşili sürülerek çatlak olup olmadığına bakılmıştır.

2. Harkort deneyi: Etüvde 185 °C'ye kadar ısıtılan numuneler 20 °C sıcaklıkta tutulan suya daldırılmış ve bu sıcaklık elde edildiğinde numune çıkarılarak malahit yeşili sürülmüş ve çatlak olup olmadığına bakılmıştır.

3. Asit - Alkaliye dayanım deneyi: Asit testi için %3'lük HCl ve alkali testi için ise 30 gr/lt'lik KOH kullanılmıştır. Uygun şekilde hazırlanan numune yüzeyine 4 gün süreyle uygulanan çözeltiler ve numune yüzeyi temizlenerek test alanı ile çevresi arasında belirgin bir renk farkının meydana gelip gelmediğine bakılmıştır.

4. Lekelenmeye karşı dayanım deneyi: Numunenin üzerine 3 - 4 damla metilen mavisi ve potasyum permanganat farklı yerlere damlatılarak 24 saat sonunda oluşan lekenin nemli bezle silinip çıkıp çıkmadığına bakılmıştır.

5. Viskozite ve tiksotropi deneyi: Hazırlanan sırnın bir zaman birimi içinde belli bir aralıktan akıtılarak akışkanlığı ölçülmüştür. Aynı numuneye, yarım saat sonra aynı işlem uygulanmıştır. İki akışkanlık arasında ki farkın yüzdesi tiksotropi oranı olarak alınmıştır. Sırnın akışkanlığının sağlanması ve bekleme süresince kararlı olabilmesi için CMC (Karboksi metil selüloz) ve STPF (Sodyum tri polifosfat) ilavesi yapılmıştır.

Karo bünyesinin genleşme katsayısı değeri $70 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ dir (Akbaş, 2002). Hazırlanan sırların genleşme katsayıları ise hesap yoluyla bulunmuştur. Sır reçetesine göre toplam 300 g. kuru madde alınarak, 500 ml kapasiteli jet değirmenlerde 45 mikronun altına öğütülmüştür.

2.2. Sır Renklendirme Çalışmaları

Hazırlanan sır, içeriği Çizelge 3'de verilen Eczacıbaşı Karo Seramik Fabrikasında kullanılan hazır boyalar ile tek tek karıştırılarak renklendirilmiştir. Renk parametreleri ise Minolta CM 3600 d marka spektrofotometre cihazı ile ölçülmüştür.

Çizelge 3. Kullanılan boyaların kimyasal bileşimleri

Boya	İçinde Bulunan Elementler
PG 135	Zr, Si, V, Pr
CT 1301	Zr, Si, Pr
PG 5401	Cr, Fe, Co, Mn, Ni
PG 12	Co, Si
PG 5105	Zr, Si, V

3. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

3.1. Duvar Karosu Sır Çalışmaları

Hazırlanan sırlara ait reçeteler Çizelge 4'de verilmiştir.

Çizelge 4. Sır reçeteleri

HAMMADDELER REÇETE NO	MİKTAR (%)					
	Na-Fldispat	Dolomit	Çinko Oksit	Kuvars	Kil	Manyezit
1	42	10	16	20	6	6
2	32	10	16	30	6	6
3	22	10	16	40	6	6

Çizelge 5'de Seger formülü görülen 1 nolu şeffaf sırnın genleşme katsayısının bünyenin genleşme katsayısından yaklaşık 5°C düşük olması nedeniyle bünye ile sır arasında uyum sağlanamamıştır. Arcasoy'a göre bünye üzerinde

sırnın çatlaksız olarak kalabilmesi için sırnın genleşme katsayısının bünyeninkinden yaklaşık 10-15°C daha az olması istenir. Bu sırnın Otoklav ve Harkort testi sonuçları (-) çıkmıştır (çizelge 6).

Çizelge 5. Sır reçetelerinin seger formülleri ve genleşme katsayıları

Reçete No	Seğer Formülü	Genleşme Katsayısı/ $^{\circ}\text{C}$	Erime Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
1	0,16 Na_2O 0,12 CaO 0,28 MgO 0,44 ZnO	65,41 x 10^{-7}	1200
2	0,14 Na_2O 0,11 CaO 0,28 MgO 0,45 ZnO	60,61 x 10^{-7}	1250
3	0,1 Na_2O 0,11 CaO 0,3 MgO 0,47 ZnO	54 x 10^{-7}	1280

Bunun nedeni Na-feldispat oranının yüksek kuvars oranının ise düşük olması ile açıklanabilir. İşletmenin fırın pişirim şartları değiştirilmediğinden sır reçetesi değiştirilerek yeni bir reçete geliştirilmiştir (çizelge 4, 2 nolu reçete).

Çizelge 4'de verilen 2 nolu reçeteye göre hazırlanan sıran Seger formülü çizelge 5'de görülmektedir. Sıran genleşme katsayısı ile bünenin genleşme katsayısı arasındaki fark yine düşük olduğundan Otoklav testi olumsuz, Harkort Testi sonuçlarında ise çatlak görülmemiştir. Sıran Genleşme katsayısını biraz daha düşürmek amacıyla Na-feldispat oranı düşürülüp kuvars oranı artırılarak yeni bir reçete daha düzenlenmiştir (Çizelge 4, 3 nolu reçete).

Çizelge 4'de görüldüğü gibi hazırlanan 3 nolu sıran genleşme katsayısı ile bünenin genleşme katsayısı arasındaki fark 15°C olduğu için (çizelge 5) bu sır ile yapılan otoklav ve harkort testi sonucu olumlu çıkmıştır (çizelge 6). Asit - Alkali dayanım testi ve Lekelenme testi sonuçlarında lekelenme kalmamıştır. Elde edilen bu sıran 45 mikronluk elek bakiye değeri %0.5 ve litre ağırlığı ise 1790 gr/lt dir.

Çizelge 6. Hazırlanan sıraların Otoklav-Harkort deney sonuçları

Reçete No	1	2	3
Otoklav	-	-	+
Harkort	-	+	+

Şekillendirilen numuneler kurutulduktan sonra $1200-1280^{\circ}\text{C}$ arasında yaklaşık olarak 37 dakika pişirilmiştir. Çizelge 3'den görüldüğü gibi SiO_2 oranının artışına paralel olarak sıran erime sıcaklığında artış gözlenmektedir (çizelge 5).

İlave edilen CMC ve STPF miktarlarının 3 nolu sıran akışkanlığına etkileri Çizelge 7'de görülmektedir. Çizelgede görüldüğü gibi ilk dört denemeye kadar CMC azaltılıp STPF miktarı artırıldığında viskozite ve tikroskopi değerleri yüksek seviyelerde kalmıştır. CMC miktarının %0.2'de tutulup STPF miktarının artırılmasıyla viskozite ve tiksotropi değerlerinde düşüş meydana gelmiştir. Ancak, viskozite ve tikroskopi değerleri istenilen sınırlarda olmadığından CMC miktarı %0.3 de tutulup STPF miktarı artırılmış, viskozite ve tikroskopi değeri 25 saniyeye düşürülmüştür.

Çizelge 7. 3 nolu sır reçetesinin %CMC ve %STPF miktarlarına göre viskozite ve tiksotropi değişimi

Deney No	Kullanılan Maddeler		Deney Sonuçları	
	CMC (%)	STPF (%)	Viskozite (Saniye)	Tiksotropi (Saniye)
1	0.3	--	--	--
2	0.2	0.1	60	--
3	0.1	0.2	60	--
4	0.0	0.3	60	--
5	0.2	0.25	55	110
6	0.2	0.35	45	75
7	0.2	0.4	43	68
8	0.3	0.4	30	50
9	0.3	0.45	25	27
10	0.3	0.47	25	25

3.2. Elde Edilen Sırın Renklendirme Çalışmaları

Sır reçetesine, % 3 oranında boya ilave edilmiş ve PG135 yeşil rengi, CT1301 sarı rengi, PG5401 siyah rengi, PG12 mor rengi ve PG5105 mavi rengi vermiştir.

Boyama işlemleri tamamlanan karoların aletsel olarak ölçülen renk parametreleri Çizelge 8'de verilmiştir.

Çizelge 8. Boyanan karoların renk parametreleri

	standart			Deneme			*dE
	Renk Parametreleri			Renk Parametreleri			
	L	a	b	L	a	b	dE
PG 135	64.48	-16.45	-1.64	63.95	-17.05	-1.57	0.81
CT 1301	78.63	-6.34	68.35	78.57	-6.55	69.90	1.56
PG 5401	9.08	1.63	-0.08	9.74	1.13	-0.71	1.04
PG 12	11.57	24.51	-36.81	12.18	22.62	-34.90	2.75
PG 5105	60.67	-12.73	-14.84	58.53	-12.91	-19.17	4.83

*L : Beyazlık, a : +a kırmızı, -a yeşil, b : +b sarı, -b mavi, dE : Standarttan sapma

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, işletmenin çalışma şartları göz önünde bulundurularak, Na-feldspat oranının düşürülüp kuvars oranının artırılması ile hazırlanan şeffaf sır reçeteleri karo yüzeylerine uygulanmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Hazırlanan sırın viskozite ve tiksotropi ayarları için bünyeye CMC ve STPF ilavesi yapılmıştır. 25 saniyelik bir akış için %3 oranında CMC ve %0.47 oranında STPF ilavesinin yeterli olduğu görülmüştür.

Viskozite ve tiksotropi ayarları yapılan sır reçetesi bünyeye uygulanmış ve otoklav ve harkort testleri sonucunda çatlak ortaya çıkmamıştır. Böylece bünye ile uyum sağlandığı görülmüştür. Ayrıca asit-alkali dayanım ve lekelenme testi sonucunda da

sır yüzeyinde herhangi bir fiziksel farklılık görülmemiştir.

Elde edilen sır, sır-renk uyumunun gözlenmesi amacı ile Eczacıbaşı Karo Seramik Fabrikasında kullanılan hazır boyalar reçeteye %3 oranında ilave edilerek renklendirilmiştir. Renklendirilen sırların renk parametreleri incelendiğinde standarda yakın sonuçların elde edildiği görülmüştür.

Sır reçetesinin gelişimi ile ilgili daha ayrıntılı çalışmalar yapılabilir.

Yeni hammadde ilaveleri ile yeni reçeteler oluşturularak araştırmaya devam edilebilir.

KAYNAKLAR

- Akbaş, M., 2002, *Eczacıbaşı Duvar Karosu Bünyesinin İyileştirilmesi ve Uygun Sır Çalışmaları*, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- Arcasoy, A., 1983, *Seramik teknolojisi*, Marmara Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi, Yayın no: 2.
- Göktaş, A., 1998, *Camların Oluşumu ve Sırların Seramik Sektöründe Davranış ve Özellikleri*, Seramik Sırları ve Boyaları Semineri Bildiriler Kitapçığı, Türk Seramik Derneği yayımları, No:18
- Jose, F. and Alarcon, J., 2003, *Effect of additives on the crystallization of cordierite-based glass ceramics as glazes for floor tiles*, Journal of the European Ceramic Society, Volume23, Issue6, May, p817-826.
- Kartal, A., 1998, *Sır ve Sırlama Tekniği*, Çizgi Matbaacılık, Banaz
- Parmalee, C.W., 1973, *Ceramic Glazes*, Cahners Books, Boston.
- Sainz, I. G., 1990, *Physical - Chemical characteristics of ceramic glazes and their influence on quality of floor and wall tiles*, Tile Brick Int , 6, p21.

Kuvars Kumu Kirleticilerinin Oksalik Asit Liçi ile Uzaklaştırılması

O. Bayat, V. Arslan & H. Vapur

Çukurova Üniversitesi, Müh-Mim. Fak. Maden Müh. Bölümü, Balcalı, Adana

M. Uçurum

Çukurova Üniversitesi, Karaisali Meslek Yüksek Okulu, Karaisali, Adana

ÖZET: Bu çalışmada Camiş Madencilik A.Ş.'den (Mersin) alınan düz cam kalitesindeki kuvars kumundan zücaciye üretiminde kullanılabilecek kuvars kumu elde etmek için faktöriyel dizayn kullanarak oksalik asit liçi optimum koşulları araştırılmıştır. Kuvars kumunun cam yapımında kullanılmasında kum kalitesini belirleyen en önemli bileşen Fe_2O_3 miktarıdır. Cam endüstrisinde zücaciye cam kalitesi kuvars kumunun Fe_2O_3 miktarı maksimum %0.02, düz cam kalitesi kuvars kumunun Fe_2O_3 miktarı ise maksimum %0.1 olması istenmektedir. Optimum koşullar; katı oranı: %30, oksalik asit derişimi: 20 g/L, sıcaklık: 80°C, liç süresi: 90dk. olarak tespit edilmiştir. Bu deney koşullarında yapılan testlerde düz cam kalitesi kuvars kumu içerisindeki Fe_2O_3 içeriği %0.098'den %0.0094'e indirilmiştir.

ABSTRACT: In this study, optimum conditions of oxalic acid leaching applying factorial design to obtain glassware sand from flat quality glass sand taken from Camis Mining Corp. Mersin were investigated. Main indicating parameter of glass sand quality is Fe_2O_3 content for glass manufacturing. In the glass industry, Fe_2O_3 content of glassware quality glass sand is 0.02% and Fe_2O_3 content of flat quality glass sand is 0.1%. Optimum conditions were 30% solids, 20 g/L of oxalic acid, 80°C temperature and 90 minutes of leaching (reaction) time. The content of Fe_2O_3 in the flat quality glass sand was reduced from 0.098 to 0.0094% at the optimum leaching conditions.

1. GİRİŞ

Adana-Mersin yöresindeki kuvars kumlarından Tarsus/Mersin'de kurulu bulunan Camiş Madencilik A.Ş. tarafından işletilen flotasyon tesisinde kırma+öğütme+zenginleştirme işlemleri ile düz cam ve cam eşya (zücaciye) kalitesinde flote edilmiş kuvars kumu elde edilmektedir (Bayat ve ark., 2001). Kuvarsitler, cam endüstrisinde doğrudan doğruya hammadde olarak kullanılmaya uygun değildir. Zira ana hammadde olan kuvars kumu, cam hammaddesi olarak kullanılabilmesi için belirli kimyasal bileşim ve tane boyu dağılımına sahip olmalıdır. Bu nedenle kuvarsitler yataktan cevher olarak üretildikten sonra belirli cevher hazırlama işlemlerine tabi tutulmalıdır. Cam türüne göre, kullanılan kuvars kumunun özellikleri de değişmektedir. Kuvars kumunun cam hammaddesi olarak kullanılmasında en etken kimyasal bileşenlerden bir tanesi Fe_2O_3 içeriğidir.

Türkiye'de tüketilmekte olan bazı kuvars kumlarının Fe_2O_3 içeriği üretilecek camın türüne bağlı olarak %0.01 ile %0.11 arasında değişmektedir. Halbuki zücaciye kalitesindeki bir kum konsantresi için kabul edilebilir maksimum değer %0.02'dir. Bu içerik belirli bir miktardan fazla olduğu zaman üretim sırasında Fe^{++} iyonları cama mavimsi, Fe^{+++} iyonları ise sarımsı yeşil renk vermektedir (Tülümen, 1985). Kuvars kumundaki Fe_2O_3 içeriğinin azaltılması için fiziksel, fizikokimyasal ve kimyasal yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler kuvars tanelerinin yüzeylerinin aşındırılarak Fe minerallerinin uzaklaştırılmasında ve çözeltiye alınmasında kullanılmaktadır. Uygun metodun belirlenmesi kuvars taneciklerinin mineralojik yapısına da bağlıdır. Kimyasal yöntemler liç işlemiyle gerçekleştirilmektedir. Bu işlemler için organik ve anorganik asitler kullanılmaktadır. Kullanılan önemli organik asitler; oksalik asit, sitrik asit ve

askorbik asittir. Anorganik asitler ise; HF, HCl, H_2SO_4 ve perklorik asittir (Taxiarchou ve ark., 1997). Bu çalışmada düz cam kalitesindeki kuvars kumunun oksalik asit liçi ile Fe_2O_3 içeriğinin azaltılarak züccaciye kalitesinde kuvars kumu elde edilmesi amaçlanmıştır. Liç işlemleri esnasında sıcaklık, liç süresi, katı oranı ve oksalik asit konsantrasyonu parametreleri istatistiksel olarak dizayn edilen Yates tekniğine göre belirlenmiş ve test edilmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Materyal

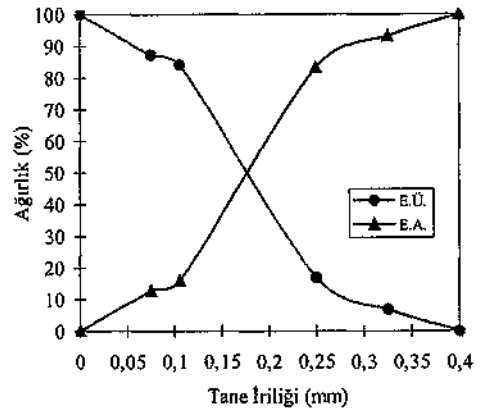
Bu çalışmada kullanılan düz cam kalitesindeki 25 kg kum örneği Camış Madencilik A.Ş.'den alınarak, Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Cevher Hazırlama Laboratuvarı'na getirilmiş ve testlere tabi tutulmuştur. Deneysel çalışmalarda kullanılan düz cam kalitesindeki kuvars kumu öncelikle polarize mikroskopta incelenerek bileşikte bulunan önemli mineral içerikleri belirlenmiştir (Çizelge 1). Deneylerde kullanılacak kuvars kumu örneğinin XRF spektrometresi ile kimyasal analizi yapılarak örneğin kimyasal bileşimi Çizelge 2'de verilmiştir. Şekil 1'de numunenin tane irilik dağılımı verilmektedir.

Çizelge 1. Mineralojik bileşim

Mineral	Miktar (%)
Kuvars	95.00
Ortoklas	4.00
Demir Mineralleri	0.10
Diğer Mineraller	0.90
Toplam	100.00

Çizelge 2. Kimyasal bileşim

Bileşen	Düz Cam Kalite Kum (%)
SiO_2	97.41
Al_2O_3	1.11
Fe_2O_3	0.098
TiO_2	0.05
CaO	0.13
MgO	0.08
Na_2O	0.03
K_2O	0.70
Kızdırma Kaybı	0.39



Şekil 1. Tane irilik dağılımı

2.2. Yöntem

Her deney için 25 gr numune alınarak 300 ml'lik cam behere konulmuş ve her deney için belirlenen katı oranı (%30, %40, %50), oksalik asit derişimi (10 g/L, 15 g/L, 20 g/L), süre (30dk., 60dk., 90dk.) ve ortam sıcaklığı (30°C, 50°C, 80°C) şartlarında manyetik karıştırıcı ile liç (özütleme) işlemleri gerçekleştirilmiştir. Testler sonucunda çözümler filtre edilip kurutulduktan sonra Atomik Absorbsiyon Spektrometresi (AAS) kullanılarak % Fe_2O_3 içerikleri belirlenmiştir. Yates deneysel düzen tekniğine göre düzenlenen Çizelge 3'deki hesaplama işleminde aşağıdaki sıralama izlenmiştir (Özensoy, 1982; Milton ve ark., 1995).

1. Kolon 2' faktöriyel deney tasarımına göre Yates sıralaması (4 parametrenin liç işlemine etkisi araştırılmıştır)
2. Kolon Yates sıralamasına göre oluşturulan liç deneyleri % Fe_2O_3 sonuçlarıdır
3. Kolon; 2. Kolondaki sonuçlar sırasıyla çiftlere ayrılır. Yukarıdan aşağıya doğru bu çiftler toplanarak üst yarı kolona, alt değer üst değerden çıkarılarak diğer yarı kolona yerleştirilir. Deneyler 4 değişkene (parametre) göre yapıldığı için bu işlem 4 kez aynı şekilde 4, 5 ve 6. Kolonlar için tekrarlanır
7. Kolon 6. Kolondaki (Toplam Etki) her bir değer için karesinin deney sayısına bölünmesi ile elde edilir
8. Kolon serbestlik derecesidir.
9. Kolon F (hesap) kolonudur. 7. Kolonun 8. Kolon ile standart hatanın (S^2) çarpımına oranıdır

(viii) 10. Kolon **F (tablo)** kolonudur. F (1, 16, 0.05) için F-istatistiğinin değeri tablodan bulunur (Özensoy, 1982)

(ix) 11. Kolon sonucu oluşturan **karar** kolonudur. F-istatistiksel değere göre etkin olup olmadığı belirlenir

(x) 12, 13 14 ve 15. Kolonlar (f) fonksiyonundaki (eşitlik 2) kodlanmış değerlerdir

(xi) 16. Kolon oluşturulan modelden elde edilen Y değerleridir

Gelişigüzel sıralama ve Yates deneysel düzen tekniğine göre elde edilen deney sonuçları Anova Varyans analizi ile birleştirilerek her bir değerlendirme için fonksiyonlar bulunmuştur. Deneysel hataların (S^2) hesaplanması için merkez noktası tekrarlı yöntemle başvurulmuş ve Yates tekniğine göre yapılan deney verilerinin orta değerlerinde 6 adet deney tekrarlanmıştır. Yates tekniğinde modelin tespit edilmesi Yates tekniği ve Anova Varyans analizinin birleştirilmesi ile $f(X_1, X_2, \dots, X_n)$ fonksiyonu hesaplama yoluyla bulunur. Anova uygulanmasının amacı kararları ve modeli basitleştirmesidir (Özensoy, 1982). Bu yöntemde X değerleri aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanmıştır.

$$X = \frac{(a-b)}{(c-b)} \quad (1)$$

- a: Değişkenin (parametre) sınanma değeri
b: Değişkenin (parametre) standart değeri
c: Düşük veya yüksek değer

3. DENEYSEL BULGULAR VE SONUÇLAR

Yates düzenlemesine göre yapılan deneylerde temel etki ve iç etkileşimler göz önünde bulundurulacak ve etkili sonuçlara bağlı olarak bir model oluşturulur. Oluşturulan bu modele göre olması gereken deney sonuçları (Y) hesaplanır. Bu çalışmada Anova analizi Fe_2O_3 tenörüne göre hesaplanmıştır. Çizelge 3'de verilen Etkin (E) değerler baz alınarak deney sonuçları (Y) hesaplanarak Eşitlik 2'de verilmiştir.

$$Y = 0.0391 - 0.002X_1 - 0.0024X_2 - 0.020X_3 - 0.006X_4 - 0.0032X_3X_4 + 0.0012X_1X_3X_4 + 0.0012X_2X_3X_4 \quad (2)$$

Burada;

X_1 : Katı oranı (%)

X_2 : Oksalik asit derişimi (g/L)

X_3 : Sıcaklık ($^{\circ}C$)

X_4 : Liç süresi (dk)

Deney ortalaması ve deneysel hatanın (S^2) bulunmasında Çizelge 4'deki Fe_2O_3 değerleri baz alınmış ve bu değerler Eşitlik 3'e göre hesaplanmıştır.

$$\text{Deney Ortalaması } (n_{ort}) = (n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5 + n_6) / 6$$

$$S^2 = [(n_1 - n_{ort})^2 + (n_2 - n_{ort})^2 + (n_3 - n_{ort})^2 + (n_4 - n_{ort})^2 + (n_5 - n_{ort})^2 + (n_6 - n_{ort})^2] / (n-1) \quad (3)$$

Çizelge 4. Deneysel hatanın hesaplanmasında kullanılan değişkenlerin standart değerleri

Deney No (n)	Katı oranı (%)	Oksalik Asit (g/L)	Sıcaklık ($^{\circ}C$)	Liç süresi (dk)	Fe_2O_3 (%)
1	40	15	50	60	0.0591
2	40	15	50	60	0.0523
3	40	15	50	60	0.0589
4	40	15	50	60	0.0533
5	40	15	50	60	0.0586
6	40	15	50	60	0.0577

$$\text{Deney Ortalaması} = [0.0591 + 0.0523 + 0.0589 + 0.0533 + 0.0586 + 0.0577] / 6 = 0.0566$$

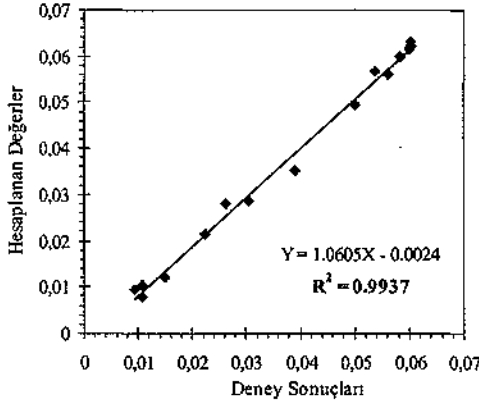
$$S^2 = [(0.0591 - 0.0566)^2 + (0.0523 - 0.0566)^2 + (0.0589 - 0.0566)^2 + (0.0533 - 0.0566)^2 + (0.0586 - 0.0566)^2 + (0.0577 - 0.0566)^2] / 5 = 3.4 \times 10^{-6}$$

Çizelge 3 incelendiğinde en etkin parametrelerin oksalik asit derişimi, sıcaklık ve liç süresinin olduğu görülmektedir. Buna göre optimum deney şartları ise aşağıdaki gibidir:

Katı oranı	: %30
Oksalik asit derişimi	: 20 g/L
Sıcaklık	: 80 $^{\circ}C$
Liç Süresi	: 90 dk.

Çizelge 3'de verilen deney sonuçları ile model (Eşitlik 2)'e göre hesaplanan deney sonuçları (Y) arasındaki ilişki Şekil 2'de gösterilmiş ve aralarında $Y = 1.0605X - 0.024$ bağıntısı bulunmuştur. Veriler arasındaki korelasyon katsayısı (R^2) ise 0.9937

olarak hesaplanmıştır. Optimum deney koşullarında 3 defa tekrarlanan liç testleri sonucunda ortalama %0.0094 Fe_2O_3 içeriğine sahip kuvars kumu konsantresi elde edilmiştir. Bu ürün cam endüstrisinin istediği züccaciye kalitesi cam kumu standartlarından daha üst kaliteye sahiptir.



Şekil 2. Deney sonuçları ile hesaplanan değerler model (Eşitlik 2) arasındaki ilişki.

4. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (BAPB) tarafından desteklenen MMF-2003-YL-6 nolu proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Ayrıca Camış Madencilik A.Ş.'e sağladıkları destek ve yardım için teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Bayat, O., Vapur, H., Kılıç, Ö., Arslan, V., Akarsu, H., 2001. "Feke-Adana Kuvars Kumtaşı Flotasyonunda Öğütmenin Etkisi" 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, s. 283-287.

Milton, J.S., Arnold, J.C., 1995. "Introduction to Probability and Statistics Principles and Applications for Engineering and The Computing Sciences" Factorial Experiments, Chapter 14, pp. 604-655.

Özensoy, E., 1982. "Teknolojik ve Bilimsel Araştırmalarda Modern Deney Tasarımcılığı ve

Optimizasyon Yöntemleri" M.T.A. Enstitüsü Yayınları Eğitim Serisi No: 24, s. 26-35.

Taxiarchou, M., Panias, D., Douni, I., Paspaliaris, I., Kontopoulos, A., 1997. "Removal of Iron from Silica Sand by Leaching with Oxalic Acid" Hydrometallurgy 46, pp. 215-227.

Tülümen, E., 1985. "Anadolu Cam sanayi A.Ş. Hammaddeleri" T.Ş.C.F. A.Ş. Araştırma Müdürlüğü Raporu No: 178, İstanbul.

Çizelge 3. Fe₂O₃ Tenörü için deney sonuçları ve anova analizi

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Yates Düzeni	Deney Sonuçları	3. Kolon	4. Kolon	5. Kolon	Toplam Etki	[TE] ² /16	S.D.	F(Hesap) 7/(8*S ²)	F(Tablo) 1,16,0.05	Karar	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	Y Hesap
1	0.0622	0.1225	0.2411	0.3588	0.6252						-1	-1	-1	-1	
a	0.0603	0.1186	0.1177	0.2664	-0.0314	6.17x10 ⁻⁵	1	18.14	4.49	E	1	-1	-1	-1	0.0623
b	0.0601	0.0692	0.2205	-0.016	-0.0376	8.84x10 ⁻⁵	1	26	4.49	E	-1	1	-1	-1	0.0615
ab	0.0585	0.0485	0.0459	-0.0154	0.011	7.60x10 ⁻⁶	1	2.23	4.49	ED	1	1	-1	-1	0.0599
c	0.0389	0.114	-0.0035	-0.0246	-0.298	5.50x10 ⁻³	1	1617.65	4.49	E	-1	-1	1	-1	0.0351
ac	0.0303	0.1065	-0.0125	-0.013	0.001	6.30x10 ⁻⁸	1	0.019	4.49	ED	1	-1	1	-1	0.0287
bc	0.0262	0.0257	-0.0127	0.005	-0.0148	1.37x10 ⁻⁵	1	4.03	4.49	ED	-1	1	1	-1	0.0279
abc	0.0223	0.0202	-0.0027	0.006	0.0094	5.50x10 ⁻⁶	1	1.62	4.49	ED	1	1	1	-1	0.0215
d	0.0603	-0.0019	-0.0039	-0.1234	-0.0924	5.34x10 ⁻⁴	1	157.06	4.49	E	-1	-1	-1	1	0.0631
ad	0.0537	-0.0016	-0.0207	-0.1746	0.0006	2.30x10 ⁻⁸	1	0.0068	4.49	ED	1	-1	-1	1	0.0567
bd	0.0563	-0.0086	-0.0075	-0.009	0.0116	8.40x10 ⁻⁶	1	2.47	4.49	ED	-1	1	-1	1	0.0559
abd	0.0502	-0.0039	-0.0055	0.01	0.001	6.30x10 ⁻⁸	1	0.02	4.49	ED	1	1	-1	1	0.0495
cd	0.0149	-0.0066	0.0003	-0.0168	-0.0512	1.64x10 ⁻⁴	1	48.24	4.49	E	-1	-1	1	1	0.0119
acd	0.0108	-0.0061	0.0047	0.002	0.019	2.26x10 ⁻⁵	1	6.65	4.49	E	1	-1	1	1	0.0103
bcd	0.0094	-0.0041	0.0005	0.0044	0.0188	2.21x10 ⁻⁵	1	6.50	4.49	E	-1	1	1	1	0.0095
abcd	0.0108	0.0014	0.0055	0.005	0.0006	2.30x10 ⁻⁷	1	0.07	4.49	ED	1	1	1	1	0.0079
Toplam	0.0391														

a: Katı oranı (%)

b: Oksalik asit (g/L)

c: Sıcaklık (°C)

d: Liç süresi (dk)

S.D.: Serbestlilik Derecesi

Türkiye Zeolit Potansiyeli ve Değerlendirme İmkânları

I. H. Kırşan

MTA Genel Müdürlüğü, Ankara

ÖZET: Zeolitler, alkali ve toprak alkali elementler içeren sulu alüminyum silikatlar olarak tanımlanmaktadır. Kristal yapıları, fiziksel ve kimyasal özellikleri nedeniyle sanayinin önemli hammaddeleri arasında yer almaktadırlar. Doğal zeolitlerin endüstride kullanılmaya başlanması 1940'lı yıllara dayanmaktadır. İyon değişimi yapabilme, adsorbsiyon ve absorban özellikleri ve düzenli kanal yapıları nedeniyle moleküler elek olarak kullanılabilirlikleri, silis içerikleri, hafiflikleri ve gözenekli yapıları zeolitlere aranan hammadde olma özelliği kazandırmıştır. Dünyada pet-litter (kedi-köpek toprağı), kağıt, boya, diş macunu, deterjan sanayi, kirlilik kontrolü ile tarım ve hayvancılık sektörü gibi pek çok alanda zeolit kullanılmaktadır. Zeolit'in 50'ye yakın doğal ve 150 civarında da yapay olarak üretilmiş sentetik türü bulunmaktadır. Ülkemizde milyonlarca tonluk zeolitli tüfün varlığı bilinmektedir. Türkiye'de yaygın olarak özellikle klinoptilolitli tüfler mevcuttur. Manisa-Gördes ve Balıkesir-Bigadiç'te Türkiye'nin en önemli zeolit yatakları tespit edilmiştir. Ülkemizin bazı yörelerinde mevcut bulunan zeolitler; duvar sıvama, yer döşeme, yapı malzemesi ve değişik amaçlı olarak farklı alanlarda kullanılmakta ve kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Manisa-Gördes bölgesinde iki özel şirket hem madencilik faaliyeti yapmakta hem de zeolit'ten üretilen ürünleri özellikle tarım ve hayvancılık sektörleri için piyasaya sunmaktadır. Ancak mevcut rezervler ve ülkemizin zeolit potansiyeli göz önüne alındığında, bu uğraşlar yeterli görülmemektedir.

ABSTRACT: Zeolites are described as teklosilicates that comprise alkali and earth-alkali elements. They are very important as raw material in industry due to their physical, chemical properties and crystal structures. Natural zeolites have been used since 1940s. They become very important due to their ion exchange capacity, adsorption and absorption properties, silica content, lightness and void-structure. Besides these properties, they can also be used as molecular screen due to their regular channel structure. They are used for cat-litter, paper and toothpaste production as much as they can be used in detergent industry and many sectors such as pollution control, agriculture and stock-breeding. There are almost 50 kinds of natural and 150 kinds of artificial zeolite types. It is known that our country has millions of tons of zeolite reserves. Tuffs containing clinoptilolite are very common in Turkey. The most important zeolite reserves of Turkey have been found in Manisa-Gördes and Balıkesir-Bigadiç. Zeolites found in some part of our country can be used for flooring, stuccing, construction materials, and different purposes in many sectors. Two private sectors in Manisa-Gördes area both operate mines and serve zeolite products for agriculture and stock-breeding sector to the market. But these attempts are seem to be insufficient if the zeolite reserves and potential are considered.

1. GİRİŞ

Son yıllarda önemli bir endüstriyel hammadde durumuna gelen doğal zeolitler, yaygın kullanım alanlarının varlığı ve büyük pazar potansiyeline

rağmen birçok pazar alanında daha yeni yeni kabul görmeye başlamıştır.

Zeolitlerin başlıca fiziksel ve kimyasal özellikleri olan; iyon değişikliği yapabilme, adsorbsiyon ve

buna bağlı moleküler elek yapısı, silis içeriği ve küçük kristalli gözenek yapısı, zeolitlerin çok çeşitli endüstriyel alanlarda kullanılmalarına imkan sağlamıştır.

21. yüzyılda birçok alanda kullanılacağı tahmin edilen doğal zeolitler şu anda tarım ve hayvancılık sektörlerinde yoğun olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Bu çalışmada; zeolit grubu mineralleri hakkında genel bilgiler verildikten sonra zeolitlerin kullanım alanları hakkında bilgiler verilmiş ve Türkiye'deki zeolit oluşumları ve üretim-pazar durumları irdelenerek ülkemizdeki zeolit kaynaklarının değerlendirilmesine yönelik önerilerde bulunulmuştur.

2. ZEOLİT HAKKINDA GENEL BİLGİLER

Zeolit bir mineral olarak tanımlanması 1756 yılında İsveçli mineralog Freiherr Axel Fredrick Cronstedt'in bir bakır madeninde yeni bir mineral bulmasıyla başlamıştır. 200 °C civarında ısıtıldığında, köpürmesi sebebiyle Yunanca "kaynayan taş" anlamına gelen "Zeolite" diye isimlendirilmiştir.

İki asır kadar volkanik kayaların yapısında yer alan mineral gözüyle bakılmış olan zeolitlerin dünyadaki oluşumları 1950'lerden sonra saptanmaya başlanmış ve hemen hemen bütün kıtalarda yaygın olarak görülmüştür. Küba, ABD, Rusya, Japonya, İtalya, G. Afrika, Macaristan ve Bulgaristan dünyada zeolit rezervleri ve üretim açısından hatırı sayılır ülkeler arasında yer almaktadırlar.

Türkiye, zeolit rezervleri yaklaşık 50 milyar ton gibi büyük bir potansiyele sahip olan bir ülkedir. MTA'nın yaptığı çalışmalara göre Manisa-Gördes klinoptilolit yatakları bu rezervin 2 milyar ton görünümlü rezerv gibi önemli bir miktarını teşkil etmektedir. İçerdiği klinoptilolit oranının yüksek olması ve bor gibi istenmeyen maddelerin azlığı, bu bölgedeki hammaddeyi daha elverişli kılmaktadır.

Dünyada bilinen 45'den fazla doğal zeolit grubu bulunmaktadır. Bunların 8 tanesi kation değişim kapasite (KDK)'lerinin yüksek olması sebebiyle tarım ve endüstride büyük önem taşımaktadır.

Tarımsal üretimde kullanılan belli başlı zeolitler, klinoptilolit ve mordenittir.

2.1. Zeolitlerin Mineralojisi ve Kristal Kimyası

Zeolitlerin Genel Kimyasal Formülü:

$M_x D_y [Al_{x+2y} Si_{n-x-2y} O_{2n}] \cdot m H_2O$ 'dır. Burada; M: Na, K veya diğer (+1) değerlikli kanyonlar, D: Ma, Ca, Si, Ba ve diğer (+2) değerlikli kanyonlardır.

Kanallar ve gözeneklere ait ağ ile kafes yapısının çok belirgin olması, minerale çok geniş bir yüzey alanı vermektedir. Yapı negatif yüklüdür ve geniş yüzey alanı yüksek kation değişimi kapasitesine (KDK) sahiptir.

Bu eşsiz yapı, zeolitleri diğer alüminosilikatlardan aşağıdaki özellikleriyle farklı kılmaktadır.

- Gaz adsorpsiyonu: Gaz moleküllerini seçici olarak adsorbe eder.
- Su adsorpsiyonu/desorpsiyonu: Zeolit yapısında herhangi bir fiziksel veya kimyasal değişiklik olmaksızın su adsorpsiyonunun tersini yapabilir.
- Kation değişimi: Kation selektivitesi (seçiciliği) esasına dayalı olarak kasyonu diğer kanyonlarla değiştirebilir.
- Zeolit, yüksek kation değişim kapasitesi (KDK)'ne sahip olması nedeniyle bitkilerden değerli besinleri (amonyum, potasyum, magnezyum, kalsiyum ve diğer eser elementler) tutup yavaşça bırakma özelliğine sahiptir.
- Toprağın kation değişim kapasitesinin artması sonucunda gübre ihtiyacını azaltır. Gübreden yararlanmayı artırması ile bitkinin daha dengeli gelişmesini sağlar.
- Zeolitlerin su tutma kapasitesinin yüksekliği su tasarrufu sağlar.
- Kültür balıkcılığında su kalitesini artırır. Lağım suyu arıtmasının biyolojik aktivitesini artırır ve sonunda tortulaşmış atık çamurun kıymetini artırır.
- Yağmurlarda kimyasal erozyonu minimuma indirir.

- Doğal zeolitler mükemmel bir toprak ıslahı yaparlar. Zeolit bu kullanımı haricinde moleküler elek, radyoaktif atık veya yasalarda belirtilen ağır kimyasal toksin tehlikelerin uzaklaştırılmasına ait filtre ortamı olarak kullanılmaktadır.
- Zeolit, özellikle amonyum, hayvan gübresi ve atık sulardaki pis kokuların azaltılmasında kullanılır.
- Madencilik ve metalurjik atık sulardan metallerin uzaklaştırılmasında kullanılırlar.

3. ZEOLİTLERİN KULLANIM ALANLARI

Zeolitlerin başlıca fiziksel ve kimyasal özellikleri olan; iyon değişikliği yapabilme adsorbsiyon ve buna bağlı moleküler elek yapısı, silis içeriği, ayrıca tortul zeolitlerde açık renkli olma, hafiflik, küçük kristallerin gözenek yapısı zeolitlerin çok çeşitli endüstriyel alanlarda kullanılmalarına neden olmuştur.

Son yıllarda önemli bir endüstriyel hammadde durumuna gelen doğal zeolitlerin bu özelliklerinden biri veya daha çoğunun istendiği kullanım alanları: kirlilik kontrolü, enerji tarım-hayvancılık, maden-metalurji ve diğer alanlar olmak üzere 5 ana bölümde toplanabilir.

1. Kirlilik Kontrolünde Zeolit Kullanımı

- a- Radyoaktif atıkların temizlenmesi
- b- Atık suların temizlenmesi
- c- Baca gazlarının temizlenmesi
- d- Petrol sızıntılarının temizlenmesi
- e- Oksijen üretimi
- f- Çöp deponi alanları

2. Enerji Sektöründe Zeolit Kullanımı

- a-Kömürün gazlaştırılması
- b-Doğal gazların saflaştırılması
- c-Güneş enerjisinden faydalanma
- d-Petrol ürünleri üretimi

3. Tarım ve Hayvancılık Zeolit Kullanımı

- a-Gübreleme ve toprak hazırlanması
- b-Tarımsal mücadele
- c-Toprak kirliliğinin kontrolü
- d- Besicilik
- e-Organik atıkların muamelesi
- f- Su kültürü

4. Madencilik ve Metalurjide Zeolit Kullanımı

- a-Maden yataklarının aranması
- b-Metalurji

5. Zeolitin Diğer Kullanım Alanları

- a-Kağıt Endüstrisi
- b-İnşaat Sektörü
- c-Sağlık Sektörü
- d-Deterjan Sektörü

4. DOĞADA BULUNAN ZEOLİT MİNERALLERİ

Doğal zeolitler doğada volkanik tüflerin değişimi ile oluşan mineral grubudur. Doğal zeolitlerin tabiatta bilinen 50' ye yakın minerali bulunmaktadır. D.W. Breck (1974) tarafından ikincil yapı üniteleri ve iskelet yapılarının kombinasyonu temel alınarak yapılan zeolit minerallerinin sınıflandırılması Çizelge-1 de gösterilmiştir (DPT Özel İht.Kom.Raporu, 1996).

Çizelge 1. Bilinen zeolit minerallerinin sınıflandırılması

GRUP	İKİNCİL YAPI ÜNİTESİ	GRUP MİNERALLERİ
1	Tek 4'lü Halka	Analsim Harmotom Filipsit Gismondin Paulingit Lömontit Yuguwaralit
2	Tek 4'lü Halka	Eriyonit Offretite Levynit Omaga
3	Çift 6'lı Halka	Foyasit Zeolit-X Zeolit-Y Şabazit Gmelinit
4	Çift 6'lı Halka	Natrolit Skolesit Mezalit Tomsonit Gonnardit Edingtonit
5	Kompleks 4-1	Mordenit Dokhiorit Ferrierit Epistilbit Bikitaıt
6	Kompleks 5-1	Hölandit Klinoptilolit
7	Kompleks 4-4-1	Stilbit Brewsterite

Kaynak : DPT-Özel İhtisas Komisyonu Raporu, 1996

5. TÜRKİYEDE'Kİ ZEOLİT OLUŞUMLARI

Ülkemizde ilk defa 1971 yılında Gölpazarı-Göynük civarında analsim oluşumları saptanmıştır. Daha sonra Ankara'nın batısında analsim ve klinoptilolit yatakları bulunmuştur. Volcano tortul oluşumlarının gözlenebildiği ülkemizde daha çok klinoptilolit ve analsim türleri yoğunlukta olup diğer zeolit türlerine çok az rastlanılmıştır.

Manisa-Gördes ve Balıkesir-Bigadiç'te Türkiye'nin en önemli zeolit yatakları tespit edilmiş olup buradaki zeolitler kolaylıkla işletilebilir türdendir. Ülkemiz genelinde toplam zeolit rezervinin 50 milyar ton civarında bulunduğu tahmin edilmektedir. Bugüne kadar yürütülen çalışmaların ışığında yapılan derlemeye göre Türkiye zeolit oluşumları Çizelge-3'te verilmiştir (Esenli,F.).

Çizelge 3. Türkiye zeolit oluşumları

NO	BÖLGE	ZEOLİT MINERALİ	KALİTE, REZERV
1	Bahkesir-Bigadiç	Klinoptilolit Analsim	- Açık işletme madencilğine uygun ortalama % 80 zeolit içerikli 1,5 milyar ton rezerv. - Toplam (görünür+muhtemel+jeolojik) 24 milyar ton rezerv. - Ayrıca düşük zeolit içerikli (alt tuf) 21 milyar ton rezerv.
2	Kütahya-Emet	Klinoptilolit Analsim	- Zeolit içeriği değişken 1,5 milyar ton görünür+muhtemel tuf rezervi. - Bunun 1/3'ü % 80 civarında klinoptilolittir. % 50'nin altında analsimli 8 milyar civarında örtülü rezerv.
3	Eskişehir-Kırka	Klinoptilolit Flipsit	Değişen oranlarda flipsit ve klinoptilolit içerikli görünür+muhtemel 1,3 milyar ton rezerv.
4	Manisa-Gördes	Klinoptilolit Analsim	- Zeolit oranı % 0-100 arasında değişen yaklaşık 1,1 milyar ton rezerv (Açık işletmeye uygun). - Örtülü rezerv 10 milyar tonun üzerinde.
5	Yalova-Karamürsel	Klinoptilolit	% 50-80 arası zeolit içerikli büyük kısmı görünür toplam 1,5 milyar ton rezerv.
6	Bursa-M.Kemalpaşa	Klinoptilolit	Zeolit içeriği % 30-80 arasında değişen (ortalama %64 klinoptilolittli tuf ve tüfitler) 600 milyon ton rezerv.
7	İzmir-Çeşme	Klinoptilolit	Yüksek klinoptilolit içerikli görünür+muhtemel 500 milyon ton rezerv.
8	Afyon-Sandıklı	Şabazit Flipsit	% 25-65 arası zeolitli muhtemel 500 milyon ton rezerv.
9	Kütahya-Şaphane	Klinoptilolit	Yüksek klinoptilolittli zonda 150 milyon ton görünür+muhtemel rezerv.
10	İstanbul-Şile	Mordenit	% 50'den fazla zeolit içeren görünür+muhtemel 120 milyon ton rezerv.
11	İzmir-Foça	Klinoptilolit	Yüksek klinoptilolit içerikli görünür+muhtemel 120 milyon ton rezerv.
12	Bilecik-Söğüt	Klinoptilolit	Ortalama % 65 zeolit içerikli görünür 100 milyon ton rezerv.
13	Kütahya-Gediz	Klinoptilolit	Yüksek klinoptilolittli zonda yaklaşık 50 milyon ton görünür+muhtemel rezerv.

Çizelge 3. Türkiye zeolit oluşumları (devam)

NO	BÖLGE	ZEOLİT MİNERALİ	KALİTE, REZERV
14	Edirne-Keşan	Klinoptilolit Analsim Mordenit	• Kalınlığı 20-33 m arasında değişen 42 milyon ton görünür+muhtemel tüf ve tüfit rezervi.
15	Çanakkale-Gelibolu	Klinoptilolit	• % 50-75 arasında zeolit içerikli iki zonun görünür+muhtemel rezervi 8 milyon ton.
16	Yalova-Çınarcık	Klinoptilolit Mordenit	• Zeolit oranı değişken ve rezerv tespiti zor.
17	Edirne-Uzunköprü	Klinoptilolit	• Düşük oranlı küçük mostralar.
18	Bahkesir-Sultançayırı	Klinoptilolit	• Düşük oranlı küçük zeolit içerikli.
19	İzmir-Urla	Klinoptilolit Analsim	• Belirsiz.
20	Bolu-Göynük Mudurnu arası	Klinoptilolit	• Ortalama % 60-70 oranında zeolitli örtülü muhtemelen yüksek rezerv.
21	Bolu-Göynük	Klinoptilolit Analsim Mordenit	• Klinoptilolit içeriği % 30 mertebesinde bantlar, rezerv belirsiz.
22	Ankara-Polatlı	Analsim	• Rezerv belirsiz muhtemelen yüksek.
23	Ankara-Çayırhan	Analsim	• Tenörü düşük, rezervi belirsiz.
24	Ankara-Bey pazarı	Klinoptilolit Analsim Şabazit	• Farklı mineralli, rezervi belirsiz.
25	Ankara-Kalecik	Analsim	• Rezervi belirsiz, muhtemelen yüksek.
26	Çorum-Uğurludağ	Klinoptilolit	• Yüksek klinoptilolitli seviyeler, rezerv belirsiz.
27	Sivas-Yıldızeli	Klinoptilolit Mordenit	• Klinoptilolitçe zengin, rezerv belirsiz.
28	Nevşehir-Ürgüp	Analsim Klinoptilolit Şabazit Eriyonit Mordenit	• Rezerv muhtemelen oldukça yüksek.

Kaynak: Esenli, F.

6. ZEOLİTE AİT ÜRÜN STANDARTLARI

Sektörde üretilen önemli ürünler için halen uygulanmakta olan TSE, DIN, SAE ve ANFOR gibi standartlar yoktur. ISO-9000 ve ISO 14000'ye uyum konusunda TSE tarafından bir çalışma yapılmadığı belirlenmiştir. Şu an için zeolitlerden yalnızca klinoptilolit mineralinin hayvan yemi

katkısı olarak kullanımı için Tarım Bakanlığınca verilmiş bir izin bulunmaktadır. Zeolit ve özellikle klinoptilolit konusunda TSE tarafından yapılmış iki tane standart bulunmaktadır.

ABD, Avrupa ve ülkemizde zeolitlerin kullanıldığı sektörlerle göre standart hale gelmiş özellikler Çizelge-4'de verilmiştir.

Çizelge 4: Zeolitte istenen spesifikasyonlar

Ürün Cinsi	Mineralojik içerikleri ve oranları	Ürün boyutları	Özellikler
Yem katkı	Klinoptilolit, %75-85	0-0.7 mm	Bor içeriği 10 ppm den düşük olacak ve lifli mineral içermeyecek
Toprak katkı Türkiye ve Avrupa	Klinoptilolit, %75-85	0.7-1.8 mm	Potasyum-klıno olacak. Bor içeriği 10 ppm den düşük olacak ve lifli mineral içermeyecek.
Toprak (Çim) katkı A.B.D	Klinoptilolit, %75-85 Diğerleri en fazla %25	0.25-1.00 mm	Potasyum-klıno olacak. Bor içeriği 10 ppm den düşük olacak ve lifli mineral içermeyecek.
Hayvan altlığı	Klinoptilolit %75-85 Diğerleri en fazla %25	1.8-3.5 mm	Klinoptilolit veya şabazit olacak.
At altlığı	Klinoptilolit en az %85 Diğerleri en fazla %15	0-1.0 mm	Klinoptilolit veya şabazit olacak
Balık havuzları	Klinoptilolit en az %85 Diğerleri en fazla %15	16-30 mm	Bor içeriği 10 ppm den düşük olacak ve lifli mineral içermeyecek
Su arıtma	Klinoptilolit en az %85 Diğerleri en fazla %15	1-2.5 mm 2.5-5 mm 2-3.5 mm	Potasyum veya sodyum klıno olacak. Bor içeriği 10 ppm den düşük olacak ve lifli mineral içermeyecek.
Gaz arıtma	Klinoptilolit en az %85 Diğerleri en fazla %15	3-5 mm 8-7 mm 9-15 mm	Potasyum veya sodyum klıno olacak. Bor içeriği 10 ppm den düşük olacak ve lifli mineral içermeyecek.

Kaynak:DPT Özel İhtisas Komisyon Raporu, 2001

7. TÜRKİYE ZEOLİT MADENCİLİĞİ, ÜRETİM VE ÜRETİLEN ÜRÜNLER

Türkiye'de çeşitli bölgelerde zeolit adına alınmış ruhsat alanları bulunmaktadır. Ancak, halihazırda zeolit madenciliği yapılan belirgin bölgeler Gördes (Manisa) ve Bigadiç (Balıkesir) 'dir. Son aylarda Sivas-Yıldızeli arasındaki bölgede de zeolit madenciliği faaliyetine başlanmıştır.

Gördes Bölgesinde ilk zeolit madenciliğine, 1994 yılında, Gördes yakın doğusundaki Molla Hüseyin Damları- Softalar mevkinde İncal Bioteknoloji-Madencilik- Kimya San. Tic. Ltd. Şti tarafından başlanmıştır. Daha sonra bu şirketin faaliyeti durmuştur. Enli Madencilik San. ve Tic. A.Ş. Gördes kuzeybatısında Gördes çayı yatağının kenarında, Dede Tepe- Ermede arasındaki mevkide, 1997 yılından itibaren zeolit üretimine başlamış ve halen üretime devam etmektedir. Daha yakın zamanda ise (2001 yılı başı) Gördes Kuzeyindeki Kıranköy'ün hemen batısında- Akkayran sırtı mevkinde Teknomin Mineral Ürünleri A.Ş. faaliyete başlamış ve halen devam etmektedir. Öte

yandan, Gördes Güneydoğusu, Kayacık Bölgesinde yakın zamanda madencilik faaliyetine başlanmıştır. Ayrıca, Esen Dış Tic. A.Ş. Gördes Kuzeyi- Oğulduk Köyü Güneyi- Bodamaz Dere mevkinde (Kuzguncuk tepe-Kocakahya tepe) zeolit madenciliğine başlama aşamasındadır. Bölgedeki sahalarından zeolit olarak faaliyette bulunan Mineral Yem Ltd. Şti. Agronat Tarım Ltd. Şti. bulunmaktadır.

Bugün için Gördes bölgesinde iki şirket (Enli Madencilik San. ve Tic. A.Ş. ve Teknomin Mineral Ürünler A.Ş.) hem madencilik faaliyeti yapmakta, hem de piyasaya ürün sunmaktadır. Bu şirketlerin ocaklarında madencilik faaliyeti açık işletme tipindedir. Dede tepe Ocağında patlatma ve ekskavator ile Akkayran Ocağında ekskavator ile çıkarım yapılmakta ve hammadde, adı geçen şirketlerin kırma-öğütme, boyutlandırma tesislerinde ürün haline getirilmektedir. Bu tesisler; Enli Madencilik olarak hemen ocak yanında (Gördes'te) Teknomin Şirketi olarak Akhisar'dadır. Ürünler, farklı tane boyutlarında, 25 kg'lık paketler halinde ve çeşitli isimler - kodlar halinde piyasaya

sunulmaktadır. Örneğin Enli Madencilik San. ve Tic. A.Ş'nin (Kurveli ve diğ., 2002) 25.000 ton/ yıl kapasiteli tesislerinde hazırlanan ürünleri;

- **Zeta** (hayvan altlığı) (2,5-3,5 mm arası boyutlarda): 70 ABD Doları/ton
- **Nat-Min 9000** (yem katkısı) (0-0.7 mm arası boyutlarda): 85 ABD Doları/ton
- **Agro-Climo** (NMF 9000) ve **Climo-Çim** (toprak ıslahı-gübre katkısı) (1,5-7.0 mm arası boyutlarda): 80 ABD Doları/ton
- **Climo Organik** (tavuk ve büyükbaş hayvan gübresiyle kompostlama, % 30 zeolitli): 80 ABD Doları/ton
- **Fitler Climo** (Filtrasyon, atık su) (2,5 mm den 16 mm ye değişen aralıktaki farklı boyutlar olarak): 75 ABD Doları/ton şeklindedir.

Teknomin Mineral Ürünler A.Ş'nin ise **Teknomineral** (mineral yem katkısı), **Aromat** (Koku ve nem çekici) ve **Zeomineral** (toprak düzenleyici ve gübre katkısı) isimli ürünleri bulunmaktadır.

Bigadiç (Balıkesir) Bölgesindeki zeolit oluşumları Etibor Şirketinin ruhsat (bor) alanları ve işletme sınırları içersindedir. Bugün için Zafer Madencilik Ltd. Şti. adlı bir şirket hemen kolemanit işletmeleri ve ocaklarının yakın kesimindeki zeolitli (klinoptilolit) tüflerden alım yapmaktadır. Etibor bu malzemeyi pasa şeklinde kırma öğütme yapmadan vermektedir.

Sivas-Yıldızeli arasındaki bölgede yakın zamanda Rota Madencilik, hayvancılık ve Tarım Ürünleri İml. Paz. Nakliyat Dış Tic. A.Ş adlı şirket üretime başlamıştır. Şirket açık işletme şeklinde çıkarım yapmakta ve Sivas'da kırma- öğütme tesislerinde hammaddeyi ürün haline getirmektedir. Şirketin **Umdemin** (Doğal gübre katkısı) ismiyle piyasaya sunduğu ürünü vardır.

8. TÜRKİYE ZEOLİTLERİNİN PAZAR DURUMU

Türkiye'nin zeolit açısından önemli bir sorunu ürün tanıtımı ve pazarlamadır. Zeolit gerek dünyada gerek ülkemizde onu kullanması gereken çevrelerce dahi yeteri kadar bilinmemektedir. Maden İşleri Genel Müdürlüğü'nden zeolit ruhsatı almakla, daha

sonra işletmeye geçmekle neredeyse hiçbir şey halolmamaktadır. Üretici firmalar ve üretici olmayıp ürün satışını üstlenen firmalar deyim yerindeyse köyleri, çiftçileri, fabrikaları gezerek onlara zeoliti klinoptiloliti anlatmak, alışılmış düzenlerini değiştirmelerini sağlamak, buna ikna etmek, deneme sürelerinde belki de kazanç olmaksızın beklemek zorundadırlar. Bir girişimci için gerçekten kolay olmasa gerek. Zeolitin tanınması ile birlikte, zaman içersinde bu konuda mutlaka yol alınacaktır, hatta alınmıştır da. Bu zamanın daha çabuk aşılması için tanıtımının ve zeolit kullanımındaki faydaların bilimsel ve ekonomik olarak çeşitli çevrelere anlatılmasında birçok kuruma görev düşmektedir. İhracat açısından yine önemli bir sorun pazarlamadır. Türkiye'nin bugün için ürün haline getirilmiş klinoptilolitleri mineralojik, kimyasal özellikleri açısından kalitelidir. Ancak, üreticiler kendilerinden çok daha önce dünya piyasasına girmiş ve tanıtımlarını yapmış diğer ülke üreticileri ve firmaları ile yarışmak zorundadır. Ülkemiz üreticilerinin bu konuları aşmaları için AR-GE 'ye önem vermeleri gerekmektedir. Geçmişte bazı hammaddeler olduğu gibi, Türk zeolitlerini ucuza almak ve belki de üçüncü taraflara pazarlayacak olanlara karşı da birlik içersinde olmalıdırlar (Esenli, F.).

Türkiye zeolitlerinin halihazır pazar alanları, başlıca tarımda gübre katkısı ve hayvancılıkta hayvan altlığı yem katkısı, yanı sıra az oranda su arıtma alanları olarak ifade edilebilir. Ürünler yem katkısı olarak yeme %2 oranında katılma şeklinde, tarımda ise dönüm başına 50-150 kg klinoptilolit olarak uygulanmaktadır. En önemli ihracat yapılan ülkeler ABD, Fransa, İtalya, İngiltere, İsrail'dir. Enli Madencilik Şirketi'nin 2001 yılı üretimi 5000 ton olup, bunun 2000 tonu yurtdışı satışlarıdır (ABD, İngiltere, Fransa, İsrail, Hollanda, İtalya). 2002 yılı ilk beş ayındaki üretim ve satış (yurtiçi ve yurtdışı) 2001 yılının aynı dönemi için %100 artış göstermiştir. Teknomin A.Ş 'nin 2001 yılı üretimi 1000 ton civarında olup, 200 ton ürün çeşitli Avrupa ülkelerine numune bazında gönderilmiştir.

9. SONUÇ VE ÖNERİLER

Son yılların önemli hammaddelerinden olan zeolitler, 1980 yıllarda itibaren değişik sektörlerde kullanılmaya başlanmıştır. Şu anda yoğun olarak tarım ve hayvancılık sektöründe kullanılmaya

başlayan zeolitlerin diğer kullanım alanlarındaki sektörlerde de kullanılabilmesi için gizli kalmış özelliklerinin ve tanıtımının yapılması gerekmektedir.

Ülkemiz büyük rezerv potansiyeline sahip olmasına rağmen, tespit edilen zuhurların rezervleri, kullanım alanları ve teknolojik özellikleri tam olarak araştırılmamıştır. Tespit edilen zuhurların rezervlerinin, kullanım alanlarının ve teknolojik özelliklerinin araştırılarak bir envanterinin çıkarılması gerekmektedir.

Böylece doğal zeolit potansiyelimizin belirlenerek ülke ekonomisine katkı sağlamasının yanı sıra, ülkemizde tarım ve hayvancılık ile ciddi boyutlarda insan sağlığını tehdit eden çevre kirliliğini önlemek amacıyla kullanılmasıyla da büyük yararlar sağlayacaktır.

21. yüzyılda çok önemli bir hammadde olacağı tahmin edilen doğal zeolitlerin kullanım alanlarına yönelik projeler ve araştırmalar desteklenmeli ve yurtdışındaki gelişmeleri yakından takip için gerek üniversiteler gerekse MTA ve Eti Zeolit A.Ş gibi kuruluşların zeolit konusunda uzmanlaşmış ülkelerle ortak projeler yapmaları teşvik edilmelidir.

Tarım ve hayvancılık sektörleri ile diğer pek çok alanda kullanım imkanı bulabilen ve ülkemiz açısından önemli rezervlere sahip olduğumuz doğal zeolit grubu minerallerinden klinoptilolit'in kullanımının yaygınlaştırılabilmesi için Tarım, Çevre ile Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlıklarının bir araya gelip bu konudaki yasal alt yapıyı oluşturmaları gerekmektedir.

KAYNAKLAR

DPT, Yedinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Özel İhtisas Komisyonu, Zeolit Raporu, 1996, Ankara.

DPT, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Özel İhtisas Komisyonu, Zeolit Raporu, 2001, Ankara.

Esenli, F., Türkiye'de Doğal Zeolit Rezervleri, Madencilik Üretim ve Pazar Durumu, İTÜ Jeoloji Müh. Bölümü, İstanbul

Kırveli, A., Öz, S., Zeolit Gruplarından Clinoptilolite'in Tarım ve Hayvancılıkta Kullanımı ve Enli Madencilik San. ve Tic. A. Ş.'nin Ürünleri İle Yapılan Araştırma Çalışmaları, Ocak 2002, İzmir.

Kümaş ve Ferrokrom Elektrofiltre Tozlarından Forsterit-Diopsit Kompoziti Üretimi

M. Türkdönmez., C.B. Emrullahoğlu & Ö.F. Emrullahoğlu

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon

ÖZET: Bu çalışmada, KÜMAŞ A.Ş. ve Antalya Eti Elektrometalurji A.Ş. Ferrokrom elektrofiltre tozlarından reaksiyon sinterlemesi yolu ile forsterit ve diopsit üretimi hedeflenmiştir. Deneyisel çalışmalar üç aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada ağırlıkça % 56.5 Kümaş (MgO) ve % 43.5 ferrokrom baca tozu (silikafüm) bilyalı değirmende karıştırılmış ve kuru presleme tekniği ile kalıpta şekillendirmiştir. İkinci aşamada kurutulan numuneler dört farklı sıcaklıkta (1000, 1100, 1200 ve 1300 °C) 'de 2 saat süre ile sinterlenmiştir. Üçüncü aşamada da sinterlenmiş numunelere pişme küçülmesi, ateş kaybı, su emme ve basma dayanımı testleri ve XRD analizleri uygulanmıştır. Sonuç olarak diopsit oluşmuş fakat forsterit oluşumu için sinterleme sıcaklığı yeterli olmamıştır.

ABSTRACT: In this study It was aimed to production of forsterite and diopsite composite by reaction sintering using Kümaş A.Ş. and Antalya Eti Electrometallurgy A.Ş. Ferrochrome electrofilter powders. Experimental studies essentially consist of three steps. In the first step, Kümaş (56.5 w/w %) and Ferrochrome (43.5 w/w %) electrofilter powders was mixed in a ball mill for homogenization and shaped in a mould using uniaxial press. In the second step, shaped samples were sintered for two hours at four different temperatures (1000, 1100, 1200 and 1300 °C). In the third step, firing shrinkage, water absorption and tree point bending strenght tests and XRD analysis were applied to the sintered samples. At the end of the research, diopsite phase formed but 1300 °C sintering temperature wasn't enough for forsterite phase formation.

1. GİRİŞ

Forsterit $2\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$ kimyasal formülüne sahiptir. Forsterit refrakterler, birçok sanayide fırın örgü malzemesi olarak kullanılır. Refrakter endüstrisinde doğal saf forsterit bulmak güç olup forsteritte zengin olivinlerden elde edilirler. Genel olarak forsteritte MgO miktarının % 42 'nin üzerinde, toplam Fe_2O_3 miktarının ise % 7-8 'den fazla olmaması istenir. Ayrıca SiO_2 miktarının % 41-46 arasında bulunması, diğer metal oksitlerin % 3 'den az olması tercih edilmektedir (Hocaoğlu, 1995).

Pekişmiş forsterit çamuru elde etmede serpantin ($3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ve dolomit ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) sisteminden yararlanılabileceği belirtilmiştir. Bu sistemde dar bir aralıkta 1580 °C 'nin altında

refrakter olmayan fakat son derece iyi elektrik yalıtımı özelliği gösteren forsterit oluşmaktadır. Serpantin tek başına ısıtıldığında 1559 °C 'de % 65.5 forsterit, % 39.5 silikat yapıları oluşur.(Arcasoy 1983). Olivin hammaddesiyle bilinen forsterit pişmiş tuğla prosesine uygun olarak üretilir..

Diopsit (kalsiyum magnezyum silikat - $\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2$) $\text{MgCaSi}_2\text{O}_6$ teorik formülüne sahiptir. Özgül ağırlığı 3.28 gr/cm^3 'dür. Kristal sistemi monoklinik, kristal yapısı : çoğunlukla kısa prizmatik kristalli, lamelli, masif veya taneseli sertliği : 5.5 – 6.5, renk ve şeffaflık : renksiz, beyaz, gri, donuk yeşil, koyu yeşilimsi, siyah, sarımsı, nadiren mavi, çizgi rengi : beyaz, grimsi, parlaklığı camı bulunuşu : kalsiyumca zengin, metamorfik

kayalarda, bazik ve ultra bazik kayalarda, nadiren meteoritlerde ve skarn zonlarında bulunabilir.

Düşük demir içeren diopsitlerin beyaz pişen seramik bünyeler, sırlar, camlar ve kaynak çubuklarının kaplanması için kullanım olanakları vardır. Tipik bileşimi % 50.90 SiO₂, % 5.2 Al₂O₃, % 2.6 CaO, % 7 MgO ve % 7 Fe₂O₃ 'dür. (Ceramic Industry. 2003)

Antalya Ferrokrom tesislerinde yüksek oranda SiO₂ içeren ve Kütahya Manyezit A.Ş. tesislerinde de yüksek oranda MgO içeren elektrofiltre tozları çıkmaktadır. Bu tozlar çok ince taneli olup henüz hiçbir yerde kullanılmamakta, stoklanması da sorun olmaktadır. Bu atıkların ucuz hammadde kaynağı olarak değerlendirilmesi hem yukarıda açıklanan sorunların giderilmesi ve hem de ekonomiye kazandırılması açısından önemlidir. Bu çalışmada elektrofiltre tozlarından sadece forsterit üretimi hedeflenmiş fakat özellikle Kümaş elektrofiltre tozunda yüksek oranda CaO bulunması nedeni ile sinterleme sonucunda diopsit fazı da oluşmaktadır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Deney Programı

Ağırlıkça % 56.5 Kümaş Magnezit A.Ş ve % 43.5 Etibank Antalya Ferrokrom elektrofiltre tozları karıştırıldıktan sonra nemlendirilerek kuru presleme tekniği ile şekillendirilmiştir. Kurutulan numuneler 100 °C artan sıcaklıklarda 1000-1300 °C aralığında 2 saat süre ile sinterlenmiştir. Daha sonra sinterlenmiş numunelere su emme, basma dayanımı ve XRD testleri uygulanmıştır.

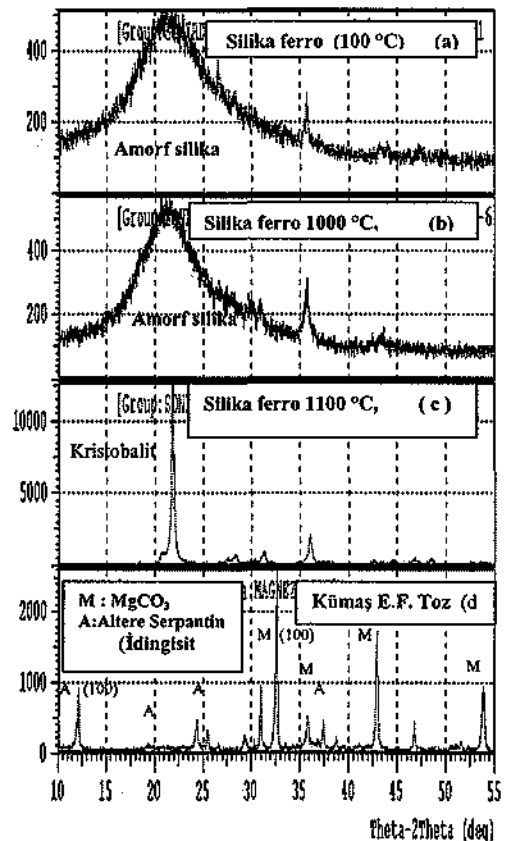
2.2. Çalışmada Kullanılan Malzemeler

Ferrokrom Elektrofiltre Tozu : Elektrofiltre tozu Etibank Antalya 'da Ferrokrom Üretim Tesisinden alınmıştır. Elektrofiltre tozunun kimyasal analizi çizelge 1 'de XRD analizi de şekil 1 de verilmiştir.

Kümaş Elektrofiltre Tozu : Elektrofiltre tozu Kütahya 'da faaliyet gösteren Kümaş Manyezit A.Ş. 'den alınmıştır. Elektrofiltre tozunun kimyasal analizi çizelge 1 'de XRD analizi de şekil 1 de verilmiştir.

Çizelge 1. Kümaş ve Ferrokrom elektrofiltre tozlarının kimyasal analizleri

Bileşenler %	Kümaş EFT	Ferrokrom EFT
SiO ₂	11.58	84.90
Al ₂ O ₃	1.18	2-5
Fe ₂ O ₃	3.52	1-2.5
CaO	8.68	1-2
MgO	40.23	4-8
Cr ₂ O ₃	-	1-4
C	-	1-1.5
S	-	0.5-1.3
Kızdırma Kaybı	34.81	1.35
Toplam	100.00	



Şekil 1. 100 °C 'de (a), 1000 °C 'de (b) ve 1100 °C 'de ısıtılmış Ferrokrom elektrofiltre tozu ile Kümaş elektrofiltre tozunun (d) XRD analizleri

2.3. Deney Numunelerinin Hazırlanması

2.3.1. Karışım Hazırlama ve Şekillendirme

Ağırlıkça % 56.5 Kümaş ve % 43.5 Ferrochrom elektrofiltre tozları homojenleştirme amacı ile bilyalı değirmende karıştırılmış ve kuru presleme tekniği ile metal kalıpta şekillendirilmiştir,

2.3.2. Kurutma ve Sinterleme İşlemi

Etüvde kurutulan numuneler 1000, 1100, 1200 ve 1300 °C sıcaklıklarda elektrik ısıtılan fırında belirtilen sürelerde 2 saat süre ile sinterlenmiştir.

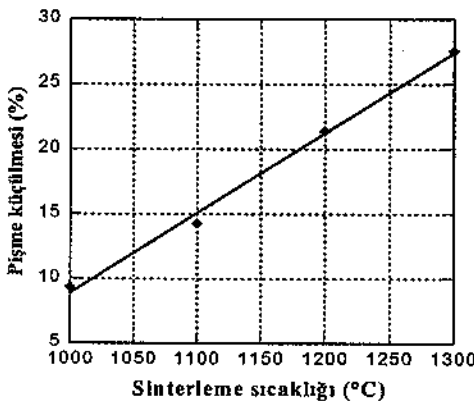
2.3.3. Numunelere Uygulanan Testler

İlgili standartlarda belirtildiği şekilde sinterlenen numunelerin pişme küçülmesi, su emme % 'leri, üç nokta eğme dayanımları ölçülmüş ve XRD analizleri yapılmıştır.

3. DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ

3.1. Pişme Küçülmesi Sonuçları

Pişme küçülmesi değerlerinin sinterleme sıcaklığı ile değişimi sonuçları çizelge 2 ve şekil 2 'de sunulmuştur.



Şekil 2. Pişme küçülme değerlerinin sinterleme sıcaklığı ile değişimi

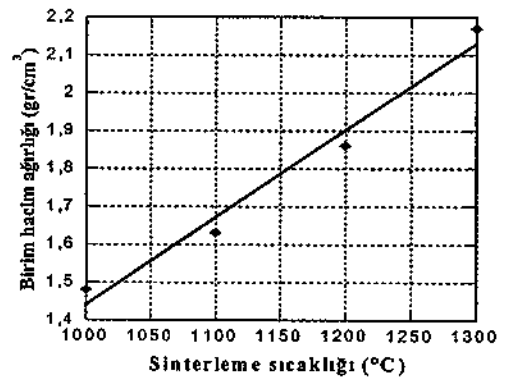
Çizelge 2. Pişme küçülme %'lerinin sinterleme sıcaklığı ile değişimi

Sinter. Sic. (°C)	1000	1100	1200	1300
Pişme küçül. (%)	9.32	14.25	21.35	27.53

Şekil 2. ve çizelge 2 'deki sonuçlarda görüldüğü gibi sinterleme sıcaklığı arttıkça pişme küçülmesinin de arttığı görülmektedir. Pişme küçülmesinin artması beklenen bir olaydır. Sinterleme sıcaklığı arttıkça katı hal reaksiyonları ve varsa sıvı faz yüzdesi artabilir, bu nedenle de gözenek miktarı azalacağından numuneler küçülür.

3.2. Birim Hacim Ağırlığı (Bulk Yoğunluk)

Birim hacim ağırlığı değerlerinin sinterleme sıcaklığı ile değişimi sonuçları şekil 3 ve çizelge 3 'de sunulmuştur.



Şekil 3 Birim hacim ağırlığı değerlerinin sinterleme sıcaklığı ile değişimi

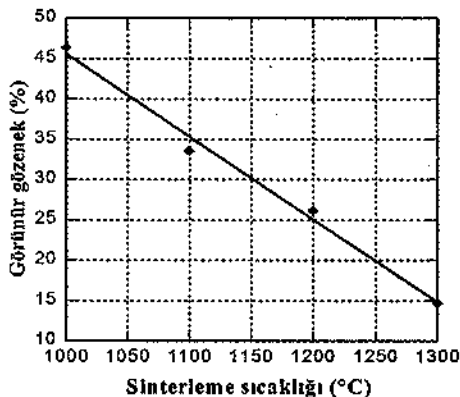
Çizelge 3. Birim hacim ağırlığı değerlerinin sinterleme sıcaklığı ile değişimi

Sinter. Sic. (°C)	1000	1100	1200	1300
B.H.A. (gr/cm³)	1.48	1.63	1.86	2.17

Şekil 3 ve çizelge 3 'de verilen sonuçlarda görüldüğü gibi sinterleme sıcaklığı arttıkça birim hacim ağırlık değerlerinde artış görülmektedir. Sinterleme sıcaklığı arttıkça toplam gözenek miktarında azalma meydana geldiğinden bunun sonucu olarak da birim hacim ağırlığı artar.

3.3. Görünür Gözeneklilik

Görünür gözenek % 'lerinin sinterleme sıcaklığı ile değişimi şekil 4 ve çizelge 4 'de sunulmuştur.



Şekil 4. Görünür gözenek % 'lerinin sinterleme sıcaklığı ile değişimi

Çizelge 4. Görünür gözenek % 'lerinin sinterleme sıcaklığı ile değişimi

Sinter. Sic. °C	1000	1100	1200	1300
B.H.Ağır. gr/cm ³	46.34	33.53	26.15	14.60

Şekil 4 ve çizelge 4 'de. verilen sonuçlarda görüldüğü gibi sinterleme sıcaklığı arttıkça görünür gözenek % 'sinde azalma meydana gelmiştir.

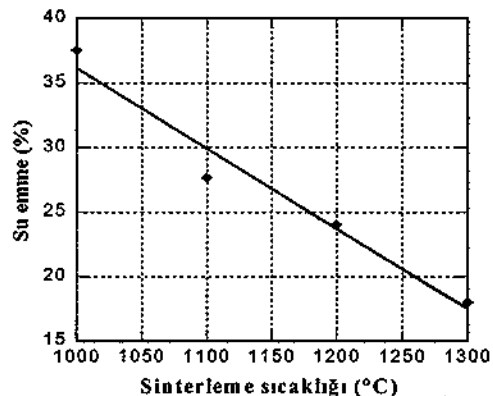
3.4. Su Emme

Su emme % 'lerinin sinterleme sıcaklığı ile değişimi sonuçları şekil 5 ve çizelge 5 'de sunulmuştur.

Çizelge 5. Su emme % 'lerinin sinterleme sıcaklığı ile değişimi

Sinter. Sic. (°C)	1000	1100	1200	1300
Su emme (%)	37.51	27.66	24.03	17.97

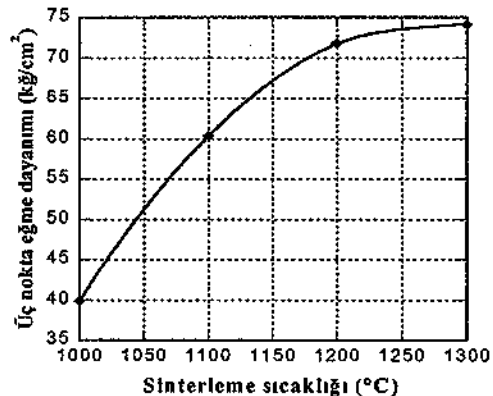
Çizelge 5 ve şekil 5 'de görüldüğü gibi sinterleme sıcaklığı arttıkça su emme yüzdelerinde azalma meydana gelmektedir. Sinterleme sıcaklığı arttıkça gözenek miktarı azaldığı için numunelerin su emme % 'leri de azalmaktadır



Şekil 5 Su emme % 'lerinin sinterleme sıcaklığı ile değişimi

3.5. Üç Noktada Eğme Dayanımı

Üç noktada eğme dayanımı değerlerinin sinterleme sıcaklığı ile değişimi şekil 6 ve çizelge 6 'da sunulmuştur.



Şekil 6. Üç nokta eğme dayanım değerlerinin sinterleme sıcaklığı ile değişimi

Çizelge 6. Üç nokta eğme dayanım değerlerinin sinterleme sıcaklığı ile değişimi

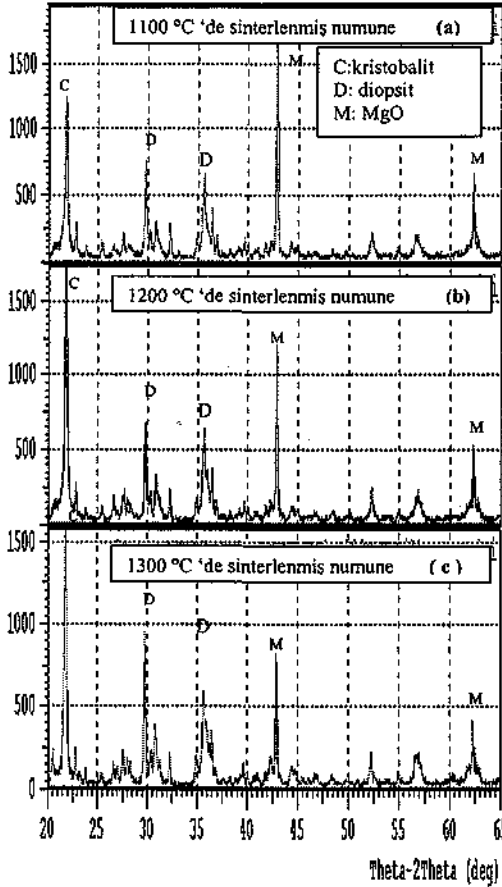
Sinter. Sic. °C	1000	1100	1200	1300
Ü.N.E.D. kg/cm ²	39.80	60.30	71.80	74.10

Şekil 6 ve çizelge 6 'da görüldüğü gibi sinterleme sıcaklığı arttıkça numunelerin üç nokta eğme

dayanımlarının da arttığı görülmektedir. Numunelerde pekişme arttıkça buna paralel olarak dayanımları da artmaktadır.

3.6. XRD Paternlerinin İncelenmesi

1100 °C, 1200 °C ve 1300 °C 'de sinterlenmiş numunelerin XRD paternleri şekil 7 'de verilmiştir.



Şekil 7. (a)1100 °C , b) 1200 °C, c)1300 °C 'de sinterlenmiş numunelerin XRD paternleri.

Şekil 7 'de verilen XRD paternleri incelendiğinde her üç sinterleme sıcaklığında da diopsit, magnezya ve kristobalit fazları görülmektedir. Bu sıcaklıklarda forsterit oluşumu gerçekleşmemiştir. Sinterleme sıcaklığı yükseldikçe kristobalit ve

Diopsit piklerinin boylarında artma, magnezya pikinin boyunda ise azalma olmuştur. Magnezya pikinin boyunda azalma olurken diopsit pikinin boyunda meydana gelen artış nedeni ortamdaki serbest magnezyanın diopsit dışındaki Ca ve silisli bileşiklerle reaksiyona girerek daha fazla diopsit oluşturmaktadır.

4. SONUÇLAR

Sinterleme sıcaklığı arttıkça;

- Pişme küçülmesi % 9.32 'den % 27.53'e yükselmiş,
- Birim hacim ağırlık değerleri 1.48 den 2.17 gr/cm³ 'e yükselmiş,
- Görünür porozite % 46.34 'den % 14.6 'ya düşmüş,
- Üç nokta eğme dayanımı 39.8 'den 74.1 kg/cm² 'ye yükselmiştir.

Sinterlenmiş ürünlerin XRD paternleri incelendiğinde ise;

- Her üç sinterleme sıcaklığında da diopsit, magnezya ve kristobalit fazlarının oluştuğu fakat bu sıcaklıkların forsterit fazı oluşumu için yeterli olmadığı,
- Sinterleme sıcaklığı yükseldikçe kristobalit ve diopsit piklerinin boylarında artma, magnezya pikinin boyunda ise azalma olduğu.
- Magnezya pikinin boyunda azalma olurken diopsit pikinin boyunda meydana gelen artış nedeninin ortamdaki serbest magnezyanın diopsit dışındaki Ca ve silisli bileşiklerle reaksiyona girerek daha fazla diopsit oluşturmaktan kaynaklandığı söylenebilir.

Sinterleme sıcaklığının 1300 °C 'nin üzerine çıkarılması durumunda forsterit fazının oluşabileceği tahmin edilmektedir.

Bu çalışmada kullanılan reçeteye göre hazırlanmış, kuru presleme ve enjeksiyon kalıplama tekniği ile şekillendirilmiş, 1400, 1450 ve 1500°C 'de sinterlenmiş numunelerin karakterizasyon çalışmaları sürmektedir.

KAYNAKLAR

Arcasoy A. (1983) *Seramik Teknolojisi Ders Kitabı*
Marmara Üniversitesi Güzel Sanatlar
Fakültesi Seramik Anasanat Dalı Yayınları
No.1 İstanbul, Sayfa 155-156

Ceramic Industry (2003) *Materials Handbook*.
Special Section, Brick and Clay Record.p. 57

Hocaoğlu K. (1995) "*Refrakter Malzemeler*
Teknolojisi ve Uygulamaları" Türkiye Çimento
ve Toprak Sanayi T.A.Ş. Genel Müdürlüğü,
Çimento, Beton Araştırma ve Eğitim Enstitüsü
Başkanlığı yayını, Ankara, sayfa; 39-46

Tuğla Kırıklarının Tuğla Üretiminde Kullanımı

C.B. Emrullahoğlu, H. Karademir & Ö.F. Emrullahoğlu

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon

ÖZET: Bu çalışmada, Filyos Yurtbay Tuğla Fabrikası tuğla kırıklarının tuğla üretiminde kullanılabilirliği üzerine yapılan laboratuvar ölçekli deneyler ve sonuçları sunulmuştur. Deneysel çalışmalar üç aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada 0.5 mm altına kırılan tuğla kırıkları tesis bandından alınan tuğla çamuruna % 0, 5, 10 ve 15 oranlarında katılmış, çift burgulu karıştırıcıda karıştırılmış ve kalıpta şekillendirmiştir, ikinci aşamada kurutulan numuneler iki farklı sıcaklıkta (850 ve 950 °C) 'de 2 saat süre ile sinterlenmiş, üçüncü aşamada da sinterlenmiş numunelere pişme küçülmesi, ateş kaybı, su emme ve basma dayanımı testleri uygulanmıştır. Sonuç olarak katkı oranı arttıkça, ateş kaybı ve su emme %'si azalmış, pişme küçülmesi ve basma dayanımı ise artmıştır.

ABSTRACT: This study describes the experiments and results of a laboratory scale investigation on usage of Filyos Yurtbay Brick Factory tailing at brick production. The laboratory work essentially consists of three steps. In the first step, the brick tailing crushed minus 0.5 mm was added to the plastic mud taken from brick production line of the factory at various amounts (5, 10 and 15 %), mixed in a mixer and shaped in a mould. In the second step, shaped samples were sintered for two hours at two different temperatures (850 and 950 °C). In the third step, firing shrinkage, lost of ignition, water absorption and compression strength tests were applied to the sintered samples. At the end of the research the higher the ratio of the tailing added the smaller the firing shrinkage, lost of ignition and water absorption while the higher the compression strength

1. GİRİŞ

Ülkemizde özellikle Turgutlu, Afyon, Çorum v.b.gibi bölgelerde faaliyet gösteren çok sayıda tuğla fabrikası bulunmaktadır. Tuğla fabrikalarının üretimi sırasında ortaya çıkan pişmemiş haldeki hatalı ürünler üretim hattına geri gönderilirken pişme sonucu çıkan kırık tuğlalar fabrika yanlarında stoklanmaktadır. Artan tuğla fabrikası atıklarının stoklanması sorun olmakta ayrıca bu atıklar çevre kirliliği açısından da büyük önem taşımaktadır. Bazı fabrikalarının tuğla kırıklarını yeniden tuğla üretiminde kullandıkları şeklinde duyurular alınması üzerine bu çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu atıkların ucuz hammadde kaynağı olarak değerlendirilmesi hem yukarıda açıklanan sorunların giderilmesi ve hem de ekonomiye kazandırılması açısından önemlidir. Afyon

Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Seramik Mühendisliği Bölümünde yapılan bir çalışmada (Devlez ve Emrullahoğlu, 2002) Afyon Tuğla Fabrikası atıklarının tuğla üretiminde kullanılabileceği, bunun özellikle basma mukavemeti üzerinde olumlu sonuçlar vereceği kanıtlanmıştır. Tuğla topraklarına sadece tuğla kırıklarının değil uçucu kül (Güneş ve Emrullahoğlu, 2003), hematit (Kara ve Emrullahoğlu, 2003, Öztürk ve Emrullahoğlu, 2002, Türbedar ve Emrullahoğlu, 2001), Mermer tozu (Cengiz ve Emrullahoğlu, 2003, Çeçen ve Emrullahoğlu, 2000), Mangan (Arıkan ve Emrullahoğlu 2003), volkanik tuf (Geleri ve Emrullahoğlu, 2002), Kuvars (Türkoğlu ve Emrullahoğlu, 2002), diatomit Aydın ve Emrullahoğlu, 2000), siderit (Uyar ve Emrullahoğlu, 2001), Kırmızı çamur (Baklacı ve

Emrullahoğlu., 2002, Ezerel ve Emrullahoğlu., 2002, Tatar ve Emrullahoğlu., 2001, Kömür tozu (Durukan ve Emrullahoğlu 2002) gibi çeşitli ham ve atık maddelerinin de katılabileceği, bunların genellikle tuğla özelliklerini iyileştirdiği yapılan çalışmalar sonucunda anlaşılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Deney Programı

Yurtbay tuğla fabrikası tuğla kırığı 0.5 mm altına kırıldıktan sonra tesis tuğla üretim bandından alınan tuğla çamuruna % 0, 5, 10 ve 15 oranlarında katılmış, çift burgulu karıştırıcıda karıştırılmış ve metal kalıpta hidrolik pres kullanılarak şekillendirilmiştir. Kurutulan numuneler iki farklı sıcaklıkta (850 ve 950 °C) 'de 2 saat süre ile sinterlenmiş, daha sonra sinterlenmiş numunelere su emme, görünür porozite, bulk yoğunluk ve basma dayanımı testleri uygulanmıştır.

2.2. Çalışmada Kullanılan Malzemeler

Tuğla Toprağı : Tuğla toprağı, Çaycuma-Zonguldak 'ta faaliyet gösteren Yurtbay Tuğla Fabrikası Tuğla üretim hattından alınmıştır. Çizelge.2.1.' de Yurtbay tuğla toprağının kimyasal analizi verilmiştir.

Çizelge 2.1. Yurtbay tuğla toprağının kimyasal analizi

Bileşenler	%
SiO ₂	57.10
Al ₂ O ₃	18.19
Fe ₂ O ₃	6.31
CaO	6.07
MgO	1.63
K ₂ O	1.56
Na ₂ O	2.72
Kızdırma Kaybı	5.70
Toplam	99.28

Tuğla Kırığı: Tuğla kırığı, Çaycuma-Zonguldak 'ta faaliyet gösteren Yurtbay Tuğla Fabrikası atık sahasından alınmıştır.

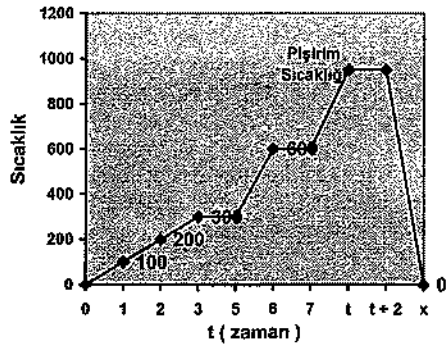
2.3. Deney Numunelerinin Hazırlanması

2.3.1. Karışım Hazırlama ve Şekillendirme

Çalışmada fabrika üretim hattından alınan ve % 20 su içeren plastik çamur örneklerine kuru bazda % 5, 10 ve 15 oranlarında -0.5 mm 'ye kırılmış ve elenmiş tuğla tozu karıştırılmıştır. Karışımlar çift burgulu karıştırıcıda iyice karıştırıldıktan sonra metal kalıp içerisinde pres yardımı ile şekillendirilmiştir. Numunelerin metal kalıba yapışmaması için şekillendirme öncesi kalıp iç yüzeylerine mazot sürülmüştür.

2.3.2. Kurutma ve Sinterleme İşlemi

Şekillendirilen tuğla numuneleri Yurtbay Tuğla Fabrikası tuğla kurutma tünellerinde 105 °C ' de kurutulmuştur. Sinterleme işlemi aynı fabrikanın tünel fırınlarında Şekil 2.1 'de verilen sinterleme rejiminde sinterlenmiştir.



Şekil 2.1. 850 ve 950 °C pişirim sıcaklıklarındaki zaman - sıcaklık ilişkisi.

2.3.3. Numunelere Uygulanan Testler

Sinterlenen numunelere aşağıdaki belirtilen testler uygulanmıştır.

- Pişme küçülmesi ve kızdırma kaybı testi
- Su emme testi
- Basma mukavemeti testi
- Kireç ve manyezi- dona dayanımı testleri

3. DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ

3.1. Deney Numunelerine Uygulanan Test Sonuçları

3.1.1. Pişme Küçülmesi Sonuçları

Pişme küçülmesi deneyi sonuçları çizelge 3.1 'de sunulmuştur.

Çizelge 3.1. Numunelerinin sıcaklık ve artan katkı oranına bağlı pişme küçülmeleri değerleri (%)

Katkı, %	850 °C	950 °C
0	1.55	3.20
5	1.48	2.95
10	1.25	2.52
15	1.01	2.18

Çizelge 3.1. 'de görüldüğü gibi sinterleme sıcaklığı arttıkça pişme küçülmesi değerlerinin arttığı görülmektedir. Artan sıcaklıkla pişme küçülmenin artması beklenen bir olaydır. Sinterleme sıcaklığı arttıkça katı hal reaksiyonları ve sıvı faz yüzdesi artabilir, bu nedenle de oluşan sıvı faz gözenekleri doldurduğundan numunenin küçülmesi de artar. Aynı sıcaklıkta tuğla kırığı katkısı oranı arttığında ise pişme küçülmesi azalmaktadır. Bunun nedeni tuğla kırığının pişmiş ürün olması ve uçucu bileşenlerin tuğla kırığında bulunmamasıdır.

3.1.2. Ateş Kaybı Sonuçları

Ateş kaybı sonuçları çizelge 3.2 'de sunulmuştur.

Çizelge 3.2. Numunelerinin sıcaklık ve artan katkı oranına bağlı ateş kaybı değerleri (%)

Katkı, %	850 °C	950 °C
0	9.52	9.98
5	9.27	9.64
10	8.74	9.24
15	7.62	8.33

Çizelge 3.2. 'de görüldüğü gibi katkı oranı arttıkça ateş kaybı değerlerinin azaldığı görülmektedir. Sinterleme sıcaklığı arttıkça ise ağırlık kaybında artış olmuştur. Bunlar beklenen sonuçlardır.

3.1.3. Su Emme Deneyi Sonuçları

Su emme deneyi sonuçları çizelge 3.3 'de sunulmuştur.

Çizelge 3.3. Numunelerinin sıcaklık ve artan katkı oranına bağlı su emme (%)'leri

Katkı, %	850 °C	950 °C
0	24.26	21.38
5	22.44	17.92
10	21.87	16.84
15	20.04	15.01

Çizelge 3.3.'de görüldüğü gibi hem sinterleme sıcaklığı ve hem de katkı oranı arttıkça su emme %'lerinin azaldığı görülmektedir.

3.1.4. Basma Dayanımı Deney Sonuçları

Numuneler üzerinde basma mukavemeti testi ilgili standartta belirtildiği şekilde yapılmıştır. Numunelerin farklı katkı oranları ve farklı sinterleme sıcaklıklarında gösterdikleri basma dayanımları değişimleri çizelge 3.4 'de verilmiştir.

Çizelge 3.4. Farklı katkı oranları ve sıcaklıklarda sinter-lenmiş numunelerin basma dayanımı değerleri (kg/cm²).

Katkı, %	850 °C	950 °C
0	93.64	94.78
5	96.28	99.12
10	110.33	113.28
15	115.62	119.19

Çizelge 3.4.'de görüldüğü gibi hem sinterleme sıcaklığı ve hem de katkı oranı arttıkça numunelerin basma dayanımlarının arttığı görülmektedir.

3.1.5. Zararlı Kireç ve Manyezi Deneyi Sonuçları

Zararlı kireç ve manyezi deneyi sonucunda gözle muayene edilen numunelerin yapısında, zararlı olabilecek çatlama, pullanma, kopma, dağılma v.b. hasarlara rastlanmamıştır. Fakat muayene sonucunda 850 °C 'de pişen tuğla numunelerinde zararlı olmayacak miktarda pullanma gözlenmiştir.

3.1.6. Dona Dayanım Deneyi Sonuçları

Dona dayanım testinde 25 çevrim boyunca numunelerde zararlı olacak şekilde çatlama, pullanma, dağılma v.b. hasarların oluşmadığı gözlenmiştir. Fakat bazı iri taneli serbest CaO 'in bünyede kalması ve bünyede homojen dağılmaması sebeplerinden dolayı az miktarda pullanma meydana gelmiştir. Bu nedenle yeniden basma dayanımı testine gerek görülmemiştir.

4. SONUÇLAR

Tuğla fabrikalarının üretimi sırasında ortaya önemli miktarda atık olarak tuğla kırığı çıkmaktadır. Bu kırıkların hem çevre kirliliği yaratmaması ve hem de ekonomiye katkı sağlaması açısından muhakkak değerlendirilmesi gerekmektedir. Tuğla kırıklarının tuğla üretimine geri döndürülmesi bu sorunu giderecektir.

Sinterleme sıcaklığı arttıkça pişme küçülmesi değerlerinin artmıştır. Aynı sıcaklıkta tuğla kırığı katkısı oranı arttığında ise pişme küçülmesi azalmaktadır. Bunun nedeni tuğla kırığının pişmiş ürün olması ve uçuşu bileşenlerin tuğla kırığında bulunmamasıdır.

Katkı oranı arttıkça ateş kaybı değerlerinin azaldığı görülmektedir. Sinterleme sıcaklığı arttıkça ise ağırlık kaybında artış olmuştur. Bunlar beklenen sonuçlardır.

Hem sinterleme sıcaklığı ve hem de katkı oranı arttıkça su emme %'leri azalmıştır.

Sinterleme sıcaklığı ve katkı oranı arttıkça numunelerin basma dayanımlarının arttığı görülmüştür.

Zararlı kireç ve manyezi deneyi sonucunda gözle muayene edilen numunelerin yapısında, zararlı olabilecek çatılma, pullanma, kopma, dağılma v.b. hasarlara rastlanmamıştır. Fakat muayene sonucunda 850 °C 'de pişen tuğla numunelerinde zararlı olmayacak miktarda pullanma gözlenmiştir.

Dona dayanım testinde 25 çevrim boyunca numunelerde zararlı olacak şekilde çatılma, pullanma, dağılma v.b. hasarların oluşmadığı gözlenmiştir. Fakat bazı iri taneli serbest CaO 'in bünyede kalması ve bünyede homojen dağılmaması sebeplerinden dolayı az miktarda pullanma meydana gelmiştir. Bu nedenle yeniden basma dayanımı testine gerek görülmemiştir.

KAYNAKLAR

Arıkan Ö., Emrullahoğlu Ö.F. (2003). *Tuğla üretiminde mangan katkısının etkisinin incelenmesi*, A.K.Ü. Afyon Müh. Fak. Seramik Müh. Bölümü, Araştırma Raporu Afyon.

Aydın M.A., Emrullahoğlu Ö.F. (2000). *Tuğla üretiminde diatomit katkısının etkisinin incelenmesi*, A.K.Ü. Afyon Müh. Fak. Seramik Müh. Bölümü, Araştırma Raporu Afyon.

Baklacı N., Emrullahoğlu Ö.F. (2002). *Haskale tuğla toprağına kırmızı çamur ve mermer tozu katkısının etkisinin incelenmesi*, A.K.Ü. Afyon Müh. Fak. Seramik Müh. Bölümü, Araştırma Raporu Afyon.

Cengiz Ö., Emrullahoğlu Ö.F. (2003). *Tuğla üretiminde mermer tozu katkısının etkisinin incelenmesi*, A.K.Ü. Afyon Müh. Fak. Seramik Müh. Bölümü, Araştırma Raporu Afyon.

Çeçen O., Emrullahoğlu Ö.F. (2000). *Tuğla üretiminde mermer tozu katkısının etkisinin incelenmesi*, A.K.Ü. Afyon Müh. Fak. Seramik Müh. Bölümü, Araştırma Raporu Afyon.

Devlez B., Emrullahoğlu Ö.F. (2002). *Tuğla fabrikası artıklarının tuğla toprağına katılabilirliğinin araştırılması*, A.K.Ü. Afyon Müh. Fak. Seramik Müh. Bölümü, Araştırma Raporu Afyon.

Durukan F., Emrullahoğlu Ö.F. (2002). *Tuğla toprağına kömür tozu katılarak gözenekli tuğla üretiminin araştırılması*, A.K.Ü. Afyon Müh. Fak. Seramik Müh. Bölümü, Araştırma Raporu Afyon.

Ezerel A., Emrullahoğlu Ö.F. (2002). *Haskale tuğla toprağına kırmızı çamur katkısının etkisinin incelenmesi*, A.K.Ü. Afyon Müh. Fak. Seramik Müh. Bölümü, Araştırma Raporu Afyon.

Geleri M., Emrullahoğlu Ö.F. (2002). *Volkanik tüf katkılı tuğla üretiminin araştırılması*, A.K.Ü. Afyon Müh. Fak. Seramik Müh. Bölümü, Araştırma Raporu Afyon.

Güneş M.E., Emrullahoğlu Ö.F. (2003). *Tuğla üretiminde uçucu kül katkısının etkisinin incelenmesi*, A.K.Ü. Afyon Müh. Fak. Seramik Müh. Bölümü, Araştırma Raporu Afyon.

- Kara E., Emrullahoğlu Ö.F. (2003). *Afyon Haskale tuğla toprağına hematit ve mermer tozu katkısının etkisinin incelenmesi*, A.K.Ü. Afyon Müh. Fak. Seramik Müh. Bölümü, Araştırma Raporu Afyon.
- Tatar A., Emrullahoğlu Ö.F. (2001). *Haskale tuğla toprağına kırmızı çamur katkısının etkisinin incelenmesi*, A.K.Ü. Afyon Müh. Fak. Seramik Müh. Bölümü, Araştırma Raporu Afyon.
- Türbedar T., Emrullahoğlu Ö.F. (2001). *Afyon Çobanlar tuğla toprağına hematit ve mermer tozu katkısının etkisinin incelenmesi*, A.K.Ü. Afyon Müh. Fak. Seramik Müh. Bölümü, Araştırma Raporu Afyon.
- Türkoğlu B. N., Emrullahoğlu Ö.F. (2002). *Afyon tuğla toprağına kuvars katkısının etkisinin incelenmesi*, A.K.Ü. Afyon Müh. Fak. Seramik Müh. Bölümü, Araştırma Raporu Afyon.
- Öztürk B., Emrullahoğlu Ö.F. (2001). *Afyon Çobanlar tuğla toprağına hematit katkısının etkisinin incelenmesi*, A.K.Ü. Afyon Müh. Fak. Seramik Müh. Bölümü, Araştırma Raporu Afyon.
- Uyar K., Emrullahoğlu Ö.F. (2001). *Afyon Çobanlar tuğla toprağına siderit katkısının etkisinin incelenmesi*, A.K.Ü. Afyon Müh. Fak. Seramik Müh. Bölümü, Araştırma Raporu Afyon.

Demirci (Manisa) Kyanit Cevherinin Zenginleştirilmesi ve Seramik Üretiminde Kullanımı

C.B. Emrullahoğlu, A. Aybey & Ö.F. Emrullahoğlu

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon

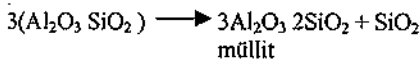
ÖZET: Bu çalışmada, Demirci (Manisa) kyanit cevherinin sarsıntılı masa ile zenginleştirilmesi ile elde edilen konsantreden müllit üretimi ile ilgili deneyler ve sonuçları sunulmuştur. Laboratuvar çalışmaları; cevherin karakterizasyonu, merdaneli kırıcıda 1 mm altına kırma, -1+0.5 ve -0.5+0.1 mm elek fraksiyonlarına ayırmak için 1 ve 0.5 mm açıklıklı eleklerden eleme, sarsıntılı masa ile zenginleştirme, elde edilen konsantreyi bilyalı değirmende 0.150 mm altına öğütme, kuru preste şekillendirme, 1300, 1350 ve 1400 °C sıcaklıklarda sinterleme ve son ürünlerin karakterizasyonundan oluşmaktadır. Sonuç olarak literatürde belirtildiği gibi 1350 °C de sinterleme işlemleri sonucu müllit oluşmuş ve numuneler hacimce büyümüştür.

ABSTRACT: This study describes the experiments and results of a laboratory scale investigation on mullite production from kyanite concentrate obtained from Demirci (Manisa) kyanite ore using shaking table. The laboratory work essentially consists of characterization of ore, crushing to minus 1 mm using roll crusher, screening using 1 and 0.5 mm sieve to obtain -1+0.5 and -0.5+0.1 mm sieve fractions, concentrating by shaking table, grinding of the concentrate to minus 0.150 mm using ball mill, shaping by dry pressing, sintering and characterization of the final products. As a result mullite phase formed and the samples expanded at 1350 °C sintering temperature as explained at literature.

1. GİRİŞ

Seramik ve refrakter endüstrisinin en önemli hammaddelerinden biri olan müllit iki şekilde üretilmektedir. Birincisi tabii olarak aynı formüle sahip (Al_2SiO_5) silimanit, andalusit ve kyanit (disten) 'in 1310-1545 °C aralığında sinterlenmesi ile, ikincisi ise gerekli kimyasal bileşimdeki hammaddelerin öğütme ve karıştırma işlemlerinden sonra 1500 °C civarında sinterlenmesi ile üretilir (Emrullahoğlu 1975)

Silimanit grubu minerallerin hepsi ısıtıldıklarında müllit ve camlaşmış silis meydana getirirler.



En kolay olarak kyanit 'de meydana gelen bu reaksiyon yavaş olarak 1310 °C de başlar ve ani olarak hızlanarak 1350-1380 °C arasında % 17 genleşme meydana getirir. Dolayısı ile kyanit 'in refrakter tuğlası endüstrisinde kullanılmadan önce

kalsine edilmesi gerekmektedir (Varley., 1972). Tane boyutu büyüdükçe genleşme de büyümektedir. (Ceramic Ind. 2003)

Az bulunan andalusit ise 1380-1400 °C arasında müllitleşir. Yavaş olarak meydana gelen hacim genleşmesi % 5-6 civarında olduğundan uygun kimyasal bileşime sahipse doğrudan doğruya refrakter endüstrisinde kullanılabilir (Varley 1972)

Silimanit ise 1545 °C 'den evvel müllite dönüşmez. Bu ısıdaki genleşme % 5-6 arasındadır.

Adı geçen ısı reaksiyonlarında oluşan müllit iğne şeklinde her yönde dağılmış kristaller meydana getirerek tuğlaya mekanik mukavemet kazandırmaktadır

Demirci kyanit cevheri ile ilgili olarak daha önce yapılan çalışmada (Emrullahoğlu 1975, 1981) cevherin karakterizasyonu ve çeşitli cevher hazırlama yöntemleri ile zenginleştirilmesi deney ve sonuçları sunulmuş, elde edilen konsantrenin

sadece pişme rengine bakılarak seramik sektöründe kullanılabileceği bildirilmişti. Bu çalışmada ise hem sarsıntılı masa ile zenginleştirme yapılmış ve hem de sarsıntılı masada elde edilen konsantr kullanılarak müllit ürün üretimi gerçekleştirilmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Çalışmada Kullanılan Malzeme

Kyanit yatağı Manisa'nın Demirci ilçesi yakınındadır. MTA Enstitüsünün Ege Bölgesindeki yapmış olduğu araştırma raporuna göre bölgede gnays ve mikaşistlerin yaygın olduğu belirtilmektedir. İşletme eski ve kapatılmış bir işletme olup faaliyette olduğu sıralarda çıkartılmış cevher dış etkenler nedeniyle geniş bir araziye yayılmıştır. Deneylerde kullanılan numuneler bu sahadan en iri boyutu 10 cm olan parçalardan toplanmıştır. Tuvenan cevherin kimyasal ve mineralojik analiz sonuçları çizelge 1, 2 ve 3 'de sunulmuştur (Emrullahoğlu 1975 ve 1981).

2.2. Sarsıntılı Masada Zenginleştirme Deneyleri

Tuvenan cevher merdaneli kırıcıda 1 mm altına kırılarak, -1+0.5 ve -0.5+0.1 mm elek fraksiyonlarına ayrılmış, Deister marka sarsıntılı masada ayrı ayrı zenginleştirilmiştir. Tuvenan cevherin, sarsıntılı masadan elde edilen konsantr ve artığın XRD analiz sonuçları şekil.1 'de verilmiştir.

Çizelge 1. Demirci tuvenan kyanit cevherinin kimyasal analizi (Emrullahoğlu 1981)

Bileşenler	%
SiO ₂	44.44
Al ₂ O ₃	48.33
Fe ₂ O ₃	1.75
K ₂ O	1.56
Na ₂ O	1.81
Kızdırma Kaybı	1.65
Toplam	99.45

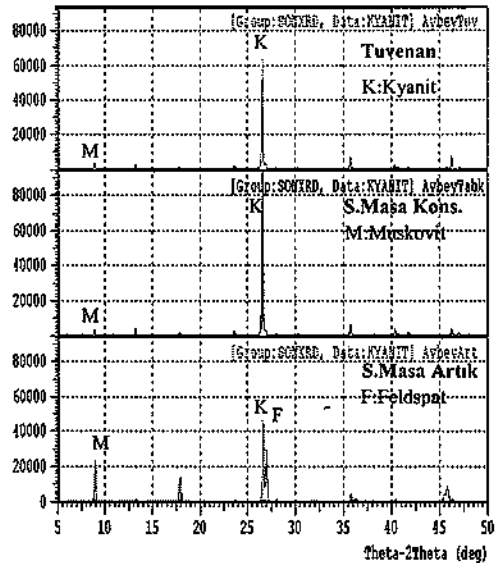
Kyanit uzun kristaller halinde, genellikle renkleri mavi olup bazen beyaz ve bazen de içerdiği demir oksitlerden dolayı kahverengimsi olabilir.

Çizelge 2. Polarizan ve binoküler stereo mikroskopta tespit edilen mineraller

Mineraller	Bileşimleri
Kyanit	Al ₂ SiO ₅
Kuvars	SiO ₂
Muskovit	K ₂ O 3Al ₂ O ₃ 6SiO ₂ 2H ₂ O
Biotit	(H,K) ₂ (Mg,Fe) ₂ Al ₂ (SiO ₄) ₃
Albit(feldsbat)	Na ₂ O Al ₂ O ₃ 6SiO ₂
Limonit	Fe ₂ O ₃ xH ₂ O
Manyetit	Fe ₃ O ₄
Almandin(Gröna)	3FeO Al ₂ O ₃ 3SiO ₂
Turmalin	(Fe,Mg) ₅ Al ₃ B ₂ (OH) ₂ SiO ₄ O ₁₉
Klorit	(Mg,Fe ²⁺ ,Fe ³⁺ ,Al) ₃ (OH) ₅
Storolit	H ₄ (Fe,Mg) ₆ (Al,Fe) ₂₄ Si ₁₁ O ₁₆

Çizelge 3. Demirci tuvenan cevherin mineralojik analizi (Emrullahoğlu 1975)

Mineral	%
Kyanit	61.29
Albit (Feldspat)	15.33
Muskovit	13.21
Kuvars	8.75
Biotit-Turmalin-Gröna-Manyetit	1.42
Toplam	100.00



Şekil 1. Tuvenan kyanit cevheri, sarsıntılı masa konsantr ve artığının XRD analizleri

2.3. Deney Numunelerinin Hazırlanması

2.3.1. Karışım Hazırlama ve Şekillendirme

Konsantr bilyalı değirmende 0.150 mm altına öğütüldükten sonra tek etkili preste şekillendirilmiştir.

2.3.2. Sinterleme İşlemi

Şekillendirilen numuneleri 1300, 1350 ve 1400 °C sıcaklıklarda elektrikli fırında 5 °C/saat ısıtma hızı ile 2 saat süre ile sinterlenmiştir.

2.3.3. Numunelere Uygulanan Testler

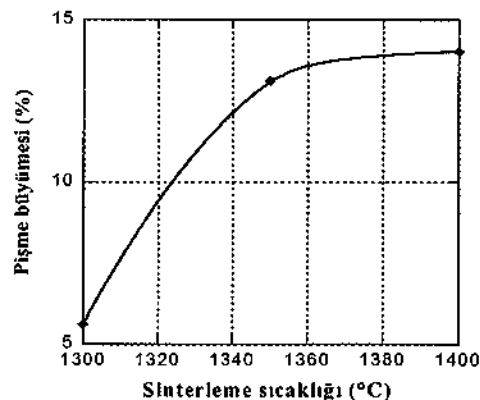
Sinterlenen numunelere aşağıdaki belirtilen testler uygulanmıştır.

- Pişme büyümesi
- Su emme
- Üç noktada eğme dayanımı
- XRD

3. DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ

3.1. Pişme Büyümesi

Pişme büyümesi sonuçları şekil 2 ve çizelge 4 'de sunulmuştur.



Şekil.2. Sinterleme sıcaklığı-pişme büyüme %'si değişimi

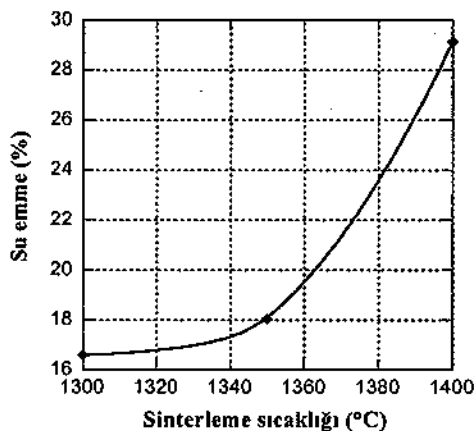
Çizelge 4. Numunelerinin artan sinterleme sıcaklığı ile pişme büyüme %'leri

Sinterleme Sıc. °C	1300	1350	1400
Pişme büyümesi %	5.60	13.10	14.01

Şekil 2 ve çizelge 4'de görüldüğü gibi sinterleme sıcaklığı arttıkça pişme büyümesi değerlerinin arttığı görülmektedir. Bu büyümenin nedeni müllit dönüşümleridir. En kolay olarak kyanit'de meydana gelen müllit oluşum reaksiyonu yavaş olarak 1310 °C'de başlar ve ani olarak hızlanarak 1350-1380 °C arasında % 17 genleşme meydana getirir. Bu nedenle numuneler büyümüştür.

3.2. Su Emme Deneyi Sonuçları

Su emme deneyi sonuçları şekil 3 ve çizelge 5'de sunulmuştur.



Şekil.3. Sinterleme sıcaklığı-su emme %'si değişimi

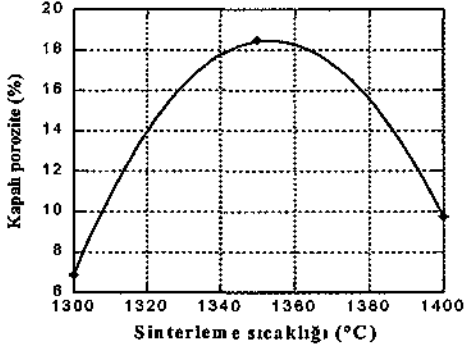
Çizelge 5. Sinterleme sıcaklığı-su emme %'si değişimi

Sinterleme Sıc. °C	1300	1350	1400
Su emme %	16.56	18.03	29.12

Şekil 3 ve çizelge 5'de görüldüğü gibi sinterleme sıcaklığı arttıkça su emme %'lerinin arttığı görülmektedir. Numunenin hacimce büyümesi sırasında suyun girebileceği genişlikteki açık gözenek miktarı da artmıştır.

3.3. Kapalı Porozite

Kapalı porozite miktarının sinterleme sıcaklığı ile değişimi şekil 4 ve çizelge 6'da verilmiştir.



Şekil 4. Sinterleme sıcaklığı-kapalı porozite %'si değişimi

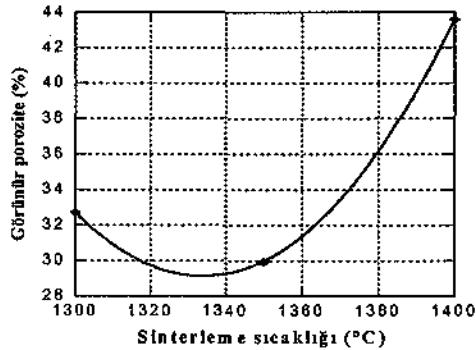
Çizelge 6. Sinterleme sıcaklığı-kapalı porozite %'si değişimi

Sinterleme Sıc. °C	1300	1350	1400
Kapalı porozite %	6.87	18.46	9.72

Şekil 4 ve çizelge 6'daki sonuçlar incelendiğinde sinterleme sıcaklığı artışı ile birlikte kapalı porozite miktarında bir önce artış sonra azalma olduğu görülmektedir.

3.4. Görünür Porozite

Görünür porozite miktarının sinterleme sıcaklığı ile değişimi şekil 5 ve çizelge 7'de verilmiştir.



Şekil 5. Sinterleme sıcaklığı-görünür porozite %'si değişimi

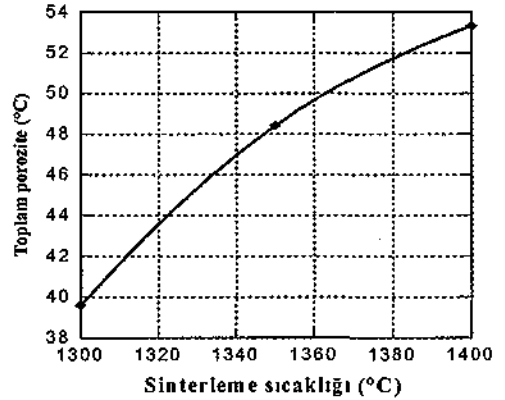
Çizelge 7. Sinterleme sıcaklığı-görünür porozite %'si değişimi

Sinterleme Sıc. °C	1300	1350	1400
Görünür porozite %	32.70	29.92	43.58

Şekil 5 ve çizelge 7'deki sonuçlar incelendiğinde sinterleme sıcaklığı artışı ile birlikte görünür porozite miktarında önce biraz azalma sonra büyük artış olduğu görülmektedir.

3.4. Toplam Porozite

Toplam porozite miktarının sinterleme sıcaklığı ile değişimi şekil 6 ve çizelge 8'de verilmiştir.



Şekil 6. Sinterleme sıcaklığı-toplam porozite %'si değişimi

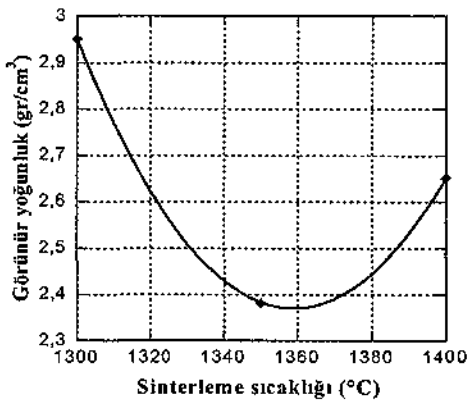
Çizelge 8. Sinterleme sıcaklığı-toplam porozite %'si değişimi

Sinterleme Sıc. °C	1300	1350	1400
Toplam porozite %	39.57	48.38	53.30

Şekil 6. ve çizelge 8'deki sonuçlar incelendiğinde sinterleme sıcaklığı artışı ile birlikte görünür toplam porozite miktarında sürekli yükselme olduğu görülmektedir.

3.6. Görünür Yoğunluk

Görünür yoğunluk miktarının sinterleme sıcaklığı ile değişimi şekil 7 ve çizelge 9'da verilmiştir.



Şekil 7. Sinterleme sıcaklığı-görünür yoğunluk değişimi

Çizelge 9. Sinterleme sıcaklığı-görünür yoğunluk değişimi

Sinterleme Sıc. °C	1300	1350	1400
Görünür yoğ. gr/cm³	2.95	2.38	2.65.

Şekil 7. ve çizelge 9 'daki sonuçlar incelendiğinde sinterleme sıcaklığı artışı ile birlikte görünür yoğunluk miktarında önce ani düşme sonra biraz yükselme olduğu görülmektedir. Görünür yoğunluk hesabında kapalı porlar da dahil olduğundan bu sonuçlar kapalı porozite değerlerindeki değişimle paralellik göstermektedir.

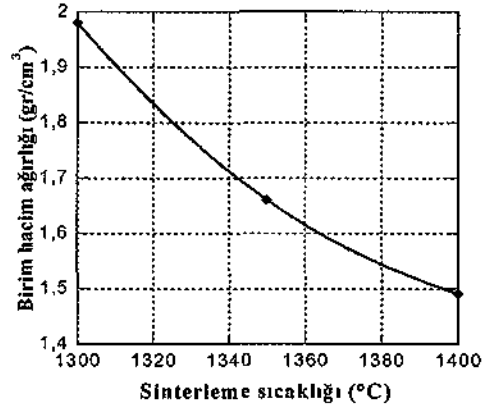
3.7. Birim Hacim Ağırlığı (bulk yoğunluk)

Birim hacim ağırlığının sinterleme sıcaklığı ile değişimi şekil 8 ve çizelge 10 'da verilmiştir.

Çizelge 10. Sinterleme sıcaklığı-birim hacim ağırlığı değişimi

Sinterleme Sıc. °C	1300	1350	1400
B. H. ağırlığı gr/cm³	1.98	1.66	1.49

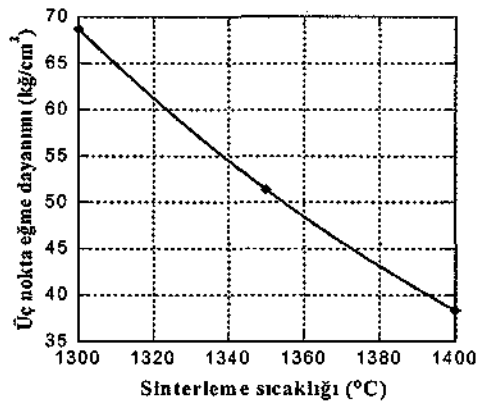
Şekil 8 ve çizelge 10'daki sonuçlar incelendiğinde sinterleme sıcaklığı artışı ile birlikte birim hacim ağırlığı değerinde numunelerde meydana gelen şişme nedeniyle azalma olmuştur.



Şekil 8. Sinterleme sıcaklığı-birim hacim ağırlığı değişimi

3.8. Üç Nokta Eğme Dayanımı

Numuneleri artan sinterleme sıcaklığı ile üç nokta eğme dayanımları değişimleri şekil 9 ve çizelge 11'de verilmiştir.



Şekil 9. Sinterleme sıcaklığı-üç nokta eğme dayanımı değişimi

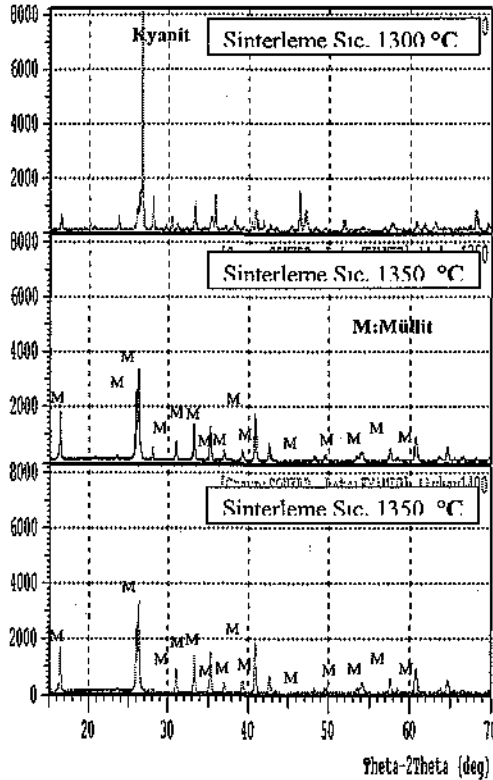
Çizelge 11. Sinterleme sıcaklığı-üç nokta eğme dayanımı değişimi (kg/cm²).

Sinterleme Sıc. °C	1300	1350	1400
Ü.N.E.Day. kg/cm²	68.65	51.34	38.30

Şekil 9 ve çizelge 11'de görüldüğü gibi sinterleme sıcaklığı arttıkça numunelerde şişme nedeni ile gözenek miktarları artmış buna paralel olarak da numunelerin üç nokta eğme dayanımları düşmüştür.

3.9. XRD Analizi Sonuçları

Kıyanit konsantrasyonundan üretilen ve üç farklı sıcaklıkta sinterlenen numunelerin XRD analiz paternleri Şekil 10'da sunulmuştur.



Şekil 10. Kıyanit konsantrasyonundan üretilen ve 1300, 1350 ve 1400 °C'lerde sinterlenen numunelerinin XRD paternleri

Şekil 10'da sunulan XRD paternleri incelendiğinde, 1300 °C'de hakim olan faz kıyanit fazı olup çok az miktarda müllit oluştuğu görülmektedir. 1350 °C'ye çıktığında ise tamamen hakim olan faz müllit fazıdır. Burada $2\theta = 28^\circ$ 'de görülen kıyanit piki boy olarak çok kısalmıştır. 1400 °C'de ise müllit piklerinin boyunda biraz daha artış olurken $2\theta = 28^\circ$ 'de görülen kıyanit piki kaybolmuştur. Burada oluşan müllit fazı miktarı en yüksek olmuştur.

4. SONUÇLAR

Tuvenan kıyanit cevherinin sarsıntılı masa ile zenginleştirilmesi sonucu iyi kalitede konsantrasyon üretilmiştir.

Sinterleme sıcaklığı arttıkça pişme büyümesi artmıştır. Kıyanit'in müllite dönüşümü sırasında %17 genişleme meydana gelmektedir.

1350 °C'de kıyanit dönüşümü sırasında kapalı porozite oranı % 18.46 gibi en yüksek olurken, görünür porozite oranı ise % 29.92 değeri ile en düşük olarak gerçekleşmiştir. Toplam porozite ise artan sinterleme sıcaklığı ile artmış ve 1400 °C'de % 53.30'a ulaşmıştır. Gözenek miktarı arttıkça dayanım düşerken buna karşılık malzemenin ısı yalıtım özelliği artar.

Sinterleme sıcaklığı artışı ile birim hacim ağırlığı artarken üç nokta eğme dayanımlarında azalma meydana gelmiştir. Bu sonuçlar normaldir. Müllit oluşumu için 1350 °C yeterli olmuştur.

KAYNAKLAR

- Emrullahoğlu Ö.F. (1975). *Demirci (Manisa) kıyanit cevherinin değerlendirilmesi*, MMLS Tezi. İ.T.Ü Maden Fakültesi Cevher Hazırlama Kürsüsü. Maçka/İstanbul
- Emrullahoğlu Ö.F. (1981). *Demirci (Manisa) kıyanit cevherinin zenginleştirilmesi ve sentetik müllit üretimi*, 1. Seramik Teknik Kongresi 13-16 Ocak Ankara
- Varley, E.R. (1972). *Silimanit, Andalusit, Kıyanit*, Overseas Geological Surveys Mineral Resources Division. Her Majesty's Stationary Office London.
- Ceramic Industry (2003). *Materials Handbook. Special Section, Brick and Clay Record*. p.70-80
- U.S. Dept of The Interior Bureau of Mines (1965). *Mineral Facts and Problems*. Washington page. 481-489.

Na-Feldspat ve K-Feldspatın Flotasyonla Ayırımında Ca^{++} İyonlarının Etki Mekanizması

I. Bentli

Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya

C. Demir

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Trabzon

I. Gülgönül

Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir Meslek Yüksek Okulu, Çağış, Balıkesir

M.S. Çelik

İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Cevher ve Kömür Hazırlama Anabilim Dalı, İstanbul

ÖZET: Bu çalışmada, flotasyon yöntemiyle florürsüz ortamda CaCl_2 tuzunun, albit (Na-feldspat) ve mikroklinin (K-feldspat) seçimli ayırımında kullanılabilirliği araştırılmıştır. Ayırım mekanizmasını ortaya koyabilmek amacıyla yapılan zeta potansiyel, adsorpsiyon ve mikroflotasyon çalışmaları sonucunda Ca^{+2} iyonlarının albit üzerine mikroklinde daha fazla adsorplandığı ve albit-mikroklin arasında 12 mV fark olduğu tespit edilmiştir. Doğal pH'da yapılan mikroflotasyon deneylerinde Ca^{+2} iyonları ilave edilmeden %49.6 olan albit ile mikroklin selektif ayırımı, 2×10^{-2} M Ca^{+2} konsantrasyonunda %62.1 oranına yükselmiştir.

ABSTRACT: In this study, usability of selective separation of albite (Na-feldspar) and microcline (K-feldspar) at CaCl_2 salt with amine flotation are investigated at natural pH without HF medium. Amine flotation together with zeta potential measurements and adsorption has been studied of bivalent Ca^{+2} salt to understand their effects on differential separation of feldspar minerals. It is found that bivalent Ca^{+2} ions adsorbed on albite than microcline which is 12 mV differences zeta potential. Selective separation of albite-microcline with microflotation is achieved %49.2 without Ca^{+2} ions together increasing %62.1 with 2×10^{-2} M Ca^{+2} .

1.GİRİŞ

Albit ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), mikroklin ve ortoz (KAlSi_3O_8) en önemli ticari feldspat mineralleridir. Feldspat mineralleri, alümina ve alkali içeriklerine göre cam ve seramik sanayinin farklı dallarında kullanılırlar. Albit cam sanayinde, mikroklin ve ortoz ise seramik sanayinde tercih edilmektedir.

Na-feldspat ve K-feldspatın ayrı ayrı bulunduğu yataklar kıt olmasına karşın, bu iki mineralin birlikte bulunduğu yataklar ülkemizde oldukça fazladır. Albit-mikroklin seçimli ayırımı yapılarak bu yatakların değerlendirilmesi oldukça önemlidir. Günümüz koşullarında bu seçimli ayırımı mümkün kılabilen yöntem flotasyondur. Literatürde feldspat flotasyonu ile ilgili ayrıntılı teorik ve pratik çalışmalar vardır (Rao ve Forssberg 1995;

Bayraktar vd 2001, Ütine, 1987). Flotasyon yöntemi ile feldspattan kuvars, mika ve renk verici safsızlıkların ayırımı yapılmaktadır. Buna karşılık, Na-feldspat ve K-feldspatın birbirinden seçimli olarak ayrılması için yapılan çalışmalar çok kısıtlı kalmıştır. Bu nedenlerden dolayı albit ve mikroklinin birbirinden ayrılmasında kullanılabilen flotasyon prosesinin geliştirilmesi zorunludur.

Literatürde flotasyonla albit-mikroklin ayırımında, ortama tek değerlikli tuzlardan NaCl ve çift değerlikli tuzlardan CaCl_2 ilavesi ile seçimli bir ayırımın yapılabildiği bildirilmiş, ancak ayrıntıya girilmemiştir (Demir vd 2001, Demir vd 2003a). Bir çok araştırmacı, alkali ve toprak alkali metal iyonlarının silikat üzerine adsorpsiyonu üzerinde çalışmalar yapmış ve bu iyonların silikat üzerine adsorplandığını belirlemişlerdir (James ve Healy

1972; Hunter ve James 1992). Albit ve mikroklin de bir silikat minerali olduğundan alkali ve toprak alkali metal iyonları bu minerallerin yüzeylerine adsorplanabilirler. Nitekim tek değerlikli alkali metal iyonlarından Na^+ albitin yüzey yükünü artırırken, mikroklinin yüzey yükünü marjinal olarak değiştirdiği, böylece albit ve mikroklinin seçimli olarak ayırımının mümkün olduğu mikroflotasyon sonuçları ile desteklenmiştir (Demir vd 2001).

El-Salmawy vd (1993), flotasyon ile kuvarşın mikroklinde ayrılmasında toprak alkali metal iyonlarının etkisini inceledikleri çalışmalarında, yüksek alkali ortamlarda kalsiyum iyonunun kuvarşın üzerine mikroklinde daha fazla adsorplandığını tespit etmişlerdir. Bunun nedenini ise yüksek alkali ortamlarda mikroklin yüzeyinde hidrate tabaka oluşmasına ve K, Al gibi katyonların CaOH^+ ile yarışarak Na veya NaOH ile yer değiştirmesine bağlamışlardır. Gülsoy ve Kılavuz (2002) HF'siz ortamda feldspat-kuvarşın ayırımı için toplayıcı olarak oleat ile birlikte kurşun ve bazı metal katyonları tuzlarının flotasyona olan etkilerini araştırmış ve kurşun/oleat karışımından başarılı sonuçlar almıştır.

HF'li ortamda farklı tuzlar kullanarak feldspatın seçimli ayırımını 1960 ve 1970'li yıllarda Rusyalı araştırmacıların çalıştığını Manser (1975) bildirmektedir. Yanis (1968) HF'li ortamda amin flotasyonu ile Mg^{+2} ve Ca^{+2} iyonlarının Na-feldspat üzerine bastırıcı etki yaptığını ve böylece K-feldspat konsantresi aldığını açıklamıştır. Strakova (1968) 15 g/l NaCl varlığında florit aktivasyonu ile albit ve mikroklinin farklı flotasyon davranışı gösterdiğini ve feldspat konsantresi içindeki potasyumun arttığını bulmuştur.

Revniytzev vd (1968) potasyum ve iyon çapları potasyuma yakın iyonların (örneğin Rb, Cs ve Ba) K-feldspatı, sodyum ve iyon çapları sodyuma yakın iyonların (örneğin Ca, Mg ve Sr) Na-feldspatı bastırdığını bildirmektedir. HF kullanıldığında hem selektivitenin arttığını hem de gerekli tuz konsantrisinin azaldığını tespit etmiştir. Marius ve Laura (1970) eşit Na-K içerikli Voineasa pegmatitleri üzerinde bu durumu test etmiş ve en iyi sonucu NaCl kullanıldığında Na-feldspatı bastırarak elde etmiştir. Ancak literatürde bazı yazarlar, alkali feldspatlarla yapılan bazı flotasyon çalışmalarının çoğunlukla gerçeği yansıtmayan ve çelişkili bir durum olduğunu bildirmektedir (Demir vd. 2003b).

Feldspatların anyonik toplayıcılar ile kolayca yüzmeyeceğini buna karşın kuvarsta olduğu gibi mikroklinin de katyonlar kullanılarak canlandırma yapılabileceğini, buna örnek olarak yüksek pH'larda kalsiyum iyonlarının canlandırma yaptığı bildirilmiştir (Manser 1975; Shapolov ve Polkine 1958). Alüminyum, demir ve kalsiyum tuzlarının kuvarşın, feldspat ve sillimanit üzerine canlandırıcı etkisinin bulunduğu, ancak 300 mg/l'den daha derişik çözeltilerde bu minerallerin hem asit hem de alkali ortamlarda yüzdürülmelerinin zorlaştığı belirtilmiştir (Nikols'kaya ve Skobev 1967). Klyachin ve diğ. (1969), feldspatın CuSO_4 , CaCl_2 ya da başka çok değerlikli metal tuzları ile canlandırılabilceğini ancak bununla birlikte canlanan kuvarşın bastırılabilmesi için cevherin yeniden HCl veya H_2SO_4 kullanarak pH 2-3'te işlem görmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Dlugosz ve Ociepa (1972) NaCl ve CaCl_2 'in 5 gr/l'den sonra duruma göre birlikte veya tek başına kullanıldığında, albit mineralini bastırdığını belirtmektedir.

Kalsiyum iyon çapının (0.99 Å) büyüklüğü sodyumun iyon çapının büyüklüğüne (0.95 Å) yakındır (Conway, 1981). Literatürde sodyum ve kalsiyum iyonlarının albit üzerine bastırıcı, potasyum iyonlarının da mikroklin üzerine bastırıcı etki yaptığı bildirilmektedir (Yanis ve Gorelik, 1973). Bundan daha önce Yanis (1967) amin flotasyonunda Ca^{+2} ve Mg^{+2} iyonlarının sodyumlu feldspatı bastırarak potasyumlu feldspatın yüzdürülmesinin mümkün olduğunu bildirmiştir (Yanis 1967). Kovalenko bu tezi destekleyerek patent almıştır (Kovalenko 1968).

Filminov (1972), yedi çeşit feldspat ve üç çeşit mika üzerinde yaptığı çalışmada florür içeren hafif asit ortamlarda kararlı olan SiF_6^{2-} anyonlarının bu minerallerin yüzeylerinde bulunan K, Ba, (Fe, Ca, Mg, Al, vd) katyonları ile K_2SiF_6 ve BaSiF_6 gibi zor çözünen türde bileşikler yaparak ya da bu katyonların yer alacağı yüzey bileşiklerini oluşturarak bu mineralleri anyonik toplayıcı olan sodyum oleata karşı bastırdığını ileri sürmüştür. Yine Na-feldspatı K-feldspattan ayırmak için Yanis (1968) tarafından florürlü ortamda yapılan çalışmada konsantreyi HF ile koşullandırdıktan ve fazla HF'i ortamdan uzaklaştırdıktan sonra K-feldspatı amin ile yüzdürürken Na-feldspatı MgCl_2 veya CaCl_2 kullanarak bastırmış ve yüksek potasyum içerikli konsantre elde etmiştir.

Bu çalışmanın amacı HF'siz ve doğal pH'da çift değerlikli tuzlardan CaCl_2 'ün albit-mikrokinlin seçimli ayırımında kullanılabilirliğini araştırmaktır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Malzeme

Deneysel çalışmalarda kullanılan numune Aydın-Çine yöresinden getirilmiştir. Numuneler alınırken saf parçaların alınmasına özen gösterilmiştir. XRD sonuçları numunelerin saflığını doğrulamaktadır. Numunelerin kimyasal analizi çizelge 1'de verilmektedir. Deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere numuneler merdaneli kırıcıda kırıldıktan sonra agat değirmende $-150 \mu\text{m}$ 'ye indirilmiştir. $-150+53 \mu\text{m}$ mikrofotasyon deneylerinde kullanılırken, $-53 \mu\text{m}$ ise yüzey yükü ve adsorpsiyon deneyleri için $38 \mu\text{m}$ 'nin altına tekrar öğütülmüştür. Katyonik toplayıcı olarak katı halde bulunan Clairant marka Genamin-TAB (G-TAP), pH=3'de çözülerek kullanılmıştır. Kalsiyum Klorür ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) Fluka-Chemie marka olup %99 saflıktadır. Tüm deneylerde iletkenliği $3 \mu\text{mhos/cm}$ 'den küçük diyonize saf su kullanılmıştır.

Çizelge 1. Deneylerde kullanılan albit ve mikrokinlin kimyasal analiz sonuçları

Bileşim	Albit (%)	Mikrokinlin (%)
SiO_2	68.25	64.82
Al_2O_3	19.81	19.32
Fe_2O_3	0.08	0.05
MgO	0.02	0.02
CaO	0.53	0.26
Na_2O	10.51	2.94
K_2O	0.17	11.39
TiO_2	0.01	0.005
P_2O_5	0.12	0.57
Cr_2O_3	0.006	0.06
Ba (ppm)	15	333
Sr (ppm)	125	110

2.2. Yöntem

Mikrofotasyon testleri otomatik kumandalı $15 \mu\text{m}$ kalınlığında seramik frit ve manyetik karıştırıcısı olan 150 ml 'lik kolon hücrede ($25 \times 220 \text{ mm}$) gerçekleştirilmiştir. 1 gr numune CaCl_2 derişimi ayarlanmış 150 ml solüsyon içerisinde 10 dk

toplayıcı ile karıştırıldıktan sonra akış ölçer ile $50 \text{ cm}^3/\text{dk}$ azot gazı verilerle 1 dk yüzdürülmüştür. Yüzten ve batan kısımlar kurutulmuş, tartılmış ve yüzten kısmın yüzdesi hesaplanmıştır.

Elektrokinetik ölçümler mikroforesis tekniğiyle otomatik olarak yüzey yükünü veren Zeta Metre 3 ile gerçekleştirilmiştir. 0.4 gr numune, Ca^{+2} derişimi ayarlanmış 100 ml çözeltide 10 dk karıştırılmıştır. Çözelti iri tanelerin çökmesi için 5 dk dinlendirilmiş ve ölçüm gerçekleştirilmiştir. Tüm ölçümler $22 \pm 2^\circ \text{C}$ oda sıcaklığında yapılmıştır.

Adsorpsiyon deneyleri 40 ml 'lik teflon kapaklı cam şişelerde gerçekleştirilmiştir. 1 gr numune, Ca^{+2} derişimi hazırlanmış 20 ml çözeltiye ilave edilip 1 saat süreyle karıştırılmış ve 15 dk santrifüj edildikten sonra analiz edilmek üzere alikot (berrak çözelti) alınmıştır. Kalsiyum analizi kalsiyum kiti kullanılarak UV-2000 Spektrofotometer ile yapılmıştır. Adsorpsiyon yoğunluğu aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

$$\Gamma = \frac{(C_i - C_r)V}{1000SA} \quad (1)$$

Γ : Adsorpsiyon yoğunluğu (mol/m^2)

C_i : Adsorbatın ilk konsantrasyonu (mg/l),

C_r : Adsorbatın denge konsantrasyonu (mg/l),

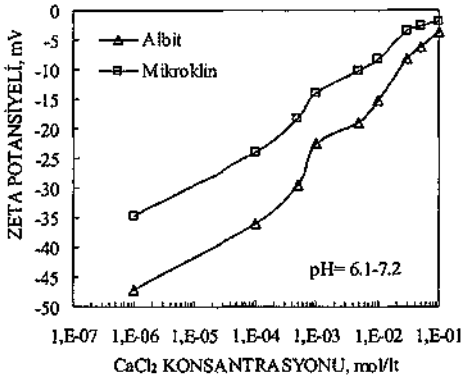
V : Çözelti hacmi (ml),

S : Numune miktarı (gr),

A : Yüzey alanı (m^2/gr),

2.3. Yüzey Yükü Ölçümleri

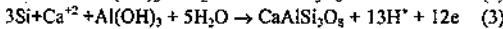
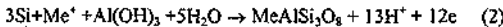
Sodyum ve potasyum feldspat mineralleri benzer yüzey özellikleri gösterirler. Kristal yapılarında bulunan K^+ ve Na^+ iyonlarını sayesinde bir ayırım mümkün olabilmektedir. Feldspat minerallerinin yüzey yükleri çözeltideki katyon ve pH miktarına bağlı olarak değişir. pH'ın artırılması negatif yüzeylerin artışına sebep olur. Albit ve Mikrokinlin CaCl_2 konsantrasyonuna bağlı olarak ölçülen yüzey yükleri şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. CaCl₂ konsantrasyonuna bağlı olarak albit ve mikroklinin yüzey yükü değişimi.

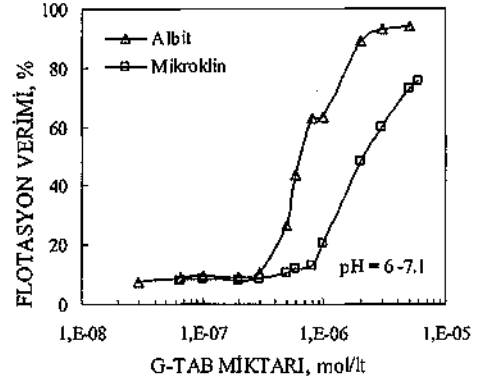
Şekil 1'de görüldüğü gibi Ca⁺² konsantrasyonunun artışıyla birlikte hem albit hem de mikroklinin yüzey yükleri artmaktadır. Bu durum çözeltiye ilave edilen Ca⁺² iyonlarının feldspat yüzeyinde iyon değişirmesi ve elektriksel çift tabakayı sıkıştırması ile açıklanabilir. Mikroklinin albitten 9 mV daha negatif olduğu Demir vd. (2001) tarafından hesaplanmıştır. Oysa bunun aksine çalışılan numunelerle yapılan yüzey yükü ölçümleri albitin mikroklinde 12 mV daha negatif olduğunu göstermiştir. Numuneler arasındaki bu farklılıkların yüzeylerdeki empüritelere kaynaklandığı tahmin edilmektedir.

Yüzey potansiyelinin büyüklüğü ve işareti aşağıdaki reaksiyon gereğince Ca⁺² iyonlarının konsantrasyonuna bağlı olarak değişmektedir (Demir vd. 2001).



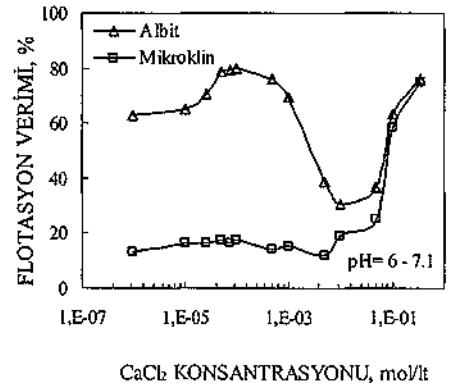
2.4. Mikroflotasyon Çalışmaları

Doğal pH'da sadece G-TAP kullanarak yapılan mikroflotasyon sonuçları Şekil 2'de gösterilmektedir. 8×10^{-7} mol/l G-TAP miktarında albit ile mikroklin arasında %49.6 oranında seçimli bir ayırım tespit edilmiştir. Bu ayırım yüzey yükü sonuçları ile uyumludur. Çünkü albitin yüzey yükü mikrokline göre daha fazla negatiftir. Negatiflik ne kadar fazla olursa katyonik bir toplayıcı olan G-TAP ile adsorplanma o derece fazla olacak ve mineralin yüzebilirliği artacaktır.

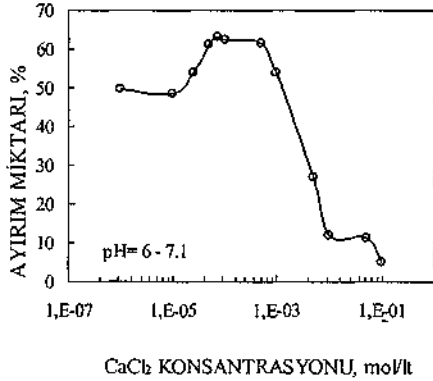


Şekil 2. Doğal pH'da G-TAP konsantrasyonuna bağlı olarak albit ve mikroklinin yüzebilirliği.

Ayırım miktarını arttırabilmek amacıyla 8×10^{-7} mol/l G-TAP toplayıcıyla CaCl₂ tuz konsantrasyonuna bağlı olarak mikroflotasyon deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçları Şekil 3'de gösterilmektedir. 1×10^{-4} mol/l CaCl₂ konsantrasyonuna kadar albitin yüzebilirliği sürekli artarken, mikroklinin yüzebilirliği marjinal değişmektedir. Şekil 4'de ise CaCl₂ konsantrasyonuna bağlı olarak albit ve mikroklinin ayrılabilirlik yüzdeleri gösterilmektedir. 5×10^{-4} mol/l CaCl₂ tuz konsantrasyonuna kadar Na-feldspat ile K-feldspat ayrılabilirlik miktarı artmaktadır. 5×10^{-4} mol/l CaCl₂ tuz konsantrasyonunda %61.7 miktarda ayrılabilirlik tespit edilmiştir (Şekil 4).



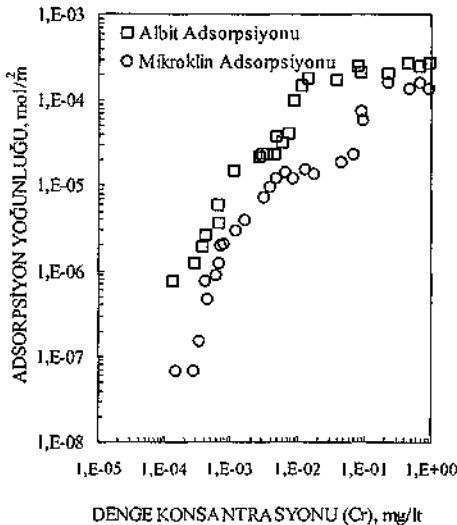
Şekil 3. Doğal pH'da ve 8×10^{-7} M G-TAP konsantrasyonunda CaCl₂ konsantrasyonuna bağlı albit ve mikroklinin yüzebilirliği.



Şekil 4. CaCl_2 konsantrasyonuna bağlı olarak albit ve mikroklinin ayrılabilirlik miktarları.

2.5. Adsorpsiyon Deneyleri

Albit ve mikroklinin farklı CaCl_2 derişimlerinde elde edilen adsorpsiyon izotermi eğrileri Şekil 5'de gösterilmektedir. Şekil 5'de görüldüğü gibi 10^{-1} M CaCl_2 konsantrasyonuna kadar albitin yüzeyine kalsiyum adsorpsiyonu, mikroklinde daha fazladır.



Şekil 5. CaCl_2 konsantrasyonuna bağlı olarak albit ve mikroklinin adsorpsiyon izotermi eğrileri.

3. SONUÇLAR

- HF'siz ortamda ve doğal pH'da CaCl_2 tuzu ve amin kullanılarak yapılan mikroflotasyon çalışmaları, albit-mikroklin seçimli ayırımının % 62.1 oranında mümkün olduğunu göstermiştir.
- Ca^{+2} iyonları albit üzerine mikroklinde daha fazla adsorplanmaktadır. Bu özellik mikroklinin zeta potansiyel eğrisini daha pozitif yapmakta ve bu da flotasyon sonuçlarına yansarak mikroklinin bastırılmasını sağlamaktadır.
- Elde edilen sonuçlar ve daha önce yapılan çalışmalar ışığında, özellikle değişik yörelerden alınan mikroklin numunelerinin çok farklı yüzey özelliklerinin olabileceğini ve bunun da flotasyon özelliklerini denetleyeceğini vurgulamaktadır.

KAYNAKLAR

- Bayraktar, İ., Gülsoy, Ö.Y., Can, N.M., Orhan, E.C., 2001. *Feldspatların zenginleştirilmesi*, 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, 97-105.
- Demir, C., Abramov, A.A., Çelik, M.S., 2001. *Flotation separation of Na-feldspar from K-feldspar by monovalent salts*, Minerals Engineering, 14, 733-740.
- Demir, C., Gülgönül, İ., Bentli, İ., Çelik, M.S., 2003a. *Differential of Separation of Albit from Microcline by Monovalent salts in HF Medium*, Minerals&Metalurgical Processing, 20, 120-124
- Demir, C., Bentli, İ., Gülgönül, İ., Çelik, M.S., 2003b. *Effect of Bivalent salts on the Flotation separation of Na-feldspar from K-feldspar*, Minerals Engineering, 16, 551-554.
- Dlugosz, W., Ociepa, Z., 1972. *Provisinal Investigation on Selectiv Flotation of Feldspar*, Zesz. Neuk. Akad.-Gorn. Hutn., Cracow. Zesz. Spec, 39, 65-81 (CA 82:5657x).
- El-Salmawy, M.S., Nakahiro, Y., Wakamatsu, T., 1993. *The Role of Alkaline Earth Cation Flotation Separation of Quartz from Feldspar*, Minerals Engineering, 6, 1231-1243.

- Filminov, N.V., 1972. *Depression of Feldspar and Micas by Sodium Hexa Fluoro Silicate*, Obogashch Rud., 17 (5), 13-16.
- Gülsoy, Ö.Y., Kılavuz, F.Ş., 2002. *Potasyum Feldspat-Kuvars Flotasyonunda Toplayıcı Olarak Metal Tuzları ile Birlikte Na-Oleat Kullanımı*, Madencilik, Cilt:41, S:1, 22-34.
- Hunter, R.J., James, M., 1992. *Charge reversal of kaolinite by hydrolyzable metal ions: an electroacoustic study*, Clays Clay Minerals, 40, 644-649.
- James, R.O., Healy, T.W., 1972. *Adsorption of hydrolyzable metal ions at the oxide-water interface. I. Co (II) Adsorption of SiO₂ and TiO₂ as model system*, Journal of Colloidal and Interface Science, 40, 42-52.
- Klyachin, V.V., Danisova, N.N., Kropanev, S.I., 1969. *Mineral Exploration Mining and Processing Patents*, SSCB Patent No: 213.724.
- Kovalenko, V.I., 1968. *Flotation Beneficiation of Feldspathic Raw Material by Using Potassium and Sodium Chlorides*, Obogashch. Rud., 12 (1), 8-11.
- Manser, R.M., 1975. *Handbook of Silicate Flotation*, Warren Spring Lab, Stevanage, England.
- Marius, C., Laura, H., 1970. *Dressing of mica ores and separating potassium feldspars from the sodium ores from pegmatites by flotation*, (CA: 74, 102590n), Cercet-Miniere, 11, 331.
- Nikol'skaya, N.I., Skobev, I.K., 1967. *Effect of Salt of Multivalent Cations on the Flotability of Certain Silicate Minerals*, Tr. Irkutsk Politekh. Inst., No: 33, 135-140.
- Rao, H.K., Forssberg, K.S.E., 1995. *Feldspar flotation: theory and practice*, Selected Topics in Mineral Proc, Port City Pres, Baltimore, 86-117.
- Shapolov, G.M., Polkin, S.I., 1958. *Flotation Properties of Pyrochlore, Zirkon and Associated Minerals*, Sborn. Nauch. Trud. Moscow. Inst. Tsvet. Metal Izolats, 31, 256-268.
- Ütine, T., 1987. *Köpüklü Yüzdürme ile Feldspat/Kuvars Ayırımında Yüzey Kimyası*, Madencilik, C:26, No:4, 7-22.
- Yanis, N.A., 1968. *Froth Flotation Procedure for Separation Potassium Feldspar from Sodium Feldspar*, USSR Patent No: 227234.
- Yanis, N.A., Arkhangel'skaya, Gorelik, R.I., 1967. *Distribution of Potassium and Sodium Feldspars by Flotation*, Obogashch. Rud, 12 (3), 8-13.
- Yanis, N.A., Gorelik, R.I., 1973. *Question of the Effect of Selective Repression on the Flotation of the Feldspars*, Tr. Vses. Nsu.-Iss. Proekt. Inst. Mekh. Obrab. Polezn. Iskop., 138, 14-20.

Manyezit Ara Ürünün Kalsinasyon-Manyetik Ayırma Yöntemleriyle Zenginleştirilmesi

I. Bentli

Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya

N. Erdoğan & B. Birici

Öz-Maltaş Ltd. Şti., Organize Sanayi Sitesi, Kütahya

U. Topal

TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, Gebze

O. Şahbaz

Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya

ÖZET: Bu çalışma, manyetik ayırıcılarla zenginleştirilirken elde edilen manyezit ara ürününün kalsinasyon ile değerlendirilmesini kapsamaktadır. Kalsine ürünün manyetik ayırıcılarda tekrar zenginleştirilmesi sonucunda; giren malzemeye göre %52.70 MgO, %2.06 SiO₂, %0.61 Fe₂O₃, %1.36 CaO, %0.07 Al₂O₃, ve %43.20 ateş kaybı içeren ara ürün, %25.6 ağırlık verimiyle %89.57 MgO, %0.96 SiO₂, %0.43 Fe₂O₃, %2.35 CaO, %0.05 Al₂O₃, ve %6.64 ateş kaybı içeriği ile kostik kalsine manyezit ürün olarak alınmıştır. Çalışma sonunda manyezit ara ürününe, kalsinasyon öncesi ve sonrasında manyetik duyarlılık testleri uygulanmış ve kalsinasyon işleminin ara ürünün manyetik duyarlılığını artırdığı tespit edilmiştir.

ABSTRACT: This study is inclusive of evaluation of magnesite beneficiation process middlings by calcination. As a result of re-beneficiation of calcine product in magnetic separators; middlings, which contain %52.70 MgO, %2.06 SiO₂, %0.61 Fe₂O₃, %1.36 CaO, %0.07 Al₂O₃ and %43.20 loss on ignition, were obtained as a costic calcine magnesite, which contain %89.57 MgO, %0.96 SiO₂, %0.43 Fe₂O₃, %2.35 CaO, %0.05 Al₂O₃ and %6.64 loss on ignition, with %25.6 mass recovery. At the end of the study magnetic susceptibility tests were applied to magnesite middlings before and after calcination. And it's found that calcination process increases the magnetic susceptibility of the product.

1. GİRİŞ

Manyezit (MgCO₃) minerali ve ürünleri yaygın kullanım alanına sahiptir. Üretilen manyezitin %90'dan fazlası Sinter ve Kostik Kalsine Manyezite dönüştürülür. Bunun nedeni ise sinter manyezitin bazik refrakter malzeme üretiminin ana hammaddesi olmasıdır (Erdoğan ve Yıldız, 1995).

Çelik yapımında kullanılan bazik refrakterlerin hammaddesi sinter manyezit (MgO), çoğunlukla yüksek kaliteli manyezit cevherlerinden elde edilir. Bu amaçla kullanılacak sinter manyezitte, yüksek MgO içeriği (> %95 MgO), 2:1 CaO/SiO₂ oranı ve düşük demir içeriği (< %1 Fe₂O₃); kostik kalsine manyezitte ise %80-90 MgO, %2.5 CaO, maksimum %3.5 SiO₂ ve %5 ateş kaybı gibi özellikler aranmaktadır (Kümaş kataloğu 2000, Çelik ve Müdüroğlu 1999). Kostik kalsine manyezit

doğal ve deniz suyundan olmak üzere iki kaynaktan üretilmektedir. Doğal kaynaklardan üretilen kostik kalsine manyezit refrakter malzeme yapımında, gübre ve hayvan yemi imalinde, izolasyonda ve özel çimento yapımında kullanılırken; deniz suyundan üretilen kostik kalsine manyezit daha çok kağıt, lastik, boya, aşındırıcı, kimya ve ilaç endüstrisi ile fused manyezit üretiminde kullanılmaktadır (Kaya 1993, Akar 1987, Sarız ve Nuhoglu 1992). Endüstride kalsinasyon sıcaklığına bağlı olarak üretilen magnezya (MgO) farklı isimlerle anılmaktadır (Çizelge 1). Güney ve Önal (1999) manyezit ile ilgili ayrıntılı bir envanter hazırlamışlardır.

Manyezit cevherinin zenginleştirilmesi için endüstride kullanılan en yaygın yöntemler; elle ayıklama, boyut küçültme, manyetik, elektrostatik, ağır ortam, optik ayırma, flotasyon ve kalsinasyon

iken, seçimli hidratasyon, çözündürme-yeniden çöktürme, aglomerasyon, seçimli koagülasyon ve flokülasyon yöntemleri laboratuvar aşamasında denetlenmektedir (Yamık vd, 1999).

Çizelge 1. Kalsinasyon sıcaklığına bağlı olarak MgO'nun isimlendirilmesi

	Kalsinasyon Sıcaklığı	İsimlendirme
1.Tip MgO	700 - 1000 °C	Yumuşak kalsine magnezya, kalsine veya kostik magnezya
2.Tip MgO	1000 - 1500 °C	Sert sinter magnezya
3.Tip MgO	1500 - 2000 °C	Yoğun sinter magnezya, dead burned magnezya

Ülkemizdeki çeşitli bölgelerdeki manyezit cevherlerinin zenginleştirilmesi için Doğan (1971), Bozkurt vd (1988), Ersayın vd (1991) manyetik ayırma, Özdağ vd (1995) manyetik ayırma+liç ve kalsinasyon, Peyk vd (1992) kalsinasyon, Kaytaş ve Acarkan (1988) elle ayıklama, gravite, manyetik ayırma ve flotasyon, Yazar vd (1975) manyezit yüzey özellikleri ve flokülasyonu, Öncek ve Kaya (1994) kolon flotasyonu, Gence ve Özdağ (1996) amin flotasyonu, Yamık (1995) flotasyon ve manyetik ayırma çalışmaları yapmışlardır. Manyezit cevherinin ince boyutlarda serbestleşmesi (-0,010 mm) veya öğütmede fazla miktarda şlam ortaya çıkması durumlarında manyezitin seçimli aglomerasyon (yağ aglomerasyonu) ile zenginleştirilmesi flotasyona alternatif olarak sunulmuştur (Uçbaş vd. 1998, Bozkurt vd. 1999). Demirel (1992) ise flotasyon yönteminin pahalı olmasından dolayı uygun tane büyüklüğü ve sınıflandırma ile manyetik ayırmanın daha ekonomik olduğunu bildirmektedirler. Günümüzde manyezit cevherinin zenginleştirilmesinde tercih edilen en verimli ve ekonomik yöntem manyetik ayırma yöntemidir.

Manyezit cevherleri ocaktan çıkarıldığı şekli ile önce ön zenginleştirme olarak elle ayıklama ve manyetik ayırmaya daha sonra yüksek alan şiddetli sabit mıknatıslı manyetik ayırıcılarda final zenginleştirmeye tabi tutulurlar. Final zenginleştirmede ise yüksek MgO ve düşük SiO₂ tenörlü konsantr elde etmek amacıyla ara ürün alınır. Bu çalışmada, elde edilen ara ürünün fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla mineralojik, XRD, manyetik duyarlılık, kalsinasyon ve manyetik zenginleştirme testleri yapılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

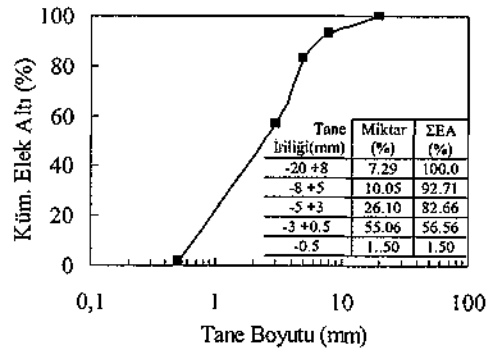
2.1. Malzeme ve Yöntem

Deneysel çalışmalarda kullanılan manyezit ara ürünü Kümaş final konsantr tesisinden temin edilmiştir. Manyezit zenginleştirme işleminde, birinci aşamada manyetik duyarlılığı yüksek olan mineraller (serpantin), ikinci aşamada ise manyetik duyarlılığı daha düşük olan mineraller ve manyetik olmayan manyezit minerali alınmaktadır. İkinci aşamada alınan, manyetik duyarlılığı düşük serpantin, bağlı (bresik) ve manyezit mineralinden oluşan ürüne ara ürün adı verilmektedir. Manyezit konsantresinin yüksek MgCO₃ ve bu değere bağlı olarak yüksek MgO oranlarında elde edilebilmesi için manyezit cevherinin bir kısmı bu ara üründen toplanmaktadır.

Ara ürün manyezit cevherinin kimyasal analiz sonuçları çizelge 2'de verilmektedir. Kimyasal analiz sonuçlarından en önemli safsızlığın %2.06 SiO₂ olduğu görülmektedir. Ara ürün manyezit cevherini elek analiz sonuçları Şekil 1'de gösterilmektedir. Ara ürünün %98.5'lik kısmı -20 +0.5 mm aralığındadır.

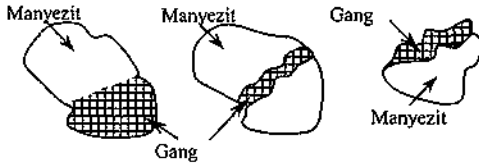
Çizelge 2. Manyezit ara ürünün kimyasal analiz sonuçları

Bileşim	%
MgO	52.7
SiO ₂	2.06
Fe ₂ O ₃	0.61
CaO	1.36
Al ₂ O ₃	0.07
Ateş kaybı	43.2



Şekil 1. Manyezit ara ürünün tane boyut dağılımı.

Zenginleştirme yöntemine ışık tutması amacıyla ara ürünün fiziksel, mineralojik ve karakteristik özellikleri tespit edilmiştir. Bu amaca yönelik olarak ara ürün manyezit cevherinin SHİMAZU XRD 6000 cihazı ile yapılan mineralojik analizinde manyezit ($MgCO_3$), kuvars (SiO_2), kalsit ($CaCO_3$), klinokrisotil ($Mg_3Si_2O_5(OH)_4$) ve manyetit (Fe_3O_4) mineralleri saptanmıştır. Ara üründe gözlenen manyezit ve serpantin bağlı (breşik) tanelerinin görünüşleri Şekil 2'de gösterilmektedir.

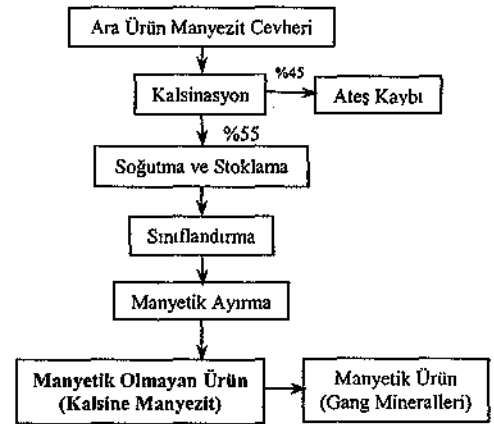


Şekil 2. Ara ürün manyezit cevherindeki bağlı (breşik) tanelerin görünüşü.

Yöntem seçiminde ara ürünün kalsine manyezit olarak değerlendirilebileceği, kalsinasyon ürünündeki SiO_2 'nin iri boyutlarda sınıflandırma ile kolayca uzaklaştırılabileceği ve kalsinasyon ürün içerisinde demirli bileşiklerin manyetik ayırıcılarla daha kolay ayrılabilmesi düşüncelerinden yola çıkılarak zenginleştirme yöntemi olarak Kalsinasyon + Sınıflandırma + Manyetik Ayırma kombinasyonu seçilmiştir.

2.2. Zenginleştirme Çalışmaları

Zenginleştirme çalışmaları iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada ara ürün manyezit cevheri yatay döner fırında kalsine edilmiş, daha sonra kalsine edilen ürün 8, 5, 3 ve 0,5 mm'lik boyutlarda sınıflandırılmış ve yüksek alan şiddetli sabit mıknatıslı manyetik ayırıcılarda zenginleştirilmiştir. Deneyisel çalışmalarda takip edilen yol Şekil 3'de gösterilmektedir.



Şekil 3. Ara ürün manyezit cevherinin zenginleştirme akım şeması

2.2.1. Kalsinasyon ile Zenginleştirme

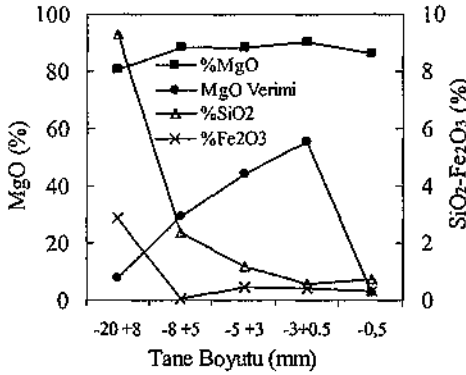
Karbonat, hidroksit, sülfat, nitrat, asetat vb'nin ısıyla yatay döner veya dikey şaft fırınlarında oksit formuna dönüştürülmesine kalsinasyon işlemi denilmektedir. İşlem sonucunda oksitler meydana gelir ve bağlı/serbest kristal suları (CO_2 , SO_2 , H_2O) ve uçucu ürünleri bünyeden ayrılır (Kaya 1993).

Ara ürün manyezit cevheri pilot çaptaki yatay döner fırında kalsine edilmiştir. Yatay fırında kalsinasyon sıcaklığı 1000 °C, kalsinasyon süresi 3 saat ve dönüş hızı 10 dev/dk'dır.

Kalsinasyon sonrasında kalsine üründe Periklas (MgO), Kuvars (SiO_2), Brusit ($Mg(OH)_2$), Manyezit ($MgCO_3$), Klinokrisotil ($Mg_3Si_2O_5(OH)_4$) ve Manyetit (Fe_3O_4) mineralleri saptanmıştır.

2.2.2. Manyetik Zenginleştirme

Manyetik ayırma deneyleri için - 20 mm tane boyutundaki kalsine cevher 8 mm, 5 mm, 3 mm ve 0,5 mm'lik eleklerden elenerek manyetik ayırıcılara beslenmiştir. Pilot çaplı manyetik ayırıcı 11.000 gauss sabit manyetik alan şiddeti, 20 dev/dk bant dönüş hızı, 0,5 kg/dk besleme hızı ve 0 °C dik pozisyon, öne artı ve geriye eksi olmak üzere +15°C derece bıçak ayarında çalıştırılmıştır.



Şekil 4. Boyut fraksiyonuna bağlı olarak kalsine manyezitin zenginleştirme sonrası $\text{SiO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3$ tenör ve MgO değişimi.

Kalsine ürünün manyetik ayırıcılarda zenginleştirilmesi sonunda MgO tenör-verimi ve safsızlık olarak bulunan $\%\text{SiO}_2$ açısından, $-8 + 0,5$ mm boyut aralığının konsantr almak için uygun boyut aralığı olduğu Şekil 4'de görülmektedir. $-20 + 8$ mm tane boyutunda MgO verimi çok düşük olup SiO_2 tenörü ise yüksektir. $-0,5$ mm tane boyutunda ise MgO verimi tekrar düşmektedir. Bu nedenlerden dolayı $-8 + 0,5$ mm boyut aralığı kostik kalsine ürün olarak alınmıştır. Beklendiği gibi tane boyutunun incelenmesiyle kalsinasyon ürünün SiO_2 tenörü azalmaktadır. Kalsinasyon öncesi (ara ürün), sonrası ve nihai olarak elde edilen ürünlerin kimyasal analizleri çizelge 2'de verilmektedir.

Çizelge 2. Kalsinasyon öncesi ve sonrası kimyasal analiz sonuçları

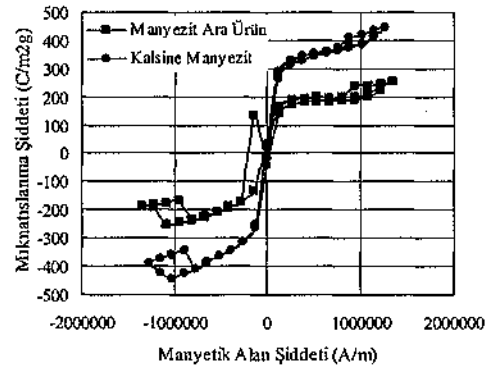
	Kalsinasyon öncesi (Ara Ürün)	Kalsinasyon sonrası	Kalsinasyon + Manyetik ayırma
%Miktar	100.00	55.00	25.6
%MgO	52.7	87.99	89.57
% SiO_2	2.06	3.20	0.96
% Fe_2O_3	0.61	0.90	0.43
%CaO	1.36	2.34	2.35
% Al_2O_3	0.07	0.10	0.05
A.Z.	43.20	5.47	6.64

Kalsinasyon sonrasında önemli safsızlıklardan olan SiO_2 ve Fe_2O_3 tenörü kütle kaybına bağlı olarak artarken, kalsinasyon sonrası yapılan manyetik zenginleştirme sonucunda SiO_2 ve Fe_2O_3 tenörü azaltılmıştır.

2.2.3. Manyetik Duyarlılık Testleri

Kalsine manyezitte Fe_2O_3 ve SiO_2 tenörlerinin azalmasının nedenleri araştırılmıştır. Bilindiği gibi jel manyezit cevheri ile beraber genellikle gang minerali olarak serpantin bulunur. Serpantinlerin içerisinde demir mineralleri (manyetit, hematit gibi) tespit edilmiştir (Bozkurt 1989). Demir minerallerin varlığı sayesinde manyetik ayırma yapılarak manyezit ile serpantin birbirlerinden verimli bir şekilde ayrılmaktadır.

Ara ürün manyezit cevheri içinde serpantinlerin manyetik duyarlılığın düşük oluşu bunların manyetik ayırıcılarda ayrılmasını zorlaştırmaktadır. Buna karşılık kalsinasyon+manyetik ayırma ile elde edilen sonuçların olumlu çıkması, kalsinasyon sırasında serpantin içindeki demirli minerallerin manyetik duyarlılığın artırılıp artırılmadığını akla getirmektedir. Bu düşüncenin doğruluğunu kanıtlamak amacıyla kalsinasyon öncesi manyezit ara ürünü ve kalsinasyon sonrası manyetik ayırıcılara girmeden alınan örnekler üzerinde manyetik duyarlılık testleri yapılmıştır. Test sonuçları Şekil 5'de gösterilmektedir.



Şekil 5. Ara ürün manyezit cevherinin kalsinasyon öncesi ve sonrası manyetik duyarlılık test sonuçları.

Manyetik duyarlılık (k) aşağıdaki denklem ile hesaplanmıştır:

$$k = M / H \quad (1)$$

Burada:

k : Manyetik duyarlılık (Coulomb/Am.gr),

H : Manyetik Alan Şiddeti (Amper/m),

M : Miknatıslanma Şiddeti (Coulomb/m².gr),

Şekil 5'den elde edilen manyetik duyarlılık testine göre, ara ürün manyezit cevherinin çalışılan 1.1 Tesla'lık manyetik alan şiddetinde manyetik duyarlılığı, denklem 1 kullanılarak $1,03778 \cdot 10^{-3}$ C/Am.gr, kalsine cevherin manyetik duyarlılığı $2,13709 \cdot 10^{-3}$ C/Am.gr olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre kalsinasyon işlemine maruz kalan ara ürünün kalsinasyon sonrası yaklaşık 2 kat manyetik duyarlılığı artmıştır. Bu durum serpantinin manyetik ayırıcılarda tutulma ihtimalini arttırmış ve serpantinden gelen SiO_2 ve Fe_2O_3 safsızlıkların azaltılmasına neden olmuştur.

3. SONUÇLAR

- Nihai konsantre tesisinde alınan ara ürün manyezit cevherin minerolojik analizinde; Manyezit (MgCO_3), Kuvars (SiO_2), Kalsit (CaCO_3), Klinokrisotil ($\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) ve Manyetit (Fe_3O_4) mineralleri saptanmıştır.
- %52.70 MgO, %2.06 SiO_2 , %0.61 Fe_2O_3 , %1.36 CaO, %0.07 Al_2O_3 ve %43.20 ateş kaybı içeren manyezit ara ürün, Kalsinasyon + Sınıflandırma + Manyetik ayırma yöntemleriyle %25,60 ağırlık verimiyle %89.57 MgO, %0.43 Fe_2O_3 , %0.96 SiO_2 , %2.35 CaO, %0.05 Al_2O_3 ve %6.64 ateş kaybı içeren kostik kalsine manyezit ürün elde edilebileceği belirlenmiştir.
- Kalsinasyon ile zenginleştirmede -8 mm + 0,5 mm boyut aralığının kalsinasyon için uygun boyut aralığı olduğu tespit edilmiştir.
- Ara ürünün manyetik duyarlılığı $1,03778 \cdot 10^{-3}$ C/Am.gr iken kalsine edilen ürünün manyetik duyarlılığı $2,13709 \cdot 10^{-3}$ C/Am.gr'a yükseltilmiştir.
- Final konsantre tesisinde manyetik ayırıcılarda ayrılamayan ara ürünün, kalsinasyon (ısıtma işlemi) sonrası demir minerallerinin manyetik duyarlılığının artırılması ile manyezit ve serpantin minerallerinin birbirinden ayrıldığı manyetik duyarlılık testleri ile de doğrulanmıştır.
- Elde edilen kostik kalsine manyezit, içerik açısından endüstrinin istediği niteliklere uygundur.

KAYNAKLAR

- Akar, A., 1987. *Endüstriyel Hammaddeler ve Zenginleştirme Yöntemleri*, Dokuz Eylül Üniversitesi Yayın No: 142, İzmir, 145-163.
- Bozkurt, R., 1989. *Kümaş Sinter Manyezit Üretimi*, Anadolu Ü. Müh-Mim Fak. Dergisi, Cilt:5 Sayı:1, 1-13.
- Bozkurt, R., 1989. *Minerolojik İncelemelerin Cevher Zenginleştirmedeki Rolüne İki Örnek*, Anadolu Ü. Müh-Mim. Fak. Dergisi, Cilt:5 Sayı:1, Eskişehir, 15-21.
- Bozkurt, R., Özdağ, H., Gezgün, N., 1988. *Manyezit Zenginleştirme Atıklarının Değerlendirilmesi*, 2.Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu, Aytekin (Ed), İzmir, 209-218.
- Bozkurt, V., Uçbaş, Y., Bilir, K., 1999. *Manyezit Cevherinin Seçimli Aglomerasyon ile Zenginleştirilmesinde Bazı Bastırıcıların Etkisi*. Türkiye 16.Madencilik Kongresi, Maden Mühendisleri Odası Yayını, Ankara, 405-410.
- Çelik, M.S., Müdüroğlu M., 1999. *Manyezit, Endüstriyel Mineraller Envanteri*, İstanbul Maden İhracatçıları Birliği Yayını, Önal vd (Ed), İstanbul, 122-130.
- Demirel, H., 1992. *Manyezit Cevherleri Üzerinde Manyetik Ayırma Akım Şeması Geliştirmesi*, 4. Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu, Özbayoğlu (Ed), Antalya, 576-588.
- Doğan, Z., 1971. *Tavaşanlı Yöresi Manyezit Cevherlerinin Konsantrasyonu*, Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 2.Kongresi, Maden Mühendisleri Odası Yayını, Ankara, 291-299.
- Erdoğan, N., Yıldız, R., 1995. *Manyezit ve Bazı Refrakter Malzeme Teknolojisi*, Kümaş, Kütahya, 150 s.
- Ersayın, S., Ergün Ş. L., Gülsoy, Y. Ö., 1991. *Manyezit Atıklarının Manyetik Ayırıcılarda Zenginleştirilmesi*, 12.Madencilik Bilimsel ve Teknik Kongresi, Maden Mühendisleri Odası Yayını, Ankara, 253-262.
- Gence, N., Özdağ, H., 1996. *Amin Flotasyonu ile Manyezitin Ayrılması*, Osmangazi Ü. Müh.-Mim. Fak. Dergisi, Cilt:9 Sayı:1, 43-52.
- Güney, A., Önal, G., 1999. *Manyezit Envanteri*, İstanbul Maden İhracatçıları Birliği ve Yurt

- Madencilik Geliştirme Vakfı, Güney ve Önal (Eds), İstanbul, 64 s.
- Kaya, M., 1993. *Magnezit ve Bazı Refrakterler Teknolojisi*, Anadolu Üniversitesi Yayınları No:450, Eskişehir, 292 s.
- Kaymaz, Y., Acarkan, N., 1988. *Properties of Magnesites of Eskişehir-Kütahya and Bursa Region with Respect to Upgrading Possibilities*, 2. International Mineral Processing Symposium, Aytekin (Ed), İzmir, 219-229.
- Kümaş, 2000. *Kümaş ürünleri kataloğu*, Kütahya
- Öncek, S., Kaya, M., 1994. *Concentration of Magnesite by Column Flotation*. Progress in Mineral Processing Technology, Demirel&Ersayın (Eds), Balkema, 211-218.
- Özdağ, H., Gürpınar, G., Sönmez, E., 1995. *Düşük Tenörlü Manyezit Cevherinden Kimyasal Yöntemlerle Magnezyum Bisülfat Üretimi Olanaklarının Araştırılması*, Türkiye 14. Madencilik Kongresi, Maden Mühendisleri Odası Yayını, Ankara, 425-430.
- Peyk, C.Ü., Geçkinli A.E., Erkılmış, B.L., 1992. *Sudur-Konya Manyezit Atık Tozlarının Sinterlenmesi*, Uluslararası Seramik Kongresi, Türk Seramik Derneği Yayını No: 5, Öveçoğlu (Ed), İstanbul, 298-305.
- Sarız, K., Nuhoglu İ., 1992. *Endüstriyel Hammadde Yatakları ve Madencilik*, Anadolu Üniversitesi Yayın No:636, Eskişehir, 452 s.
- Tübitak MAM, 2001, Minerolojik Analiz Rapor No: 609.
- Uçbaş, Y., Öteyaka, B., Özdağ, H., 1998. *The Effect of pH Regulator on the Process Efficiency, Agglomerate Size and Oleic Acid Consumption in the Concentration of Magnesite Ore by Oil Agglomeration*, The Journal of Ore Dressing, (1), 1, 19-27.
- Yamık, A., 1995. *Kütahya Kümaş Manyezit Tesisi Atıklarının Değerlendirilmesi*, Mühendislikte 20. Yıl Sempozyumu, ZKÜ Mühendislik Fakültesi, Zonguldak, Mad 13.
- Yamık, A., Bentli, İ., Karagüzel, C., Çınar, M., Güntüştekin, Z., Yıldız, R., 1999. *Kümaş -35 mm Atık Manyezit Cevherinin Manyetik Seperatörlerle Zenginleştirilmesi*, 11. Mühendislik Haftası Yerbilimleri Sempozyumu, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 326-332.
- Yarar, B., Özgür, T., 1975. *Amorf Yapıdaki Manyezitin Silikadan Koagülasyon ile Ayrılması*, TÜBİTAK 5. Bilim Kongresi, Ankara, 131-149.

Muğla Beyaz Mermerinin Tane Boyut Dağılımının Görüntü Analiz Yöntemi ile Ölçülmesi

M. Y. Çelik

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon Meslek Yüksek Okulu, Afyon

ÖZET: Mermerlerin tane boyutu dayanım, kullanım yeri, parlaklık ve cila alma özelliklerine direkt olarak etki etmektedir. Mermerlerde tane boyutu küçüldükçe fiziksel ve mekanik özelliklerin iyileşmesine paralel olarak ekonomik değeri de artmaktadır. Mermerler tane boyutuna göre çok ince, ince, orta ve iri taneli olarak sınıflandırılmaktadır. Son yıllarda görüntü analiz yöntemleri kullanılarak malzemelerin değişik özellikleri geleneksel yöntemlere göre daha hızlı, daha basit, daha ekonomik ve otomatik olması nedeniyle personel gözlem hatası olmaksızın ölçülebilmektedir. Bu makalede de Muğla Beyaz mermerinin tane boyut analizi bilgisayarda Particle 2.0 programı kullanılarak yapılmıştır.

ABSTRACT: Grain size distribution of marble are compared with theirs physico-mechanical properties (like uniaxial compressive strength, polishing, shinning, usage location). Fine grain size of the marble affects theirs physico-mechanical properties and economical value at positive directions. The classification of marble according to grain size: very fine, fine, medium and coarse grains. Image analysis is one of the fastest growing new technologies and indeed a tool of the 90's. It allows operations for the first time to quickly, accurately, and economically measure particle sizes of rocks and different materials. In this study, to have grain size analysis of Muğla white marble used with software of Particle 2.0 on computers.

1. GİRİŞ

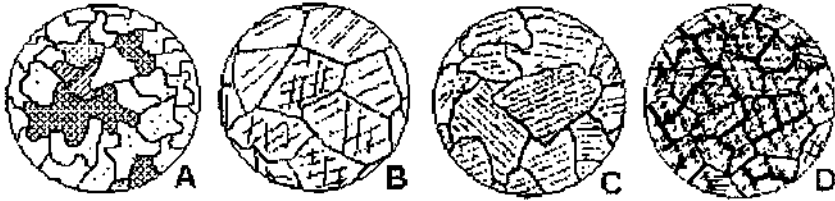
Ticari standartlara uygun boyutlarda blok verebilen, kesilip parlatılan veya yüzeyi işlenebilen ve taş özellikleri (malzeme özellikleri) kaplama taşı normlarına uygun olan her türden taş (tortul, magmatik ve metamorfik) ticari dilde "mermer" olarak bilinmektedir. Bu tanım uyarınca kalker, traverten, kumtaşı gibi tortul; gnays, mermer, kuvarsit gibi metamorfik; granit, siyenit, serpantin, andezit, bazalt gibi magmatik taşlar da mermer olarak isimlendirilmektedir. Ticari tanımlamada mermer sözcüğü taş türünü belirtmediği için bu eksikliği gidermek amacıyla taş adının sonuna mermer takısı eklenerek litolojik farklılık vurgulanmaya çalışılmaktadır (Anon (a), 2001). Bu makalede kullanılan "mermer" terimi sadece karbonat kökenli metamorfik mermerleri (gerçek mermer) ifade etmektedir.

Mermerlerde "tane boyutu" çok önemli bir özelliktir. Çünkü mermerler ilk olarak tane boyutu ile değerlendirilirler. Mermerin dokusu kalsit tanelerin yönelimi, karşılıklı ilişkileri ve kalsit tanelerinin boyutunun bir fonksiyonudur. Mermerler mikroskopta incelenecek olursa kalsit minerallerinin birbirine iyice kenetlenmiş oldukları görülür (Şekil 1). Kalsit kristallerinin boyutu metamorfizma şartlarına göre değişiklik göstermektedir. Çok ince mikrokristalin dokulu olanlar birkaç mm boyutta olabilirken, ikinci kez kristallenme gösteren hakiki mermerler ise 0.5-1.5 cm boyuta kadar büyüme gösterebilirler (Çelik, 2002).

Mermerlerin tane boyutu dayanım, kullanım yeri, parlaklık ve cila alma özelliklerine direkt olarak etki etmektedir. Bu nedenle mermerlerde tane boyutu küçüldükçe fiziksel ve mekanik özelliklerin iyileşmesine paralel olarak ekonomik değeri de artmaktadır. Bunun yanı sıra tane boyut dağılımının

iri ve tane sınırlarının düz olması mermerlerin dayanımlarının düşük olmasına neden olmaktadır. Tane boyut dağılımının genelde ince ve tane sınırlarının da girift olması mermerlerin dayanımını arttırmaktadır (Onargan vd, 1997). Kalsit kristalleri iri ise mermer dişli ve kaba görünümlüdür. Bu tip mermerlerin dış tesirlere karşı dirençleri küçük

kristalli olanlara göre daha düşüktür. Tane çapları küçüldükçe ve kenetlenme oranı arttıkça direnç fazlaşır ve dış etkilerle bozuşma azalır (Çelik, 2001). Kun (2000), endüstriyel anlamda tanımlanan gerçek mermerleri tane boyutuna göre dört grupta toplamıştır. Kun (2000) tarafından yapılan bu sınıflama Çizelge 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Mermerlerde tane boyutu ve tane sınırı ilişkileri: (A) ince taneli ve tane sınırları dantel gibi girintili çıkıntılı, (B) iri taneli ve tane sınırları düzgün, (C) iri taneli ve tane sınırları dantel gibi girintili çıkıntılı, (D) ince taneli ve tane sınırları düzgün (Sarıışık, Çelik, ve Gürçan, 2003).

Çizelge 1. Gerçek mermerlerin tane boyutuna göre sınıflandırılması (Kun, 2000).

Tane Boyutu		Özellikleri	Örnek
Tanım	Değeri		
Çok ince taneli mermer	<100 μ m	Tane boyutu 100 mikrondan küçüktür. Mermeri oluşturan taneler gözle fark edilemez. Tane boyutunun çok küçük olmasından dolayı çok iyi cila kabul ederler. Bu nedenle iyi parlatılır bu da mermerin daha değerli olmasını sağlar.	Afyon Mermerleri
İnce taneli mermer	100 μ m - 2000 μ m	Tane boyutu 100 mikron ile 2000 mikron (2 mm) arasında olan mermerlerdir. İnce taneli mermerlerde taneler birbirlerine iyice kenetlenmiş durumdadır.	Muğla - Milas Mermeri (Avrupa beyazı)
Orta taneli mermer	2 mm - 5 mm	Tane boyutu 2 mm- 5 mm arasında olan mermerlerdir. Tane boyutunun büyüklüğünden dolayı kesme ve parlatma işlemlerinde problem meydana gelir. Genellikle kenarlardan tane düşmesi ve tane kopması sonucu iyi kenar kesme özelliği vermezler.	Bursa - Mustafa Kemalpaşa beyazı
İri taneli mermer	>5 mm	Tane boyutu 5 mm'den daha iri olan ve taneleri gözle görülebilen mermerlerdir. Kristaller iri olduğunda mermer dişli ve kaba görünümlüdür.	Kırşehir beyazı

Görüntü analiz yöntemleri, 1990'lı yıllardan itibaren bir çok yerbilimi disipliniinde başarı ile uygulanmaktadır. Görüntü analiz yöntemleri, bu amaç için kullanılan geleneksel yöntemlere göre daha hızlı, daha basit, daha ekonomik ve otomatik olması nedeniyle personel gözlem hatası olmaksızın ölçüm yapmaktadır. Bu yöntem ile patlatma ve kırma sonucu oluşan tanelerin boyut analizinin yanı sıra, seramik malzemelerin, metal alaşımların ve

kayaçların tane analizleri de yapılmaktadır (Maerz et al., 1996).

Bu konuda yapılan bazı çalışmalar şu şekilde sıralanabilir: Ozuloğlu ve Erdoğan (1995) ile Sarı ve Yavuz (2000) mermerlerde yüzey parlaklığını görüntü analiz yöntemleri ile ölçerek parlaklığı sayısal olarak tanımlamışlardır. Gökay ve Gündoğdu (2001), mermer renklerini sayısal analiz

yoluyla sınıflandırmışlardır. Jerram and Chead (2000), kayaçlardaki kristal ve tane yapısını görüntü analiz yöntemiyle incelemişlerdir. Lumbreras and Serrat (1996), mermerlerin ince kesit görüntülerinden petrografik özelliklerini bu yöntemle belirlemişlerdir. Maerz et al. (1987a), kayaçların makro yapısal özelliklerini görünüş analiz yöntemi ile incelemişlerdir. Maerz et al. (1987b), dijital görüntüler yardımıyla kanyon üzerindeki kayaçların tane boyut dağılımını ölçmüşlerdir. Akesson et al. (2001), granitlerin mekanik özellikleri ile dokusal özellikleri arasındaki ilişkiyi görüntü analiz yöntemiyle incelemişlerdir. Çelik (2003), Paşadağ (Afyon) mermerlerinin tane boyutunu görüntü analiz yöntemleri kullanarak ölçmüştür. Bu makalede de Muğla Beyaz mermerinin tane boyut dağılımı ve tane şekil analizi bilgisayarda Particle 2.0 programı kullanılarak yapılmıştır.

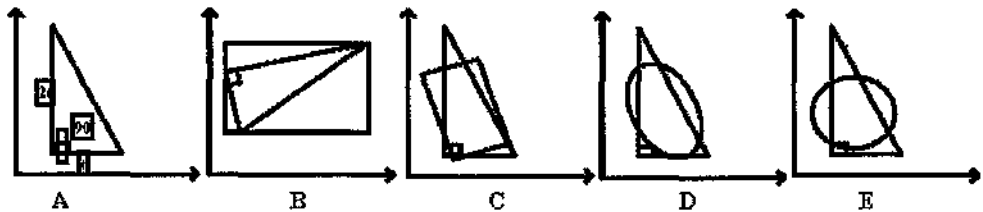
3. GÖRÜNTÜ ANALİZ YÖNTEMLERİ İLE TANE BOYUTU ÖLÇÜMÜ

Stereoloji, üç boyutlu örneklerin (biyolojik yapılar, metalurjik örnekler, kayaçlar vb) iki boyutlu kesitlerinden elde edilen verilere dayanarak, onların gerçekteki üç boyutlu özellikleri ile ilgili yorumlar yapılmasını sağlayan bilim dalıdır. Kesitler, herhangi bir yapının içinden geçen ve yapının bileşenleri ile kesişen düzlemler olarak düşünülürse, yapının her bir bileşeni, bu kesitlerde, sayısı, büyüklüğü ve kapladığı uzunluk, alan ve hacim oranıyla ilişkili bir biçimde izdüşümler (profiller) oluşturur. Bu izdüşümler de yapının içerdiği bileşenler hakkında bilgi almak üzere kullanılır. Gerçekte "kesit" kavramı, herhangi bir katı yapı içerisinde geçen ve kalınlığı olmayan ($t=0$ olan) düzlemleri ifade eder. Buna iyi bir örnek olarak, bir maden örneğinin kesilmiş ve parlatılmış bir yüzeyi verilebilir. Maden örnekleri ışığa

geçirgen olmadıklarından bu örnekleri inceleyen bir gözlemci, parlatılmış yüzeye karşılık gelen gerçek iki boyutlu bir düzlemle karşı karşıyadır. Genel bir kabul olarak, eğer incelenilen bir yapı, çıplak gözle, ilgilenilen tüm ayrıntıları seçilebilecek büyüklükte ise, herhangi bir yanılmaya meydan vermeyecektir. Fakat, mikroskopik düzeyde yapılan incelemeler söz konusu olduğunda, bir çok yanıltıcı faktör devreye girmektedir. Eğer bunların farkına varılarak mantıklı önlemler alınmaz veya düzeltmeler yapılmazsa, elde edilmek istenen sonuç, gerçek değerden istenmeyen sapmalar gösterebilir (Canan, 2004). Ölçme işlemi prensipte, ölçülecek olan mesafeyi, bilinen başka bir mesafe (ölçek) ile kıyaslamaktır. Mikroskopta ölçme işlemi de ölçmenin mikroskop boyutlarında uygulanışından ibaret olup mikrometrik lam ve üzerinde bölmeleri olan bir oküler yardımıyla yapılmaktadır. Tane boyutu küçüldükçe sayma işleminde yanılma ve hataların yanı sıra işlem çok uzun zaman almaktadır. Görüntü analiz yöntemleri ise çok daha kısa sürede ve daha güvenilir olarak ölçüm yapmaktadır.

Değişik konularda görüntü analizi amacıyla geliştirilmiş çok sayıda bilgisayar programı bulunmaktadır. Bütün programların ortak noktası dijital ortamda çalışmalarıdır. Programların özelliklerine göre bazıları, online olarak kamera görüntüleri ile tane boyut analizi yapılabilirken, bazıları da yüksek çözünürlüğe (2048x1536 ve üzeri) sahip olan dijital fotoğraf makinelerinden alınan fotoğraflar ile bu ölçümleri yapılabilmektedir. En çok kullanılan resim formatları bmp, jpg, tif ve gif uzantılı olanlardır.

Görüntü analiz programlarında ölçüm prensibi matematiksel işlemlere dayanmaktadır. Şekil 2'de tanelerin ölçümünde kullanılan benzer geometrik şekillere göre determinasyon parametreleri verilmektedir.



Şekil 2. Görüntü analiz yöntemlerinde tane ölçüm parametreleri (Wang, 2004).

3.1. Muğla Beyaz Mermerinin Tane Boyut Analizi

Mermer endüstrisinin gelişmeye başlamasından sonra Muğla bölgesi mermerleri dikkati çekmiş ve endüstriyel ölçekte değerlendirilmeye yönelik olarak çok sayıda çalışma yapılmıştır. Muğla beyaz mermerlerinin petrografik özelliklerine yönelik olarak yapılan çalışmalarda mermerlerin tane boyutlarının genellikle 0.5-5 mm arasında olduğu bildirilmektedir. Ancak hangi boyut aralık dağılımının ne kadar olduğu konusunda detaylı bir veriye rastlanmamıştır. Görüntü analiz yöntemi ile elde edilen verilerle bir karşılaştırılma yapılması bakımından bu konuda yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Muğla beyaz mermerleri, Mesozoyik yaşlı zımpara içerikli platform tipi karbonatların alt düzeyini oluşturan Milas-Yatağan-Kavaklıdere hattı boyunca uzanan Kozagaç, Tuzabat, Karaltı, Kurukümes, Eskişehir, Kavak ve çevrelerinde bulunan çok sayıda mermer ocaklarından üretilirler. Farklı firmalar tarafından üretilen mermerler Muğla şeker, Muğla beyazı, Avrupa beyazı ve Muğla kristal gibi ticari isimler ile tanınırlar (Bacakoğlu (Türkmen) ve Çalapkulu, 1999).

Kuşcu (1992), Yatağan-Kestanecik mermerlerinin 0.6-1.2 mm arasında kalsit ve dolomit minerallerinden meydana geldiğini, ancak tane boyu dağılımının 0.6-0.7 mm arasında değiştiğini belirtmiştir. Kozagaç mermerlerinin ise biraz daha iri boyutlu olduğu kalsit tanelerinin 1-2 mm arasında değiştiğini gözlemekle birlikte daha küçük tanelerin varlığından da bahsetmiştir. Diğer bir örnekte ise 1.5-2.5 mm arasında tane boyu dağılımından bahsetmektedir.

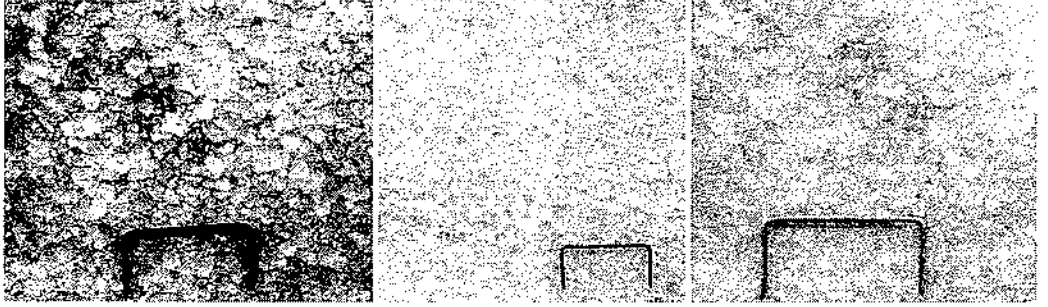
Uz, Çoban ve Eren (1992), Muğla beyaz mermerlerinde, 0.3-1.5 mm boyutlu kalsitlerin ikizli ve mozaik dokulu olduklarını belirtmişlerdir.

Kun, Güngör ve Erdoğan, (1999), Menderes masifindeki mermerlerin hemen hemen tümünün ince ve orta taneli mermer grubunda yer aldığı ve tane boyularının genellikle 0.5-5 mm arasında değiştiğini ifade etmektedirler.

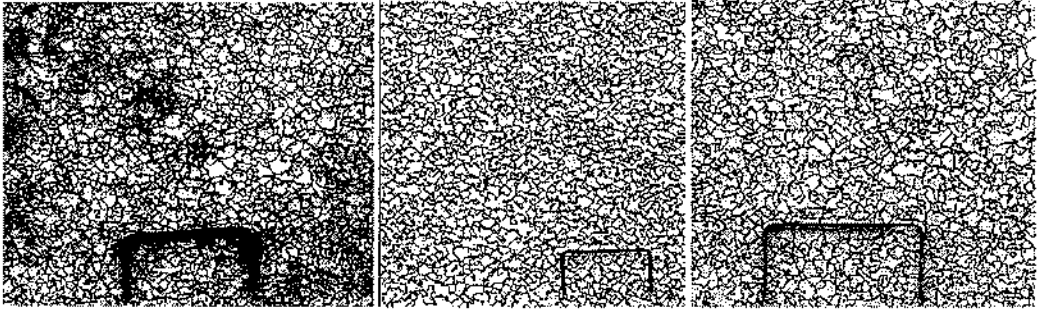
Bacakoğlu (Türkmen) ve Çalapkulu, (1999), Muğla beyaz mermerlerin petrografik ince kesitlerinde granoblatik dokuda, kalsit kristallerinin ise yaklaşık eş boyutlu, öz şekilsiz ve orta taneli olduğu, kalsit kristallerinin 0.8-2 mm arasında ortalama tane boyutuna sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Uz ve Özdamar (1999), Yatağan bölgesi mermerlerin iri-orta taneli, kristalin, beyaz renkli ve 0.06-1.2 mm tane boyutuna sahip olduğunu belirtmişlerdir.

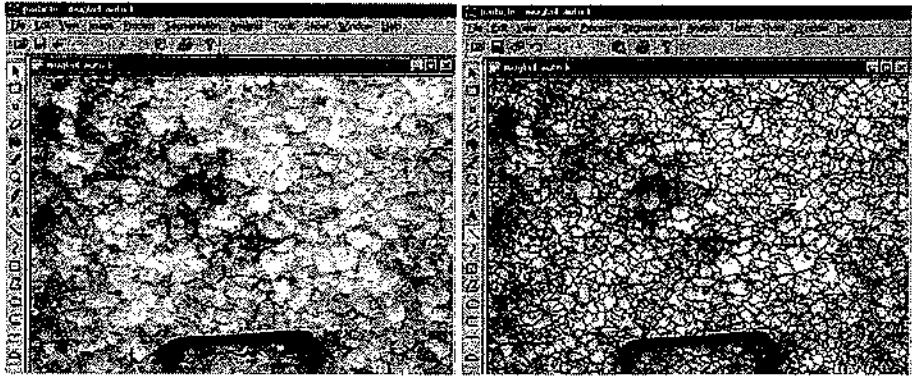
Bu çalışmada Muğla beyaz mermerlerinin değişik çözünürlükte ayarlanabilen bir tarayıcı yardımıyla 900 dpi, 1200 dpi ve 2400 dpi çözünürlükte 24 bit renk derinliğinde çekilen jpg ve bmp uzantılı dijital fotoğrafları kullanılmıştır (Şekil 3). Tane boyut dağılımı ölçülecek örnekler ortalama tane boyutunu temsil edecek şekilde seçilmiştir. Muğla Beyaz mermerlerinin sayısallaştırılmış görüntüleri Particle 2.0 yazılımı ile işlenerek tane boyut analizi yapılmıştır. Mermerlerin Scanner ile taranması sırasında mermer üzerine, mermer tane boyutu ölçümünde referans değeri olarak kullanılmak üzere 1.2 mm uzunluğunda 6 mm yüksekliğinde bir ölçek yerleştirilmiştir. Her bir örnekte değişik alanlar için segmentasyon işlemi, aynı zamanda genel olarak örneklerin ortalama değerlerinin belirlenmesinde de benzer segmentasyonu uygulamak suretiyle bilgisayar tarafından proselendirilmiştir (Şekil 4 ve 5). Bilgisayar tarafından yapılan tane boyutu sayım değerlerine bağlı olarak değişik parametrelere göre yüzde tane boyutu dağılımı hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 2-3 ve 4'te diğer değerler ile karşılaştırılması da Çizelge 5'te verilmiştir.



Şekil 3. Görüntü analiz yöntemi ile tane boyutu ölçülmesinde kullanılan Muğla beyaz mermer örnekleri dijital görüntüleri (ölçek uzunluğu 12 mm).



Şekil 4. Görüntü analiz yöntemi ile tane boyutu ölçülmesinde kullanılan Muğla beyaz mermer örnekleri ve segmentasyon görüntüleri (ölçek uzunluğu 12 mm).



Şekil 5. Görüntü analiz yöntemi ile tane boyutu ölçülmesinde kullanılan Particle yazılımı görüntüsü.

Çizelge 2. Muğla beyaz mermerinin (Örnek No 1) görüntü analiz yöntemi ile tane boyu ölçüm parametrelerinin sonuçları.

Ölçüm Parametreleri	Örnek No1	
Ölçüm Yapılan Alan (pixel)	500 x 407	
Ölçüm Yapılan Alan (mm)	32.96 x 26.83	
Ölçülen tane sayısı	3.031	
	Ortalama Tane Boyutu	Tane Boyut Dağılımı
Tanelerin X-Y yönündeki Max uzunluklarına göre	<1 mm % 81.26 1-2 mm % 16.99 >2 mm % 1.75	<0.12 mm % 20 0.12-0.31 mm % 40 0.31-0.46 mm % 50 0.46-0.63 mm % 60 0.63-1.05 mm %80 1.05-4.10 mm %100
Tanelerin X-Y yönündeki Min uzunluklarına göre	<1 mm % 91.42 1-2 mm % 8.44 >2 mm % 0.14	<0.09 mm % 20 0.09-0.22 mm % 40 0.22-0.31 mm % 50 0.31-0.45 mm % 60 0.45-0.77 mm %80 0.77-3.03 mm %100
Daireye benzer tanelerin çapına göre	<1 mm % 93.69 1-2 mm % 6.27 >2 mm % 0.04	<0.10 mm % 20 0.10-0.23 mm % 40 0.23-0.35 mm % 50 0.35-0.46 mm % 60 0.46-0.74 mm %80 0.74-2.10 mm %100
Elipse benzer tane uzunluğuna göre	<1 mm % 79.51 1-2 mm % 18.47 >2 mm % 2.02	<0.07 mm % 20 0.07-0.31 mm % 40 0.31-0.47 mm % 50 0.47-0.64 mm % 60 0.64-1.10 mm %80 1.10-4.30 mm %100
Elipse benzer tane genişliğine göre	<1 mm % 96.37 1-2 mm % 3.59 >2 mm % 0.04	<0.01 mm % 20 0.01-0.16 mm % 40 0.16-0.27 mm % 50 0.27-0.37 mm % 60 0.37-0.61 mm %80 0.61-2.40 mm %100
Dikdörtgene benzer tane uzunluğuna göre	<1 mm % 82.08 1-2 mm % 16.30 >2 mm % 1.62	<0.05 mm % 20 0.05-0.23 mm % 40 0.23-0.40 mm % 50 0.40-0.56 mm % 60 0.56-1.01 mm %80 1.01-4.10 mm %100
Dikdörtgene benzer tane genişliğine göre	<1 mm % 94.52 1-2 mm % 5.41 >2 mm % 0.07	<0.01 mm % 20 0.01-0.13 mm % 40 0.13-0.26 mm % 50 0.26-0.37 mm % 60 0.37-0.67 mm %80 0.67-2.80 mm %100
Tanelerin max uzunluğuna göre	<1 mm % 82.08 1-2 mm % 16.30 >2 mm % 1.62	<0.05 mm % 20 0.05-0.23 mm % 40 0.23-0.40 mm % 50 0.40-0.56 mm % 60 0.56-1.01 mm %80 1.01-4.10 mm %100
Tane sınırları ve merkezi arasındaki max mesafe	<1 mm % 97.06 1-2 mm % 2.90 >2 mm % 0.04	<0.03 mm % 20 0.03-0.13 mm % 40 0.13-0.23 mm % 50 0.23-0.32 mm % 60 0.32-0.57 mm %80 0.57-2.30 mm %100

Çizelge 3. Muğla beyaz mermerinin (Örnek No 2) görüntü analiz yöntemi ile tane boyu ölçüm parametrelerinin sonuçları.

Ölçüm Parametreleri	Örnek No 2	
Ölçüm Yapılan Alan (pixel)	400 x 400	
Ölçüm Yapılan Alan (mm)	40.33 x 40.33	
Ölçülen tane sayısı	2.445	
	Ortalama Tane Boyutu	Tane Boyut Dağılımı
Tanelerin X-Y yönündeki Max uzunluklarına göre	<1 mm % 66.42 1-2 mm % 23.8 >2 mm % 9.78	<0.18 mm % 20 0.18-0.39 mm % 40 0.39-0.56 mm % 50 0.56-0.79 mm % 60 0.79-1.60 mm % 80 1.60-6.80 mm % 100
Tanelerin X-Y yönündeki Min uzunluklarına göre	<1 mm % 76.36 1-2 mm % 20.28 >2 mm % 3.36	<0.14 mm % 20 0.14-0.30 mm % 40 0.30-0.40 mm % 50 0.40-0.58 mm % 60 0.58-1.15 mm % 80 1.15-4.50 mm % 100
Daireye benzer tanelerin çapına göre	<1 mm % 78.69 1-2 mm % 19.01 >2 mm % 2.30	<0.20 mm % 20 0.20-0.28 mm % 40 0.28-0.42 mm % 50 0.42-0.62 mm % 60 0.62-1.09 mm % 80 1.09-3.00 mm % 100
Elipse benzer tane uzunluğuna göre	<1 mm % 65.31 1-2 mm % 23.56 >2 mm % 11.13	<0.10 mm % 20 0.10-0.43 mm % 40 0.43-0.62 mm % 50 0.62-0.86 mm % 60 0.86-1.69 mm % 80 1.69-7.80 mm % 100
Elipse benzer tane genişliğine göre	<1 mm % 86.29 1-2 mm % 12.48 >2 mm % 1.23	<0.01 mm % 20 0.01-0.20 mm % 40 0.20-0.32 mm % 50 0.32-0.49 mm % 60 0.49-0.86 mm % 80 0.86-2.70 mm % 100
Dikdörtgene benzer tane uzunluğuna göre	<1 mm % 70.14 1-2 mm % 20.73 >2 mm % 9.13	<0.08 mm % 20 0.08-0.26 mm % 40 0.26-0.48 mm % 50 0.48-0.73 mm % 60 0.73-1.50 mm % 80 1.50-6.80 mm % 100
Dikdörtgene benzer tane genişliğine göre	<1 mm % 83.88 1-2 mm % 14.03 >2 mm % 2.09	<0.01 mm % 20 0.01-0.13 mm % 40 0.13-0.28 mm % 50 0.28-0.47 mm % 60 0.47-0.92 mm % 80 0.92-3.40 mm % 100
Tanelerin max uzunluğuna göre	<1 mm % 70.14 1-2 mm % 20.73 >2 mm % 9.13	<0.07 mm % 20 0.07-0.26 mm % 40 0.26-0.48 mm % 50 0.48-0.73 mm % 60 0.73-1.50 mm % 80 1.50-6.80 mm % 100
Tane sınırları ve merkezi arasındaki max mesafe	<1 mm % 87.23 1-2 mm % 11.09 >2 mm % 1.68	<0.04 mm % 20 0.04-0.14 mm % 40 0.14-0.28 mm % 50 0.28-0.42 mm % 60 0.42-0.85 mm % 80 0.85-3.50 mm % 100

Çizelge 4. Muğla beyaz mermerinin (Örnek No 3) görüntü analiz yöntemi ile tane boyu ölçüm parametrelerinin sonuçları.

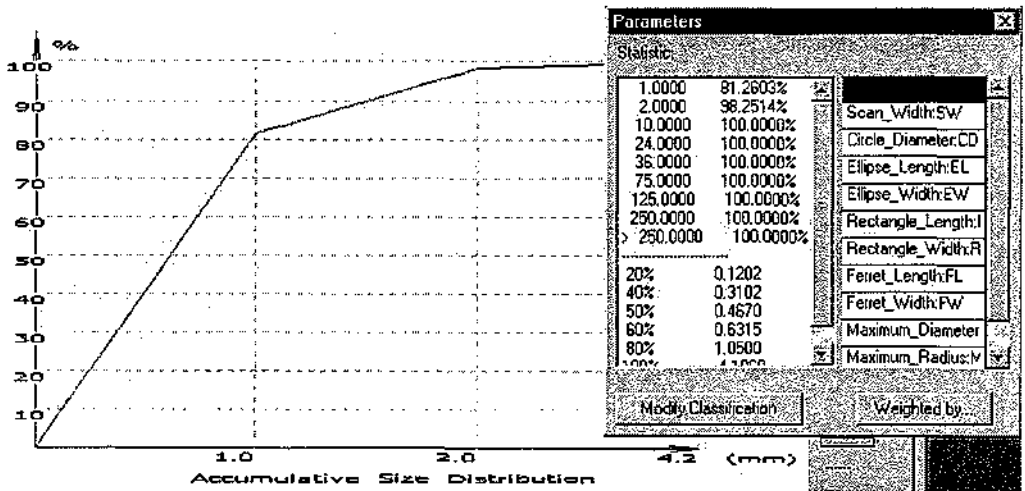
Ölçüm Parametreleri	Örnek No 3	
Ölçüm Yapılan Alan (pixel)	500 x 444	
Ölçüm Yapılan Alan (mm)	25 x 22,2	
Ölçülen tane sayısı	2.440	
	Ortalama Tane Boyutu	Tane Boyut Dağılımı
Tanelerin X-Y yönündeki Max uzunluklarına göre	<1 mm % 83.48 1-2 mm % 14.27 >2 mm % 2.25	<0.09 mm % 20 0.09-0.25 mm % 40 0.25-0.36 mm % 50 0.36-0.52 mm % 60 0.52-0.94 mm % 80 0.94-7.40 mm % 100
Tanelerin X-Y yönündeki Min uzunluklarına göre	<1 mm % 91.35 1-2 mm % 8.19 >2 mm % 0.46	<0.07 mm % 20 0.07-0.13 mm % 40 0.13-0.25 mm % 50 0.25-0.40 mm % 60 0.40-0.74 mm % 80 0.74-2.90 mm % 100
Daireye benzer tanelerin çapına göre	<1 mm % 93.23 1-2 mm % 6.64 >2 mm % 0.13	<0.08 mm % 20 0.08-0.18 mm % 40 0.18-0.27 mm % 50 0.27-0.39 mm % 60 0.39-0.70 mm % 80 0.70-2.80 mm % 100
Elipse benzer tane uzunluğuna göre	<1 mm % 81.84 1-2 mm % 15.49 >2 mm % 2.67	<0.09 mm % 20 0.09-0.24 mm % 40 0.24-0.38 mm % 50 0.38-0.54 mm % 60 0.54-0.95 mm % 80 0.95-6.70 mm % 100
Elipse benzer tane genişliğine göre	<1 mm % 96.27 1-2 mm % 3.56 >2 mm % 0.17	<0.01 mm % 20 0.01-0.11 mm % 40 0.11-0.20 mm % 50 0.20-0.31 mm % 60 0.31-0.60 mm % 80 0.60-3.20 mm % 100
Dikdörtgene benzer tane uzunluğuna göre	<1 mm % 84.67 1-2 mm % 13.44 >2 mm % 1.89	<0.04 mm % 20 0.04-0.19 mm % 40 0.19-0.31 mm % 50 0.31-0.48 mm % 60 0.48-0.89 mm % 80 0.89-7.40 mm % 100
Dikdörtgene benzer tane genişliğine göre	<1 mm % 94.01 1-2 mm % 5.82 >2 mm % 0.17	<0.01 mm % 20 0.01-0.09 mm % 40 0.09-0.19 mm % 50 0.19-0.31 mm % 60 0.31-0.63 mm % 80 0.63-2.70 mm % 100
Tanelerin max uzunluğuna göre	<1 mm % 84.67 1-2 mm % 13.44 >2 mm % 1.89	<0.04 mm % 20 0.04-0.19 mm % 40 0.19-0.31 mm % 50 0.31-0.48 mm % 60 0.48-0.89 mm % 80 0.89-7.40 mm % 100
Tane sınırları ve merkezi arasındaki max mesafe	<1 mm % 96.72 1-2 mm % 3.15 >2 mm % 0.13	<0.02 mm % 20 0.02-0.12 mm % 40 0.12-0.18 mm % 50 0.18-0.28 mm % 60 0.28-0.52 mm % 80 0.52-4.20 mm % 100

Tane boyutu ölçüm değerlerinin % dağılımları isteğe göre grafik ve histogram olarak alınabilmektedir. Örnek olarak, Muğla beyaz mermeri 1 nolu örneğe ait tanelerin X-Y yönündeki max uzunluklarına göre tane boyutları grafiği Şekil 6'da ve histogramı da Şekil 7'de verilmiştir. Yapılan analizler sonucunda 1, 2 ve 3 nolu örneklerde 1 mm altındaki ortalama tane boyutu oranı sırasıyla %88.66, %76.05 ve %89.58'dir. Buradan da görülmektedir ki Muğla beyaz mermerinin hakim tane boyutu 0-1 mm arasındadır. Bu dağılım aralığına ait detaylı bilgiler Çizelge 2, 3

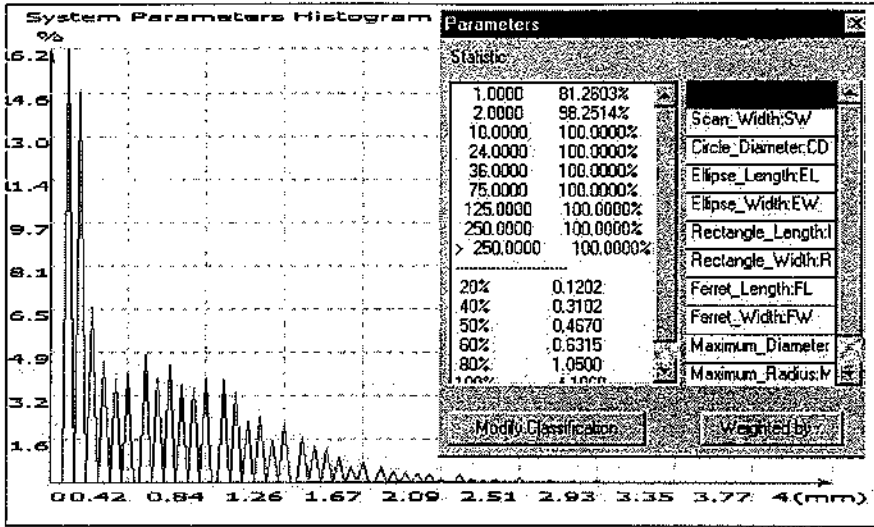
ve 4'te görülmektedir. 1-2 mm arasındaki ortalama tane boyutu oranı sırasıyla %10.52, %18.41 ve %9.32'dir. 2 nolu örneğin 1-2 mm arasındaki tane boyutu oranının diğer iki örneğe göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Yine aynı şekilde 2 mm üzerindeki tane boyut oranı da diğer örneklerle göre daha yüksektir. Bu sonuçlar göstermiştir ki literatürde verilen Muğla beyaz mermerine ait tane boyut değerleri görüntü analiz yöntemiyle doğrulanmıştır. Bu yöntemin en önemli özelliklerinden birisi daha seri bir şekilde daha detaylı veriler elde edilebilmesidir.

Çizelge 5. Muğla beyaz mermerleri tane boyutlarının karşılaştırılması

Bölge	Tane boyutu	Referans
Yatağan-Kestanecik Kozagaç	0.6-1.2 mm 1-2 mm	Kuşcu (1992)
Yatağan	0.3-1.5 mm	Uz, Çoban ve Eren (1992)
Menderes Masifi	0.5-5 mm	Kun, Güngör ve Erdoğan, (1999)
Muğla Yatağan	0.8-2 mm	Bacakoğlu (Türkmen) ve Çalapulu, (1999)
Yatağan	0.06-1.2 mm	Uz ve Özdamar (1999)
Muğla beyaz (Yatağan)	Boyut	Örnek No 1 Örnek No 2 Örnek No 3
	<1 mm %	88.66 76.05 89.58
	1-2 mm %	10.52 18.41 9.32
	>2 mm %	0.82 5.54 1.20
		Görüntü analiz yöntemi (ortalama)



Şekil 6. Muğla beyaz mermeri 1 nolu örneğe ait tanelerin X-Y yönündeki Max uzunluklarına göre tane boyutları grafiği.



Şekil 7. Muğla beyaz mermeri 1 nolu örneğe ait tanelerin X-Y yönündeki Max uzunluklarına göre tane boyutları histogramı.

4. SONUÇLAR

Mermerlerin en önemli fiziksel özelliklerinden birisi de tane boyutudur. Mermerlerde, rengin dışında makroskopik olarak incelenen ve ilk dikkat edilen özellik olup bazı durumlarda mermerlerin değerlendirilmesi sadece tane boyutuna da endekslenilmektedir. Kullanım yerlerinin saptanmasında, cila alma kapasitesinde, su emme, basınç dayanımı gibi fiziko-mekanik özelliklerin tane boyutu ile ilişkili olduğu bilinmektedir. Bu nedenle imalatçı firmalar ürünlerini tanıtırken kataloglarında tane boyutu değerlerini de vermektedirler.

Tane boyutu, geleneksel mikroskopik yöntemler ile ölçülmektedir. Binoküler mikroskopta parlatma ile polarizan mikroskopta ise ince kesitler yardımıyla ölçülebilmektedir. Daha gelişmiş bir yöntem olan SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) ile tane boyutu ölçülebilmektedir. Son yıllarda ise dijital ortamda görüntü analiz yöntemleri kullanılarak daha detaylı, hızlı ve hatasız olarak tane boyut ölçümleri yapılmaktadır. Farklı alanlarda uygulanmakta olan görüntü analiz teknikleri ile Muğla beyaz mermerinin tane boyutu Particle isimli bir bilgisayar yazılımı ile ölçülmüştür. Ölçüm değerlerine göre; 1, 2 ve 3 nolu örneklerde 1 mm altındaki ortalama tane boyutu oranı sırasıyla

%88.66, %76.05 ve %89.58'dir. Muğla beyaz mermerinin hakim tane boyutu 0-1 mm arasındadır. 1-2 mm arasındaki ortalama tane boyutu oranı sırasıyla %10.52, %18.41 ve %9.32'dir. 2 nolu örneğin 1-2 mm arasındaki tane boyutu oranının diğer iki örneğe göre daha yüksektir. Yine aynı şekilde 2 mm üzerindeki tane boyut oranı da diğer örneklerle göre daha yüksektir. Bu sonuçlar göstermiştir ki literatürde verilen Muğla beyaz mermerine ait tane boyut değerleri görüntü analiz yöntemiyle doğrulanmıştır.

KAYNAKLAR

- Akesson, U., Lindqvist, J.E., Göransson, M., and Stigh, J. 2001. *Relationship Between Texture and Mechanical Properties of Granites, Central Sweden, by Use of Image-Analysing Techniques*. Bull Eng Geol Env 60:277-284.
- Anon (a), 2001; *Devlet Planlama Teşkilatı. Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu. Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu. Yapı Malzemeleri II Çalışma Grubu Raporu. Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı*. Yayın No: DPT: 2616-ÖİK:627, 191 s. Ankara.

- Bacakoğlu (Türkmen), F. ve Çalapkulu, F., 1999. *Muğla Yöresi Mermerleri*. 52. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiriler Kitabı, s. 39-46, Ankara.
- Canan, S., 2004. *Stereolojik Metotlar*. <http://stereoloji.tripod.com/stereo.html>
- Çelik, M.Y., 2001. *Dış Mekanlarda Kullanılan Mermerlerde Doğal Bozuşmalar*. Mermer, Doğal Taş Sektörünün Dergisi, Yıl 6, Sayı:29, s.66-70, İzmir.
- Çelik, M.Y., 2002. *Mermer Jeolojisi Ders Notları*. Afyon Kocatepe Üniversitesi Afyon Meslek Yüksek Okulu, Mermer Teknolojisi Programı. (Basılmamış). Afyon.
- Çelik, M.Y., 2003. *İscehisar – Bolvadin (Afyon Doğusu) Arasındaki Paşadağ Yöresinin Jeolojisi ve Paşadağ Mermerlerinin Değerlendirilebilirliğinin İncelenmesi*. Doktora Tezi (basılmamış). Ankara Üniversitesi. 183 s. Ankara.
- Gökay, M.K., ve Gündoğdu, İ.B. 2001. *Mermer Renklerinin Sayısal Analiz Yoluyla Sınıflandırılması ve Mermer İşleme Tesislerindeki Kullanılabilirliği*. Madencilik Dergisi, Haziran-Eylül-Aralık 2001, s. 3-10, Ankara.
- Jerram, D.A. and Cheadle, M.J. 2000. *On the Cluster Analysis of Grains and Crystals in Rocks*. American Mineralogist, Volume 85, page 47-67.
- Kun, N., Güngör, T. ve Erdoğan, B., 1999. *Menderes Masifindeki Mermer Yataklarının Stratigrafik Konumları ve Özellikleri*. 1. Batı Anadolu Hammadde Kaynakları Sempozyumu, s. 47-53, İzmir.
- Kun, N. 2000. *Mermer Jeolojisi ve Teknolojisi*. Tezer Matbaası. 149 s. İzmir.
- Kuşcu, M. 1992. *Kestanecik ve Kozluca (Yatağan-Muğla) Mermer Yataklarının Jeolojik ve Ekonomik Özellikleri*. Jeoloji Mühendisliği, s. 41, 23-36.
- Lumbreras, F., and Serrat, J. 1996. *Segmentation of Petrographical Images of Marbles*. Computers & Geosciences 22, (1996), pp 547- 558.
- Maerz, N. H., Bennett, C. P., Dony, B. A. 1987a. *Microcomputer Image Analysis of Rock Fabric*. 1st. Can. Symp. on Microcomputer Applications to Geotechnique., Regina, Canada, pp. 269-275.
- Maerz, N. H., Franklin, J. A., Rothenburg, L., and Coursen, D. L. 1987b. *Measurement of Rock Fragmentation by Digital Photoanalysis*. ISRM. 6th Int. Cong. on Rock Mechanics, Montreal, Canada, v 1, pp. 687-692.
- Maerz, N. H., Palangio, T. C., and Franklin, J. A. 1996. *WipFrag Image Based Granulometry System*. Proceedings of the FRAGBLAST 5 Workshop on Measurement of Blast Fragmentation, Montreal, Quebec, Canada, 23-24 Aug., 1996, pp. 91-99
- Onargan, T., Deliormanlı, A.H., Saydam, S ve Hacımustafoğlu, S.R. 1997. *Mermerlerde Yüzey Sertliğinin Dayanıma Olan Etkisinin Araştırılması*. II. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı s. 29-34. Afyon.
- Ozuloğlu, A., ve Erdoğan, M. 1995. *Mermerlerde Yüzey Parlaklığının Görünüş Analizi Yöntemi ile Ölçülmesi*. 1. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı s. 37-44. Afyon.
- Sarı, D., ve Yavuz, H. 2000. *Mermer Parlaklığının Nicel Tanımı*. Mersem 2001. Türkiye III. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı, s.265-275, Afyon.
- Sarıuşık, A., Çelik, M.Y., ve Gürçan, S., 2003; *Karbonat Kökenli Mermerlerin Mineralojik-Petrografik Özelliklerinin Fiziko-Mekanik Parametrelere Olan Etkileri*. Süleyman Demirel Üniversitesi 20 Yıl Mühendislik Sempozyumu, Bildiri Özetleri Kitabı, s.203. Isparta.
- Uz, B. ve Özdamar, Ş. 1999. *Yatağan (Muğla) Mermerleri Jeolojik-Petrografik-Kimyasal Etüd ve Değerlendirilmesi*. Türkiye'de mermer Yapı ve dekorasyon Dergisi, Sayı: 62-63, s.42-52.
- Wang, W., 2004. *Particle Analysis by Using Particle Program*. <http://www.imerco.se/zipfile/lect-lul3.pdf>

Mermer İşleme Tesisi Artıklarının Kağıt Dolgu Maddesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması

Z.E. Erkan

Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir

E. Sabah

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Afyon

M.Y. Çelik

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon Meslek Yüksekokulu, Afyon

ÖZET: Bu çalışmada, mermer artıkları depolama sahasından alınan üç adet mermer tozu numunesinin kağıt üretiminde dolgu maddesi olarak kullanılabilirliği incelenmiş, bunun için numunelere kağıt dolgu malzemesi olarak kullanılabilirliğe ilişkin standart testler uygulanmıştır. Sonuçlar, her üç numunenin de dolgu pigmenti olarak kullanılabilir özellikte olduğunu göstermiş; ancak, gri renkli 2 No.'lu numune beyazlık değeri ve CaCO_3 yüzdesi açısından referans değerlerin dışında kalmıştır. Beyazlık, baskı kalitesi vs. gibi kağıt kalitesinin artırılmasına yönelik parametreler dikkate alındığında, karışık (%50 beyaz+%50 gri) olan 1 ve beyaz renkli 3 No.'lu numunelerin dolgu maddesi olarak istenen teknik özelliklere sahip olduğu tespit edilmiştir. %80'i $20\mu\text{m}$ altında yeralan bu numuneler, uygun öğütme teknolojileri ile %40-80'i $2\mu\text{m}$ 'un altında olacak şekilde boyut küçültme işlemine tabi tutulduktan sonra, kağıt sektöründe dolgu hammaddesi olarak kullanılabilir özelliktedir.

ABSTRACT: In this study, the three marble-powder samples taken from a marble disposal site have been evaluated as filler in paper production. A series of standard tests were used on the samples. The results show that all the samples can be used as filler pigment; however, the gray colour which identifies the whiteness and CaCO_3 assay in the second sample are out of the standard values. When parameters such as whiteness and print quality which are related to the quality of paper are taken into consideration, samples 1 and 3 have the desired technical properties as filler. Grinding these materials which have 80 % minus $20\mu\text{m}$ in size down to 40-80 % minus $2\mu\text{m}$ with proper comminution technologies is expected to produce the required filler for fine quality paper making.

1. GİRİŞ

Alp-Himalaya kuşağı içerisinde bulunan Türkiye, jeolojik konumu nedeniyle çok sayıda mermer yatağına sahiptir. Bu rezervleri oluşturan mermer, kireçtaşı, traverten, oniks ve magmatik kökenli taşlar değişik yörelerde bulunmakta ve büyük bir çoğunluğu da işletilmektedir. Metamorfik masifler içerisindeki mermer yatakları, bu rezervler içerisinde önemli bir paya sahip olup, Türkiye'deki işletilebilir mermer rezervi 3.872.000.000 m^3 civarındadır (DPT, 2001). Türkiye'de işletilen mermer ocağı sayısı yaklaşık 700 civarında olup, bu mermer ocaklarının % 90'ı Batı Anadolu'da Balıkesir, Eskişehir, Uşak, Kütahya, Muğla, Afyon, Bursa, Aydın ve İzmir illerinde yer almaktadır (Çelik ve Sabah, 2003).

Çalışma alanı olarak seçilen İncehisar (Afyon) bölgesi, çok uzun yıllardan beri Anadolu'nun en önemli ve dünyaca tanınan mermer üretim bölgesi olmuştur. Buradan üretilen mermerler, $100\mu\text{m}$ 'un altında tane boyutuna sahip olup değişik renk ve desenlerdedir. Afyon Şeker, Afyon Kaymak, Afyon Menekşe, Afyon Bal ve Afyon Kaplanpostu dünyaca bilinen en önemli mermer çeşitleridir. İncehisar-Afyon bölgesinde yer alan mermer ocaklarında 2002 yılı sonu itibarıyla 150.000 m^3 'ün üzerinde blok mermer üretimi gerçekleştirilmiştir. Aynı dönemdeki Türkiye blok mermer üretim rakamı ise 1.500.000 m^3 tür. Bu değer, Türkiye mermer blok üretiminin % 10'nuna karşılık geldiği görülmektedir (Gürçan ve Sabah, 2003).

Afyon civarında değişik ölçeklerde yaklaşık 409 adet mermer işleme tesisi faaliyet göstermektedir. Bu tesisler İncehisar'dan üretilen mermerlerin yanı sıra Türkiye'nin değişik yörelerinden getirilen mermerleri de kesmektedir. Blokların veya kesilebilir boyuttaki molozların ocaktan çıkarılması esnasında ocaklarda oluşan irili ufaklı parçaların yanı sıra, mermer işleme tesislerinde de kesme ve ebatlama işlemi sırasında çeşitli boyutlarda mermer artıkları oluşmaktadır. Mermer ocakları ve işleme tesislerinde oluşan artıklar boyutuna göre toz ve parça (paladyen, kapak ve moloz) olmak üzere iki grup altında incelenebilir.

Mermer sektörünün en önemli sorunlarından birisi mermerin kesilmesi sırasında açığa çıkan çok küçük boyuttaki toz artıklarıdır. Toz artıkların boyutu genellikle 2 mm'nin altındadır. Kesme işlemi sırasında oluşan bu toz artıklar su ile ortamdan uzaklaştırılır. 1 m³ bloğun 2 cm kalınlığında kesilmesi durumunda yaklaşık % 25 i toz artık olurken bu oran 1 cm kalınlığında artarken 3 cm kalınlıkta ise azalmaktadır (Kun, 2000). İncehisar-Afyon bölgesinde bulunan ocaklardan ve işleme tesislerinden yılda toplam 340.000 ton mermer artığı açığa çıktığı tahmin edilmektedir (Sabah ve Çelik, 2001). Uzun yıllardan beri bölgede mermer üretimi yapıldığı düşünülecek olursa gerek ocaklarda gerekse mermer işleme tesislerinde milyonlarca ton mermer artığının oluştuğu söylenebilir.

Bu çalışmada, mermer işleme tesislerinde üretim esnasında açığa çıkan mermer tozu artıklarının kağıt üretiminde dolgu hammadresi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Alkali (bazik) kağıt üretimine geçilmesiyle birlikte, özellikle 1980'den sonra, Batı Avrupa'da öğütülmüş kalsiyum karbonata olan talep hızla artmıştır. Avrupa'da bazı firmalar, mermerin CaCO₃ üretiminde kullanımına yönelik teknolojiler üzerinde yoğun araştırmalar yapmakta ve kağıt sektöründe kullanılacak özellikte ürünleri, halen değişik ticari adlar altında satışa sunmaktadır.

2. MALZEME VE YÖNTEM

2.1. Malzeme

Testlerde kullanılan 3 farklı tip mermer artık numunesi, Şekil 1-b'de gösterilen atık barajından alınmıştır. Araştırma alanı olarak seçilen bu bölge, mermer artıklarının rastgele yerlerde depolanarak oluşturduğu görsel kirlilikten çevreyi korumak amacı ile Susuz Boğazı Mermerciler Derneği ve Afyon Valiliğinin ortak girişimleri sonucunda 1995 yılında mevcut artık depolama sahası olarak faaliyete geçirilmiştir. Afyon-Ankara karayoluna 2 km mesafede olan bu sahaya (Şekil 1-a), Boğaz bölgesinde bulunan 28 mermer işleme tesisi hem sulu hem de katı artıklarını dökmektedir.

2.2. Yöntem

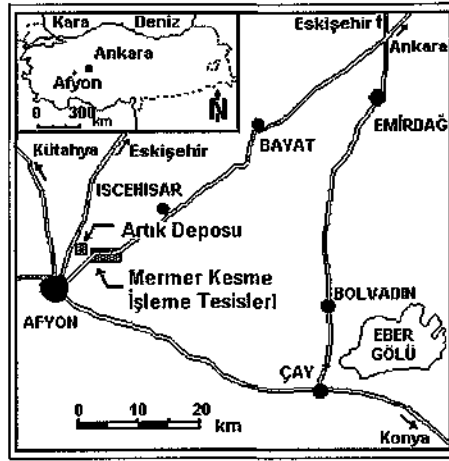
Numunelerin kimyasal analizleri XRF yöntemiyle, tane boyutu analizleri ise laser partikül sizer yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Mineralojik analizler Shimadzu XRD cihazında yapılmıştır.

Numunelere ait kimyasal analiz sonuçlarının jeostatiksel olarak birbirleriyle ilişkileri, MS Excel programı yardımıyla, istatistiksel korelasyon data analiz yöntemi kullanılarak yapılmıştır.

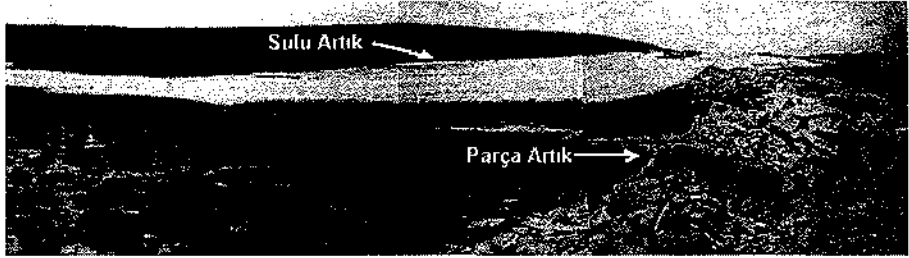
Numunelerin beyazlık testlerinde spektral renk ölçüm cihazı kullanılmış, özgül yüzey alanı tayini blain cihazında gerçekleştirilmiştir.

Nem tayini, 105 ±2°C'de sıcaklığa ayarlanmış bir etüvde 2 saat tutulmak suretiyle yapılmış; pH değeri tespiti ISO 787/9, yağ absorpsiyonu testleri ise ISO 787/5 standartlarına göre gerçekleştirilmiştir.

HCl'de çözünmeyen madde tayininde; 100 µm altına indirilen numune 105 °C'de 2 saat kurutulur. 1gr numune bir beher içine alınarak derişik HCl asit ilavesi ile muamele edilir ve süzülür. Süzütünün 1000 °C'de yakılmasının ardından alınan son tartım ile hesaplamalar yapılır.



(a)



(b)

Şekil 1. Atık barajının yer bulduru haritası (a) ve fotoğrafı (b).

3. BULGULAR

3.1. Atığın Karakterizasyonu

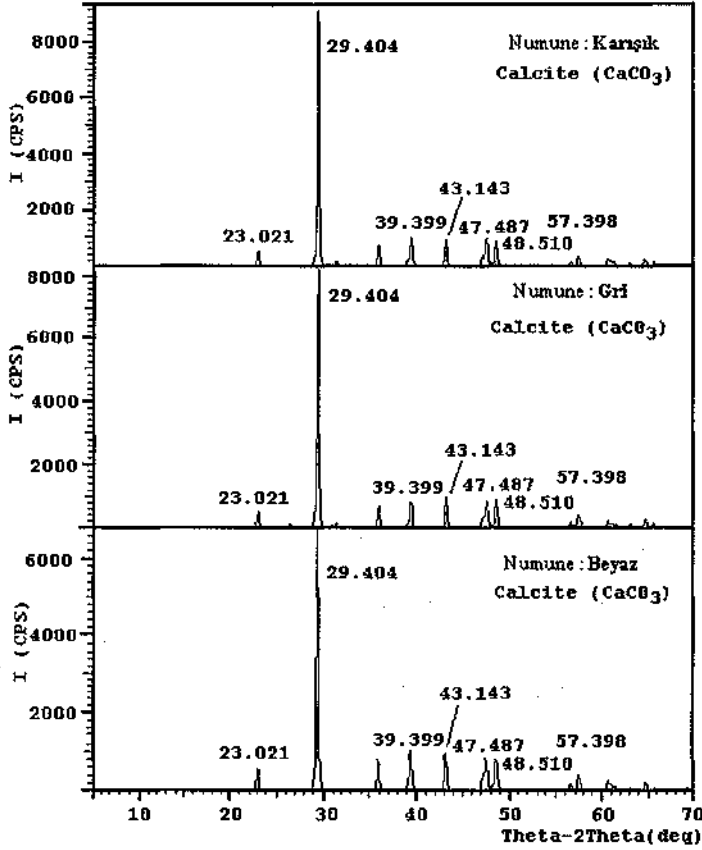
Numunelerin XRD piklerinden (Şekil 2) elde edilen veriler JCPDS kartları yardımıyla tanımlanmıştır. Her üç atık numunesinde de esas

mineralin kalsit minerali (CaCO_3) olduğu saptanmış olup, başka bir minerale rastlanmamıştır.

Atık sahasından alınan ve dış görünümleri ile karışık, gri ve beyaz olarak adlandırılan numunelerin katı oranları, sırasıyla % 79, % 77 ve % 77 olup, kimyasal bileşimleri Çizelge 1'de sunulmuştur.

Çizelge 1. Atık mermer numunelerinin kimyasal analiz sonuçları.

	Numune 1 (Karışık) (%)	Numune 2 (Gri) (%)	Numune 3 (Beyaz) (%)
SiO_2	0.27	0.84	0.00
Al_2O_3	0.32	0.48	0.25
Fe_2O_3	0.05	0.09	0.00
CaO	55.14	54.02	55.07
MgO	0.29	0.40	0.25
SO_3	0.10	0.23	0.27
K_2O	0.07	0.07	0.04
Na_2O	0.00	0.00	0.00
KK	43.88	43.42	43.81



Şekil 2. Numunelerin XRD difraktogramı.

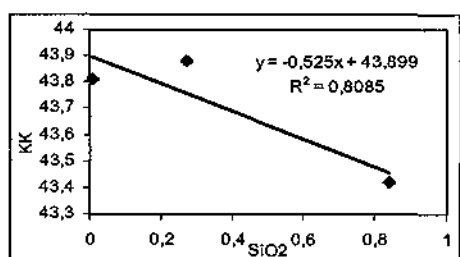
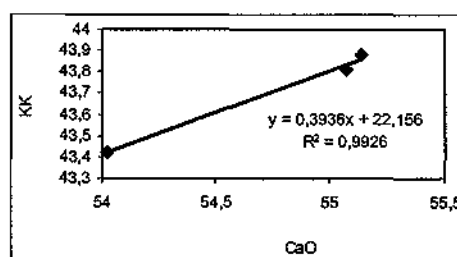
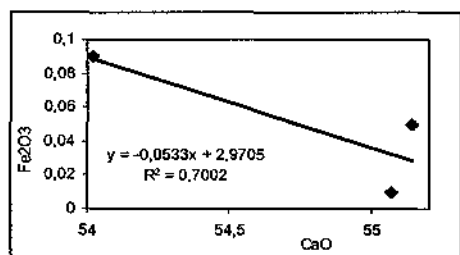
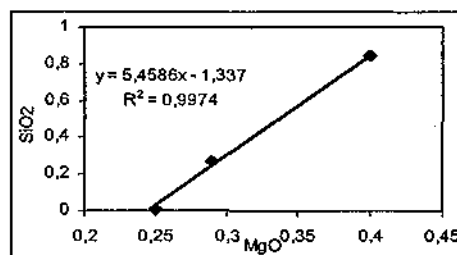
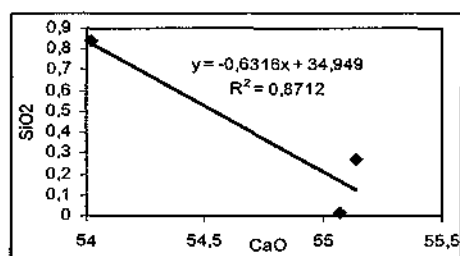
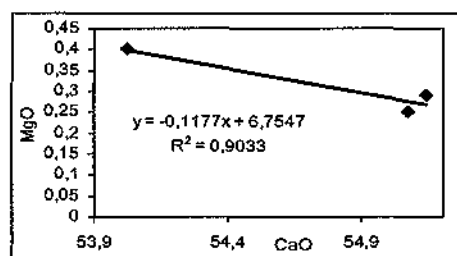
Kimyasal analiz sonuçları, numunelerin dolomitik safsızlık içeriğinin düşük ve kalsiyum muhtevasının yüksek olduğunu göstermektedir. Özellikle 3 numaralı numune (beyaz) silis ve demir tespit edilememiştir.

Korelasyon katsayısı, değişkenlerin yönü, etkileşimlerin nasıl olduğu hakkında bilgi verir. Değişkenlerin birbiri arasındaki etkileşim var mı, varsa etkileşimin çok fazla mı yani kuvvetli mi olduğu ve gözlem gruplarından birinin gözlem değerleri artarken diğerinin azalıyor mu yoksa aynı yönde mi değerleri değişiyor olduğu gözlenebilir. Korelasyon katsayısı -1 ile +1 arasında değişen değerler alır. Katsayı, etkileşimin olmadığı durumda 0, tam ve kuvvetli bir etkileşim varsa 1, ters yönlü tam bir etkileşim varsa -1 değerini alır.

Sonuçların korelasyon analizleri (Çizelge 2); CaO ile MgO arasındaki ilişkinin ters yönlü ve zayıf olduğunu göstermiştir. Buradan mermerler içerisinde dolomit oluşumunun negatif olduğu gözlenmektedir (Şekil 3). Nitekim mermer artığı örneklerinin XRD analizlerinde hiç bir dolomit mineraline rastlanmamıştır. Aynı şekilde yine bunların SiO₂ ile olan ilişkisinin de ters yönlü ve kuvvetli olması, ortama yeterli miktarda SiO₂ girmediği ve mermerler içerisinde brüst ve forsterit mineralleri oluşumunun olmadığını ortaya koymaktadır. CaO ile Fe₂O₃ arasında ters yönlü ve kuvvetli bir ilişki vardır. Bu negatif ilişkiden Fe karbonatların oluşmadığı ve mermerlerdeki Fe₂O₃'ün ikincil kökenli olarak infiltre olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 2. Artıkların kimyasal analiz sonuçlarının istatistiksel yorumu.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	KK
SiO ₂	1								
Al ₂ O ₃	0,999	1							
Fe ₂ O ₃	0,977	0,975	1						
CaO	-0,933	-0,936	-0,836	1					
MgO	0,998	0,999	0,965	-0,950	1				
SO ₃	-0,014	-0,004	-0,225	-0,345	0,036	1			
K ₂ O	0,741	0,734	0,866	-0,450	0,706	-0,682	1		
Na ₂ O	-0,741	-0,734	-0,866	0,450	-0,706	0,682	-1	1	
KK	-0,899	-0,903	-0,786	0,996	-0,920	-0,424	-0,372	0,372	1

Şekil 3. Mermer numunelerinin Ca/MgO, Ca/SiO₂, Mg/SiO₂, Ca/Fe₂O₃, CaO/KK ve SiO₂/KK oranları arasındaki ilişki.

KK (kızdırma kaybı) ile CaO arasında doğrudan ve kuvvetli bir ilişkinin varlığı açıkça gözlenmekte olup bu ilişkinin varlığı CaCO_3 'dan dolayıdır. XRD analizlerinde dolomit, brüst ve vallastonit minerallerine rastlanmamış oluşu bunu doğrulamaktadır. Dolayısıyla mermerlerinin ilksel kayacının da kalsit minerallerinden oluşan kireçtaşı olduğu anlaşılmaktadır.

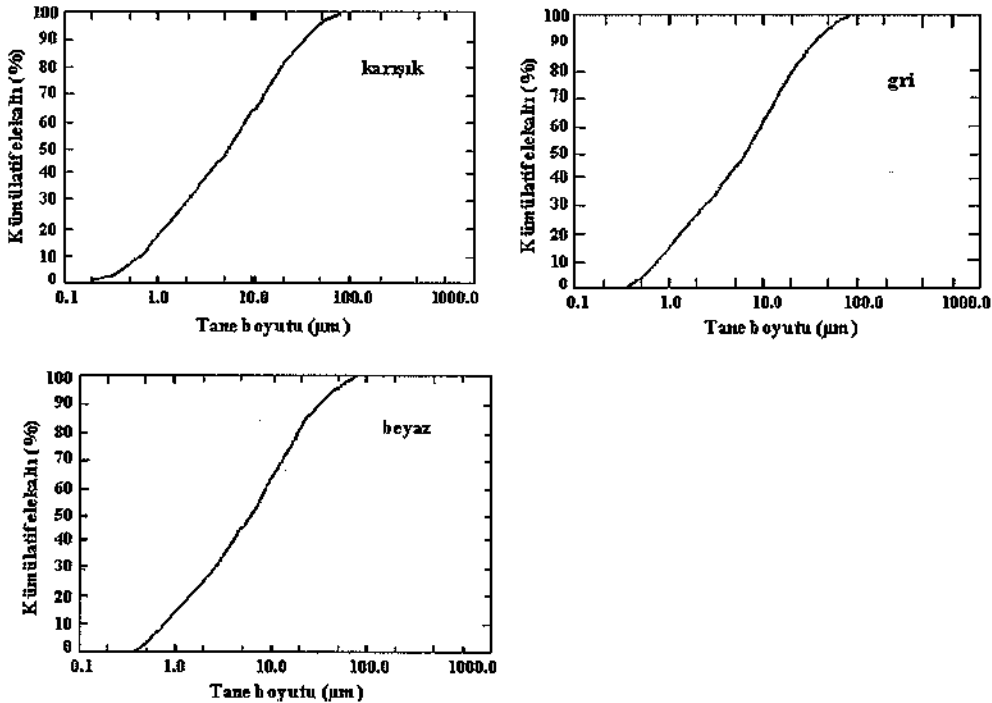
KK (kızdırma kaybı) ile SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , arasında negatif ve kuvvetli, Na_2O , SO_3 , K_2O arasında ise negatif fakat zayıf bir ilişki söz konusudur. Buradan kızdırma kaybının bu bileşiklerden kaynaklanmadığı anlaşılmaktadır.

Al_2O_3 ile K_2O ve Fe_2O_3 arasında doğru ve kuvvetli bir ilişkinin varlığı görülmekte olup, bu ilişki

mermerler içerisindeki mika mineralleri oluşumundan kaynaklanmaktadır. Aynı şekilde silikat minerallerden kaynaklanan bu ilişki SiO_2 ile de kuvvetli derecede görülmektedir.

SiO_2 ile Al_2O_3 ve Fe_2O_3 arasında; doğrudan ve kuvvetli derecede bir bağlantı ve K_2O arasında ise; doğru fakat orta derecede bir bağlantı bulunmaktadır. Buna göre, mermerler içerisindeki mevcut olan silisin bir kısmının silikatlardan diğer kısmının ise serbest kuvars tanelerinden meydana geldiği anlaşılmaktadır.

Mermer artıklarının (karışık, gri ve beyaz) tane boyutu dağılımları, Şekil 4'de verilmiş olup, her üç numunenin de %99'u $65 \mu\text{m}$ 'nin altında yer almaktadır.



Şekil 4. Numunelerin tane boyutu dağılımları.

3.2. Kağıt Dolgu Maddesi Uygulamaları

Firmalar üretecekleri kağıt türüne göre; hammadde, yardımcı hammadde ve dolgu maddelerinin cins ve oranlarını değiştirerek kendilerine uygun reçeteler

hazırlamaktadır. Bu reçetelerde kullanılan dolgu hammaddesi oranı yaklaşık %30 civarında olup, kağıda yüksek beyazlık ve beyazlığın uzun süre korunabilmesi, baskı kalitesi, mekanik dayanım vs. gibi önemli özellikler kazandırmaktadır. Dolgu

maddesi olarak öğütülmüş CaCO_3 'ün tercih edilmesinin en önemli nedenlerinden birisi de ekonomik oluşudur.

Araştırma konusuna esas teşkil eden mermer artıkları üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda tespit edilen teknik özellikler Çizelge 3'de verilmiştir. Artık barajından alınan ve herhangi bir prosesten geçirilmeyen sözkonusu artıkların, bu haliyle bile, kağıt sektöründe dolgu pigmenti olarak kullanılabilecek özellikte olduğu görülmektedir. Referans değerler dikkate alındığında, özellikle Numune 1 ve Numune 3 beyazlık değerleri, CaCO_3 oranları ve diğer kimyasal özellikler açısından uygun özellikler sergilemektedir.

Tane boyutu açısından konu irdelendiğinde, numunelerin, dolgu pigmenti için istenen limitler

dahilinde öğütülmesi gerekmektedir. Önemli bir kısmı, yani %80'i, 20 μm 'nın altında yer alan bu artıkların, uygun öğütme teknolojileri ile %40-80'i 2 μm altında (DPT, 1996) olacak şekilde öğütülerek kağıt sektörünün hizmetine sunulması, mermer artıklarının ekonomik bir şekilde değerlendirilmesini sağlayacaktır. Avrupa'da genellikle % 60'ı 2 mikron altında sulu öğütülmüş kalsit % 75 su % 25 katı kullanılarak hazırlanan süspansiyon, kağıt sektöründe dolgu amaçlı kullanılmaktadır.

Türkiye'de ise dolgu kalsitin tane dağılımına SEKA ve bazı özel kuruluşlar dikkat etmekte fakat 2 mikron altı % 42-44 ve kuru öğütülmüş kalsit, dolguda kullanılmaktadır. Bazı kağıt üreticileri 2 mikron altı %36-38 civarında kalsitleri bile kullanılmaktadır.

Çizelge 3. Mermer artıklarının kağıt dolgu maddesi uygunluk test sonuçları.

	Numune 1 (Karışık)	Numune 2 (Gri)	Numune 3 (Beyaz)	*Referans Aralık
Kimyasal Analizler (%)				
CaCO_3	98.4	96.4	98.3	96-98
MgCO_3	0.6	0.8	0.5	max. 2
Fe_2O_3	0.05	0.09	0.00	0.2
Al_2O_3	0.32	0.48	0.25	-
Kızdırma kaybı (900°C)	43.9	43.4	43.8	-
HCl de çözünmeyen	0.56	1.20	0.20	max.0.5
Fiziksel Özellikler				
Yoğunluk (gr/cm^3)	2.8	2.8	2.8	2.7-2.9
Sertlik (Mohs)	2.9	3	3	1-3
Beyazlık (%)	84.3	78.2	87.4	82-92
Yağ emme ($\text{gr}/100\text{gr}$)	30	28.5	28	-
Yığın yoğunluğu (gr/cm^3)	0.76	0.80	0.75	-
Nem (%)	0.068	0.151	0.062	max. 1
pH değeri	7.5	7.4	7.3	7.0-9.0
Yüzey alanı (m^2/g)	1.89	2.54	2.25	3-4
Boyut Dağılımı (%)				
$\leq 2 \mu\text{m}$	29.3	26.9	25.6	30-80
$\leq 20 \mu\text{m}$	82.1	80.0	81.4	Boyut aralığı 0.5-5.0 μm olmalı
$\leq 100 \mu\text{m}$	100	100	100	
45 μm elek üstü bakiye	max. 5.0	max. 5.5	max. 5.0	
d_{90} (μm)	30.12	33.47	31.97	-
d_{50} (μm)	5.47	6.06	6.02	max.1

*Kaynak: DPT, 1996 ve SEKA Dalaman Kağıt İşletmesi dolgu için kullanılan CaCO_3 şartnamesi.

4. SONUÇLAR

Mermercilik sektöründe son yıllarda görülen gelişmeler sonucunda mermer ocağı ve tesisi sayısındaki artışa paralel olarak mermer artığı miktarı da her geçen gün artmaktadır. Mermercilik faaliyetleri devam ettiği sürece bu artıkların çoğalması ve çevre açısından olumsuz görüntü kirliliği oluşturmaya da kaçınılmaz bir gerçektir. Bu mermer artıklarının endüstrinin her hangi bir kolunda değerlendirilmesinin araştırılması, değişik sektörlerde hammadde veya katkı maddesi olarak kullanılabilirliğinin etüdü, mermercilik sektörü ve çevre açısından faydalı olacaktır.

Araştırmada kullanılan üç tip mermer artığının CaCO_3 oranları sırasıyla %98.4, %96.4 ve %98.3 olup, kağıt sektöründe dolgu pigmenti olarak kullanılabilir özelliktedir. Numuneler içerdiği safsızlıklar açısından da uygun özellikler sergilemektedir.

Kağıt üretiminde kullanılacak mineral maddelerde aranan en önemli özelliklerden birisi beyazlık olduğundan, her üç numune üzerinde yapılan beyazlık testleri, beyaz ve karışık olarak adlandırılan 1 ve 3 No.'lu numunelerin referans değerleri arasında yer aldığını, gri olarak adlandırılan 2 No.'lu numunenin ise referans aralığın dışında kaldığını göstermiştir.

Boyut dağılımı analizine göre önemli bir kısmı, yani %80'i 20 μm 'nin altında yer alan bu artıkların, uygun öğütme teknolojileri ile %40-80'i 2 μm altında olacak şekilde öğütülerek kağıt sektörünün hizmetine sunulması, mermer artıklarının değerlendirilmesini ve ekonomiye kazandırılması sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

Çelik, M.Y. ve Sabah, E., 2003. *The Geological And Technical Characterisation of İncehisar (Afyon-Turkey) Marble Deposit and Impact to Environmental Pollution Of Marble Waste*, Environmental Geology (hakem değerlendirmesinde).

DPT, 1996. *Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Endüstriyel Hammaddeler Altı Komisyonu: Diğer Endüstri Mineralleri Çalışma Grubu Raporu*,

Devlet Planlama Teşkilatı Yedinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, DPT ÖİK:480, Ankara, s.109-130.

DPT, 2001. *Endüstriyel Hammaddeler Altı Komisyonu Yapı Malzemeleri II Çalışma Grubu Raporu*, Devlet Planlama Teşkilatı. Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, DPT: 2616-ÖİK:627, Ankara, s.191.

DPT, 2001. *Endüstriyel Hammaddeler Altı Komisyonu Genel Endüstri Mineralleri I Çalışma Grubu Raporu*, Devlet Planlama Teşkilatı. Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, DPT: 2618-ÖİK:629, Ankara.

Gürcan, S. ve Sabah, E., 2003. *Türkiye ve Afyon'da Mermer Sektörünün Gelişim Trendi*, Türkiye IV. Mermer Sempozyumu (Mersem'2004), 18-19 Aralık 2003 Afyon, s. 387-397.

Kun, N., 2000. *Mermer Jeolojisi ve Teknolojisi*, Tezer matbaası, İzmir, 149 s.

Sabah, E., Çelik, M.Y., 2001. *İncehisar (Afyon) Mermer Artıklarının Hayvan Yemi Katkı Maddesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması*, Türkiye III. Mermer Sempozyumu (Mersem'2001), 3-5 Mayıs 2001 Afyon, s. 309-316.

TS 2326 EN ISO 787/9/Mart 1997. Pigmentler ve Dolgu Maddeleri İçin Genel Deney Metotları Kısım-9: Sulu Süspansiyonun pH Değerinin Tayini.

TS 2583 EN ISO 787/5/Aralık 1997. Pigmentler ve Dolgu Maddeleri İçin Genel Deney Metotları Bölüm 5: Yağ Absorplama Değerinin Tayini.

Muskovit Şistlerin (Başçatak-Akdağmadeni, Yozgat) Jeolojik Özellikleri ve Muskovitin Isısal Analiz Yöntemleri İle Teknolojik Davranışlarının Belirlenmesi

S. Gürsu

MTA Genel Müdürlüğü MAT Dairesi Mineraloji-Petrografi Koordinatörlüğü, Ankara
sgursu@yahoo.com

ÖZET: Ülkemizde yeni endüstriyel hammadde olarak değerlendirilen toz muskovitin, gelişen teknolojiyle birlikte kullanım alanları artmıştır. Özellikle insan sağlığı açısından zararlı etkileri bulunan asbeste karşı alternatif malzemeler arasında muskovitin yer alması, toz muskovitin endüstriyel çapta kullanımını artırmıştır. Bu çalışmada toz muskovitin ana kaynağını oluşturan muskovit şistlerin jeolojik özellikleri, muskovitin ısısal analiz yöntemleri (TG ve DTA) ile teknolojik özelliklerinin belirlenmesi ve endüstriyel açıdan ülkemizde kullanılabileceği alanların belirlenmesi amaçlanmıştır. Yozgat-Akdağmadeni (Başçatak) bölgesi inceleme alanı seçilmiştir ve muskovit şistler, mineralojik-petrografik olarak değerlendirilmiştir. Bu çalışmalarla muskovitce zengin zonlar belirlenmiş ve alınan örneklerin ön zenginleştirilmesi yapılarak farklı tane boylarında konsantre muskovit elde edilmiştir. Farklı tane boylarında sınıflandırılan kuru ve yaş öğütülmüş ürün üzerinde ısısal analiz yöntemleri (TG ve DTG) uygulanmıştır. Yaş öğütülmüş örneklerin, kuru öğütülmüş örneklerle nazaran daha yüksek sıcaklık aralıklarında (833.3 - 841.9 °C) dayanıma sahip oldukları saptanmıştır. Muskovitin zenginleştirilmesi esnasında uygulanan öğütme teknikleri ile son ürünün tane boyu parametrelerinin, ürünün teknolojik özelliklerini etkilediği, muskovit'in yüksek sıcaklık koşullarında (1200 °C) tamamen bozunmaya uğradığı, refrakter özellik taşımadığı, belirlenmiş, ülkemizde boya, plastik ve kavuçok endüstrisinde, çimento ve izolasyon sanayisinde dolgu maddesi olarak kullanılabileceği önerilmiştir.

ABSTRACT: Grounded muscovite, regarded as a new industrial raw material in our country, is used widely in the industrial field in the world. The use of muscovite has been widened particularly due to its use as alternative materials to asbestos, whose harmful effects to human healthy have already been well known. The purpose of this paper is to evaluate the muscovite schists as geological features, its technologic properties using thermal analysis and make the survey of the possibilities of its use in the country. The Yozgat - Akdağmadeni (Başçatak) region has been selected as the study area and the muscovite-schists evaluated as mineralogic and petrographic features. Different grain sizes muscovite obtained by using concentration processes. Thermal analyses (TG and DTG) are applied on the different grain-sized concentrate muscovite. Thermal resistances analyses showed that the wet-ground muscovites have relatively high resistance points (833.3 - 841.9 °C) than dry-ground muscovites. During the methods, used for grinding the muscovite, it was found that the last product's grain size parameters affects the technological characteristics of the product; it does not have refractory characteristics and completely sintered at 1200 °C. It is suggested that this material can be used in various industries like paint, plastic, rubber, cement and isolation as filling material.

1. GİRİŞ

Endüstriyel hammaddeler dünyasında son gelişmelere bağlı olarak muskovitin bu alandaki önemi giderek artmıştır. Muskovitce zengin

yataklar üzerinde jeolojik, özellikle ekonomik jeoloji açısından çeşitli araştırmalar yapılırken, ülkemizde geniş çapta muskovit yatakları mevcut olmasına rağmen, günümüze kadar muskovitin endüstriyel hammadde olarak değerlendirilmesi

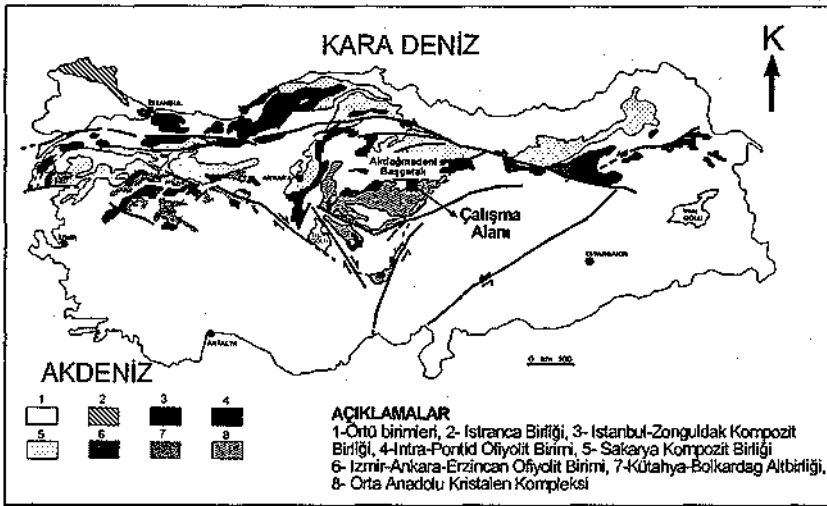
yönünde çalışmaların yetersiz olduğu görülmektedir.

Ülkemizde, özellikle pegmatitlere bağlı muskovit oluşumlarının yanı sıra, muskovit-şist gibi metamorfik kökenli kayalar da endüstriyel hammadde olarak rezerv teşkil etmektedir. Dolayısıyla daha çok pegmatitik oluşumlara bağlı levha muskovit üretimi yapılan ülkemizde, küçük çapta madencilik çalışmaları yürütülmektedir. Pegmatitlere bağlı madencilik faaliyeti sonucu elde edilen levha muskovit, özellikle elektrik-elektronik sanayisinde gelişmelere bağlı olarak giderek azalma göstermiştir. Ayrıca işletme güçlükleri ve rezerv durumu, levha muskovit üretimine belli bir kısıtlama getirmiş, plastik, cam elyafı vb. gibi maddeler, levha muskovit yerine elektrik-elektronik sanayinde kullanılmaya başlanmıştır.

Levha muskovite olan endüstriyel ilginin azalmasına rağmen, toz muskovitin endüstriyel

kullanımı ise giderek artma göstermektedir. Pegmatitik oluşumların yanı sıra muskovit-şist yatakları da toz muskovitin ana kaynağını oluşturmaktadır.

Endüstriyel açıdan özellikle muskovit-şist yataklarında mevcut muskovitin değerlendirilmesini araştırmak amacı ile Başçatak (Yozgat-Akdağmadeni) bölgesi inceleme alanı olarak seçilmiştir (Şekil 1). Bu çalışma kapsamında bölgedeki muskovit içeren mika-şist oluşumlarının jeolojik olarak incelenmesi, muskovitin teknolojik özelliklerinin saptanması ve ülkemizde endüstriyel hammadde olarak kullanımının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç çerçevesinde, inceleme alanında muskovitce zengin zonlardan örnekler alınmış, alınan örneklerin zenginleştirilmesi sonucu konsantre muskovit elde edilmiş ve konsantre ürünün kimyasal ve teknolojik özelliklerinin saptanması ve kullanım alanlarının belirlenmesi için çalışmalar yürütülmüştür.



Şekil 1. Çalışma alanı yer bulduru haritası (Sınıflama Göncüoğlu ve Kozlu, 2000'den alınmıştır).

1.1. Araştırma Yöntemleri

Yapılan çalışmalar, saha ve laboratuvar araştırmaları olmak üzere iki aşamada yürütülmüştür.

1.1.1. Saha Çalışmaları

İnceleme alanında yürütülen saha çalışmaları esnasında, bölgede geniş bir yayılım gösteren

muskovit-şist oluşumlarından mineralojik petrografik amaçlı 24 kayaç örneği alınmıştır.

1.1.2. Laboratuvar Çalışmaları

Mineralojik-petrografik çalışma amacıyla örneklerin ince kesitleri yapılmış ve mineralojik bileşenleri saptanmıştır.

Mineralojik bileşenleri belirlenen muskovit-kuvars-şist olarak adlandırılan kayalara ait incekesitler üzerinde yarı otomatik SWIFT marka nokta sayıcı ile modal analizler yapılmıştır. Örneklerin yapısal, dokusal özellikleri dikkate alınarak, nokta sayımında 0.20 mm sızırma aralığı seçilmiş, her ince kesitte yaklaşık 3000 nokta sayılmıştır. Buna göre muskovit %40.30, kuvars %52.72, biyotit %2.64, mikroklin %2.58, ortoklaz %0.49, plajiyoklaz %0.30, apatit %0.08, kalsit %0.83 ve zirkon %0.03 olarak saptanmıştır (Gürsu, 1992).

Kuvars-muskovit şist olarak adlandırılan kayalardan alınan örneklerin harmanlanması ve ayrıntılı olarak incelenmesini sağlamak amacı ile zenginleştirme çalışmalarına geçilmiştir.

Temsili örnekler önce çeneli kırıcı, daha sonra ise çekiçli kırıcı ile -5 mm tane boyutuna kırılmış ve elek analizine tabi tutulmuştur. İnce kesitler üzerinde muskovitin serbestleşme derecesi saptanmış, bu tane boyutunun altındaki malzeme ayrıca yaş öğütülmeye tabi tutulmuştur. Zenginleştirme çalışmaları manyetik ayırma ve flotasyon yöntemleri ile yapılmıştır. Gerek manyetik ayırma gerek flotasyon yöntemlerinin kombinasyonu ile % 98-99 oranında muskovit verimi kazanılmıştır.

Kuru ve yaş öğütülmüş örnekler üzerinde yürütülen bu işlemi takiben, konsantrenin kimyasal analizleri Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünde bulunan PHILIPS marka PW 10.2950 X-Ray Spectrometre kullanılarak belirlenmiştir (Çizelge 1).

Kuru ve yaş öğütme sonucu elde edilen konsantreler, elek analizine tabi tutulmuş ve farklı tane boyutlarındaki muskovitin ısısal analiz yöntemleri ile teknolojik özellikleri belirlenmiştir. Bu çalışmalar, MTA Genel Müdürlüğü Mineraloji-Petrografi Koordinatörlüğünde Rigaku Thermoflex TG8110 marka termogravimetri aleti ile muskovitin ısı değişimlerine karşı göstermiş olduğu ağırlık kayıpları incelenmiş, grafiklere geçirilerek değerlendirilmiştir.

2. MUSKOVİTİN GENEL ÖZELLİKLERİ

Mika başlıca granit bileşimli magmatik kayalarda, şist ve gnays gibi metamorfik kayalarda bol olarak bulunan bir mineraldir. Metamorfik ve magmatik kayalarda bulunan muskovit, kimyasal bozunmadan etkilenmemekte ve bazı sedimanter kayalarda ince taneli detritik mineral olarak bulunmaktadır (Turner, 1975). İri kristalli muskovit ve filogopit levhaları genellikle bölgesel metamorfizmaya uğramış kayalarda bulunur.

Çizelge 1. Zenginleştirme sonucu konsantre muskovitin yaş ve kuru öğütmeye bağlı olarak farklı fraksiyonlardaki kimyasal analiz sonuçları.

	Tüm Kayaç	Kuru Öğütme			Yaş Öğütme		
		-48+65 (Mesh)	65+100 (Mesh)	-100 +150 (Mesh)	-48+65 (Mesh)	65+100 (Mesh)	-100+150 (Mesh)
SiO ₂	77.65	46.95	45.74	46.01	45.59	46.19	46.11
Al ₂ O ₃	11.46	30.82	30.29	30.42	30.30	30.61	30.72
Fe ₂ O ₃	2.08	4.89	5.09	5.07	5.13	5.09	5.13
MnO	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
MgO	0.91	1.69	1.62	1.64	1.62	1.69	1.68
CaO	0.27	0.49	0.08	0.06	0.08	0.20	0.08
Na ₂ O	0.15	0.36	0.36	0.35	0.36	0.40	0.39
K ₂ O	4.27	10.48	10.37	10.43	10.41	10.53	10.54
TiO ₂	0.21	0.57	0.56	0.55	0.56	0.58	0.58
P ₂ O ₅	0.05	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02
Cr	0.013	0.005	0.008	0.0018	0.008	0.006	0.0073
Zr	0.008	0.018	0.079	0.0065	0.008	0.011	0.0099
A.K	1.87	5.14	5.01	4.68	5.07	4.95	4.98
Toplam	99.93	101.4	99.16	99.25	99.15	100.3	100.24

Granit bileşimli pegmatitik kayalar, levha muskovitin ana kaynağını oluşturlar. Filogopit levhalarına ise granitik kayaların çevresinde mevcut ve kontakt metamorfizmadan etkilenmiş sedimanter kayalarda rastlanılmaktadır.

Pegmatitler genellikle ticari olarak kullanıma uygun levha mikaların ana kaynağını oluşturlar. Yerkabuğunda muskovit içeren kayaların yoğun olarak bulunmasına rağmen, bu oluşumların çok azı ticari öneme sahiptir. Bu tip pegmatitler açık renkli ve iri kristalli magmatik kayalardır. Mafik kayaç kütleleri ve büyük granit intrüzyonlarında genellikle dayk şeklinde bulunurlar. Doğada 0.246 metre kalınlığında, 300 metre uzunluğunda, 0.246 ila 0.104 metre arasında değişen derinliklerde muskovit içeren pegmatitlerin işletildiği bilinmektedir. Bunun dışında daha sık yataklardan da muskovit üretimi yapılmaktadır (Chapman, 1984).

Pegmatitler feldispat, kuvars ve mika minerallerinin yanı sıra tali olarak granat, beril de içerebilirler. Pegmatitik oluşumlarda mineral dağılımları zonlanma veya tabakalanma gösterebilirler (Chapman, 1984). Küçük kristalli muskovit mineralinin muhtelif kayaç türlerinde bulunmasına karşı, büyük levha muskovite doğada daha ender raslanılır. Muskovit içeren pegmatitlerin oluşumu çok ender olarak geniş hacimli olabilmektedir (Turner, 1975).

2.1. Kristalografik Özellikler

Mika farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip levhamı, kompleks bileşimli hidroalüminyum silikat minerallerine verilen isimdir. Mineralojik olarak yerkabuğunun ağırlıkça % 3.8'ini oluşturan mikalar özellikle asitik magmatik ve metamorfik kayalarda bol olarak bulunurlar. Mika gurubu mineralleri arasında endüstriyel öneme sahip ana mineral muskovittir. Bazı alanlarda muskovit yerine kullanılan filogopit ise ikinci derecede öneme sahip bir mika grubu mineralidir (Turner, 1975). Biyotit ise düşük izolasyon özelliği ve yapısındaki demirin kolayca oksitlenmesi nedeni ile endüstriyel önem taşımamaktadır.

Beyaz mika olarak da adlandırılan muskovit, monoklinik sistemde kristalleşmektedir. Mükemmel bir dilinimlenme gösteren muskovit, yumuşak ve

elastik özellik gösteren ince levhalara kolayca ayrılabilir. Çok ince levha halindeki muskovit, şeffaf veya yarı şeffaf, renksiz veya açık gri renkte olup, sedef parlaklığına sahiptir. Kalın levhaları ise yarı şeffaf, açık yeşil veya kırmızı renkte olabilir (Chapman, 1984).

Muskovitin düzgün ve muntazam bölünme göstermesi yapraklı yapısında ileri gelmektedir. Muskovit, monoklinik sistemde kristalleşmesine rağmen, kristal biçimi hegzagonal bir görünümündedir (Turner, 1975). Kristalografik olarak silis atomlarının etrafında oksijen atomlarının tetrahedral bir grup oluşturduğu tabakalı kafes tipi bir yapıya sahiptir. Oksijen atomlarının her biri üç tetraeder tarafından ortak kullanılır. Tetrahedral gruplar bir düzlem içerisinde pseudohegzagonal bir ağ oluştururlar. İkili ağlar tetraederlerin üst kısımlarında hidroksil grubu ile birbirlerine bağlanırlar. Tabakalar arasındaki boşluklarda ise potasyum atomları yer alır. Potasyum atomlarının konumu muskovitin dilinim düzlemlerini oluşturmaktadır (Lusis, 1980).

Yapraklı yapılar arasındaki potasyum iyonları ile beraber az oranda sodyum, rubidyum, sezyum, kalsiyum ve baryum bulunabilir. Oktaedrik durumdaki alüminyum iyonu yerine üç ve iki değerlikli demir, titanyum, magnezyum, lityum, krom, vanadyum, mangan gibi iyonlar da bulunabilir. Bu yer değiştirmeleri sonucu meydana gelen muskovit bazı özel adlar alır (İnan ve Tanyolu, 1982).

Oktaedlerde Vanadyum varsa Roskolit, Oktaedlerde Krom varsa Fuksit, Oktaedlerde Mg, Fe⁺³ varsa Fengit, Oktaedlerde Li varsa Li-muskovit olarak adlandırılır (İnan ve Tanyolu, 1982). Muskovitin genel özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir.

2.2. Teknolojik Özellikler

Ticari açıdan başlıca iki mika minerali, muskovit ve filogopit önem kazanmıştır (Smith ve diğ., 1982). Muskovit mika gurubu mineralleri arasında endüstriyel öneme sahip ana mineraldir. Bu çalışma kapsamı içerisinde mika terimi muskoviti karakterize etmek amacı ile kullanılmıştır.

Ticari açıdan mika, "işlenmiş" ve "işlenmemiş" olmak üzere iki kısma ayrılmaktadır. Genelde "işlenmiş mika" terimi ince ve küçük mika pullarının yapay olarak birbirleri üzerine yapıştırılması ile oluşturulmuş mikalar için kullanılmakta ve aşağıda belirtilen gruplara ayrılmaktadır (Robbins, 1985).

Mikanit: Genelde organik bir yapıştırıcı ile bağlanmış, ince levhaların bir tabaka boyunca üst üste dizilmesi sonucu oluşmuş, yüksek sıcaklıklarda sıkıştırılmış ürünlerdir.

Mika Kağıdı: Parça mikanın basınçla levha haline preslenmesi işlemi olup, ayrıca bir yapıştırıcı da kullanılmaktadır.

Mikalı Cam: İnce tanelerin, düşük erime noktasına sahip bor veya boron silikat camı ile bağlanması işlemidir (Robbins, 1985).

"İşlenmemiş mika" basit sallama ve ayırma işlemleri haricinde başka bir işleme tutulmamış malzemeyi karakterize etmektedir (Turner, 1975).

"İşlenmemiş mika" minerali başlıca levha mika, hurda ve pul mika ve toz mika olmak üzere üç ayrı grupta değerlendirilmektedir.

Çizelge 2. Muskovitin fiziksel, kimyasal, ısı ve mekanik özellikleri (Utine ve Kaynarca, 1974; Rajgerhia, 1987; Rajgerli, 1990; Erkan, 1978)

Işık kırma indisi	Demir içeren	Demir içermeyen
n_x	1.5221.570	
n_y	1.5281.619	
n_z	1.5881.624	
$n_z - n_y = 0.036 - 0.054$		
Kimyasal Bileşim	$KAl_2((OH)_2AlSi_3O_{10})$	
Kristal şekli	Monoklinik	
Optik işareti	(-)	
2Vx	35 - 40	
Özgül Ağırlık	2.6 - 2.9 (Ortalama 2.83) gr/cm ³	
Özgül Isı	0.206 - 0.209 (25 °C)	
Mohs Sertliği	2.8 - 3.2	
Shore Sertliği	80 - 0.104	
Hacimsal Direnç	2x10 ¹³ - 1x10 ¹⁷ Ohms / cm ³	
Dielektrik Dayanımı	1200 - 2400 volt / 0.025 mm (Havada) (0.010 - 0.030 mm kalınlığında)	
Dielektrik Sabiti	6.5 - 8.7	
Lekeli ve Daha İyi Kaliteler için Güç Faktörü (1/Q)	0.0001 - 0.0004	
En Büyük Isıl Genleşme Katsayısı (°C Başına)	0.000036	
Yapı Suyu	% 4.5	
Yapı Suyunu Giderilme Sıcaklığı (°C)	500 - 0.2460	
Elastik Modülü (0.025 mm kalınlık)	Yaklaşık 1.75x10 ⁶ kg / cm ²	
Ayrılma Sıcaklığı	400 - 500 °C	
pH Değeri	9.0	
Damıtık Suda pH Değeri	8.2	
Yağ Absorblama Değeri	% 42 - 0.246.75	
Suda Çözünme Oranı	% 0.8	
Parlaklık	66 - 75	
Asitlerde Çözünürlüğü	Önemsiz	
Yumuşama Noktası	2800 °F (1540 °C)	
Esneklik	Az	
En Yüksek Kullanım Sıcaklığı	600 °C	

2.3. Levha Mika

Doğal olarak bulunan, oldukça düzgün, kalın ve geniş alanlı parçalara verilen isimdir. Levha mika doğal olarak oluşan mika bloklarından üretilmektedir (Robbins, 1985). Levha mikanın en büyük kullanım alanını elektrik ve elektronik endüstrisi oluşturmaktadır (Smith ve diğ., 1982). Ayrıca levha mika, kalınlığa bağlı olarak blok, filim (zar) ve yaprak olmak üzere üç kısma ayrılır.

Tane boyuna bağlı olarak yapılan sınıflandırmanın yanı sıra renk, görsel kalite ve son kullanımına bağlı olarak da ayırım yapılmaktadır. Levha mikanın kullanılan en tipik boyutu 154.8 cm² (1.24 inch²) derecesidir (Robbins, 1985). Amerika Standart Enstitüsü (A.S.T.M.) levha mikayı on iki ayrı kaliteye ayırmıştır. Bu sınıflandırmalar mevcut kapanım ve yapısal etkileşimlere bağlı olarak saptanmıştır. A.S.T.M. ayrıca üretim esnasında her levha mikadan elde edilen kullanıma uygun dörtgenlerin hacmine bağlı olarak da bir sınıflandırma geliştirmiştir (Jordan ve diğ., 1980). Levha mika kalınlığa bağlı olarak BS 3564 - 1962'ye bağlı olarak blok, filim (zar) ve yaprak olarak üç kısma ayrılmıştır. Bu tanımlama Hindistan Standart Enstitüsü ve A.S.T.M. sınıflandırmaları ile paraleldir (Robbins, 1985). Ayrıca bu sınıflandırma T.S.E 570'e uygundur.

Bu tanımlamaya göre;

Blok Mika: Ağırlıkça en az % 95'i 0.20 mm (0.008 inch) üzerinde, geri kalanı ise 0.18 mm (0.07 inch) kalınlıkta olan mika,

Filim (Zar) Mika: Herhangi bir kalınlıkta olan, levhalara ayrılmış bıçakla düzeltilmiş mika,

Yaprak Mika : Kalınlığı 0.05 mm (0.002 inch) ve 0.18 mm (0.007 inch) arasında değişen bıçakla düzeltilmiş mika,

Bölünmüş Mika: Bu tanımlama 0.025 mm (0.001 inch) altında ve 0.3 mm (0.012 inch) üstünde olmayan mika'yı karakterize etmektedir (Robbins, 1985).

Levha mika şartnameleri; yapısal bozukluklara, tabakalar arasında bulunan yabancı maddelere (lekeler), kaliteye ve doğada elde edilen mika levhalarının düzensiz biçiminden üretilebilecek en

büyük dikkörtgenin alanına dayandırılarak hazırlanmışlardır.

2.4. Hurda ve Pul Mika

Hurda ve pul mika terimi genellikle levha mika olarak kullanılmaya uygun olmayan boyut ve kalitedeki mika'yı kapsamaktadır (Ferro ve Stevard, 1987). Geçmişte pul ve hurda mika terimleri eş anlamlı olarak kullanılmaktaydı. Fakat günümüzde yanlış yorumlamalardan kaçınmak için bu iki terim arasında bir ayırım yapılmıştır (Robbins, 1985; Benbow, 1988).

Hurda mika terimi, pegmatit madenciligi sonunda elde edilen ürünü içermektedir. Ayrıca levha mika madenciligi sonucu ortaya çıkan atık malzemeyi de kapsamaktadır (Benbow, 1988).

Pul mika terimi ise, levha mika haricinde diğer alanlarda kullanıma yönelik olan ve ince taneli çeşitli kayalardan zenginleştirme sonucu elde edilen mika'yı karakterize etmektedir (Robbins, 1985). Pul mika, bazen hurda mika olarak da değerlendirilmesine rağmen, sist, pegmatitlerden ve kaolin zenginleştirilmesi ile elde edilen ürünü de karakterize etmektedir (Benbow, 1988).

Geçmişte aynı anlamda kullanılan hurda ve pul mika terimleri arasındaki farklılığın, U.S.B.M. (1990)'nın terminolojisi ile belirlenmesi gerekmektedir.

Hurda ve pul mika tanımlamaları genellikle farklı alanlarda ve kullanıma bağlı olarak toz mika anlamında da kullanılmaktadır (Smith ve diğ., 1982).

2.5. Toz Mika

Mikanın ticari öneme sahip diğer bir grubunu toz mika oluşturmaktadır, pul veya hurda mikanın toz haline getirilmesi ile üretilmektedir (Robbins, 1985; Turner, 1975; Smith ve diğ., 1982). Ticari sınıflandırmalarda çoğunlukla hurda mika'yı da kapsamaktadır (Turner, 1975). Toz mika, levha mikanın kullanımı ile ilgili olmayan, farklı endüstri kollarında yoğunlukla kullanılmaktadır (Robbins, 1985). Doğada çok az mineralin bu şekilde birbirinden çok farklı endüstri kollarında geniş kullanım imkanları bulunmaktadır.

Toz mika'yı endüstri alanında bu kadar önemli kılan özelliklerin neler olduğunun iyi incelenmesi gerekmektedir. Muskovit diğer endüstriyel hammaddelerde mevcut olmayan, aşağıda belirtilen fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklere sahiptir.

- Üstün mekanik, ısı ve elektriksel özelliklere sahip, yüksek gerilme ve bükülme dayanımı gösteren, şeffaf, elastik, esnek, sert ve nispeten ucuz doğal bir mineral olması,

- Kimyasal olarak kararlı olup, ışık, elektrik, su, yağ, çözücüler, asitler (hidroflorik ve konsantre sülfürik asit haricinde), alkaliler ve kimyasal maddelere karşı dayanıklı olması,

- Mükemmel derecede dielektrik dayanımı ve ısı kararlılığına sahip oluşu,

- Nem'e, yanmaya, erimeye karşı dayanıklı olması, sıcaklık artışı ve azalmasına bağlı olarak ortaya çıkan değişiklikleri göstermemesi,

- Işığı yansıtan ve geçiren muskovit tanelerinin dekoratif ve süsleyici bir özellik vermesi,

- Yapışma ve sürtünmeye karşı önemli özelliklere sahip olan muskovit tanelerinin yüzeylerin korunmasına yardımcı olması,

- Boyalarda katkı maddesi olarak kullanıldığında düşük özgül ağırlığı ve yapraklı yapısı nedeni ile çökmemesi, ve boyada homojen bir dağılım göstermesi, ayrıca sudan etkilenmemesi, yapıştırıcı ve boyalar ile kolay karışması,

- Son ürünün sertleşmesine, pekişmesine ve kuvvetlenmesine yardımcı olması, mikro ölçekte kırılmayı ve bozunmayı önlemesi, iletkenliği azaltması ve ısı yalıtımı geliştirmesi,

- Ultraviyole ışığı geçirme özelliğine sahip olması, güneş ışığının nemin, ısı ve atmosferik gazların zararlı etkilerini azaltması, yaşam kalitesini ve yapıların dekoratif özelliklerini geliştirmesi, gibi özellikler belirtilebilir (Rajgerhia, 1987; Rajgerli, 1990).

Hurda ve atık mika gerek ham cevherin çıkarımı esnasında gerekse levha mikanın üretimi sırasında veya zenginleştirme sonucu yan ürün olarak da elde edilmektedir. Bu gruptaki mika bazı durumlarda bir ocağın toplam üretiminin %90'nını

oluşturabilmektedir (Rajgerhia, 1987). Bu yan ürünlerin ticari olarak değerlendirilmesi amacı ile endüstriyel çapta atık ve hurda mika olarak değerlendirilen ürünlerin kazanılması için çeşitli çalışmalar yapılmış, sonuç olarak bu grup, toz mika pazarının gelişmesi ile değerlendirilmiştir.

Toz mika üç ayrı metot ile üretilmektedir (Robbins, 1985; Turner, 1975). Bu işlemler kullanım alanına bağlı olarak başlıca kuru, mikronize ve yaş öğütmeyi kapsamaktadır. Bu üç ayrı işlem sonucu elde edilen ürünler, fiziksel özellikleri ile özellikle görünüm açısından da birbirlerinden büyük farklılıklar göstermektedir. Mikanın toz haline getirilmesi işlemini takiben elde edilen ürün tane boyuna bağlı olarak da çeşitli gruplara ayrılmaktadır (Rajgerhia, 1987) Yukarıda belirtildiği gibi, pul ve levha mikanın işlenmesi ve zenginleştirilmesi esnasında ortaya çıkan hurda ve atık mikanın değerlendirilmesi için ayrıca bir işlemden geçirilmesi gerekmektedir. Bu işlem cevher hazırlama tekniği bakımından mikanın öğütülerek, dilinim yüzeyleri boyunca daha ince levhalara ayrılmasını kapsamaktadır.

Mikanın en ince pullarının bile sağlam ve elastik olması ve kırma işlemi esnasında bu özelliklerin etkin olması nedeni ile tane boyunda önemli bir değişikliğin elde edilmesinde bazı sorunlar mevcuttur (Utine ve Kaynarca, 1974; Smith ve diğ., 1982) ve dolayısıyla mikanın işlenmesi esnasında, ayrıca endüstriyel açıdan da kullanım alanına bağlı olarak farklı öğütme yöntemlerinin uygulanması gerekmektedir.

3. ÇALIŞMA ALANIN GENEL JEOLJİSİ

Muskovitin endüstriyel açıdan değerlendirilmesini araştırmak amacı ile Başçatak (Yozgat-Akdağmadeni) bölgesi çalışma alanı seçilmiştir (Şekil 1). Akdağ masifi olarak adlandırılan bölgede çeşitli araştırmacılar tarafından jeolojik ve özellikle metalik madenler açısından çalışmalar yapılmıştır.

Başçatak (Akdağmadeni) bölgesinde yüzeylenen muskovit-şistlerin endüstriyel olarak değerlendirilmesi yönünde günümüze kadar herhangi bir çalışma yapılmamıştır.

Bölgede günümüze kadar jeolojik amaçlı bir çok çalışma yürütülmüştür (Erkan, 1980; Tülümen,

1980; Dökmeci, 1980; Şahin,1991). Bölgede yer alan metamorfiteğin mineralojik bileşimlerini dikkate alarak meta-sedimanter ve meta-karbonat kökenli oldukları, metamorfiteğin kalsilikatik gnays, mermer, kuvarsit, amfibolit ve gnaysik kayalardan oluşmaktadır. İnceleme alanındaki muskovit-şistlerin zengin olduğu zonlardan biri, Başçatak köyü ve civarında yüzeylenmektedir. Bölgede yüzeylenen muskovit-şistler dar bir alanda yüzeylenmektedir. Başçatak bölgesinde yüzeylenen kuvars - muskovit - şist ve muskovit - şist olarak tanımlanan kayalar, Başçatak köyünün kuzeydoğusunda, Kurualan T. ile Gündelenözü D. arasında kalan alanda yüzeylenmektedir ve kuzeydoğu-güneybatı doğrultulu siniformal yapının çekirdeğini oluşturan kayaların, nispeten ince merceksi mermer seviyeleri ile ardalanmalı olarak bulunduğunu saptamıştır.

Genel olarak muskovit - şist olarak adlandırılan meta-pelitlerde, farklı metamorfik fasiyeslerin karakterize edildiği, siniformal yapının dış zonundaki kayaların, mineralojik-petrografik incelenmesi sonucu muskovitce daha zengin olduğu, yapının merkezinde bulunan kayaların biyotitce zenginleştiği ve mika-şist'e geçiş gösterdiği belirlenmiştir. Mineralojik olarak kayalar, kuvars-muskovit-şist ve muskovit-şist olarak tanımlanmıştır. Muskovit şistlerin el örneğinde açık gri renk ve ipeksi parlaklıkta ve yapraklı-pulsu taneler halinde gözlenmektedir. Genel kayaç dokusu lepidogranoblastikdir. Dokunun ana bileşenlerini, ince-uzun kuvars ve muskovit demetleri oluşturmaktadır. Yoğun muskovit dizilimi ile gelişen yönelme ise kayaçtaki yapraklanmayı oluşturmaktadır (Şekil 2).

Muskovitlerin kayaçta % 50'den fazla oranda bulunduğu ve progressif deformasyona bağlı olarak mikrokıvrım yapısı kazandığı izlenmiştir.

Mineralojik bileşimleri şu şekildedir;

Kuvars, muskovit, biyotit, $\pm$ plajiyoklaz, $\pm$ mikroklin, $\pm$ ortoklaz, $\pm$ kalsit, $\pm$ apatit, $\pm$ zirkon, $\pm$ opak mineral.

Kayaçlarda kuvars genelde ince taneli, dalgalı yapıp sönme gösteren kristaller halindedir. Diğer ana bileşen muskovit ise orta-ince taneli ve belirgin bir yönelme göstermektedir (Şekil 2).

Kayaçlarda az oranda bulunan mikroklin kafes ikizlenmesi ile tipiktir. Plajiyoklaz genelde polisentetik ikizlenme göstermemektedir. Biotit ise çok az oranlarda, genelde yeşil renk tonunda ve metamorfizma mertebesinin artmasına bağlı olarak kahve ve kızılkahve renk tonlarındadır.

3.1. Numune Alma ve Hazırlama

Başçatak (Akdağmadeni) bölgesinde sekiz ayrı zonda yüzeylenen, muskovit- kuvars-şist yataklarından harmanlama sonucu temsili olarak toplam 100 kg civarında numune ile deneylere başlanmıştır. Bu numuneler çok iri parçalar olduğundan, öncelikle -2 cm'lik elek açıklığına sahip çeneli ve -5 mm çekili kırıcıdan geçirilmiş, konileme-dörtleme yöntemi ile iki eşit kısma bölünmüştür ve konsantre mika elde etmek için zenginleştirme çalışmalarına geçilmiştir.



Şekil 2. Başçatak (Akdağmadeni) yöresinde yüzeylenen kuvars-muskovit şist örneklerinde izlenen muskovit dizilimleri (Çift Nikol, Q- kuvars, Msk= muskovit)

3.2. Kuru ve Yaş Öğütme

Çalışma alanında yüzeylenen muskovit-kuvars-şist yataklarından alınan örneklerin, serbestleşme tane boyutunun altında kırılması işlemi iki ayrı aşamada yapılmış, son ürün elek analizine tabi tutulmuştur.

Elek analizi sonucu elde edilen fraksiyonlar binoküler mikroskopta incelenmiş, +0.295 mm tane boyutu aralığına sahip fraksiyonlarda muskovitin bağlı taneler halinde olduğu, -0.295 +0.246 mm, -0.246 +0.147 mm, -0.147 +0.104 mm ve

-0.104+0.063 mm tane boyut aralığına sahip fraksiyonlarda ise serbest halde bulundukları belirlenmiştir. +0.295 mm tane boyutuna sahip fraksiyonlar, Denver marka 36x18 cm boyutlarında laboratuvar tipi çubuklu değirmende 5 dakika süreyle yaş öğütme işlemine tabi tutulmuştur. Yaş öğütülmüş malzemenin, 5 dakika öğütülmesi sonucu +0.295, -0.295 +0.246, -0.246 +0.147, -0.147 +0.104 mm tane boyut aralığında serbest bulundukları saptanmıştır.

M.T.A. Genel Müdürlüğü Maden Analizleri ve Teknolojisi Cevher Zenginleştirme Birimi Laboratuvarında, -0.295 +0.246, -0.246 +0.147 ve -0.147 +0.104 mm tane boyut aralığında yaş ve kuru öğütülmüş örnekler üzerinde köpüklü flotasyon deneyleri yapılmış ve ön zenginleştirme çalışmaları ile mika konsantresi kazanılmıştır. Örneklerde mevcut biyotitin ayrılması amacı ile Franz isodinamik manyetik seperatörde son zenginleştirme çalışması yürütülmüştür. Bu çalışmalar sonucunda yaş ve kuru öğütülmüş -0.296 +0.246, -0.246 +0.147, -0.147 +0.104 mm tane boyut aralığında ısısal analiz çalışması için muskovit konsantresi elde edilmiştir.

4. MUSKOVİTİN ISISAL ANALİZ YÖNTEMLERİ İLE TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Isısal analiz teknikleri, sıcaklığın fonksiyonu olarak maddenin özelliklerindeki değişimleri tayin eder. Isısal analiz teknikleri ölçülen parametrelere göre değişmektedir. Bu çalışmada Termogravimetri (TG) ve Türevsel Termogravimetri (Differential Thermal Analyses - DTA) analizatörden yararlanılmıştır.

Termogravimetri, maddedeki ağırlık kaybının;

- Sıcaklığın bir fonksiyonu olarak,

- Sabit sıcaklıkta zamanın bir fonksiyonu olarak (isotermal veya statik termogravimetri) tayin edildiği dinamik bir yöntemdir. Bu yöntemde, ağırlık kaybının sıcaklığa karşı çizildiği deneysel eğriye termogram denir (Yiğit, 1991).

Türevsel Termogravimetri (DTA) ise, ısısal bozunma sırasında kütle kaybının türevi (dw/dt) zamanın veya sıcaklığın bir fonksiyonu olarak

kaydedildiği yöntemdir. Termogravimetri analizinin en temel uygulamalarından biri malzemenin ısısal kararlılığının saptanmasıdır. Bir maddenin ısısal kararlılığı, belirli bir ısıtma hızında örneğin özelliklerini hemen hemen hiç değiştirmeden koruyabilme yeteneği olarak tanımlanır ve maddenin zorlandığı çevre koşullarına bağlı göreceli bir kavramdır (Yiğit, 1991).

Bu çalışmada termogravimetrik ve türevsel termogravimetrik ölçümler, Rigaku Thermoflex TG8110 marka termal analizatör ile saptanmıştır. Ölçümlerde 20 °C ile 1100 °C sıcaklık aralığında 20 °C/dakika ısıtma hızında çalışılmıştır. Örneklerde ısısal bozunma sırasında gelişen endotermik ve ekzotermik reaksiyonlar bilgisayar ortamında kaydedilmiş ve elde edilen grafikler yorumlanmıştır.

Literatürde kuru ve yaş öğütülmüş muskovit üzerinde termogravimetri ile ilgili muhtelif analiz sonuçları bulunmaktadır. Bu çalışmalarda farklı fraksiyonlar üzerinde 200 ila 1200 °C arasında ve 10 °C/dakika ısıtma hızında deneyler yapılmıştır.

Sonuçta ağırlık kaybının uygulanan öğütme zamanına bağlı olarak arttığı (Bishui ve diğ., 1961; Parkert ve diğ., 1950; Mackenzie ve Milne, 1953), ince taneli fraksiyonların, iri taneli fraksiyonlara kıyasla genelde daha yüksek bir ateşte kayıp oranına sahip oldukları, ağırlık kaybındaki değişikliğin kimyasal bileşimde mevcut olan alkaliilerin ve OH grubunun ayrılmasından ileri geldiği şeklinde açıklanmıştır. Klein ve diğ. (1982), 1300 °C de ısıtılmış örnekler üzerinde yaptıkları incelemede, X-RF analizleri ile K₂O miktarında % 1.3 oranında, toplam potasyum içeriğinde ise % 10 oranında bir azalma olduğunu saptamıştır.

Termogravimetri analiz verilerine göre, ürünlerde iki ayrı endotermik reaksiyon geliştiği; bunlardan birincisinin 850 °C'de kristal suyunun ayrılması nedeni ile belirgin bir ağırlık kaybına bağlı olarak ortaya çıktığı ve bu durumun muskovitte gelişen dehidratasyon sürecini belirttiği, diğer endotermik reaksiyonun ise 1150 °C de geliştiği ve daha sonraki sıcaklıklarda ise herhangi bir ağırlık kaybının görülmediği saptanmıştır (Klein ve diğ., 1982). Bu iki olay, muskovitin kristal yapısında meydana gelen değişiklikler ilişkilidir.

Bazı yazarlar (Yolder ve Eugster, 1955; Velde, 1966) ise, muskovitin 600 °C civarında bozulmaya başladığını ifade etmekte, ancak atmosferik basınç altında ve sıcaklığın bir fonksiyonu olarak muskovitte gelişen dehidratasyonun ve bozunma sıcaklığının belirlenmesi konusunda farklı bazı görüşlerin bulunduğu da bilinmektedir. Smykatz-Kloss (1974), muskovitin 887 °C civarında endotermik reaksiyon gösterdiğini belirtmiş ve çalışmasında zamanın etkisini dikkate almamıştır.

Bu inceleme kapsamında farklı tane boyutları üzerinde 20 ila 1100 °C arasında ve 20 °C/dakika ısıtma hızında deneyler yapılmıştır. Sonuçta, ağırlık kaybının uygulanan öğütme şekline göre değiştiği, meydana gelen ağırlık kaybındaki değişikliğin, muskovitin kimyasal bileşimde mevcut olan alkaliilerin ve OH grubunun ayrılmasından ileri geldiği belirlenmiştir.

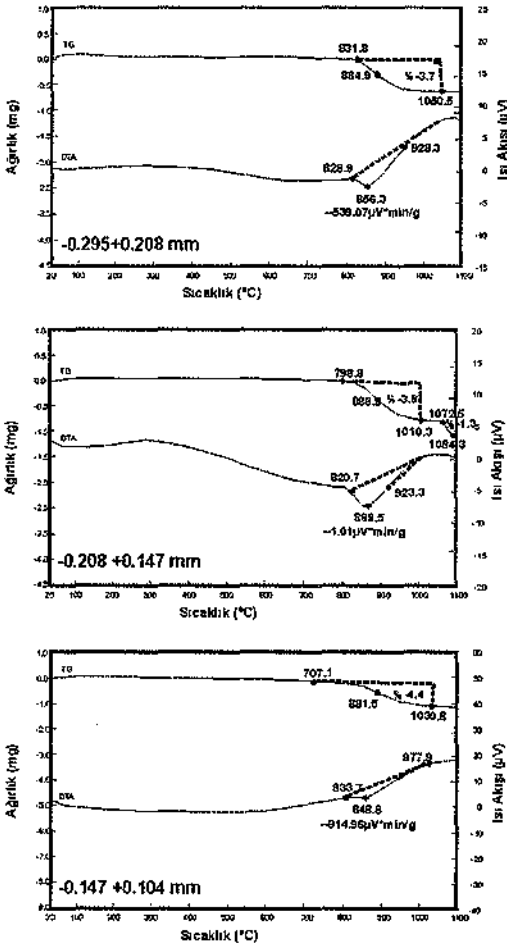
4.1. Konsantre Muskovitin Üzerinde Yapılan Isısal Analiz Deneyleri

Yaş ve kuru öğütülmüş -0.295 +0.208, -0.208 +0.147, -0.147 +0.104 mm tane boyut aralığında sınıflandırılmış konsantre muskovitin ayrı ayrı termogramları elde edilmiş, tane boyutlarındaki örneklerin farklı ısısal kararlılık noktalarına sahip oldukları belirlenmiştir.

4.1.1. Kuru Öğütülmüş Konsantre Muskovitin Termogramlarının Değerlendirilmesi

-0.295 +0.208, -0.208 +0.147, -0.147 +0.104 mm tane boyut aralığına sahip kuru öğütülmüş muskovit konsantresi incelendiğinde; termogravimetrik ve türevsel termogravimetrik sonuçlara göre iri tane boyuna sahip fraksiyonlarda (-0.295 +0.208 mm) 831.8 °C de ağırlık kaybının başladığı ve bu kaybın 1050.5 °C kadar devam ettiği ve bu sıcaklık aralığındaki ağırlık kaybının %3.7 olduğu ve bu aralıkta gelişen endotermik reaksiyonun 856.3 °C de, -539.07µV* min/g (Şekil 3) olduğu saptanmıştır. İnce tane boyuna sahip fraksiyonlarda (-0.208 +0.147 mm) 798.8 °C de başlayan ağırlık kaybının 1010.3°C e kadar devam ettiği ve bu sıcaklık aralığında meydana gelen ağırlık kaybının %3.9 olduğu ve 869.5 °C de gelişen endotermik reaksiyonun -1.01µV* min/g (Şekil 3) olduğu izlenmiştir. -0.208 +0.147 mm tane boyutunda ikincil olarak gelişen ağırlık kaybı 1072.5 °C ila 1084.3 °C de geliştiği ve bu aralıktaki ağırlık

kaybının %1.3 olduğu dolayısıyla toplam ağırlık kaybının %5.2 olduğu gözlenmiştir. Çok ince tane boyuna sahip fraksiyonlarda (-0.147 +0.104 mm) ise ağırlık kaybının 707.1 °C'de başladığı ve 1030.8 °C'e kadar devam ettiği ve bu sıcaklık aralığındaki toplam ağırlık kaybının % 4.4 olduğu izlenmiştir (Şekil 3). Ayrıca 848.8 °C'de gelişen endotermik reaksiyonun -914.96 $\mu\text{V}^{\circ}\text{C}^{-1}$ min/g (Şekil 3) olduğu belirlenmiştir.



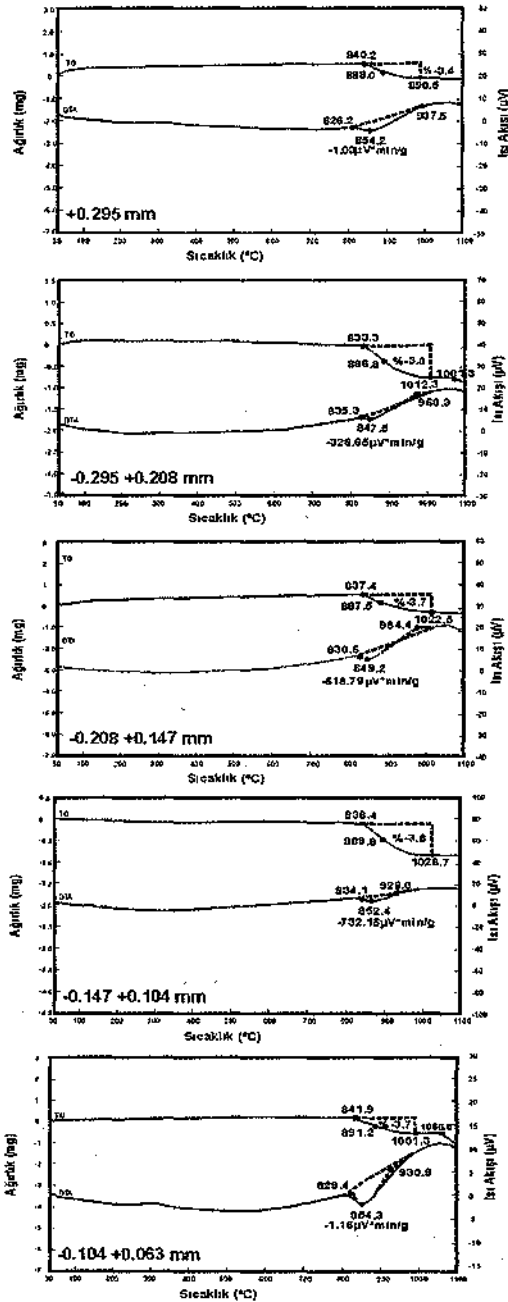
Şekil 3. Kuru öğütülmüş konsantre muskovit'in - 0.295 +0.208 mm, -0.208 +0.147 mm ve -0.147 +0.104 mm tane boyutlarından elde edilen TG ve DTA termogramlarının korelasyonu.

Kuru öğütülmüş örneklerde, tane boyut aralığının, muskovitin ısısal kararlılık noktasını etkilediği ve ısısal kararlılık noktasının tane boyut aralığı

küçüldükçe azaldığı saptanmıştır. Kuru öğütülmüş muskovit konsantresinin en iri tane boyutu ile en ince tane boyut aralığında 831.8 °C ila 707.1 °C arasında değişmesi tane boyutunun önemini göstermektedir. Ayrıca tüm tane boyut aralığında gelişen endotermik reaksiyonun 848.8 °C ila 869.5 °C'de geliştiği izlenmiştir.

4.1.2. Yaş Öğütülmüş Konsantre Muskovitin Termogramlarının Değerlendirilmesi

+0.295, -0.295 +0.208, -0.208 +0.147, -0.147 +0.104 ve -0.104 +0.063 mm tane boyut aralığına sahip yaş öğütülmüş muskovit konsantresindeki termogravimetrik ve türevsel termogravimetrik analizleri yürütülmüştür. İri tane boyuna sahip fraksiyonlarda (+0.295 mm) 840.2 °C'de ağırlık kaybının başladığı ve bu kaybın 890.5 °C'e kadar devam ettiği ve bu sıcaklık aralığındaki ağırlık kaybının %3.4 olduğu ve bu aralıkta gelişen endotermik reaksiyonun 854.2 °C'de, -1.03 $\mu\text{V}^{\circ}\text{C}^{-1}$ min/g (Şekil 4) olduğu saptanmıştır. İnce tane boyuna sahip fraksiyonlarda (-0.295 +0.208 mm) 833.3 °C'de başlayan ağırlık kaybının 1012.3 °C'e kadar devam ettiği ve bu sıcaklık aralığında meydana gelen ağırlık kaybının %3.8 olduğu, ayrıca örnekte gelişen ikincil ısısal kaybın 1081.3 °C'de geliştiği izlenmiştir. 847.5 °C'de gelişen endotermik reaksiyonun -326.65 $\mu\text{V}^{\circ}\text{C}^{-1}$ min/g (Şekil 4) olduğu izlenmiştir. -0.208 +0.147 mm aralığına sahip örneklerde ise ağırlık kaybının 837.4 °C'de başladığı ve 1022.5 °C'e kadar devam ettiği ve bu sıcaklık aralığındaki toplam ağırlık kaybının % 3.7 olduğu ve 849.2 °C'de gelişen endotermik reaksiyonun -618.79 $\mu\text{V}^{\circ}\text{C}^{-1}$ min/g olduğu belirlenmiştir (Şekil 4). -0.147 +0.104 mm tane boyut aralığında ağırlık kaybı 838.4 °C'de başladığı ve 1028.7 °C'e kadar devam ettiği ve %3.8 oranında bir ağırlık kaybı geliştiği saptanmıştır. 852.4 °C'de gelişen endotermik reaksiyon, -732.15 $\mu\text{V}^{\circ}\text{C}^{-1}$ min/g olarak gelişmiştir (Şekil 4). -0.104+0.063 mm arasında değişen tane boyu aralığında ise ağırlık kaybının 841.9 °C'de başladığı ve 1001.3 °C'e kadar devam ettiği ve bu sıcaklık aralığında toplam %3.7 ağırlık kaybının geliştiği, ikincil ağırlık kaybının ise 1066.8 °C'de gözlemlendiği belirlenmiştir. 854.3 °C'de gelişen endotermik reaksiyon ise -1.16 $\mu\text{V}^{\circ}\text{C}^{-1}$ min/g olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Yaş öğütülmüş konsantre muskovit'in +0.295 mm, -0.295 +0.208 mm, -0.208 +0.147 mm, -0.147 +0.104 mm ve -0.104 +0.063 mm tane boyutlarından elde edilen TG ve DTA termogramlarının korelasyonu.

Kuru öğütülmüş örnekler nazaran yaş öğütülmüş örneklerde, muskovitin tane boyunun ısısal kararlılık noktasını fazla etkilemediği, 833.3 ile 841.9 °C arasında değiştiğini göstermektedir. Ayrıca tüm tane boyutunda endotermik reaksiyonun 854.3 °C ile 847.5 °C'de geliştiği izlenmiştir.

Yaş öğütülmüş muskovit konsantresi tane boyut aralıkları değişse dahi, kuru öğütülmüş muskovit'e nazaran daha sabit ısısal kararlılık göstermektedir.

Yaş ve kuru öğütülmüş aynı tane boyut aralığına sahip fraksiyonların göstermiş oldukları ısısal kararlılık durumları karşılaştırmalı olarak ayrıca incelenmiştir.

Yaş ve kuru öğütülmüş -0.295 +0.208 mm tane boyut aralığına sahip fraksiyonların ısısal kararlılık noktaları karşılaştırıldığında, kuru öğütme sonucu elde edilen örnekler ile yaş öğütme sonucu elde edilen ısısal kararlılık eğrilerinin 831.8 °C ile 833.3 °C arasında geliştiği ve benzer ağırlık kayıplarının geliştiği izlenmiştir.

Yaş ve kuru öğütülmüş -0.208 +0.147 mm tane boyut aralığına sahip fraksiyonların ısısal kararlılık noktaları karşılaştırıldığında, kuru öğütme sonucu elde edilen örnekler ile yaş öğütme sonucu elde edilen ısısal kararlılık eğrilerinin 798.8 °C ile 837.4 °C arasında geliştiği, yaş öğütülmüş örneklerin yaklaşık 40 °C kadar daha yüksek dayanıma sahip oldukları ve benzer ağırlık kayıplarının geliştiği izlenmiştir.

Yaş ve kuru öğütülmüş -0.147 +0.104 mm tane boyut aralığına sahip fraksiyonların ısısal kararlılık noktaları karşılaştırıldığında, kuru öğütme sonucu elde edilen örnekler ile yaş öğütme sonucu elde edilen ısısal kararlılık eğrilerinin 707.1 ile 838.4 °C arasında geliştiği, yaş öğütülmüş örneklerin 131.3 °C daha dayanıklı oldukları ve kuru öğütülmüş örnekler nazaran gelişen ağırlık kayıplarının %0.6 daha az olduğu izlenmiştir.

Termogravimetri ölçümleri sırasında 20 ila 1100 °C arasında termogramları alınan örneklerin deney sonunda daha parlak bir görünüm aldıkları, fakat yapraklı görünümünü korudukları gözlenmiştir.

Sonuç olarak, örneklerin yaş ve kuru olarak öğütülmesinin muskovitin ısısal kararlılığını etkilediği belirlenmiştir. Yaş öğütme sonucu elde edilen örneklerin, kuru öğütme sonucu elde edilen tane boyut aralığına sahip örnekler kıyasla daha

yüksek oranlarda ve daha kararlı davrandıkları saptanmıştır.

Yaş öğütülmüş örneklerde ısısal dayanım sıcaklığının, +0.295 mm, -0.295 +0.208 mm, -0.208 +0.147, -0.147+0.104 ve -0.104 +0.063 mm tane boyut aralığında belirgin bir kararlılık gösterdiği ancak kuru öğütülmüş örneklerdeki ısısal kararlılık noktasının -0.295 +0.208, -0.208+0.147 ve -0.147 +0.104 mm tane boyut aralığına göre belirgin bir azalma gösterdiği belirlenmiştir. Özellikle yaş ve kuru öğütülmüş örneklerde izlenen farklı ısısal kararlılık noktası, mikanın öğütülmesi esnasında uygulanan öğütme tekniklerine bağlı olarak meydana geldiğini göstermektedir. Kuru öğütme esnasında, kristal yapıda meydana gelen kırılmalar, kopmalar ve pürüzlü yüzeyler ince tane boyut aralığında, levhamsı yapının etkilenmesine neden olabilmektedir. Dolayısıyla tane boyu küçüldükçe, kristal yapıda meydana gelen bu etkileşimden dolayı, örneklerin ısısal kararlılık noktasında negatif belirgin bir etki yaratmaktadır.

Örnekler üzerinde termogravimetri yöntemi ile tane boyuna bağlı olarak değişen ısısal kararlılık noktalarının belirlenmesinde yeni veriler bulunmuştur.

20 °C ila 1100 °C arasında 20 °C/dakika ısıtma hızına maruz kalan örneklerin, kristal yapılarında bulunan (OH)⁻ kaybetmeleri nedeni ile daha parlak ve yapraklı görünümünü korudukları saptanmıştır. Tüm bu sonuçlar, yüksek sıcaklık koşullarında kullanılabilecek yaş ve kuru öğütülmüş muskovitin göstereceği özelliklerin bilinmesi ve muskovitin kullanım alanlarının belirlenmesinde yardımcı olmuştur.

5. ÜLKEMİZDE ENDÜSTRİYEL HAMMADDE OLARAK TOZ MUSKOVİTİN KULLANIMI

Muskovit, endüstriyel alanda önemi yeteri kadar anlaşılamamış ve etkin bir şekilde değerlendirilmemiş endüstriyel bir mineraldir. Son yıllarda asbest'e alternatif malzemeler arasında yer almasına rağmen, kanserojen etkisi kesinlikle kanıtlanmış ve kullanımına kısıtlamalar getirilen asbest ile ilgili standartların ülkemizde hala hazırlanır olması ve muskovitin kullanımını geliştirici çalışmaların yürütülmemesi ilginçtir. Kanserogen etkileri belirlenen asbest üretim ve

tüketimi ise devlet tarafından desteklenir bir görünüm içerisinde.

Ülkemizde son yıllarda, bazı binaların dış yüzeylerinde muskovit katkılı sıvaların kullanılması, yapılara dekoratif bir görünüm kazandırmaktadır ve toz muskovitin endüstriyel alanda kullanımının başlaması bakımından önemli bir gelişme olarak görülmektedir. Bu alanda pegmatitlerden elde edilen levha muskovitin öğütülmesi ve sıva içerisine irili, ufaklı muhtelif boyutlarda katılması, yapılara sadece dekoratif bir görünüm kazandırmaktadır. Bu tip yapılar dikkatle incelendiğinde, yapının dış yüzeylerinde atmosferik hareketlerin olumsuz bazı izlerinin (ufalanma, parçalanma ve kırılmalar) varlığı gözlenmektedir. Dolayısıyla yapı endüstrisinde dolgu maddesi olarak kullanılsa bile, muskovitin teknolojik özelliklerinden bilinçli olarak ve etkin bir şekilde yararlanmak gerekmektedir.

Kuru öğütülmüş 1.2-0.030 mm tane boyut aralığındaki toz muskovitin yalıtkan malzeme ve çatlak çimentosu katkı maddesi olarak kullanılması yönünde boya üreticilerine, iri tane boyutuna (+0.295 mm) sahip muskovitin sondaj çalışmalarında, yüzey kaplamalarında ve tuğla üretimi alanlarında kullanılması yönünde üreticilere tanıtımı yapılmalı, muskovitin dolgu maddesi olarak ülkemizde kullanımı sağlanmalıdır.

Yaş öğütülmüş muskovitin (<0.063 mm) boya ve plastik endüstrisinde, muskovit katkılı polimerlerin hazırlanmasında, ürünlerin özelliklerini geliştirdiği için kavuuk endüstrisinde dolgu maddesi olarak kullanımı, ayrıca günümüzde bu endüstri kollarında kullanılan muskovitin yurtiçi olanaklar ile sağlanması ilk aşamada düşünülmelidir.

Toz muskovitin asbest'e alternatif malzeme olarak kullanılabileceği son yıllarda yapılan çalışmalarla ortaya konulmuş, bu alanda yürütülen çalışmalar hala artan boyutta devam etmektedir. Dolayısıyla ülkemizde izolasyon sanayinde, kalsilikat ve portland çimentoları ile fren ve disk balata imalinde öncelikle asbest yerine toz muskovitin dolgu maddesi olarak kullanımı yönünde ülkemizde acil olarak çalışmaların yapılması gerekmektedir. Ancak, doğal olarak asbestin kullanıldığı tüm alanlarda muskovitin kullanılması mümkün değildir. Özellikle yüksek sıcaklık koşullarının gerekli olduğu alanlarda (1000 °C'nin üstünde),

asbest yerine muskovit kullanımı etkin bir sonuç vermemekte, çünkü toz muskovit 1200 - 1300 °C arasında yapısal olarak bozunmaya maruz kalmakta ve duraylılığını kaybetmektedir.

6. SONUÇLAR

Muskovit-Şistlerin jeolojik ve teknolojik özellikleri ile endüstriyel hammadde olarak ülkemizde kullanım imkanlarının belirlenmesi ile ilgili sonuçlar aşağıda verilmiştir.

1) Ülkemizde muskovit üretimi günümüze kadar pegmatitik oluşumlardan ve buna bağlı olarak tüketim ve kullanımı da son derece kısıtlı, verimsiz şartlar altında küçük ölekte yürütülmüştür. İşletme güçlükleri nedeni ile levha muskovit pazarı küçük çapta kalmış, levha muskovite kıyasla toz muskovit için farklı ve geniş kullanım alanları ortaya çıkmıştır. Orta Anadolu masifinde yüzeylenen muskovit - şist, mika - şist, mika - gnays gibi metamorfik kayaların, toz muskovit üretiminde potansiyel kaynak teşkil ettiği belirlenmiştir.

2) Başçatak (Yozgat - Akdağmadeni) bölgesinde yüzeylenen kayalar kuvars-muskovit şist ve muskovit şist olarak tanımlanmıştır.

3) Bu alanda alınan kuvars-muskovit şistlerin zenginleştirilmesi sonucu konsantresi muskovit elde edilmiştir. Yaş ve kuru öğütülmüş farklı tane boyut aralığında muskovit konsantresi elde edilmiştir.

4) Yaş ve kuru öğütülmüş konsantre muskovit örneklerinin teknolojik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla örnekler üzerinde ısısal analizler yapılmıştır. Yaş öğütülmüş örnekler, kuru öğütülmüş örneklerle kıyasla daha kararlı özellik gösterdiği, kuru öğütülmüş örneklerin ise tane boyut aralığına bağlı olarak farklı ısısal davranış özellikleri sergiledikleri belirlenmiştir. Kuru öğütülmüş örneklerde izlenen bu durumun, muskovitin kristal yapısında meydana gelen kırılmalar, kopmalar ve pürüzlü yüzeylerin tane boyut aralığının incelenmesine bağlı olarak, levhamısı yapının etkilenmesi nedeniyle gerçekleşebileceğini göstermiştir.

5) Muskovitin son yıllarda asbest'e alternatif malzeme olarak kabul edildiği, özellikle; izolasyon sanayinde, otomobil ve boya endüstrisinde, kalsilikat ve portland çimento üretiminde dolgu

maddesi olarak kullanılmaya uygun özellik taşıdığı ve konu üzerinde ülkemizde çalışmaların başlaması üzerinde durulmuştur.

6) 1000 °C'nin üstünde, yüksek sıcaklık koşullarının etkili olduğu kullanım alanlarında dolgu maddesi olarak toz muskovit kullanımının uygun olmadığı, muskovitin 1200-1300 °C'de yapısal olarak bozunmaya uğradığı ve refrakter özellik taşımadığı teyit edilmiştir.

7) Ülkemizde endüstriyel hammadde olarak kullanılması önerilen toz muskovitin yukarıda belirtilen alanlar haricinde çatlak sıvası, yalıtkan özellik taşıyan çimento üretiminde, sondaj katkı maddesi endüstrisinde, ürününü tane boyut aralıkları dikkate alınarak kullanılması önerilmiştir.

8) Toz muskovitin endüstriyel alanda yalnız dekoratif amaçlı kullanılmaması, değişik özelliklerinden geniş ölçüde yararlanılabileceği hususunda üretici ve tüketici kuruluşların bilgilendirilmesi üzerinde durulmuştur.

9) Bu çalışma içerisinde değerlendirilen muskovit minerali üzerinde imkanlar dahilinde sadece ön bir çalışma yapılmıştır. Elde edilen verilerin ve bu çalışmanın, ülkemizde yeni yapılacak çalışmalara temel teşkil edeceği düşünülmekte ve muskovitin endüstriyel alanda kullanımının zamanla yaygınlaşacağı, insan sağlığına zararlı etkileri olan asbest kullanımına alternatif alanlarda muskovitin kullanılabileceği önerilmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma yazarın yüksek lisans tezinin bir kısmını içermektedir. Yazar, çalışmayı maddi olarak destekleyen Milli Produktivite Merkezine, MTA Genel Müdürlüğüne, Prof. Dr. Tevfik UTİNE, Prof. Dr. Yavuz ERKAN'a, Prof. Dr. Hasan BAYHAN'a teşekkür eder.

KAYNAKLAR

- Benbow, J.,1995. *Mica-markets built on dry ground*, Industrial Minerals, 19-31.
- Bishui, B.M., Dar, R.N. ve Mandel, S.S.,1961. *Studies on Indian mica; effects on dry ground*

- on DTA, Control Glass and Ceram., Research Inst. Bul, Vol. 8(1), 15-22.
- Chapman, G., 1984. *Mica chapter in Industrial Minerals and Rocks*. Clevite Corp. Retired, U.S.A, 915 - 929.
- Dökmeci, İ., 1980. *Akdağmadeni yöresinin jeolojisi*, M.T.A. Rapor No: 160, 37.
- Erkan, Y., 1978. *Kayaç oluşturan önemli minerallerin mikroskopta incelenmeleri*, H.Ü. Yayınları, Ankara, 497.
- Erkan, Y., 1980. *Orta Anadolu Masifinin kuzeydoğusunda (Akdağmadeni - Yozgat) etkili olan bölgesel metamorfizmanın incelenmesi*, T.P.J. Bülteni, No.23, 213-218.
- Ferro, P.J. ve Stevard, H.W., 1987. *Mica-a summary of 1986 activity*, Mining Engineering, 495-496.
- Göncüoğlu M.C. ve Kozlu H. 2000. *Early Paleozoic Evolution of the NW Gondwanaland: Data from Southern Turkey and Surrounding Regions*, Gondwana Research, V.3, No.3, 315-324.
- Gürsu, S., 1992. *Başçatak (Akdağmadeni-Yozgat) muskovit şistlerinin teknolojik özellikleri ve kullanım imkanlarının araştırılması*, H.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 116,
- İnan, K. ve Tanyolu, E., 1982, *Mineraloji II*, İstanbul, 1-198.
- Jordan, E.C., Sullivan, V.G. ve Davis, E.B., 1980. *Pneumatic concentration of mica*, Bureau of Mines Report of Investigation RI 8457, Washington, 1-24.
- Klein, H.H., Stern, B.W. ve Weber, W., 1982. *On physical and chemical properties of ruby muscovite used as in the electric industry*, Schweiz. Mineralogical Petrography Mitt., Vol.62, 145-173.
- Lusis, I., 1980. *Reviews of the healthy effects of micas*, Industrial Minerals, London, 45 - 55.
- Mackenzie, R.C. ve Milne, A.A., 1953. *The effect of grinding on micas*, Mining Magazine, 178-185.
- Parkert, C.W., Parkins, A.T. ve Dragdorf, R.D., 1950. *Decomposition of minerals by grinding*, Trans. Kansas Acad. Sc., Vol.53 (3), 386-387.
- Rajgerhia, L.M., 1987. *Ground mica*, MMC Research and Development Wing., India, 1-30.
- Rajgerli, K.T., 1990. *Major uses of dry ground mica powder*, Export Linkers, India, 1-13.
- Robbins, J., 1985. *Sheet mica - and its changing face*, Industrial Minerals, 33-47.
- Smith, W.C., Jordan, E.C. ve Sullivan, V.C., 1982. *Crushing techniques of pneumatic concentration of mica*, Bureau of Mines Report of Investigation, RI 8601, 1-16.
- Smykatz-Kloss, W., 1974, *Differential thermal analysis*, Springer, Berlin, 14-15.
- Şahin, B., 1991. *Başçatak köyü (Akdağmadeni - Yozgat) doğusunun jeolojik ve petrografik özelliklerinin incelenmesi*, Yüksek mühendislik Tezi, H.Ü. Fen Bilimleri Enst., Ankara, 1-68.
- Turner, D.C., 1975. *Mica*, Mineral Research Consultative Comitte, London, 1-22.
- Tülümen, E., 1980. *Akdağmadeni (Yozgat) yöresinde petrografik ve metallojenik incelemeler*: Doktora tezi, K.T.Ü. Yer Bilimleri Fak., 1-157.
- Utine, T. ve Kaynarca, A., 1974. *Mika hazırlanması ve üretimi*, H.Ü. Yer Bilimleri Dergisi, Ankara, 2 (2), 294 - 312.
- Velde, B., 1966. *Upper stability of muscovite*, American Mineralogist, Vol.54, 924-929.
- Yiğit, F., 1991. *Alkoksivinilsilon - alkik meta krilat homo ve kopolimerlerin hazırlanması ve Kapodakya yöresi taşlarına uygulanması*, Doktora Tezi, H.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 31-70.
- Yolder, H.S. ve Eugster, H.P., 1955. *Syntetic and natural muscovite*, Geochim. Cosmochim. Acta., Vol.8, 225-280.

Donma-Çözülme Periyotlarının Tüfün (Isparta-Dereboğazı) Fiziko-Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi

R. Altındağ

SDÜ Müh. Mim. Fak. Maden Müh. Böl. Isparta

İ.S. Alyıldız

Sinan Mah. Cebesoy Cd. Teraş 40 Apt. 4/8, Antalya

ÖZET: Isparta'nın güney-doğusunda yer alan Dereboğazı bölgesinde yataklanan tüf (tras), Isparta ve çevresinde temel taşı, kaplama taşı gibi çeşitli amaçlarla çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Isparta, karasal bir iklim özelliği göstermekte olup Binal (1996)'ın Türkiye donma-çözülme haritasına göre, yıllık 10-15 kez donma-çözülme periyoduna sahiptir. Bu çalışmada, donma-çözülme periyotlarının tüfün fiziko-mekanik özellikleri üzerine etkileri laboratuvar ortamında incelenmiştir. Toplam 55 periyot çevrim yapılmış ve toplam çevrim sonunda tüfün fiziksel özelliklerinden en çok ağırlıkça su emme değerleri ve mekanik özelliklerden ise en çok nokta yük dayanım indeksi özelliklerinin etkilendiği gözlenmiştir.

ABSTRACT: The tuff which is bedded in Dereboğazı region in south-east Isparta, is extensively utilised in and around the city of Isparta for various purposes such as foundation stone, covering stone, etc. Isparta in general displays terrestrial climate conditions and is quoted between 10-15 freezing-thawing period (annual) according to Binal (1996)'s freezing-thawing map of Turkey. In this study, the effects of freezing-thawing periods have been investigated on the physico-mechanical properties of tuff in laboratory conditions. At the end of a total of 55 period cycles, the results indicated that water absorption-in-weight (a physical property) and Point-Load Strength Index values have been most affected.

1. GİRİŞ

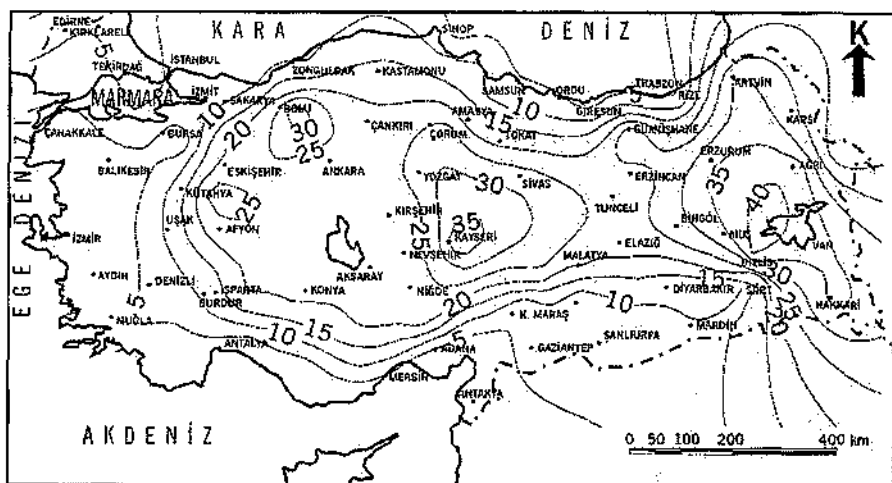
İnşaat sektöründe kullanılan yapı ve kaplama taşlarının, donma-çözülme periyotlarından etkilene derecelerinin daha önceden belirlenmesi ve bu olaylara dirençli malzemelerin seçimi sektörel kullanımda önemli bir yer tutmaktadır.

Çeşitli araştırmacılar tarafından donma-çözülme periyotlarından yapıtaşlarının, anıtların, sanat eserlerinin, tarihi eserlerin vb. yapıların nasıl etkilendiklerini incelemişlerdir. Broms ve Yao (1964) tarafından zeminlerin, donma-çözülme periyotlarından sonraki kesme dayanımları incelenmiştir. Simonsen ve Isacsson (1999) ise soğuk bölgelerde parke taşlarının çözülme zayıflığı üzerine çalışmışlardır. Binal vd. (1997; 1998) tarafından, Eskişehir - Yazılıkaya çevresinde yüzeylenen volkano-sedimanter kayaların donma-çözülme etkisi altındaki fiziksel ve mekanik özelliklerinin değişimi incelenmiştir. Binal ve

Kasapoğlu (2002) tarafından Aksaray - Ihlara vadisinde yüzeylenen Selime İğnimbirliği'nin üzerinde 30 donma-çözülme periyodu uygulanmış olup bu periyotların sonunda kayacın porozite, ağırlıkça su emme ve hacimce su emme gibi fiziksel özelliklerinde bir artış, tek eksenli basınç dayanımı ve makaslama dayanımı gibi mekanik özelliklerinde de bir azalma olduğu gözlenmiştir. Topal ve Sözmen (2002) tarafından donma-çözülme periyotlarının Midas tüflerinin mekanik bozulmaları üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bölgenin iklimsel özelliklerinden sıcaklık, yağış miktarı ve karla kaplı gün sayısı, aylar bazında verildikten sonra donma-çözülme periyotlarının kayacın başlangıç değerini nasıl etkilediği araştırılmıştır. Periyotlar sonunda P-dalgı hızının ve tek eksenli basınç dayanımının azaldığı, porozitenin ise arttığı ifade edilmiştir. Altındağ vd (2003) Isparta andezitinin fiziko-mekanik özelliklerin 50 periyotluk bir donma-çözülme programı sonunda azaldığını gözlemlemişler ve

Mutlütürk vd (2004) tarafından önerilen model çerçevesinde Isparta andezitinin mekanik özelliklerinin yarılama ömürlerini belirlemişlerdir. Isparta tufunun 55 periyotluk donma çözülme deneyi sonucunda, Mutlütürk vd (2004) tarafından önerilen dikey fonksiyon metodu (Decay Function Method) kullanılarak Isparta-Dereboğazı tufunun mekanik özelliklerinin donma-çözölmeye bağı yarılama ömürleri belirlenmiştir (Altındağ vd., 2004).

Bu çalışmada da, Isparta ve çevresinde yapı sektöründe çok yaygın olarak çeşitli amaçlarla kullanılan tütün, donma-çözülme periyotlarından nasıl etkilendiği incelenmiştir. Isparta Türkiye donma-çözülme haritasına (Şekil 1) göre yıllık 10-15 donma-çözülme konturları içinde kalmaktadır. Çalışma programı çerçevesinde toplam 55 donma-çözülme periyodu uygulanmıştır.



Şekil 1. Türkiye donma-çözülme periyot haritası (Binal, 1996).

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Tüf numuneleri, Isparta'nın güneyinde yayılım gösteren ve çalışılan ocaklardan temin edilmiştir. Alınan blok numunelerden NX (54,75mm) çaplı karotiyerlerle karotlar alınmıştır. Alınan karot numunelerinden fiziksel özellikler (yoğunluk, birim hacim kütlesi, görünür porozite, ağırlıkça su emme ve ultrason hız (Vp)) TS 699 (1987) ve ISRM (1981)'e göre ve mekanik özellikleri (Tek eksenli basınç dayanımı, Brazilian çekme dayanımı, nokta yük dayanım indeksi ve disk makaslama dayanımı) ise TS 699 (1987), ISRM (1981), TS 7654 (1989), ISRM (1985) ve Ulusay vd. (2001)'e göre belirlenmiştir (Alyıldız, 2003). Deneylere tabi tutulan bazı numunelerin genel görünüşü ise Şekil 2'de verilmiştir.

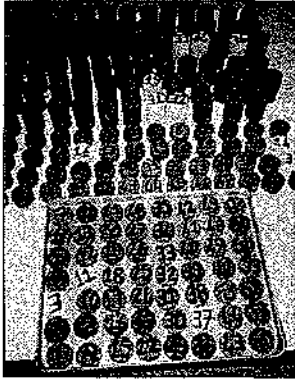
Donma-çözülme deneyleri öncesi tüfün fiziko- mekanik özellikleri (Birim hacim ağırlık (BHA), Ağırlıkça su emme (ASE), Hacimce su emme (HSE), *P*-dalga hızı (*V_p*), Tek eksenli basınç dayanımı (σ_c), Nokta yük dayanım indeksi ($I_{s(50)}$), Brazilian çekme dayanımı (σ_t) ve Disk makaslama indeksi (BPI)) belirlenmiş ve Çizelge 1’de verilmiştir.

2.1. Disk Makaslama Indeksi (BPI)

Kayaçların disk makaslama indeksi (BPI) değerinin belirlenmesi amacıyla Ulusay ve Gökçeoğlu (1997, 1998a, 1998b, 1999) tarafından yapılan çalışmalarda örnek boyut etkisi incelenerek, düzeltme katsayıları önerilmiştir. BPI deneyi ISRM tarafından taslak BPI deney yöntemi olarak önerilmiş (Ulusay vd, 2001) ve bu çalışmada da BPI deneyleri bu önerilen taslağa göre yapılmıştır.

Çizelge 1. Tüfün deney öncesi fiziko-mekanik özellikleri

BHA (kN/m ²)	14,5±1,5
ASE (%)	19,70±5,25
HSE (%)	27,91±5,04
Vp (m/s)	2176,53±52,16
σ _c (MPa)	6,24±1,16
IS ₍₅₀₎ (MPa)	0,90±0,06
σ _t (MPa)	1,25±0,06
BPI (MPa)	2,70±0,73



Şekil 2. Deneylerde kullanılan numunelerin genel görünüşü

Disk makaslama indeksi deneyinde kullanılmak üzere 54,75 mm çaplı ve 10 mm kalınlığında disk şeklinde 48 adet numune hazırlanmıştır. Her 5 donma-çözülme periyodundan sonra 3-4 adet örnek alınmış, kurutulmuş ve BPI deneyleri yapılmıştır. Deneyler Şekil 3'de gösterilen deney aparatı ile yapılmıştır. Her periyoda ait BPI değerleri ise 1 nolu eşitlikle hesaplanmıştır.

$$BPI = 3499 * D^{-1,3926} * t^{-1,1265} * F_{t,d} \quad (1)$$

Burada;

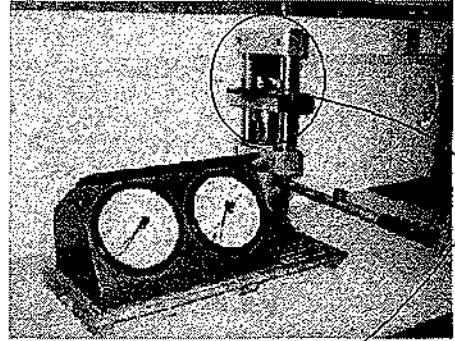
BPI : Çap ve kalınlık düzeltmesi uygulanmış disk makaslama indeksi (MPa),

D : Numunenin çapı (mm),

t : Numunenin kalınlığı (mm),

F_{t,d} : Yenilme anında t kalınlığında ve d çapındaki örneğe uygulanan yük (kN).

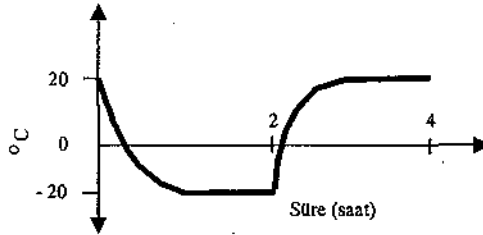
Periyotlara bazında hesaplanan BPI değerlerinin aritmetik ortalama değerleri Çizelge 3'de verilmiştir.



Şekil 3. Disk makaslama indeksi deney aparatı

2.2. Donma-Çözülme Deneyleri

Donma-çözülme deneyleri TS 699 (1987)'e göre yapılmıştır. Deneyler için hazırlanan tüm numuneler 110 °C'de etüvde kurutulmuş ve kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Kurutulan numuneler su havuzunda tamamen suya doygun hale gelinceye kadar tutulmuştur. Doygun hale gelen numuneler -20 °C'deki derin dondurucuya konmuş ve 2 saat süre ile burada tutulmuş ve daha sonra derin dondurucudan alınan numuneler +20 °C'deki su havuzuna konmuş ve burada da 2 saat süreyle tutularak bir periyot gerçekleştirilmiştir. Bir donma-çözülme periyodunun genelleştirilmiş zamana bağlı sıcaklık eğrisi Şekil 4'de verilmiştir. Toplam 55 periyotluk bir çalışma programı uygulanmıştır. Tüfün fiziksel ve mekanik özelliklerdeki değişimlerini belirlemek için her 5 periyottan sonra 3-4'er adet numune seçilmiş ve fiziko-mekanik deneyler bu numuneler üzerinde yapılmıştır.



Şekil 4. Donma-çözülme periyodu için genelleştirilmiş sıcaklık eğrisi

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Deney öncesi tüfün ortalama ağırlıkça su emme oranı %19,70 iken 55 periyotluk deney sonunda kayacın ortalama ağırlıkça su emme değeri % 30,48 olmuştur. Yani kayacın ağırlıkça su emme değeri başlangıç değerine göre % 54,72 oranında artmıştır. Periyotlar bazında ağırlıkça su emme oranlarının değişimi 2 nolu eşitlikle verilmiş ve grafiksel olarak Şekil 5'de sunulmuştur.

$$ASE = -0,0012 P_s^2 + 0,2189 P_s + 20,592 \quad (2)$$

Burada;

ASE : Ağırlıkça su emme oranı (%),

P_s : Donma-çözülme periyot sayısı.

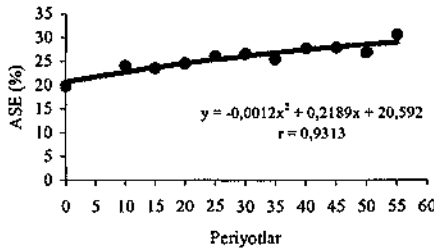
Çizelge 2. Fiziksel özelliklerin periyotlar bazındaki değerleri

Periyotlar	BHA (kN/m ³)	ASE (%)	HSE (%)	Vp (m/s)
Başlangıç	14,5±1,5	19,70±5,25	27,91±5,04	2176,5±53
10	14,3±1,8	23,97±6,05	33,31±5,37	2132,79±52,26
15	14,4±1,4	23,47±6,06	33,04±5,54	2103,11±102,62
20	14,3±1,2	24,46±4,56	34,58±4,45	2091,93±39,29
25	14,5±1,4	25,89±6,18	36,79±7,12	2042,76±75,68
30	13,8±1,2	26,48±7,37	35,84±7,13	2019,38±49,83
35	14,1±1,4	25,36±6,75	34,99±7,10	2003,67±142,96
40	13,8±0,8	27,66±4,67	37,97±4,42	1840,91±162,11
45	13,5±0,5	27,76±4,65	37,41±4,97	1811,59±126,44
50	13,5±0,4	26,78±3,64	36,05±3,71	1765,85±51,13
55	13,4±0,6	30,48±3,28	40,85±2,86	1671,50±30,94

Çizelge 3. Mekanik özelliklerin periyotlar bazındaki değerleri

Periyotlar	σ_c (MPa)	$Is_{(50)}$ (MPa)	σ_t (MPa)	BPI (MPa)
Başlangıç	6,24±1,16	0,90±0,06	1,25±0,06	2,70±0,73
5	5,77±0,44	0,88±0,05	1,22±0,17	2,58±0,22
10	5,0±0,88	0,84±0,02	1,21±0,10	2,21±0,16
15	4,82±1,26	0,81±0,02	1,20±0,07	2,05±0,31
20	4,60±1,10	0,79±0,04	1,14±0,06	1,81±0,46
25	3,52±0,50	0,78±0,03	1,10±0,15	1,71±0,23
30	3,40±0,56	0,74±0,05	0,98±0,24	1,70±0,96
35	3,37±0,12	0,71±0,11	0,86±0,11	1,57±0,35
40	3,17±0,24	0,48±0,15	0,81±0,17	1,51±0,50
45	3,01±1,86	0,45±0,07	0,76±0,15	1,22±0,29
50	2,88±0,68	0,36±0,04	0,73±0,15	1,19±0,29
55	2,80±0,24	0,35±0,12	0,71±0,13	1,12±0,43

Bu ilişkinin korelasyon katsayısı (r) ise 0,93 olarak hesaplanmıştır.



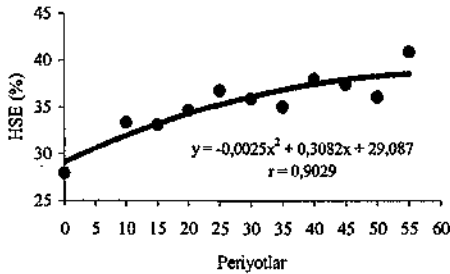
Şekil 5. Donma-çözülme periyotları ile ağırlıkça su emme oranının değişimi

Hacimce su emme oranı % 27,91 iken 55 periyot sonrasında % 40,85 değerine yükselmiştir. Hacimce su emme değeri başlangıç değerine göre % 46,36 artmıştır. Periyotlar ile hacimce su emme oranları arasında $r = 0,90$ korelasyon katsayılı bir ilişki gözlenmiştir (Eşitlik 3) ve ilişkinin grafiği Şekil 6'da verilmiştir.

$$HSE = -0,0025 P_s^2 + 0,3082 P_s + 29,087 \quad (3)$$

Burada;

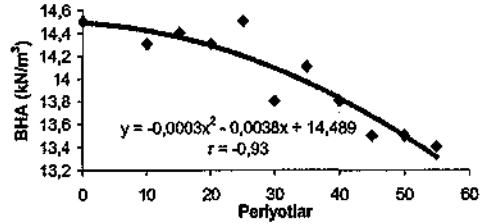
HSE : Hacimce su emme oranı (%),
 P_s : Donma-çözülme periyot sayısı.



Şekil 6. Donma-çözülme periyotları ile hacimce su emme oranının değişimi

Tüfün başlangıçtaki birim hacim ağırlığı 14,5 kN/m^3 iken 55 periyot sonrasında 13,4 kN/m^3 değerine kadar düşmüştür (Şekil 7). Donma - çözülme periyotları birim hacim ağırlık değerinde başlangıca göre % 7,59'luk bir azalmaya neden

olmuştur. İlişkinin denklemi ise 4 nolu eşitlikle verilmiştir.



Şekil 7. Donma-çözülme periyotları ile birim hacim ağırlığının değişimi

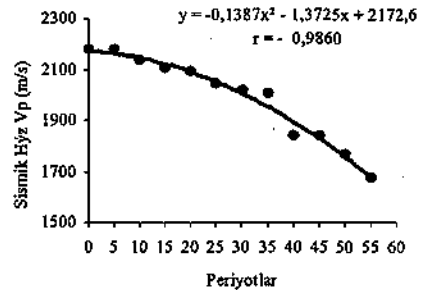
$$BHA = -0,0003 P_s^2 - 0,0038 P_s + 14,489 \quad (4)$$

Burada;

BHA : Birim hacim ağırlık (kN/m^3),
 P_s : Donma - çözülme periyot sayısı.

İlişkinin korelasyon katsayısı ise $r = -0,93$ olarak hesaplanmıştır.

Deney öncesi tüfün ultrasonik hız (V_p) değeri başlangıçta 2176,53 m/s iken 55 periyot sonunda 1671,50 m/s değerine kadar azalmıştır (Şekil 8). Donma - çözülme periyotları sismik hız değerinde başlangıca göre % 23,20'lik bir azalmaya neden olmuş ve $r = -0,99$ korelasyon katsayılı ilişkinin denklemi 5 nolu eşitlikle verilmiştir.



Şekil 8. Donma-çözülme periyotları ile ultrasonik hızın değişimi

$$V_p = -0,1387 P_s^2 - 1,3725 P_s + 2172,6 \quad (5)$$

Burada;

V_p : P – dalgasının yayılma hızı (m/s),

P_s : Donma – çözülme periyot sayısı.

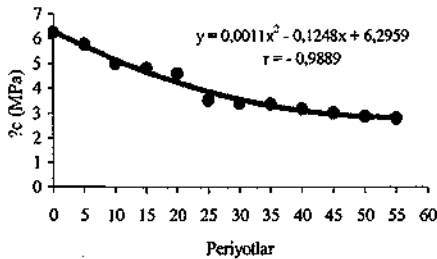
Tek eksenli basınç dayanımı (σ_c) değeri 6,24 MPa iken 55 periyot sonunda 2,80 MPa değerine kadar düşmüştür (Şekil 9). Donma – çözülme periyotları sonunda kayacın tek eksenli basınç dayanımında başlangıça göre % 55,13'lük bir düşüş gerçekleşmiştir. Donma-çözülme periyot sayısının tek eksenli basınç dayanımıyla $r = -0,99$ korelasyon katsayılı bir ilişki içindedir (Eşitlik 6).

$$\sigma_c = 0,0011 P_s^2 - 0,1248 P_s + 6,2959 \quad (6)$$

Burada;

σ_c : Tek eksenli basınç dayanımı (MPa),

P_s : Donma – çözülme periyot sayısı.



Şekil 9. Donma-çözülme periyotları ile tek eksenli basınç dayanımının (σ_c) değişimi

Tüfün deney öncesi nokta yükü dayanım indeksi ($I_{s(50)}$) değeri ortalama 0,90 MPa' dan 55 periyot sonunda 0,35 MPa değerine kadar düşmüştür (Şekil 10). Donma – çözülme periyotları, nokta yükleme dayanım indeksi değerinde başlangıç değerine nazaran % 61,11'lik bir azalmaya neden olmuştur.

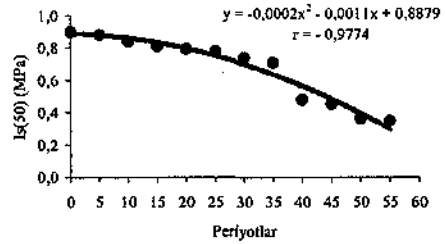
$$I_{s(50)} = -0,0002 P_s^2 - 0,0011 P_s + 0,8879 \quad (7)$$

Burada;

$I_{s(50)}$: Nokta yük dayanım indeksi (MPa),

P_s : Donma – çözülme periyot sayısı.

Bu ilişkinin korelasyon katsayısı (r) ise -0,98 olarak bulunmuştur.



Şekil 10. Donma-çözülme periyotları ile nokta yükü dayanım indeksinin değişimi

Kayacın ortalama Brazilian çekme dayanımı değeri 1,25 MPa iken 55 periyottan sonra 0,71 MPa değerine düşmüştür (Şekil 11). Donma-çözülme periyotları çekme dayanımı değerinde başlangıç değerine göre % 43,20'lik bir azalmaya neden olduğu gözlenmiştir.

$$\sigma_t = -6E-05 P_s^2 - 0,008 P_s + 1,2845 \quad (8)$$

Burada;

σ_t : Brazilian çekme dayanımı (MPa),

P_s : Donma – çözülme periyot sayısı.

Başlangıç disk makaslama indeksi (BPI) değeri 2,70 MPa iken 55. periyotta 1,12 MPa değerine düşmüştür (Şekil 12). Donma-çözülme periyotları disk makaslama indeksi değerinde başlangıç değerine göre % 58,52'lik bir azalmaya neden olmuştur.

$$BPI = 0,0003 P_s^2 - 0,0444 P_s + 2,6919 \quad (9)$$

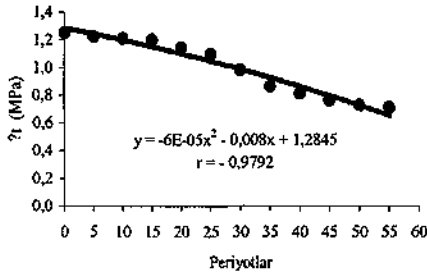
Burada;

BPI : Disk makaslama indeksi değeri (MPa),

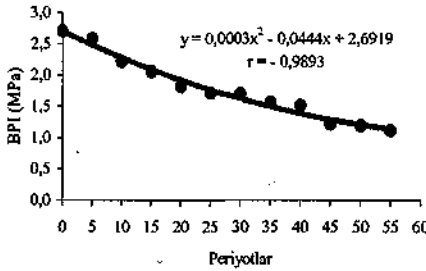
P_s : Donma – çözülme periyot sayısı.

İlişkinin korelasyon katsayısı ise $r = -0,99$ olarak hesaplanmıştır.

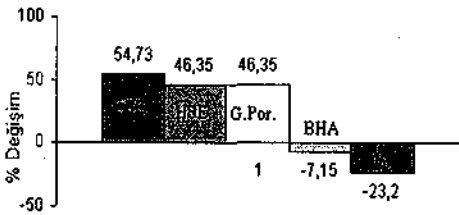
Donma-çözülme periyotlarının fiziksel özellikler üzerindeki en büyük değişimi ağırlıkça su emme değerinde, en küçük değişimi ise birim hacim ağırlık değerinde gözlenmiştir (Şekil 13). Donma-çözülme periyotları ile mekanik özelliklerdeki en büyük değişim nokta yükü dayanım indeksinde, en az değişim ise Brazilian çekme dayanım değerinde gerçekleştiği belirlenmiştir (Şekil 14).



Şekil 11. Donma-çözülme periyotları ile çekme dayanımının (σ_t) değişimi

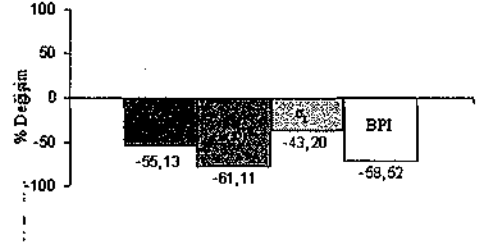


Şekil 12. Donma-çözülme periyotları ile disk makaslama indeksinin (BPI) değişimi



Şekil 13. Donma-çözülme periyotları ile fiziksel özelliklerdeki değişimler

Lienhart (1988)'ın da belirttiği gibi laboratuardaki donma-çözülme periyotları doğada oluşan donma-çözülme sürecinden çok daha hızlı gerçekleşmektedir. Bu nedenledir ki, toplam 55 periyotluk bir program sonucunda genel olarak kayacın fiziksel ve mekanik özelliklerinde önemli oranlarda değişiklikler gerçekleşmektedir.



Şekil 14. Donma-çözülme periyotlarıyla mekanik özelliklerdeki değişimler

Sonuç olarak, tüf numunelerinin deney öncesi fiziksel ve mekanik özellikleri donma-çözülme periyotlarından olumsuz yönde önemli derecede etkilenmiştir. Kayacın fiziksel özelliklerinde ki değişim donma-çözülme deneylerinin 10. periyodundan sonra önemli derecede azalma gösterirken mekanik özelliklerdeki değişimler ise çoğunlukla 25. periyottan sonra önemli ölçülerde azalma göstermiştir. İlk periyotlarda gelişmeye başlayan mikro çatlaklar fiziksel özellikleri daha hızlı etkilemiştir. İlerleyen periyotlarda artan mikro çatlakların makro çatlaklar haline gelerek kayaç yapısını zayıflatmasıyla mekanik deneylerdeki değişimler daha sonraki periyotlarda etkin olduğu düşünülmektedir.

Dolayısıyla yapıtaşı ve kaplama taşı olarak Isparta ve çevresinde çok yaygın bir şekilde kullanılan tüfün, kullanıldığı tarihi ve önemli yapılardaki durumların incelenmesi ve atmosfer koşullarındaki yıllara bağlı olarak gerçekleşen donma-çözülme olaylarından nasıl etkilendiği daha sonra yerinde yapılacak çalışmalarla daha net ortaya konulabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Altındağ, R., Mutlutürk, M., Karagözel, R., 2003. *The effects of freezing-thawing cycles on the useability of Isparta andesite as a building stone*, Proceeding of Int. Sympos. of industrial minerals and building stone, 289-292.
- Altındağ, R., Alyıldız, İ.S., Onargan, T., 2004. *Mechanical property degradation of ignimbrite rock subjected to recurrent freeze-thaw cycles*,

- Int. J. Rock Mech. Min. Sci. (accepted paper in press).
- Alyıldız, İ. S., 2003. *Isparta-Dereboğazı tüflerinde donma-çözülme periyotlarının fiziko-mekanik davranışlarına etkisi*, SDÜ Feb Bilimleri enstitüsü, Y. Lisans Tezi, 63s, Isparta.
- Binal, A., 1996. *Aksaray – İhlara Vadisindeki Volkanosedimanter Kayaçlarda Görülen Duraysızlık Mekanizmalarının Araştırılması*, H.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Y. Lisans Tezi, 95s, Ankara.
- Binal, A., Kasapoğlu, K.E., Gökçeoğlu, C., 1997. *The Surficial Physical Deterioration Behaviour of Neogene Volcanosedimentary Rocks of Eskişehir – Yazılıkaya, NW Turkey. Engineering Geology and the Environment*, (Marinos, P.G., Tsiambaos, G.C., Stournaras, G.C., -Eds), 3065-3069, Greece.
- Binal, A., Kasapoğlu, K.E., Gökçeoğlu, C., 1998. *Eskişehir – Yazılıkaya Çevresinde Yüzeyleyen Volkanosedimanter Kayaçların Donma – Çözülme Etkisi Altında Bazı Fiziksel ve Mekanik Parametrelerinin Değişimi*, Hacettepe Üniversitesi Yayınları Yerbilimleri No:20, 41-54, Ankara.
- Binal, A., Kasapoğlu, K.E., 2002. *Donma – Çözülme Sürecinin Aksaray – İhlara Vadisi'nde Yüzeyleyen Selime İgnimbiritinin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri Üzerindeki Etkisi*, VI. Bölgesel Kaya Mekaniği Semp. (Şensöğüt, C., Özkan, İ., -ed.), 189-196, Konya.
- Broms B., Yao L.Y.C., 1964. *Shear strength of a soil after freezing and thawing*, J. Soil mechanics Foundation Division, ASCE, 1-25.
- ISRM, 1981. *Rock Characterization, Testing and Monitoring- ISRM Suggested Methods*, Pergamon Press, Oxford, Brown, E.T. (ed.), 211 p.
- ISRM, 1985. *Suggested Method for Determining Point Load Strength*, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. and Geomech. 22(2), 51-60.
- Lienhart, D.A., 1988. *The Geographic Distribution of Intensity And Freeze-Thaw Cycles*, Bulletin of the Association of Eng. Geologists, 25 (4), 465-469.
- Mutlutürk, M., Altındağ, R., Türk, G., 2004. *A decay function model for the integrity loss of rock when subjected to recurrent cycles of freezing-thawing and heating-cooling*, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 41 (2), 237-244.
- Simonsen E., Isacsson U. 1999. *Thaw weakening of pavement structure in cold regions*, Cold regions science and technology, 29, 135-151.
- Topal, T., Sözen, B., 2002. *Deterioration Mechanisms of Tuffs in Midas Monument*. Engineering Geology 68 (2003), 201-223.
- TS 699, 1987. *Tabii Yapı Taşları Muayene ve Deney Metotları*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 7654, 1989. *Kayaçların Çekme Mukavemetinin Dolaylı (İndirekt) Metotla Tayini*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Ulusay, R., Gökçeoğlu, C., 1997. *The Modified Block Punch Index Test*. Can. Geotech J. 34, 991-1001.
- Ulusay, R., Gökçeoğlu, C., 1998a. *Disk Makaslama İndeks Deneyinde Boyut Etkisi ve Deneyin Kaya Mühendisliğindeki Kullanım Alanları*. IV. Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu Bildiriler Kitabı. (Ünlü, T., -ed.), 49-60, Zonguldak.
- Ulusay, R., Gökçeoğlu, C., 1998b. *An Experimental Study on the Size Effect in Block Punch Index Test*. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 35 (4-5), 628-629.
- Ulusay, R., Gökçeoğlu, C., 1999. *A New Test Procedure for the Determination of the Block Punch Index and Its Possible Uses in Rock Engineering*. ISRM News J. 6 (1), 50-54.
- Ulusay, R., Gökçeoğlu, C., Sülükçü, S., 2001. *Draft ISRM Suggested Method for Determining Block Punch Index (BPI)*. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 38 (2001), 1113-1119.

Türkiye'deki Bazı Süstaşlarının (Ametist, Dumanlı Kuvars, Rubellit ve Kalsedon) Renk Ajanları ve Radyasyonla Renk Koyuluklarını Arttırma Çalışmaları

M. Hatipoğlu

Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir

ÖZET: Türkiye'de bulunan süstaşı malzemeleri olan ametist, dumanlı kuvars, rubellit (pembe turlalin) ve kalsedon örnekleri, renklenme ajanlarını araştırmak ve mevcut renklerinin koyuluğunu arttırmak için çalışılmıştır. Bu amaçla, bahsedilen süstaşlarında olması muhtemel Na, K, Fe, Co, Mo, Zn, Ni, Cr, Sb, Mn, Ca, Ti, ve Li elementlerinin kimyasal analizleri yapılmıştır. Ayrıca ilksel renklerinde koyulaşma sağlamak amacıyla her bir süstaşı değişik enerji ve dozlarda gama, nötron ve beta ışınları ile ışınlanmıştır. Renk değişimleri ve oluşan yeni renk merkezleri optik absorpsiyon spektrastı ile taranarak değişimler incelenmiştir. Ametistin mor renginin Fe, Mn, Cr, ve Sb; Dumanlı Kuvarstn grimsi-siyah renginin Fe, Sb, Al, Mn ve Ti; Rubellitin pembe renginin Mn, Li ve Cr; ve Kalsedonun mavi renginin K, Fe, Ni ve Mn elementleri ile oluşabileceği saptanmıştır. Işınlamalar sonucu beta ve nötron ışını ile belirgin olmayan buna karşılık gama ışını ile belirgin renk değişim ve koyulaşmaları gözlenmiştir.

ABSTRACT: The gem materials amethyst, smoky quartz, rubellite (pink tourmaline) and chalcedony found in Turkey have been studied to research their coloring agents and to enhance their initial colors. For this reason, probably being in mentioned gem materials the elements Na, K, Fe, Mg, Co, Mo, Zn, Ni, Cr, Sb, Mn, Ca, Ti and Li have been chemically analyzed. In addition to enhance for intensification in their initial colors, each gem material was irradiated at various energies and dosages by gamma, neutron and beta rays. Color changes and new color centers in these gems were scanned by optical absorption spectrophotometer and the changing was investigated. It has been established that purple color of amethyst can be caused by Fe, Mn, Cr and Sb; that smoky color of quartz can be caused by K, Fe, Ni and Mn; that pink color of rubellite can be caused by Mn, Li and Cr and that blue color of chalcedony can be caused by K, Fe, Ni and Mn elements. As a result of irradiation effects, no apparent color saturation was been noticeable by beta and neutron irradiations and, on the other hand, color changes and darkness were obviously observed by gamma irradiation.

1. GİRİŞ

Süstaşlarında renklenme ve renklenmenin nedeni, birçok değişik daldan uzmanlaşmış araştırmacıların ilgi alanını oluşturmıştır. Renklenme, derinlemesine incelendiğinde mineral yapısına giren atomun elektronik yapısı, bu atomların kristal kafesi içerisindeki konumu ve beraberindeki diğer kafes ve elektronik hatalar ile en nihayet üzerine gönderilen ışığın etkileşimi ile doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle de minerallerde renklenme fizikçi, mineralog ve gemologların araştırma alanı içerisine girmektedir. Aynı mineralin birden fazla değişik renk göstermesi, renkli süstaşlarının en çok ilgi çeken özelliğini oluşturur. Bu çalışmada da

incelenen örnekler birden fazla renk ve yapı gösteren minerallerden seçilmiştir.

Süstaşlarının renk kökenleri hakkında yapılan araştırmalar sonucu sağlanan bilgiler, renklenme olayında bazı mekanik ve kimyasal nedenlerin bulunduğunu ortaya koymuştur. Yapılan bu tür araştırmaların temel amacı, minerallerin renklenme mekanizması ve renk verici elementlerin neler olduğu, ne tür mineraller içerisine girdiği ve sonuçta oluşturdıkları renklerin oluşum teorisi üzerinedir.

Bu çalışmanın ağırlık konusunu ise, seçilen bazı renkli süstaşlarının (ametist, dumanlı kuvars, rubellit ve kalsedon), bazı radyoaktif ışınları (gama,

nötron ve beta) etkisi altındaki renksel değişimleri, başka bir deyişle radyoaktif ışınların, renkli süstaşları üzerindeki olumlu veya olumsuz etkisi üzerinde yoğunlaştırılmıştır. Çünkü ülkemizde bulunan bazı süstaşı niteliğindeki malzemelerin, rezervce zengin olmalarına karşın doğal renklerin ideal olanlarına göre daha soluk veya açık renkli olmaları, ekonomik değerlerini düşürmektedir. Halbuki süstaşı sanayinde kullanılacak malzemelerin daima koyu ve canlı renklere sahip olmaları istenir. İşte bu nedenle, bu tür soluk veya açık renkli süstaşı malzemelerinin radyoaktif ışınların etkisi altında renklerinde herhangi bir oranda koyulaşmasının sağlanıp sağlanamayacağı, oldukça büyük önem taşımaktadır.

Bir kuvarsin türü olan ametistteki mor renge neden olan 5450 Å bandının Fe^{+3} ve elektronik boşlukla ilgili olduğu (Schlesinger and Cohen, 1966), ancak Si^{+4} iyonunun yerini alan Fe^{+4} ve atomlar arası boşluktaki Fe^{+3} iyonuna etkileyen iyonize radyasyondan sonra renklendiği (Cohen and Hassan, 1974) ve $\text{O}^{2-} \rightarrow \text{Fe}^{+4}$ yük transferinin (Cox, 1977) etkisinde mor rengi oluşturduğu belirtilmiştir. Ametistlerde gözlenen $5500\text{-}5900 \text{ Å}$ absorpsiyon bandının renk merkezi konsantrasyonunun Fe, Mn ve Sb konsantrasyonları ile arttığı ve Fe^{+3} , Mn^{+2} , Al^{+3} ün yerini alması yanında Mn ile de birlikte atomlar arası boşlukta bulunduğu bunun yanı sıra Sb^{+5} in de hem Si^{+4} ün yerini aldığı hem de atomlar arası boşluğa yerleşerek mor renge neden olabileceği (Birsoy, 1983-85-87) (Hatipoğlu, 2003) saptanmıştır.

Kuvarsin dumanlı renginin temel olarak Si^{+4} iyonunun yerine geçen Al^{+3} den kaynaklandığı (Cohen, 1956) ve yük dengesinin bozulması sonucu oluştuğu, bu durumun gama ve X-ışınları sonucu meydana geldiği (Löffler and Burns, 1976) şeklindedir. Bir başka deyişle, doğal renklenmiş dumanlı kuvarslarda renklenme ajanı olarak $\text{Al}^{+3} + \text{Na}^{+1}$ veya $\text{Al}^{+3} + \text{radyasyon}$ mekanizmasının temel etmen olduğu (Birsoy, 1983-85-87), ayrıca radyasyonun kuvvetli ve kristallerinde yeterince Al^{+3} içerdiği durumlarda kuvarsin tamamen siyah renge dönüştüğü (Fritsch and Rossman, 1987-88) gözlenmiştir.

Turmalindeki pembe rengin Mn^{+3} ve Li^{+} ile sağlandığı (Löffler, Burns, 1976), ayrıca gama ışıması ile açık pembe renkli turmalinlerin renginin

koyulaştığı ve bu koyulaşmanın Mn^{+3} iyonlarının, Mn^{+4} e radyasyon sonucu dönüşmesi ile sağlandığı (Bueno de Camargo and Isotani, 1988) bilinmektedir.

Kuvars ailesinin kriptokristalin bir üyesi olan kalsedon, lifsi yapı ve c-ekseni büyük indikatriksiyle çakışan (lenght-fast) kuvarzin ve a-ekseni büyük indikatriksiyle çakışan (lenght-slow) kalsedon iplikçiklerinden yapıldır (Hatipoğlu ve Dora, 1999-2000). SiO_2 bileşiminde olmasına karşın bazen % 10'a varan miktarlarda H_2O da içerebileceği, diğer taraftan da çok az miktarlarda Na, K, Fe ve Mg da içerebilmektedir (Koivula, 1984).

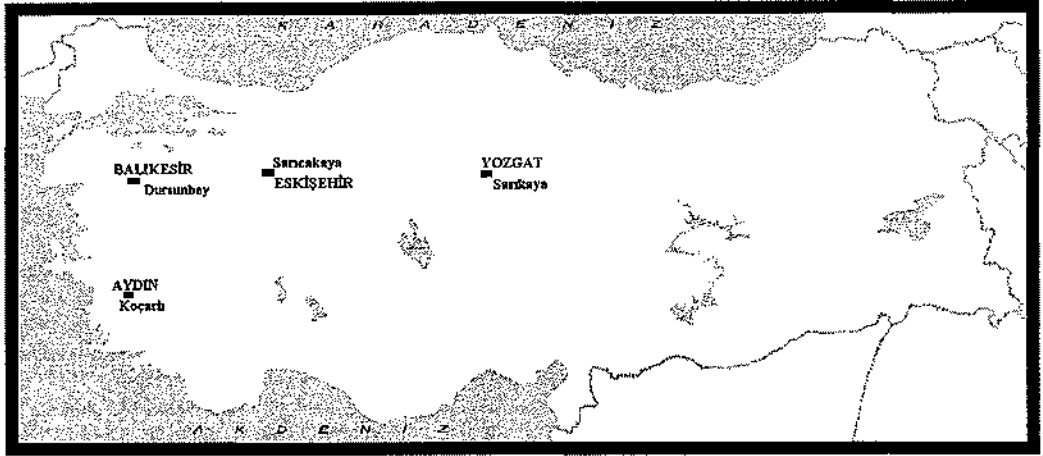
Söz konusu ametist, dumanlı kuvars, rubellit ve kalsedon örneklerinin doğal renkleri, olması istenen renklere göre daha soluk ve açık, bazen de renksiz olmaktadır. Bu da gemolojik değerlerini oldukça düşürmektedir. Bu nedenle de rengi sayesinde süstaşı olma özelliği gösteren bu malzemelerin renklendirilmesi veya daha güzel renklere dönüşmesi gemolojik açıdan önem taşıırken, renklenmenin mekanizmasının ortaya konulması da mineralojik açıdan önemlidir.

Soluk renkli süstaşları için hazırlanmış bu deneysel çalışma; Seçilen süstaşlarının yapısına giren veya girmesi olası bazı safsızlık elementlerinin (Na, K, Fe, Mg, Co, Mo, Zn, Ni, Cr, Sb, Mn, Ca, Ti, Li), absorpsiyon spektrasına ve herhangi bir renge etkisini, kimyasal analizler yaparak bileşimsel ayrıcalıklar hakkında bilgi edinebilmek ve dolayısıyla renklenme ile ilgili olası model veya modelleri ortaya koymak, doğal renklenmiş bazı minerallerin muhtelif radyasyon ışınmaları altında ortaya çıkan yeni renklerin oluş mekanizmalarını açıklamak için hazırlanmıştır.

2. DENEYSEL YÖNTEMLER VE AYGITLAR

Bu çalışmada kullanılan süstaşı örneklerine ilişkin bulduru haritası Şekil 1'de, jeolojiksel ve başlangıç değerlerine ilişkin özellikler Çizelge 1 ve 2'de gösterilmiştir.

Örneklerin kimyasal element analizleri, atomik absorpsiyon yöntemi ile PYE UNICAM SP9 Atomic Absorption Spectrophotometer cihazında yapılmıştır.



Şekil 1. Süstaşlarının toplandığı alanları gösteren bulduru haritası.

Çizelge 1. İncelenen süstaşı örneklerinin kodları ve adları, bulundukları bölgeler, içinde yataklandıkları kayalar ve yerleşim şekilleri.

Örnek No	Süstaşı İsmi	Bulunduğu Bölge	İçinde Yataklandığı Kayaç ve Bulunuş Şekli
D-A-1	Ametist (Kuars) (SiO ₂)	Dursunbey / BALIKESİR	Andezit-Riyodasit Boşluk Dolgusu
D-DuK-45	Dumanlı Kuvars (Kuars) (SiO ₂)	Koçarlı / AYDIN	Gnays-Şist Damar Dolgusu-Merceksel Şapka
D-PT-12	Rubellit (Turmalin) (Na,Ca)(Li,Al,Mg,Fe,Mn) ₃ (Al,Fe) ₆ B ₃ Si ₆ O ₂₂ (O,OH,F) ₄	Sarıkaya / YOZGAT	Mermer, Lokogranit, Pegmatit Boşluk Dolgusu
D-K-66	Kalsedon (Kuars) (Kriptokristalin SiO ₂)	Sarıcakaya / ESKİŞEHİR	Andezit Fay Breşi-Kurmtaşı Boşluk-Gözenek Dolgusu

Çizelge 2. İncelenen süstaşı örneklerinin kodları ve adları, başlangıç renk kodları ve isimleri ile örnek kalınlıkları.

Örnek No	Süstaşı İsmi	*Başlangıç Renk Kodları ve İsimleri	Örnek Kalınlığı
D-A-1	Ametist (Kuars) (SiO ₂)	Renk 11ia Heliotrop Leylak	1.4 mm
D-DuK-45	Dumanlı Kuvars (Kuars) (SiO ₂)	Renk 3ge Deve Tüyü Beji	1.2 mm
D-PT-12	Rubellit (Turmalin) (Na,Ca)(Li,Al,Mg,Fe,Mn) ₃ (Al,Fe) ₆ B ₃ Si ₆ O ₂₂ (O,OH,F) ₄	Renk 5ca Soluk Şeftali Kabuğu Pembesi	2.3 mm
D-K-66	Kalsedon (Kuars) (Kriptokristalin SiO ₂)	Renk 13,5ec Toz Mavisi	1.6 mm

*Wilhelm Ostwald renk sistemine göre, Colour Harmony Manuel Standart (1948) kitabındaki simgeler kullanılmıştır.

Bu amaçla örnekler, kimyasal analiz için gerekli 200 mesh boyutunun altına indirilmek için agat havanda dövülerek toz numuneler haline getirilmiş ve 2 saat süreyle 105 °C'deki etüvde tutularak örneklerin kaba nemi alınmıştır. Örnekler ayrı ayrı cam şişelere konularak ağızları kapatılmış ve desikatörde oda sıcaklığına (25 °C) kadar soğutulmuştur. Her bir toz numune 1/1000 hassasiyetli analitik terazi ile 0.5 gr olarak tartılarak, teflon otoklav bombalarına doldurulmuştur. 10 ml HCl ve 5 ml HClO₄ ilave edilerek teflon otoklav bombaların ağızları sıkıca kapatılmıştır. 240 °C'de 1 saat tutulan teflon bombalar, daha sonra ağızları açılarak asitlerin uçurulması için, kendi halinde "kuruluğa gidilmiş"tir. Daha sonra arda kalan çökeleklerin üzerine 20 ml 1/1'lik HCl konmuş, çökelekler çözününceye kadar ısıtılıp, balon jojelerde saf su ile 250 ml'ye seyreltilmişlerdir. Bu işlem sonunda 4000 ppm olarak hazırlanan her bir örnek plastik şişelere konarak atomik absorpsiyon analizi için hazır konsantrasyonlar oluşturulmuştur. Öncelikle cihaz çalışılacak elemente göre kalibre edildikten sonra, her element için ölçüm aralığı farklı olduğundan örnekler uygun konsantrasyonlara seyreltilerek, standart seri çözelti hazırlanmıştır. Sonuçta hem örneklerin hem de standartların absorbanları ölçülerek, örneklerin konsantrasyonları, standart seri ile karşılaştırılarak bulunmuştur.

Örneklerin absorpsiyon grafikleri, optik absorpsiyon spektral yöntemi ile, VARIAN DMS-90 UV-VISIBLE spektrofotometresi cihazında, 3000-7000 Å⁰ dalga boyları aralığı taranmıştır.

Radyasyon ışını taşıyan atomsal simgelere sahip parçaların tümünün genel özelliği, etkiledikleri maddelerin iyonsal karakterlerini değiştirmesidir. Yaygınca yedi çeşit radyasyon ışıması elde edilebilir. Özellikleri kısaca şöyledir; *Alfa*: +2 yüklü proton+nötron tanecikleri olup, helyum atomuna eşittir. *Beta*: -1 yüklü tanecik olup, elektrona eşdeğerdir. *Gama*: Elektromagnetik dalgadır. Her maddeden geçer ve doğrusal yönde hareket eder. Son yörüngeden elektron koparak iyonizasyonu sağlar. *X*: Elektromagnetik dalgadır. Enerjileri belli dalga boyunda hareket eder. *Nötron*: Yüksüz parçacıktır. Çekirdeğe etki eder. *Proton*: Pozitif parçacıktır. Hidrojen atomuna eşdeğerdir. *Elektron*: Eksi yüklü parçacıktır.

Bu çalışma çerçevesinde yukarıda bahsedilen ışınlardan sadece beta, gama ve nötron ışınları, incelenen örneklere uygulanmıştır.

Radyasyon ışınlaması deneyi için örnekler öncelikle ultrasonik temizleyicide iyici temizlendikten sonra, dilinim, çatlak ve kristalografik eksenler göz önüne alınarak yaklaşık 1 cm²'lik yüzeylere ve 1-4 mm'lik kalınlıklara sahip parçalar halinde, elmas ağızlı bıçaklarla kesilmiş, kenar ve yüzeylerdeki derin izler elmas traşlama diskleriyle düzeltilmiş ve her iki yüzeyleri polisaj masasında dökme demir diskler üzerinde 280-400-600 ve 800 mesh boylarındaki silisyum karbür tozlarla her bir aşamada en az 30'ar dakikalık sürelerde yüzey poroziteleri alınarak, keçe üzerinde 2500 mesh boyutlu seryum oksit ile maksimum düzeyde cilalanmış ve ışınlamaya hazır hale getirilmiştir.

Radyasyon ışınlaması için kullanılan cihazların teknik özellikleri de şöyledir;

Gama (G) ışınlaması için, Gammacel-220 cihazı kullanılmıştır. Radyoaktif materyali Co⁶⁰ olan cihazın radyasyon enerjisi 12.400 Curies ve I=0.075 Mrad'dır. Örnekler bu cihazda 24 ve 43 saatlik ışınlamalara tabi tutulmuştur.

Beta (B) ışınlaması için, Siemens Betatron-500 A cihazı kullanılmış olup örnekler 10 dakikalık süre içerisinde 7 MeV-elektronda 800 puls ve 2000 radyan, 1600 puls ve 4000 radyan, 3200 puls ve 6000 radyanlık enerjiler ile ışınlanmıştır.

Nötron (N) ışınlaması için örnekler iki ayrı grupta ışınlanmıştır. 1. grupta 2.20 saat sonunda monitörde 15.15x10⁷ nötron, 2. grupta ise 2.50 saat süre sonunda monitörde 20.42x10⁷ nötron sayılmıştır.

Ayrıca, her örnekten en az 8'er tane alınarak önce doğal haldeki renklerini gösteren 3000-7000 Å⁰ dalga aralığındaki optik absorpsiyon spektralleri çekilmiş, daha sonra her bir örneğin rengi, Wilhelm Ostwald renk simgelerine göre. Color Harmony Manuel Standart (Taylor, Knoche and Granville, 1948) kataloğundan bakılarak kodlanmış ve adlandırılmıştır. Başlangıç renkleri tespit edilen örnekler, en az iki farklı süre ve/veya dozlarda beta, nötron ve gama ışınlamalarına tutularak, ilksel renklerinde meydana gelebilecek renkler saptandıktan sonra, ikinci kez optik absorpsiyon

spektralleri çekilmiştir. Ancak, radyasyon ısımlarına tabi tutulan örneklerden bazılarının optik absorpsiyon spektralleri, cihazların duyarlılık alanını aştığından, sağlıklı bir şekilde çekilememiş ve bunların grafikleri çalışmada kullanılmamıştır. Bu şekildeki örneklerin numaraları, çizelgelerde buçuklu sayılarda gösterilmiştir. Absorpsiyon eğrilerindeki gözlenen piklerin çok belirgin olanlarının altı çizili, zayıf olanlar ise parantez içersinde gösterilmiştir.

3. DENEYSEL BULGULAR

İncelenen süstaşları, renklendirmeye neden olabileceği düşünülen elementler için analiz edilmiştir. Bu analiz sonuçları Çizelge 3'de verilmiştir. Cihazın duyarlılık sınırı altında olanlar

'Eser (E)' olarak belirtilmiş olup hiç bulunmayanlar ise '---' işareti ile belirtilmiştir.

Analiz sonuçlarına göre; Ametistte umulan Na, Fe ve Mn elementlerinin yanı sıra pek umulmayan eser halde Cr ve Sb elementleri, dumanlı kuvarsta bolca bulunan Fe haricinde eser halde Sb, Mn ve özellikle Ti elementleri, rubellitte beklenildiği üzere Mn anormal bollukta olup, normal oranlardaki Fe, Cr ve Li yanında eser halde Mo, Ni ve Sb elementleri, kalsedonda Co haricinde her elementin bulunduğu ancak bunlardan Mo, Ni, Cr, Sb, Ti ve Li'un eser oranlarda yer alan elementler bulunmuştur. Buna ilaveten, dört örnekte de hiç Co elementine rastlanmamıştır.

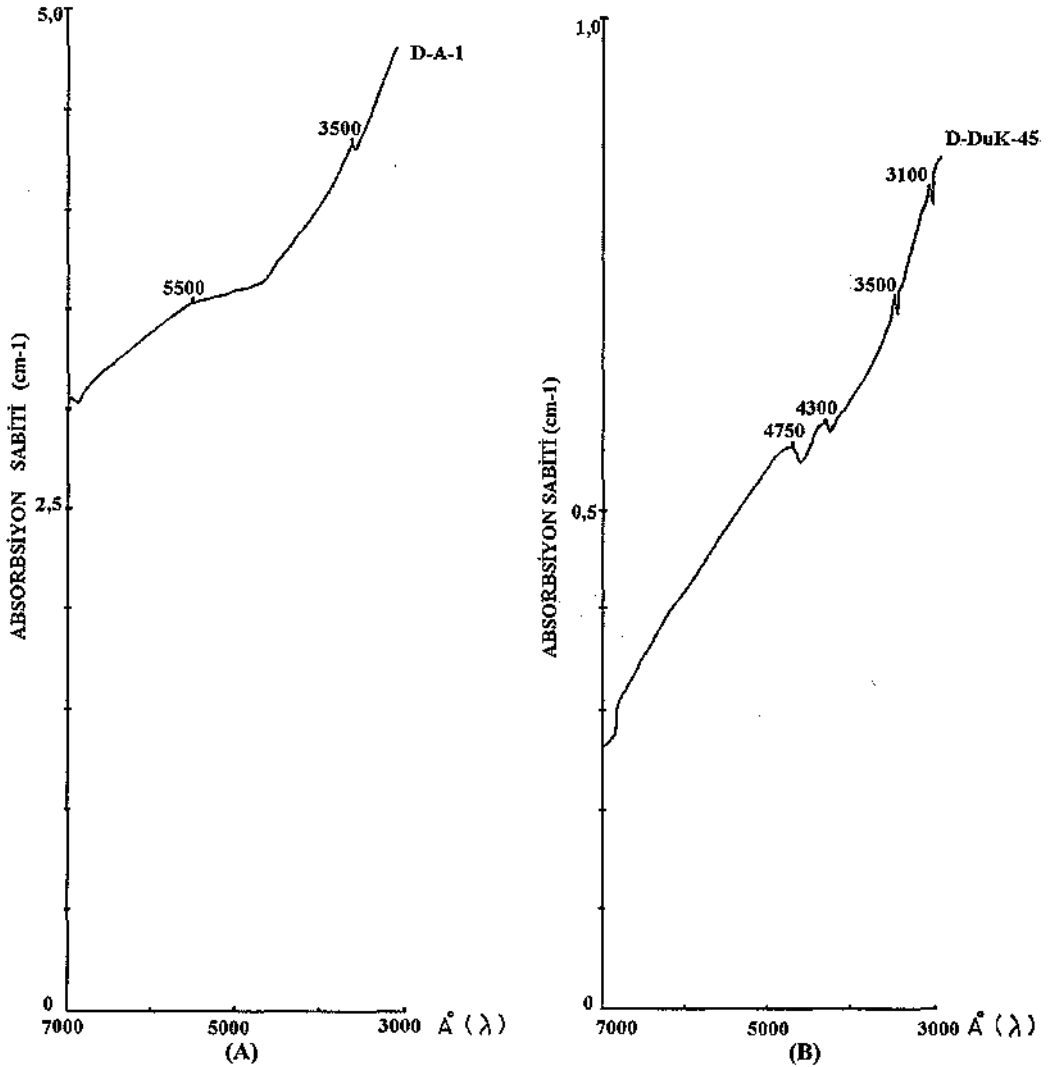
Çizelge 3. İncelenen süstaşlarının kimyasal analizle saptanabilen renklenmeye sebep olabilecek elementlerin oransal değerleri.

Süstaşı Element	Ametist D-A-1	Dumanlı Kuvars D-DuK-45	Rubellit D-PT-29	Kalsedon D-K-66
Na	260 ppm	---	---	1947 ppm
K	---	---	---	183 ppm
Fe	305 ppm	958 ppm	773 ppm	2225 ppm
Mg	---	---	---	320 ppm
Co	---	---	---	---
Mo	---	---	E	E
Zn	---	---	---	93 ppm
Ni	---	---	E	E
Cr	E	---	66 ppm	E
Sb	20 ppm	E	E	E
Mn	E	E	% 1.564	40 ppm
Ca	---	---	---	220 ppm
Ti	---	E	---	E
Li	---	---	2 ppm	E

Bu veriler ışığında; Kristalin yapıli süstaşları olan ametistin mor renginin oluşmasında esas olarak Fe ve Sb'in, düşük bir ihtimalle Mn ve Cr'un, dumanlı kuvarsin gri-siyah renginin oluşumunda büyük oranda Fe'in yanında muhtemelen Sb, Mn ve Ti'un, rubellitin pembe renginin oluşumunda esas ve en önemli Mn'in, düşük bir ihtimalle de Fe, Sb, ve Ti'un, renk ajanları olarak, farklı renklenme mekanizmaları içerisinde, ışığın absorpsiyonunda rol alabileceği söylenebilir. Kriptokristalin yapıli süstaşı olan kalsedonda hemen her elementin bulunması, bu malzemenin gözenekli yapısından kaynaklanmaktadır. Bununla beraber, kalsedonun

mavi renginin oluşumunda Fe, Mo, Zn, Ni, Cr, Sb, Mn, Ti ve Li elementlerinin en azından bazılarının renklenme ajanı olarak ışığın absorpsiyonunda rol alabileceği düşünülmelidir. Co elementinin ise genelde süstaşlarının renklenmesinde bir renk ajanı olmadığı belirtilebilir.

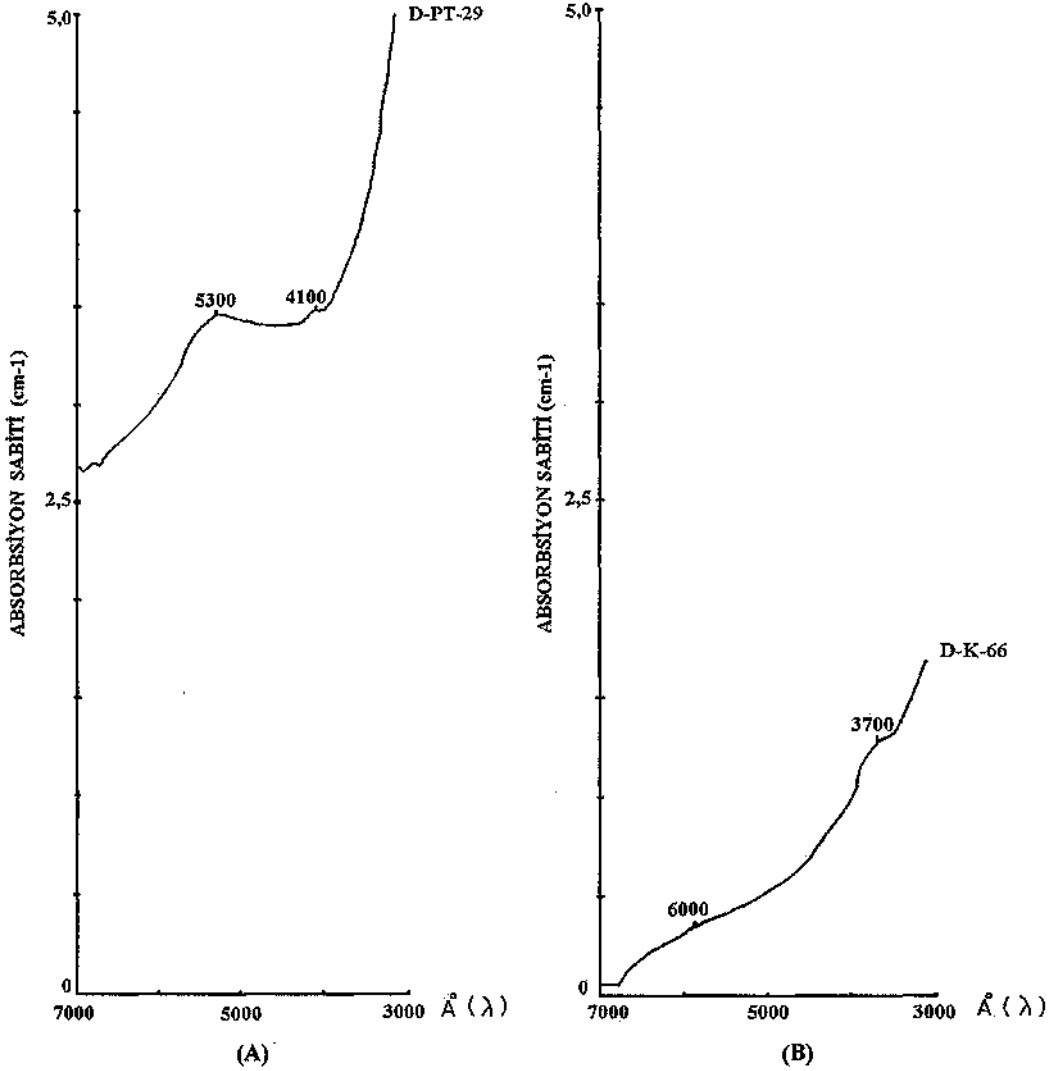
İncelenen süstaşlarının radyasyon ısımlarına tabi tutulmadan önce (ilksel) çekilen 3000-7000 Å⁰ aralığındaki optik absorpsiyon spektralleri Şekil 2 ve 3'de gösterilmiştir. Buna göre;



Şekil 2. Doğal haldeki ametistin (A) ve dumanlı kuvarşın (B) optik absorpsiyon spektraları.

Ametist (D-A-1): 3500 ve 5500 Å° 'larda iki absorpsiyon piki,
 Dumanlı Kuvars (D-DuK-45): 3100, 3500, 4300 ve 4750 Å° 'larda dört absorpsiyon piki,
 Rubellit (D-PT-41): 4100 ve 5300 Å° 'larda iki absorpsiyon piki,
 Kalsedon (D-K-66): 3700 ve 6000 Å° 'da iki absorpsiyon piki, vermiştir.

Radyasyon ışımlarından sonra örneklerde gözlenen değişimler şöyledir;



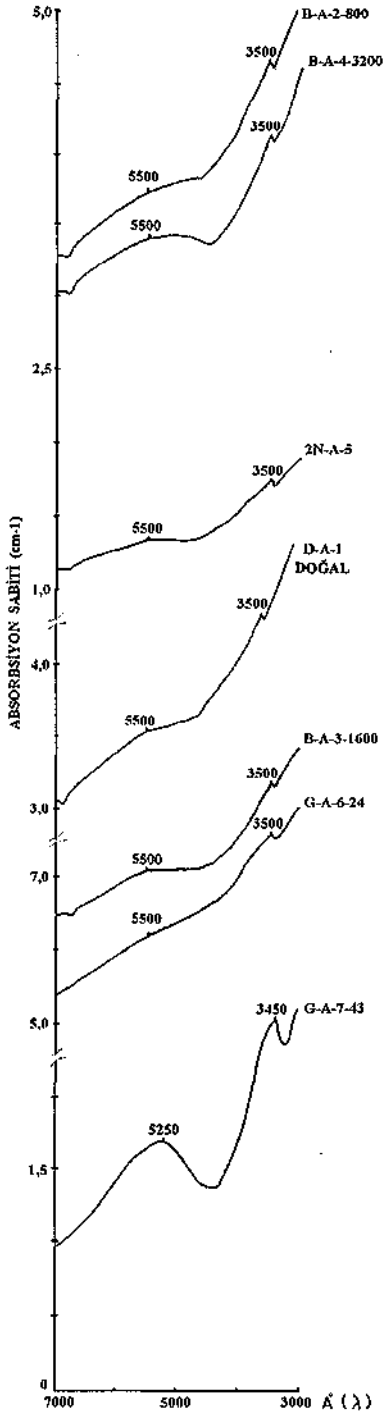
Şekil 3. Doğal haldeki rubellit (C) ve kalsedonun (D) optik absorpsiyon spektralleri.

3.1. Ametist (Mor Kuvars)

Doğal halde ve beta, gama, nötron ışınlamalarından sonra süstaşında meydana gelen değişimler Çizelge 3'de, değişik radyasyon ışınlamalarına tabi tutulduktan sonra çekilen 3000-7000 Å⁰ aralığındaki optik absorpsiyon spektralleri de Şekil 4'de gösterilmiştir.

Beta ışınlaması ile, uygulanan enerji arttıkça görünür bölgedeki absorpsiyon derecesi

artmaktadır. İlkse 3500 ve 5500 Å⁰'luk absorpsiyon pikleri aynen korunmuş, bununla beraber radyasyon şiddeti arttıkça, örneklerin rengi olumsuz yönde değişmiştir. Nötron ışıması ile ilkse grafikte kayda değer bir değişim olmamıştır. 24 saatlik gama ışıması ile, ametistin renginde az oranda bir koyulaşma meydana gelirken, 43 saatlik radyasyondan sonra, ilkse 3500 ve 5500 Å⁰'luk absorpsiyon piklerinin şiddetleri çok artmış ve aynı zamanda piklerin yeri değişerek 3450 ve 5250



Şekil 4. Ametistin, doğal halde ve beta, gama, nötron radyasyon ışınlarına tabi tutulduktan sonra çekilen 3000-7000 Å⁰ aralığındaki optik absorpsiyon spektralleri.

Çizelge 3. Ametist örneklerinde beta (B), nötron (N) ve gama (G) radyasyon ışımlarından sonra görülen renk değişimleri.

Örnek no	İşıma türü	*Renk kodu ve adı	Örnek kalınlığı
D-A-1	Doğal	Renk 11a Heliotrop Leylak	1.4 mm
B-A-2-800	Beta (10 Dak.) 800 puls-2000 rad.	Yaklaşık Gri Serisi 5cb	3.3 mm
B-A-3-1600	Beta (10 Dak.) 1600 puls-4000 rad.	Yaklaşık Gri Serisi 5dc Kedi Tüyü Grisi	4.3 mm
B-A-4-3200	Beta (10 Dak.) 3200 puls-6000 rad.	Yaklaşık Gri Serisi 7cb Bulanık Pembe	2.2 mm
2N-A-5	Nötron (2.50 Sa.) 20.42×10^7 eV	Yaklaşık Gri Serisi 7cb Bulanık Pembe	3.2 mm
G-A-6-24	Gama (24 Sa.) 0.08 Mrad.	Renk 6li Koyu gül kurusu	2.5 mm
G-A-7-43	Gama (43 Sa.) 0.08 Mrad.	Renk 11pi Kuru Erik Rengi	3.6 mm

*Wilhelm Ostwald renk sistemine göre, Colour Harmony Manuel Standart (1948) kitabındaki simgeler kullanılmıştır.

A⁰'lara dönüşmüştür. Ayrıca mor rengin görülmesini sağladığı düşünülen 5500 A⁰ piki, daha şiddetli dalga boyuna kavuşmuştur.

sonra çekilen 3000-7000 A⁰ aralığındaki optik absorpsiyon spektralleri de Şekil 5'de gösterilmiştir.

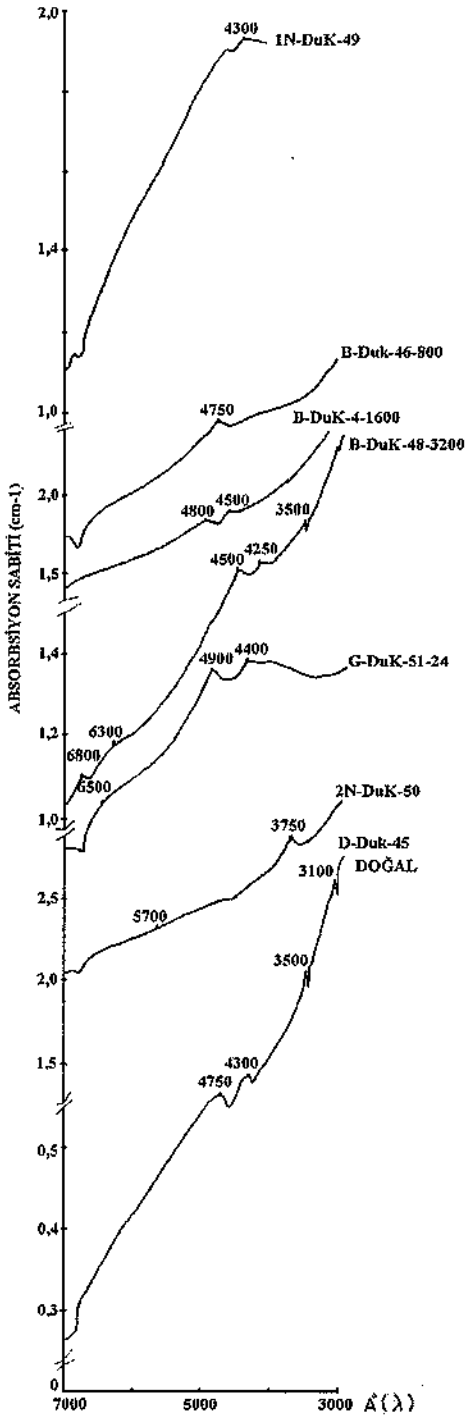
3.2. Dumanlı Kuvars

Doğal halde ve beta, gama, nötron ışımlarından sonra süstaşında meydana gelen değişimler Çizelge 4'de, değişik radyasyon ışımlarına tabi tutulduktan

Çizelge 4. Dumanlı kuvars örneklerinde beta (B), nötron (N) ve gama (G) radyasyon ışımlarından sonra görülen renk değişimleri.

Örnek no	İşıma türü	*Renk kodu ve adı	Örnek kalınlığı
D-DuK-45	Doğal	Renk 3ge Deve tüyü beji	1.2 mm
B-DuK-46-800	Beta (10 Dak.) 800 puls-2000 rad.	Renk 3ge Deve tüyü beji	2.6 mm
B-DuK-47-1600	Beta (10 Dak.) 1600 puls-4000 rad.	Renk 2ge Açık zeytin grisi	1.2 mm
B-DuK-48-3200	Beta (10 Dak.) 3200 puls-6000 rad.	Renk 3ge Deve tüyü beji	1.2 mm
1N-DuK-49	Nötron (2.20 Sa.) 15.15×10^7 eV	Renk 3ge Deve tüyü beji	2.6 mm
2N-DuK-50	Nötron (2.50 Sa.) 20.42×10^7 eV	Renk 3ge Deve tüyü beji	2.2 mm
G-DuK-51-24	Gama (24 Sa.) 0.08 Mrad.	Renk 3ig Bej kahve	2.4 mm
G-DuK-51,5-43	Gama (43 Sa.) 0.08 Mrad.	Renk 3ig Bej kahve	1.5 mm

*Wilhelm Ostwald renk sistemine göre, Colour Harmony Manuel Standart (1948) kitabındaki simgeler kullanılmıştır.



Şekil 5. Dumanlı Kuvarsın, doğal halde ve beta, gama, nötron radyasyon ışımlarına tabi tutulduktan sonra çekilen 3000-7000 $\text{\AA}$ aralığındaki optik absorpsiyon spektralleri.

Beta ışınlaması ile, düşük enerjide ilksel absorbsiyon grafiği değişmiş ve ilksel absorbsiyon pikleri olan 3100, 3500 ve 4300 A°luk absorbsiyon pikleri kaybolmuş, sadece 4750 A° piki korunmuştur. Orta enerji seviyesinde, bütün ilksel absorbsiyon pikleri kaybolarak 4500 ve 4800 A°luk iki yeni absorbsiyon piki oluşmuştur. Yüksek enerji seviyesinde ise, ilksel absorbsiyon grafiğine benzer şekil yeniden oluşmuş, ancak 3500, 4250, 4500 ve 6300 A°luk yeni pikler gelişmiştir. Süstaşının rengi, orta enerji seviyesinde bir miktar değişmiş, düşük ve yüksek enerji seviyelerinde ise eski halini almıştır. Nötron ışıması ile, ilksel absorbsiyon grafiğinde 4300 A°luk pik hariç, diğerleri kaybolmuş ve görünür bölgedeki absorbsiyon şiddeti artmıştır. Enerji arttığında ilsel absorbsiyon grafiğindeki tüm pikler kaybolarak, yeni 3750 ve 5700 A°luk pikler oluşmuştur. Ayrıca

ultraviyole bölgesindeki absorbsiyon şiddeti azalmış, bununla beraber ilksel renkte herhangi bir değişim olmamıştır. Gama ışıması ile, 24 ve 48 saat sonunda, ilksel renk oldukça koyulaşmıştır. İlksel absorbsiyon pikleri kaybolarak, 4400, 4900 ve 6500 A°luk yeni absorbsiyon pikleri gelişmiştir. Ultraviyole bölgesindeki absorbsiyon şiddetinin azalmasına karşın, görünür bölgedeki absorbsiyon şiddeti çok yükselmiş ve renk koyulaşmıştır.

3.3. Rubellit (Pembe Turmalin)

Doğal halde ve beta, gama, nötron ışınlamalarından sonra süstaşında meydana gelen değişimler Çizelge 5'de, değişik radyasyon ışımlarına tabi tutulduktan sonra çekilen 3000-7000 A° aralığındaki optik absorbsiyon spektraları da Şekil 6'de gösterilmiştir.

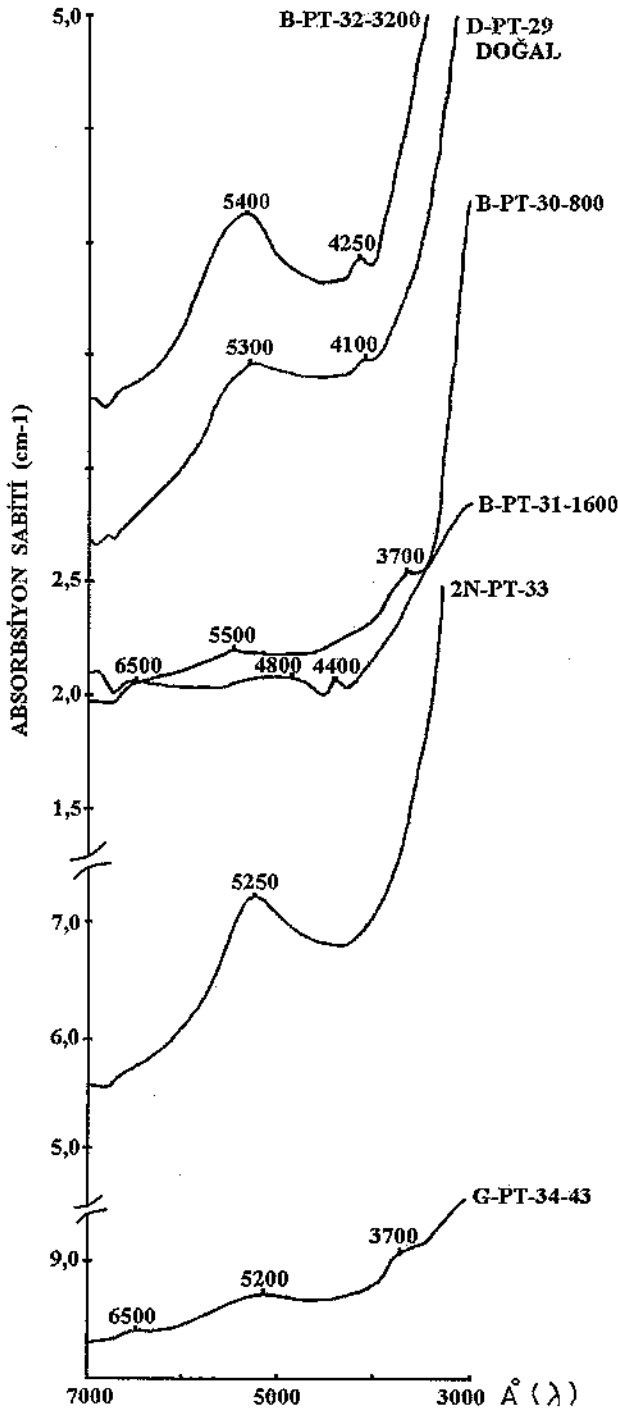
Çizelge 5. Rubellit örneklerinde beta (B), nötron (N) ve gama (G) radyasyon ışımlarından sonra görülen renk değişimleri.

Örnek no	İşıma türü	*Renk kodu ve adı	Örnek kalınlığı
D-PT-29	Doğal	Renk 9ga Fujya Pembe	2.3 mm
B-PT-30-800	Beta (10 Dak.) 800 puls-2000 rad.	Renk 9ga Fujya Pembe	2.3 mm
B-PT-31-1600	Beta (10 Dak.) 1600 puls-4000 rad.	Renk 9ia Orkide Pembe	2.8 mm
B-PT-32-3200	Beta (10 Dak.) 3200 puls-6000 rad.	Renk 9ia Orkide Pembe	3.2 mm
2N-PT-33	Nötron (2.50 Sa.) 20.42 x 10 ⁷ eV	Renk 9ga Fujya Pembe	3.6 mm
G-PT-34-43	Gama (43 Sa.) 0.08 Mrad.	Renk 8gc Kirli Gül Kuruğu	3.3 mm

*Wilhelm Ostwald renk sistemine göre, Colour Harmony Manuel Standart (1948) kitabındaki simgeler kullanılmıştır.

Beta ışıması ile, düşük enerjili ışıma sonucu ilksel absorbsiyon grafiğindeki 4100 ve 5300 A°luk şiddeti fazla olan absorbsiyon pikler kaybolarak, şiddetleri az ancak banlı 4400, 4800 ve 6500 A°luk yeni pikler, orta enerji seviyesinde ise sadece 3700 ve 5500 A°luk yeni pikler oluşmuştur. Yüksek enerjide tekrar ilksel absorbsiyon grafiğine benzer bir şekil oluşmakla beraber, 4250 ve 5400 A°luk yeni pikler de ortaya çıkmıştır. İlâveten piklerin şiddeti artmış ve süstaşının rengi de biraz koyulaşmıştır. Nötron ışıması ile, ilksel absorbsiyon grafiğindeki 5300 A°luk pik yerine daha şiddetli 5250 A°luk yeni pik oluşmuş, ancak 4100 A°luk

pik kaybolmuştur. Süstaşının rengine herhangi bir değişim olmamıştır. Gama ışıması ile, 43 saat sonunda, ilksel absorbsiyon grafiğindeki 5300 A°luk pik oldukça yayvanlaşarak yerini 5200 A°luk yeni pike bırakmıştır. Ayrıca 3700 ve 6500 A°luk yeni piklerin oluşmasının yanında, ilksel absorbsiyon ergisi oldukça yayvanlaşmıştır. Ultraviyole bölgesinde absorbsiyon azalmış, ayrıca doğal pembe renk oldukça koyulaşmıştır. Işıma süresindeki daha uzun artışlar, muhtemelen süstaşının renginin kırmızıya dönüşmesini sağlayabilecektir.



Şekil 6. Rubellitin (pembe turmalin), doğal halde ve beta, gama, nötron radyasyon ışınlarına tabi tutulduktan sonra çekilen 3000-7000 Å° aralığındaki optik absorpsiyon spektralleri.

3.4. Kalsedon

Doğal halde ve beta, gama, nötron ışınlamalarından sonra meydana gelen değişimler Çizelge 6'de, değişik radyasyon ışımlarına tabi tutulduktan sonra çekilen 3000-7000 Å⁰ aralığındaki optik absorpsiyon spektralleri da Şekil 7'de gösterilmiştir.

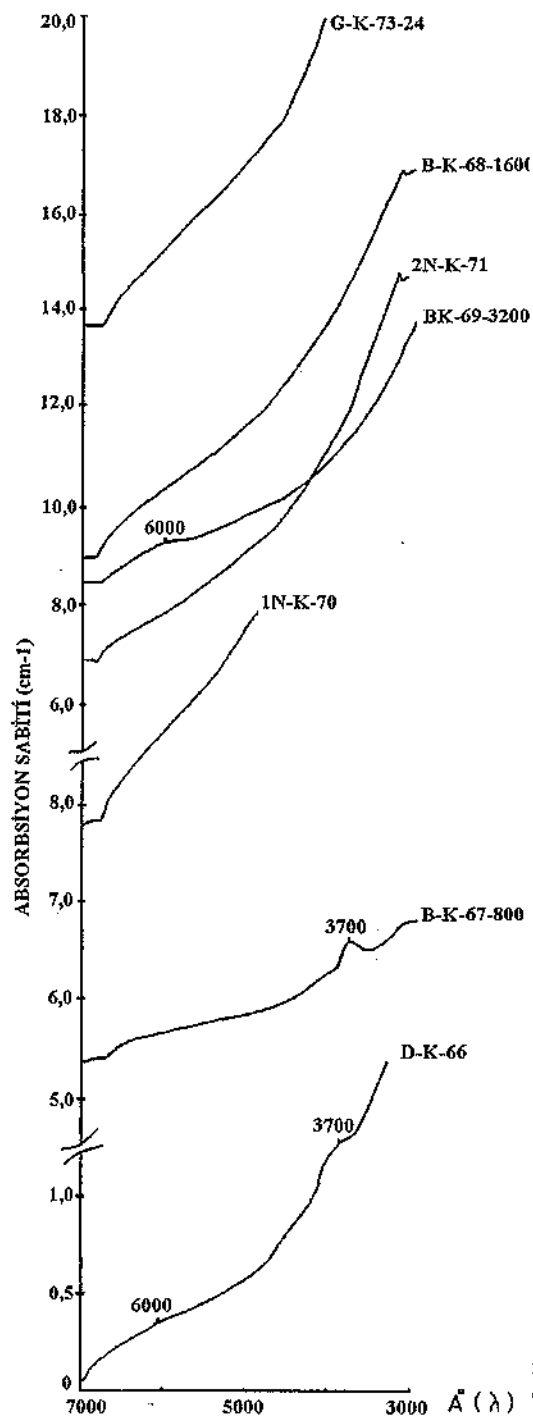
Beta ışınlaması ile, düşük enerjide ilksel absorpsiyon grafiğindeki 3700 Å⁰luk pik aynen korunmuş, ancak, 6000 Å⁰ piki oldukça yayvanlaşarak belirsizleşmiştir. Orta enerji seviyesinde her iki pik de tamamen kaybolmuş,

ancak üst enerji seviyesinde 6000 Å⁰luk ilksel pik yeniden ortaya çıkmıştır. Süstaşımın rengi, düşük ve orta enerjilerde değişmezken, yüksek enerjide bir miktar koyulaşmıştır. Nötron ışıması ile, süstaşım renginin griye dönüşmesi nedeniyle, absorpsiyon grafiğinde kayda değer bir pik oluşmamıştır. Gama ışıması ile, 24 ve 43 saat sonunda, genelde absorpsiyon eğrisi görünür bölgede arttığından renk daha koyu bir gri olmuş ve bu ışımda da kayda değer bir absorpsiyon piki meydana gelmemiştir.

Çizelge 6. Kalsedon örneklerinde beta (B), nötron (N) ve gama (G) radyasyon ışımlarından sonra görülen renk değişimleri.

Örnek no	İşıma türü	*Renk kodu ve adı	Örnek kalınlığı
D-K-66	Doğal	Renk 13,5ec Toz Mavisi	1.6 mm
B-K-67-800	Beta (10 Dak.) 800 puls-2000 rad.	Renk 14ec Bulut Mavisi	1.4 mm
B-K-68-1600	Beta (10 Dak.) 1600 puls-4000 rad.	Renk 14ec Bulut Mavisi	3.4 mm
B-K-69-3200	Beta (10 Dak.) 3200 puls-6000 rad.	Renk 14ca Soluk Gök Mavi	4.1 mm
1N-K-70	Nötron (2.20 Sa.) 15.15 x 10 ⁷ eV	Renk 13cb İnci Grisi	2.6 mm
2N-K-71	Nötron (2.50 Sa.) 20.42 x 10 ⁷ eV	Renk 13cb İnci Grisi	1.8 mm
G-K-72-24	Gama (24 Sa.) 0.08 Mrad.	Yaklaşık Gri Serisi 5di Açık Gölge Grisi	2.1 mm
G-K-72,5-43	Gama (43 Sa.) 0.08 Mrad.	Yaklaşık Gri Serisi 5di Gölge Grisi	4.0 mm

*Wilhelm Ostwald renk sistemine göre, Colour Harmony Manuel Standart (1948) kitabındaki simgeler kullanılmıştır.



Şekil 7. Kalsedonun, doğal halde ve beta, gama, nötron radyasyon ışınlarına tabi tutulduktan sonra çekilen 3000-7000 Å⁰ aralığındaki optik absorbsiyon spektralleri.

TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Belli bir renk ve bir element arasında karşılıklı ilişki belli bir noktaya kadar yürür. Fakat modern araştırmalar birkaç değişik işlem neticesi benzer rengin oluşturabileceğini kanıtlamıştır. Ayrıca uygulamaya bağlı olarak akıldan çıkarılmamalıdır. ki, pek çok renk merkezi ısı ve ışık karşısında değişkendir. Bazen onlara hasar vermek, onların oluşumunu sağlamak kadar kolaydır. Süstaşlarının büyük bir kısmında görülen belli başlı renklenme modellerinin esası, süstaşlarının içerdiği safsızlıklar ve elektronik değişimler sonucu, süstaşın seçimli olarak ışığı absorblaması ile gerçekleşmektedir.

Yapılan bu çalışma sonunda: Kristalin yapıli süstaşları olan ametistin mor renginin oluşmasında esas olarak Fe ve Sb'in, düşük bir ihtimalle Mn ve Cr'un, dumanlı kuvarsin gri-siyah renginin oluşumunda büyük oranda Fe'in yanında muhtemelen Sb, Mn ve Ti'un, rubellitin pembe renginin oluşumunda esas ve en önemli Mn'in, düşük bir ihtimalle de Fe, Sb, ve Ti'un, renk ajanları olarak, farklı renklenme mekanizmaları içerisinde, ışım absorpsiyonunda rol alabileceği söylenebilir. Kriptokristalin yapıli süstaş olan kalsedonda hemen her elementin bulunması, bu malzemenin gözenekli yapısından kaynaklanmaktadır. Bununla beraber, kalsedonun mavi renginin oluşumunda Fe, Mo, Zn, Ni, Cr, Sb, Mn, Ti ve Li elementlerinin en azından bazılarının renklenme ajanı olarak ışığın absorpsiyonunda rol alabileceği düşünülmelidir. Co elementinin ise genelde süstaşlarının renklenmesinde bir renk ajanı olmadığı belirtilebilir.

İncelenen örnekler gama, nötron ve beta ışımaları ile ışınlanmıştır. Ancak yalnızca gama ışınlaması ile örneklerin tümünde belirgin bir renk koyulaşması olmuştur.

Ametiste (mor kuvars) uygulanan beta ve nötron ışınlamalarından sonra genelde ilksel 5500 ve 3500 $\text{\AA}$ 'luk piklerin korunduğu gözlenmektedir. Beta ve nötron ışınlamaları ile düşük süreli gama ışıması sonucu ametistin rengi çok az koyulaşmıştır. Ancak uzun süreli gama ışınlaması sonucu ametistin renginin büyük oranda koyulaşması ile birlikte absorpsiyon piklerinin yerlerinde de değişmeler olmuş, ilksel 5500 $\text{\AA}$ piki 5250 $\text{\AA}$ 'na, ilksel 3500 $\text{\AA}$ piki de 3450 $\text{\AA}$ 'na kaymıştır. Dünyada incelenen diğer örneklerinden farklı olarak

Dursunbey (Balıkesir) ametistin kimyasal analizinde Fe, Mn ve Sb elementlerinin yanı sıra Cr elementi de bulunmuş ve bu elementin pigment olarak ametistin renklenme mekanizmasına katkıda bulunabileceği düşünülmüştür. Yüksek enerjili beta, elektron kapanımı olarak kristal kafesinde yer alabileceğine göre ve gama ışıını da iyonize etme özelliği ile yapıdaki elementlerin durumuna göre yeni renk merkezleri oluşturabilir. Bunun sonucunda yeni oluşan renk merkezleri, 4450-6850 $\text{\AA}$ absorpsiyon bandının şiddetini artırarak mevcut renkleri koyulaştırmıştır. Ayrıca yapıda gözlenen ve uygun valans ve konumda olmayan Fe, Mn, Sb ve Cr gibi elementler ışınlama sonucu bu renklerdeki şiddet artışına göre piklerin kaymasına neden olabilir. Yüksek enerjili beta ve uzun süreli gama ışımaları sonucu absorpsiyon bandının ve piklerin şiddetlerinin artışı Fe, Mn, Sb ve büyük olasılıkla Cr elementlerinin, ışıma ile valans değerlerinin değişmesi veya yeni elektron kapanımı oluşturmaları sonucu olmuş ve dolayısıyla rengin koyulaşmasını sağlamış olabilirler. Ayrıca uzun süreli gama ışıması sonucu ilksel absorpsiyon pik yerlerinin kaymasının nedeni olarak da, iyonize karakteri olan gama ışınlarının, geçiş elementlerinde valans değişimleri oluşturmalarından kaynaklanabilir (Fritsch ve Rossman, 1988), görüşü aynen benimsenmiştir.

Dumanlı kuvarsin yapıli kimyasal analizinde Fe, Sb, Mn ve Ti elementleri içerdiği görülmüş, ancak Al^{+3} analizi güvenilir olarak yapılamamıştır. Ancak dumanlı rengin Si^{+4} yerine geçen Al^{+3} 'den kaynaklandığı birçok araştırmacı tarafından (Cohen, 1956; Loeffler and Burns, 1976; Birsoy, 1985; Fritsch and Rossman, 1988) vurgulandığı için Koçarlı (Aydın) dumanlı kuvarsa için de geçerli bir varsayım olduğu kabul edilmiştir. Süstaşına uygulanan orta enerjili beta ile gama ışınlamaları, mevcut rengin daha da koyulaşmasını sağlamıştır. Ayrıca radyasyon ışınlamaları sonucu süstaşında 3500-3750 $\text{\AA}$, 4250-4900 $\text{\AA}$ ve 6300-6900 $\text{\AA}$ 'da absorpsiyon bandları oluşmuştur. Dumanlı renge neden olan Al, Na ve radyasyonun birlikte oluşturduğu renk merkezlerinden kaynaklanabileceği bilindiğinden, ışınlama ile rengin şiddetinin artması, yeni elektron kapanımlarından ve Ti gibi elementlerin iyonize olmasından kaynaklanabilir.

Doğal rubellitin (pembe turmalin) absorpsiyon spektrasındaki 4100 ve 5300 $\text{\AA}$ 'luk pikleri, yapıda

bulunan Mn ve Li elementleri ile meydana gelebilir Loeffler and Burns, 1976). Ancak yapılan analiz sonucu Sarıkaya (Yozgat) rubellitinde, Mn ve Li'un yanında Cr elementinin de varlığı, renklenme mekanizmada önemli rol oynayabilir. Rubellit üzerine beta, gama, nötron ışınları uygulanmıştır. Bunlardan, düşük enerjili beta ile nötron ışınları mevcut renkte bir değişim yaratmazken, yüksek enerjili beta ışıması, rengi bir miktar koyulaştırmıştır. Bunların yanında gama ışıması ise, rengi oldukça koyulaştırmıştır. Ayrıca ışınlamalar sonucu Mn^{+3} 'ün, Mn^{+4} 'e dönüşmesi ile (Bueno de Camargo and Isotani, 1988) absorpsiyon piklerinin yerlerinde ve şiddetlerinde kayma ve değişimler oluşmuş ve bu durum rengin koyulaşmasını sağlamıştır.

KAYNAKLAR

- Birsoy, R., 1983. Kuvarsın Renklenmesi ve Yapısal Hataları. Tübitak TBAG-468.
- Birsoy, R., 1985. Kuvarsın Dumanlı Renklenmesi. Doğa Bilim Dergisi, seri A, cilt 5, sayı 1.
- Birsoy, R., 1987. Doğal Ametistin Kirlilik İçeriği ve Renklenmesi. Türkiye Jeoloji Bülteni, cilt 30, 63.
- Bueno De Cavargo, M., and Isotani, S., 1988. Optical Absorption Spectroscopy of Natural and Irradiated Pink Tourmaline. American Mineralogist, vol.73, 172.
- Cohen, A., J., 1956. Color Centers in Alpha-Quartz Called Amethyst Quartz. American Mineralogist, vol.41, 874.
- Cohen, A., J. and Hassan, F., 1974. Biaxial Color Centers in Amethyst Quartz. American Mineralogist, vol.54, 709.
- Cox, R., T., 1977. Optical Absorption of the d^4 Ion Fe^{+4} in Pleochroic Amethyst Quartz. Journal of Physics, vol.10, 82.
- Fritsch, E., and Rossman, G., 1987. Colors Involving Multiple Atoms and Color Centers, Part I. Gems and Gemology, vol.23, no.4, 3.
- Fritsch, E., and Rossman, G., 1988. Colors Involving Multiple Atoms and Color Centers, Part II. Gems and Gemology, vol.24, no.5, 3.
- Hatipoğlu, M., ve Dora, O., Ö., 1999. Anadolu'da Kullanılmış En Eski Süstaşı Hammaddeleri Olan Ankara Ağatları ve Eskişehir Kalsedonlarının Gemolojik İncelemesi. Baksem-99-1. Batı Anadolu Hammadde Kaynakları Sempozyumu, 8-14 Mart, İzmir, 462-468.
- Hatipoğlu, M., ve Dora, O., Ö., 2000. Ankara Ağatının Mineralojisi ve Bantlı Yapının Kökeni. Hacettepe Üniversitesi, Yerbilimleri Dergisi. v.22, 1-12.
- Hatipoğlu, M., 2003. Balıkesir İli-Dursunbey İlçesi-Güğü Köyü Ametist Kristallerinin Değerlendirilmesi ve Yöresel Ekonomiye Katkısı. Türkiye IV. Mermer Sempozyumu, 18-19 Aralık, Afyon. 243-256.
- Koivula, J., I., 1984. Chalcedony and Its Inclusions. Lapidary Journal, vol.54, 402.
- Loeffler, B., M. and Burns, R., G., 1976. Shedding Light on the Color of Gems and Minerals. American Mineralogist, vol.64, 636.
- Schlesinger, M., and Cohen, W., H., 1966. Postulated Structures Causing the Optical Color Centers Bands in Amethyst Quartz. Journal of Chemical Physics, vol.44, 3146.
- Taylor, D., H., Knoche, L., and Granville, W., C., 1948. Color Harmony Manuel, Descriptive Color Names Dictionary, Wilhelm Ostwald System. Container Corporation of America, (3th Ed) Chicago.

Piezoelektrik Teknoloji ve Piezo-Malzeme Olarak Turmalin

E.Y. Yazıcı, İ. Alp, A.O. Yılmaz & O. Celep

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Böl., Trabzon

M. Vıcal

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Böl., Trabzon

ÖZET: Bu çalışmada turmalin grubu minerallerin özellikleri, kullanım alanları belirtilmiştir. Turmalin mineralleri sahip olduğu renklilik, estetik görünüm ve sertliği sayesinde aranılan sütaşları arasında yer almaktadır. Turmalinin sütaşı olarak kullanımının yanında piezoelektrik özelliği onu -kuvarstan sonra- stratejik açıdan önemli bir mineral yapmaktadır. Akıllı malzemeler arasında yer alan piezo-malzemeler radarlardan mikrofona kadar her alanda kullanılabilen önemli malzemelerdir. Ülkemizde bulunan turmalin yataklarının sadece sütaşı olarak değil, piezoelektrik malzeme olarak değerlendirilebilirliği açısından ele almak gerekmektedir.

ABSTRACT: In this study, features of tourmaline group minerals and their usage fields are stated. It is demanded as a ornament stone because of tourmaline minerals' colorfulness, esthetic view and high hardness. Besides ornament stone, tourmaline is of strategical importance than quartz because of its piezoelectric property. This property makes tourmaline very important material which can be used in smart material technology.

1. GİRİŞ

Malzeme bilimlerinin tarihsel gelişimine bakıldığında yapısal malzemelerden fonksiyonel ve son olarak da akıllı malzemelere doğru bir gelişme görülmektedir. Yapısal malzemeler (örneğin; çelik, polikarbonat, tahta, demir, çimento vb.) mekanik kuvvet ve yük taşıma kapasitelerine göre tanımlanırlar. Fonksiyonel malzemeler ise sahip olduğu belirli fonksiyonlara göre teknolojik amaçla kullanılmaktadır (Çizelge 1) (URL-1; Ball, 2001).

Çizelge 1. Fonksiyonel malzemeler ve özellikleri.

Malzeme	Özellik
Kuvars, Turmalin	Piro-piezoelektrik
Bakır oksit	Fotoelektrik
Kadmiyum sülfid	Piezoelektrik
Germanyum	Foto-iletken

Akıllı malzemeler bir veya birden fazla özelliğe sahip malzemelerdir. Bu özellikler; Algılama, Aktüvatör ve Kontrol'dür. Algılama ve Aktüvatör özellikleri yapısal veya fonksiyonel bir malzemenin

yüzeyine monte edilmesiyle oluşur. Akıllı malzemeler; aktüvatör özelliği sayesinde yapay kaslarda, algılama özelliği sayesinde sinir ve hafıza görevinde, ve beyin gibi davranan bilgisayar ağlarında; genel olarak elektriksel, magnetik, termal enerji ve ışıkla ilgili alanlarda kullanılmaktadır (Ball, 2001). Çizelge 2'de bu alanlarda kullanılan akıllı malzemeler gösterilmektedir.

Çizelge 2. Çeşitli akıllı malzemeler (URL-1).

Malzeme	Kullanıldığı Alan
*Piezo-seramikler	Elektriksel
*Piezo-polimerler	
*Magnetostriktif alaşımlar	Magnetik
*Hibrid malzeme sistemleri	Termal enerji
*Polimer jeller	
*Polimer jeller	Işık
*Fotomekanik malzemeler	

Turmalin kristalleri piezoelektrik özelliğe sahip doğada bulunan nadir minerallerden birisidir. Bu özelliği sayesinde akıllı malzeme üretiminde kullanılmaktadır (URL-1).

"Piezoelektrik etki" kavramı ilk kez Fransız mineralog René Just Haüy (1817) tarafından anılmış (Piefort, 2001) ve 1880 yılında Jacques-Pierre Curie kardeşlerin bazı kristaller üzerinde (kuvars, turmalin, topaz, Rouchelle tuzu vs.) yaptıkları çalışmalar sonucunda bilimsel olarak kanıtlanmıştır (Bottom, 2003). Piezoelektriklik; Kuvars (SiO_2), Turmalin, Lityum Sülfat, Kadmiyum sülfat, Çinko oksit (ZnO), Rochelle tuzu ($\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), Baryum titanat (BaTiO_3), Kurşun zirkonat titanat (PZT) gibi tek kristal polar eksenine sahip maddelerde görülür. Amonyum dihidrojen fosfat (ADP), Lityum fosfat (LP), Etilen diammin tartarat (EDT), Dipotasyum tartarat (DPT) gibi suni kristallerde daha az oranlarda olmakla beraber piezoelektrik kristal yapımında kullanılır. Teorik olarak simetri merkezi olmayan bütün maddelerin piezoelektrik olması gerekmektedir. Ancak pratikte, bu tür maddelerin çoğunda bu özellik zayıf niteliktedir (Alp, 1998). Turmalin ve diğer piezoelektrik özelliğe sahip kristallerin piezoelektrik ve dielektrik sabitleri Çizelge 3'te verilmiştir. Dielektrik sabitin büyüklüğü piezoelektrik özelliğinde güçlü olduğunu gösterir (TP-238, 2003).

Çizelge 3. Piezo-kristallerin piezoelektrik ve dielektrik sabitleri.

Kristal	Piezoelektrik sabit*	Dielektrik sabiti**
Rochelle tuzu, 30°C	$d_{14} + 550$	350
	$d_{32} - 54$	9.2
	$d_{31} + 12$	9.5
Kuvars	$d_{11} + 2.3$	4.5
	$d_{14} - 0.7$	4.5
ADP ¹	$d_{14} - 1.5$	56
	$d_{25} + 48$	15.5
KDP ²	$d_{14} + 1.3$	42
	$d_{25} + 21$	21
	$d_{15} + 3.6$	6.3
Turmalin	$d_{22} - 0.3$	6.3
	$d_{21} + 0.3$	7.1
	$d_{33} + 1.8$	7.1
	$d_{14} - 3.2$	9
Baryum titanat (kristal)	$d_{11} - 34$	170
	$d_{33} + 86$	170
	$d_{15} + 392$	2900
Baryum titanat (seramik)	$d_{11} - 78$	1700
	$d_{33} + 190$	1700
	$d_{15} + 260$	1450

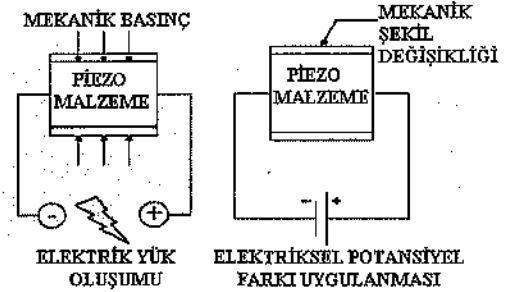
*mikromikro coulomb/newton

** "havaya göre

¹ Amonyum dihidrojen fosfat

² Potasyum dihidrojen fosfat

Piezoelektrik özellik gösteren bir malzemeye mekanik basınç uygulandığında malzemenin yüzeylerinde elektrik yüklerinin oluşmasına direkt piezoelektrik etki denir. Lippmann'ın (1881) direkt etki gösteren malzemenin ters etki göstermesi gerektiğini öne sürmesinden sonra ters piezoelektrik etki Curie kardeşler tarafından aynı yıl deneysel olarak ispatlanmıştır (Yazıcı, 2003). Şekil 1'de direkt ve ters etki gösterilmektedir.



Şekil 1. (a) Direkt piezoelektrik etki, (b) Ters piezoelektrik etki.

Piezoelektrik malzemelerin kullanım alanları enerji dönüşüm yönüne göre 3 bölüme incelenebilir:

Mekanik Enerji → Elektrik Enerjisi Dönüşümü

- Pikap kartıjları
- Mikrofonlar
- Titreşim algılayıcıları
- Hızölçerler
- Gaz ateşleyiciler
- Sigortalar

Elektrik Enerjisi → Mekanik Enerji Dönüşümü

- Valfler
- Mikro pompalar
- Kulaklıklar
- Ultrasonik temizleyiciler
- Sonik dönüştürücüler

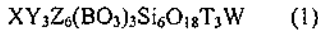
Elektrik → Mekanik → Elektrik Enerjisi Dönüşümü

- Yüzey akustik dalga ölçerler
- Sonarlar (deniz araştırmalarında)
- Osilatörler
- Transformatörler

Büyük turmalin kristalleri sahip olduğu piezoelektrik sebebiyle basınç ölçen cihazların yapımında ve radyo dalgalarının yayılmasında frekans kontrolü amacıyla kullanılmaktadır (Çelik ve Karakaya, 1998).

2. TURMALİN VE ÖZELLİKLERİ

Turmalin, farklı kimyasal özelliklere sahip bir grup karmaşık borosilikat mineralinin ortak adıdır. "Turmalin" adı Singhalese dilinde - Sri Lanka (Seylan)'nın resmi dili - "renkli taş" anlamına gelen "turamali" kelimesinden türemiştir. Halkalı (siklo) silikatların üyesi olan turmalinin genel formülü kimyasal yapısının karmaşıklığı nedeniyle kesinleşmemiştir. Kabul gören genel formül aşağıda verilmiştir (1) (Viator, 2003):



X, Y ve Z katyonik elementler; T ve W anyonik elementler içerir. Bu formülde;

X: Başlıca Na^+ , Ca^{2+} ve düşük miktarlarda K^+ ve boşluk

Y: Li^+ , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Al^{3+} , Ti^{4+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} , Co^{2+} ve Zn^{2+}

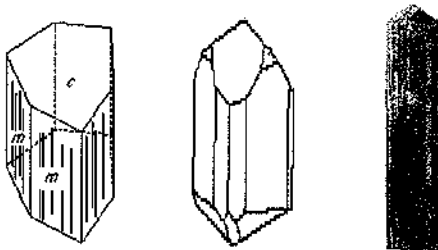
Z: Al^{3+} , Fe^{3+} , Cr^{3+} , V^{3+} , Mg^{2+} ve Fe^{2+} içerebilir

T: OH^- ; düşük miktarlarda O^{2-}

W: OH^- , O^{2-} , F⁻

Turmalin romboedrik kristal sistemine dahildir ve kristalleri uzun prizmalar biçimindedir (Şekil 2). Simetri merkezi yoktur. Sertliği 7-7.5 (Mohs), özgül ağırlığı 2.98-3.20 g/cm³'tür.

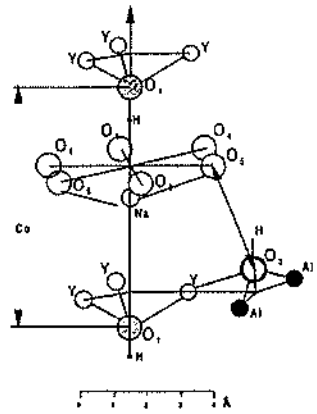
Turmalin grubundaki mineraller arasında; Şörlit/skorlit (Fe'li turmalin, siyah), dravit (Mg'lu turmalin), elbait (Li'li turmalin), rubellit(rubellite) (pembe renkli elbait), bürgerit, kromdravit, feruvit, foitit (foitite), indigolit (indikolite/indigolite) (Brezilya safirî, mavi), verdelit (verdelite) (Brezilya zümrütü, yeşil), olenit(olenite) ve uvit (uvite) sayılabilir. Bazı turmalinler ve formülleri Çizelge 4'de gösterilmiştir. Şekil 3' te turmalin strüktür yapısı sunulmuştur.



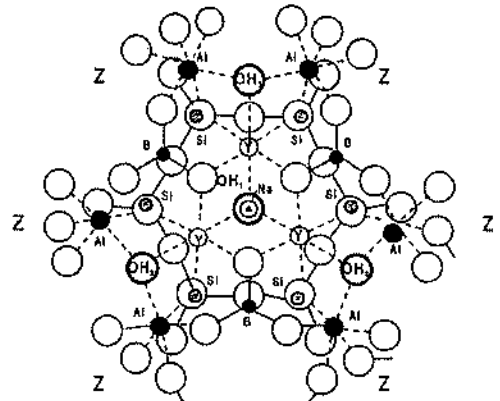
Şekil 2. Turmalin formları (URL-2).

Çizelge 4. Bazı turmalin grubu mineraller ve formülleri.

Mineral	Formül
Elbait(elbait)	$Na(Li,Al)_3Al_6(BO_3)_3Si_6O_{18}OH_4$
Dravit(dravite)	$NaMg_3(Al,Fe)_6(BO_3)_3Si_6O_{18}OH_4$
Şörlit(schorl)	$NaFe_3(Al,Fe)_6(BO_3)_3Si_6O_{18}OH_4$
Bürjrit(buergerite)	$NaFe_3Al_6(BO_3)_3Si_6O_{18}OH_4$
Liddikotit(liddicoatite)	$Ca(Li,Al)_3Al_6(BO_3)_3Si_6O_{18}OH_4$
Uvit(uvite)	$Ca(Mg,Fe)_3Al_6(BO_3)_3Si_6O_{18}OH_4$
Feruvit(feruvite)	$(Ca,Na)(Fe,Mg,Ti)_3(Al,Fe)_6(BO_3)_3Si_6O_{18}OH_4$
Kromdravit(chromdravite)	$NaMg_3Cr_6(BO_3)_3Si_6O_{18}OH_4$
Foitit(foitite)	$Na(Fe,Al)_3Al_6(BO_3)_3Si_6O_{18}OH_4$
Povendrait(povondraite)	$NaFe_3Fe_6(BO_3)_3Si_6O_{18}OH_4$



(a)



(b)

Şekil 3. OH, X(Na^+), Y(Fe^{2+} veya Li^+ , Al^{3+}) katyonlarının pozisyonlarını gösteren turmalinin strüktür görünüşü (a), turmalin strüktürünün ab düzlemi üzerine projeksiyonu (b) (Castaneda, 2000).

Turmalin HF' le temas ettiğinde alkali karbonat ve bisülfatlara ayrışır. Lityum içeren turmalinler (elbait) erimeye karşı dayanıklıdır. Bazı türleri pleokroizma gösterir (Çelik ve Karakaya, 1998). Turmalin kristalleri güçlü piroelektrik ve piezoelektrik özelliklere sahiptir. Turmalin, genellikle granitik pegmatitlerde, pegmatitleri çevreleyen kayalarda, çeşitli şist ve gnays türlerinde bulunur. Aşağıda turmalinin bulunduğu ortamlar belirtilmiştir (Çiftçi, 2003; Hurlbut, 1982):

- Plaser turmalin yatakları
- Pegmatitlere bağlı turmalin yatakları
- Kuvars-turmalin sülfürlü damarlar
- Kalsiyum silikatlı kayalarda (metamorfik) volframla birlikte oluşmuş turmalin yatakları
- Kristalen masiflerdeki pegmatitler ve riftlere bağlı turmalin yatakları
- Sedimanter kayalar içinde eksoelatif sülfütlere bağlı turmalin yatakları
- Granitlere bağlı kalay yataklarında oluşmuş turmalinler
- Krom yatakları içinde bulunan turmalinler
- Oksidasyon ve ayrışma zonunda ikincil olarak zenginleşmiş turmalin yatakları

3. TURMALİNİN KULLANIM ALANLARI

3.1. Süs Taşı Olarak Değerlendirilmesi

Bilinen 2700 mineral çeşidinden yaklaşık 100 tanesi kıymetli ve yarı kıymetli süstaşı olarak kullanılmaktadır (DPT, 2001). Süstaşları içinde renk çeşitliliği yönünden diğerlerinden kolaylıkla ayırt edilebilen turmalinin saydam ve güzel renkli olanları yarı kıymetli süstaşı olarak mücevher endüstrisinde değerlendirilmektedir.



Şekil 4. Rubellit (pembe turm.) kristali (Afganistan)

Turmalinlerin renkleri genellikle siyah ve mavimsi siyah, renksiz, mavi, pembe, yeşil, şeffaf opak rengindedir. Süstaşı olarak çok sayıda turmalin türü belirlenmiştir. Bunlardan bazıları aşağıda sıralanmıştır;

- Siyah turmalinler
- İki uçlu siyah turmalinler
- Yarı şeffaf yeşil turmalinler
- Büyük kedi gözü yeşil turmalinler
- Yeşil turmalinler
- Siyahımsı yeşil (koyu yeşil) turmalinler
- Pembe turmalinler
- Koyu kırmızı turmalinler
- Pembe ve şeftali renkli turmalinler
- Karpuz yeşili şeffaf turmalinler
- Çok renkli turmalinler
- Zümrüt yeşili turmalinler
- Zümrüt yeşili ve pembe şeffaf turmalinler
- Yeşil-mavi-mor renkli turmalinler
- Mavi-yeşil ve mor (eflatun) renkli turmalinler
- Mavi-yeşil ve pembe renkli turmalinler
- Pembe ve yeşil ve renksiz turmalinler
- Yeşil ve pembe turmalinler
- Kırmızımsı pembe turmalinler
- Şeffaf yeşil ve pembe turmalinler
- Açık mavi pembe turmalinler
- Mavi-yeşil renkli turmalinler
- Pembe-yeşil ve siyah turmalinler
- Yeşil-mavi ve pembe turmalinler

3.2. Potansiyel Bor Minerali Kaynağı Olarak

Doğada bor elementi içeren yaklaşık 150 mineralden ticari değeri olanlardan bazıları; tinkal, kolemanit, kernit (razorit), üleksit, probertit, sasolit, inyoit, hidroborasit, borasit, datolit, szaibalyite olarak sayılabilir. Turmalin bor içeren silikat mineralleriyle birlikte pegmatit-pnömatolitik devrede oluşur (Özkan ve ark., 1997).

Turmalin, borosilikat minerali olarak ağırlıkça ortalama %3 bor elementi içermesiyle potansiyel bir bor kaynağıdır fakat düşük bor tenörü ve turmalinden bor elde etmek için gerekli prosesin zorluğu onu ekonomik yönden değersiz kılmaktadır (Smith, 2002).

3.3. Piroelektrik Teknolojide Kullanımı

Turmalin ısıya maruz kaldığında elektrik yükü üretir. Bu özelliği sayesinde 18 ve 19.yy'da bacalardan çıkan toz ve kül parçacıklarının temizlenmesinde kullanılmıştır. Bacadan çıkan ısı sayesinde turmalinin yüzeyinde elektrik yükü oluşmakta ve ince tanecikleri üzerinde toplamaktadır. Yeşil turmalin, turmalin kaması yapımında ve polarizasyon aletlerinin yapımında kullanılmaktadır (DPT, 2001).

3.4. Piezoelektrik Malzeme Olarak Değerlendirilmesi

Askeri uygulamalarda ve diğer birçok uygulamada kuvars kristalleri yüksek performans ve düşük maliyetlerinden dolayı tercih edilmektedir.

2001 yılında Kuzey Amerika piezoelektrik kristal ve cihazları piyasası 1,15 milyar dolardır. Yıllık %10' luk ortalama büyüme oranıyla 2006 yılında 1,86 milyar dolar olması beklenmektedir (Çizelge 5). Kuzey Amerika piezoelektrik kristal endüstrisi 150 kadar üretici ve ithalatçı şirketten oluşmaktadır. 2000 yılı toplam tüketimi 1,27 milyar dolar olarak tahmin edilmektedir. Bunun %47,2' si ithal ürünlerden oluşmaktadır. (Abraham, 2001)

Amerikan hükümeti kuvars dışındaki tek kristalli piezoelektrik malzemelerin geliştirilmesi için araştırma ve geliştirme projeleri yürütmektedir. Kablosuz iletişimin ortaya çıkmasıyla ve veri iletiminin kablolu iletişimdeki öneminin artmasıyla birlikte piezoelektrik kristaller ve kristal cihazlar piyasada hızla yükselmektedir. Kuvars kristaller ve kristal cihazlar için talebin yükselmesiyle Kuzey Amerika tüketimin yaklaşık %50' si başta Asya olmak üzere diğer ülkelerden ithal edilerek sağlanmıştır (Alp ve Ark., 2003).

Çizelge 5. Piezoelektrik kristal ve cihazlar için Kuzey Amerika piyasası(mil.dolar)(Abraham,2001).

	2001	2006	Yıllık büyüme (2001-06), %
Kuvars kristalleri	1,140	1,840	10,0
Kuvars dışı kris. (turmalin vs.)	13	20	9,0
Toplam	1,15	1,860	10,0

4. DÜNYADA VE TÜRKİYEDE TURMALİN KAYNAKLARI VE ÜRETİMİ

Turmalin rezervine sahip başlıca ülkeler arasında Afganistan, Brezilya, Madagaskar, Tanzanya yer almaktadır (Olson, 2001). Bunların dışında turmalin rezervine sahip diğer ülkeler; Elba Adası, Rusya (Urallar), Birmanya, Sri Lanka, Sibiry; Meksika, A.B.D. (Maine, Connecticut, Newyork ve California), Nijerya ve Zambiya olarak sayılabilir.

4.1. Dünyada Üretim

2001'de en fazla satan renkli sütaşları sırasıyla; mavi safir, inci, tanzanit, yakut, zümrüt, ametist, yeşil turmalin, rodolit, garnet, süslü(fancy) safir, pembe turmalin(rubellit) ve mavi topaz' dır (Olson, 2001). Çizelge 6'da bazı ülkelerin yıllara göre turmalin üretimleri verilmiştir. Bu ülkelerde üretilen turmalin yarı-kıymetli taş olarak mücevhercilik endüstrisinde kullanılmaktadır.

Çizelge 6. Bazı ülkelerin turmalin üretimleri (ton).

	1998	1999	2000	2001
Brezilya ¹	80	80	80	80
Madagaskar ²	1,3	1,4	1,9	0,8
Zambiya ³	-	2	2	2

¹Gurmedi, 2001; ²Yager, 2001; ³Coakley, 2001

4.2. Türkiye'deki Turmalin Kaynakları

Manisa'da Gördes-Demirci-Borlu ilçeleri arasındaki Kuzu ve Kovancı köyleri arasında pegmatitik ortam ürünü olan şörl minerali bulunmuştur (Şekil 5).

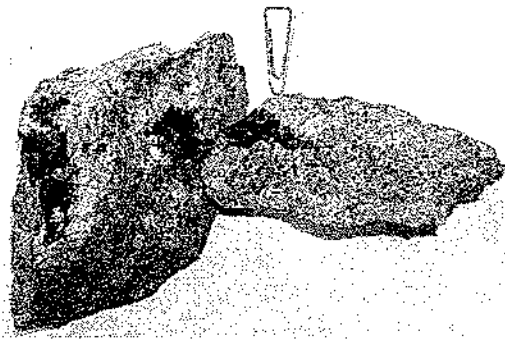
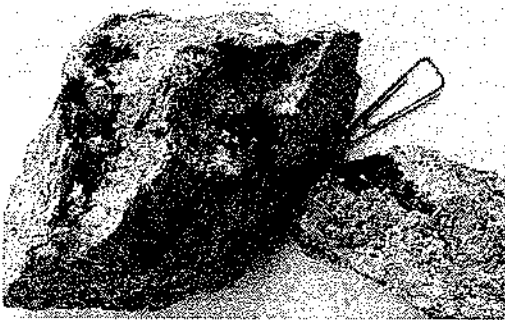


Şekil 5. Manisa-Demirci-Kuzuköy yöresinde bulunan siyah turmalinler.

Gnayslar içerisinde iri kristaller halinde bulunan şörl siyah renkte, opak görünümlü ve yapısı varil şeklindedir (Hatipoğlu ve Gökçen, 1999). Bunun dışında Yozgat-Doğankent-Oruklar köyü yakınlarında granit-aplit ve pegmatitlere bağlı olarak rubellit (pembe turmalin) zuhuru bulunmuştur (Bozkurt, 2003) fakat işletilebilir nitelikte değildir (DPT, 1996).

4.2.1. Doğu Karadeniz Bölgesi Turmalin Kaynakları

Doğu Karadeniz bölgesi jeolojik yönden volkanik ve plütonik kayaların zengin olduğu bir bölge olduğu kadar maden yatakları açısından da çok zengindir. Polimetallik yatakların araştırılması sırasında siyah turmalinlerin varlığı belirlenmiştir. Granitler içinde kuvarslarla birlikte oluşan turmalinler granit dokanalarına yakın olarak Şebinkarahisar-Asarcık'ta belirlenmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. Şebinkarahisar-Asarcık yöresi granitik kayaç içindeki siyah turmalinler.

İğne şeklinde ışımsal ve demet şeklinde siyah turmalin oluşumlarının gemolojik olarak çeşitli takılarda kullanılması düşünülmüştür. Buradaki turmalin iğneciklerinin kalınlığı 1-2 mm arasında değişmektedir. Bu nedenle piezoelektrik teknolojide kullanılması zor görülmektedir.

Gümüşhane-Torul-Karadağ polimetallik cevherinde kuvars gangi ile bulunan turmalinler ince ve küçük özellikte olduğu için ancak kuvarsla birlikte gemolojik amaçla yapılan çalışmalarda kullanılabilir niteliktedir.

Şimdiye kadar belirlenen turmalin yataklarının varlığı yörede yapılacak gemolojik incelemelerle yeni turmalin yataklarının bulunma ihtimalini arttırmaktadır. Bölgenin jeolojik yapısı ve turmalin yataklarının bulunduğu ortamlar göz önüne alındığında Doğu Karadeniz bölgesinin turmalin açısından geniş bir potansiyele sahip olduğu söylenebilir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Ülkemizdeki varlığı bilinen turmalin yataklarının türleri ve bu yataklardaki turmalinlerin özelliklerine göre kullanım alanları belirtilmiştir. Yapılacak yeni araştırmalarla yeni bulunacak turmalinlerin hangi amaçlarla kullanılabileceğine ışık tutulabilecektir. Genellikle süstaşı olarak kullanılan turmalin malzeme bilimleri açısından bakıldığında akıllı yapılarda kullanılabilecek önemli bir mineraldir.

Sahip olduğu piezoelektrik özelliği sayesinde mikrofon, hız ölçer vb. sık kullanılan alanlarda ve radar, tıbbi ultrason gibi daha teknolojik alanlarda kullanılmaktadır. Özellikle son zamanlarda ilerleyen malzeme bilimlerini inceleyerek akıllı yapıların hayatımızda daha fazla yer alacağını söyleyebiliriz. Ülkemizdeki turmalin kaynaklarının sadece süstaşı/yarı değerli süstaşı olarak değil, akıllı malzeme olarak teknolojide nasıl kullanılabileceğimiz araştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

Abraham, T., 2001, *Piezoelectric Crystals and Devices*, Business Communications Company, Inc., Norwalk.

- Alp, İ., 1998, Ultrases Dalgalarının Cevher Hazırlamada Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Doktora Tezi, Osman Gazi Üniversitesi, FBE, Eskişehir.
- Alp, İ., Yazıcı, E.Y., Kaygusuz, A., Kolaylı, H., Vici, M., 2003, *Kristal Kuvars ve Piezoelektrik Malzemelerinin Ekonomik Olarak Değerlendirilebilirliği*, I. Gemoloji Sempozyumu, 5-8 Mart, Ankara, Syf.30-34.
- Ball, P., 2001, *Materials Of The Future*, A chapter for the UNESCO Encyclopaedia of Life Support Systems, London, UK
- Bozkurt, R., *Türkiye'de Yarı Kıymetli Taşların Durumu*, Ekim 2003, Osmangazi Üniversitesi MMF Jeoloji Mühendisliği Bölümü, (www.turkishtime.org)
- Bottom, V. E., 2003, *A history of the Quartz Crystal Industry in the USA.*, Corning Frequency Co., Texas.
- Castañeda, C., Figueiredo, E. Oliveira, Gomes, N., Soares, A. C. P., 2000, *Infrared Study Of Oh Sites In Tourmaline From The Elbaite-Schorl Series*, American Mineralogist, Sayı 85, Syf. 1503-1507.
- Çelik, M., Karakaya, N., 1998, *Sistematik Mineraloji*, Syf. 69, Konya.
- Çiftçi, E., *Yer Bilimleri Teknik Bilimler Sözlüğü*, Syf.525, Niğde.
- Deer, W.A., Howie, R.A., Zussman, J., 1992, *An Introduction to Rock Forming Minerals*, Syf.132.
- DPT, 2001, *Özel ihtisas komisyonu raporu endüstriyel hammaddeler alt komisyonu genel endüstri mineralleri III (nadir toprak elementleri kıymetli ve yarı kıymetli taşlar) çalışma grubu raporu*, Ankara.
- DPT, Mart 1996, *Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu: Diğer Endüstri Mineralleri Çalışma Grubu raporu. Kıymetli Ve Yarı Kıymetli Taşlar(Süs Taşları)*, Ankara.
- Hatipoğlu, M., Gökçen, N., 1999, *Batı Anadolu'nun Yarı Kıymetli Süstaşlarının Başlıca Mineralojik, Jeolojik ve Ekonomik Nitelikleri*. Baksem-99 (1. Batı Anadolu Hammade Kaynakları Sempozyumu, 8-14 Mart) Bildiriler Kitabı, Syf. 438-447. İzmir.
- Helvacı, C., Ekim 2003, *Türkiye Borat Yatakları: Jeolojik Konumu, Ekonomik Önemi ve Bor Politikası*, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 35100 Bornova, İzmir. (www.jmo.org.tr)
- Hurlbut, C. S., 1982, *Mineraloji Cilt-II* (Çeviri: İnan, K., Tanyolu, E.), İstanbul, Syf.161-162.
- Olson, D. W., 2001, *Gemstones*, U.S. Geological Survey Minerals Yearbook.
- Özkan, Ş. G., Çebi, H., Delice, S., Doğan, M., Ekim 1997, *Bor Minerallerinin Özellikleri ve Madenciligi*, 2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir.
- Piefort, V., 2001, *Finite Element Modelling of Piezoelectric Active Structures*, Doktora Tezi, Université Libre de Bruxelles, Syf.1.
- Smith, R. A., *Basic Geology and Chemistry of Borate*, August 2002, U.S. Borax Inc., Valencia, Calif. American Ceramic Society Bulletin, Vol. 81, No. 8.
- TP-238, *Technical Publication -Piezoelectricity*, Ekim 2003, www.morgan-electroceramics.com.
- Viator, D. B., 2003, *Detrital Tourmaline as an Indicator of Provenance: A Chemical and Sedimentological Study of Modern Sands from the Black Hills, South Dakota*, Yüksek Lisans Tezi, Louisiana State University, Syf.8
- Yazıcı, E.Y., Alp, İ., Kaygusuz, A., Kolaylı, H., Vici, M., 2003, *Piezoelectric Technology And Study Of Evaluation Of East Karadeniz Region Quartz Deposits*, Industrial Minerals and Building Stones(IMBS), Eylül 15-18, İstanbul, Syf. 775-781.
- URL-1: www.me.polyu.edu.hk/subject/me423/notes/chap_t23.pdf (11.01.2004)
- URL-2: www.members.aol.com/jmichaelh (09.01.2004)

Volkanik Cüruf Agregaların Yapı Sektöründe Kullanımı

S. Demirdağ, L. Gündüz & S. Saraç

Süleyman Demirel Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Isparta

ÖZET: Bu çalışmada, Manisa ili Salihli-Kula ilçeleri civarından temin edilen volkanik cüruf agregaların, yapı sektöründe hafif beton agregası olarak değerlendirilebilirliği üzerine bir dizi deneysel çalışma yapılmıştır. Ocaktan getirilen numuneler, kırmızı-siyah renkte olup kırıldıktan sonra 0-4 mm boyutunda ince agregaya (kırmızı cüruf) ve 4-8 mm boyutunda iri agregaya (siyah cüruf) olarak sınıflandırılmışlardır. Bu agregalarla, belirli su oranlarında ve farklı çimento oranlarında karışımlar elde edilerek küp numuneler hazırlanmıştır. Dökümü yapılan küp numuneler üzerinde, dayanım, birim ağırlık, su emme vb. deneyler yapılarak standartlara uygun bir şekilde volkanik cürufaların hafif beton üretiminde kullanılabilirliği araştırılmıştır.

ABSTRACT: In this study, a comprehensive experimental research work was carried out to evaluate the volcanic slag aggregates from Manisa, Salihli-Kula Region as a lightweight concrete aggregate for building industry. The aggregate samples received from the quarry are red and black color, and they were crushed, screened and classified as 0-4 mm fine aggregate for red color aggregates and 4-8 mm coarse aggregate for black color aggregates. A series of cubic concrete test samples were cast based on specific water and different cement contents. Compressive strength, unit weight and water absorption tests were analysed on these samples and the utilization of volcanic slag aggregates to produce the lightweight concrete was also evaluated according to the related standards.

1. GİRİŞ

İnşaat sektöründe, tarihsel gelişim süreci içerisinde, yapılarda hafif beton karışımlarının kullanım gerekliliği çok eskilere kadar dayandığı bilinen bir gerçektir. Betonlarda farklı özellikli agregalar kullanılarak betona yeni özellikler kazandırılmaktadır. Normal betonun birim ağırlığının yüksek olması, betonarme yapılarda yapı, kendi ağırlığının taşıdığı yararlı ağırlığa yakın olmasına sebep olmaktadır. Yapı yükünün fazla olması, deprem ve temel problemlerini zorlaştırmakta ve yapı maliyetini artırmaktadır. Betonun birim ağırlığını düşürerek belli bir dayanımı sağlayan yeni kullanım alanlarından biri de hafif betonlardır. Hafif beton üretme yöntemlerinden biri, normal beton agregası yerine hafif agregaya kullanmaktır (Topçu, 1997). Hafif agregaya, betonun özgül ağırlığını azalttığı gibi

binanın ısısal konfor özelliklerini de iyileştirmekte, yangına karşı direncini artırmakta ve bu gibi özelliklerinden dolayı sektör bazında kullanıma oranını artırmaktadır.

Bu amaçla, ülkemizde bol miktarda bulunan ve doğal hafif agregası sınıfına giren volkanik cürufaların değerlendirilmesi gündeme gelmiştir.

Topçu 1989'da Eskişehir cüruflarından elde edilen hafif betonların mekanik özelliklerini kompozit malzeme kurallarıyla incelemiş ve bileşim-özellik ilişkilerine ait analitik bağıntılar geliştirerek standartlara uygun taşıyıcı betonlar elde etmiştir. Ayrıca, 1997'de Topçu, kaba agregaya olarak volkanik cürufaların kullanılmasıyla üretilmiş yarı hafif betonların fiziksel ve mekanik özelliklerini inceleyerek, yarı hafif betonların volkanik

cürüflarla ekonomik olarak elde edilebileceğini deneysel analizler ile göstermiştir.

Yaşar ve arkadaşları 2003'de volkanik cüruf agregalardan hafif beton elde edilebilme kriterlerini analiz etmişler ve daha sonra bu betonlarda katkı maddesi olarak uçucu külleri kullanmışlardır. Yapılan çalışmalar sonucunda, cüruf agregası kullanarak standartların öngördüğü dayanım değerlerinde hafif betonların kullanılabileceğini belirlemişlerdir.

Kılıç ve arkadaşları 2003'de volkanik cüruf agregalardan elde edilen betonlara, silis bakımından oldukça zengin mineral katkı maddesi olarak silis dumanı (silica fume) kullanarak yüksek dayanımlara sahip hafif betonlar elde etmişlerdir.

Bu çalışmada, özellikle Ege Bölgesinde yer alan volkanik cüruf agrega oluşumlarının hafif beton agregası olarak değerlendirilebilirliğine ilişkin yapılan bir dizi deneysel çalışma bulguları detaylı analiz edilmiştir. Ayrıca, hafif beton agregası üzerine yürürlükte bulunan Türk Standartları ve diğer uluslararası standartlara göre, bu volkanik cüruf agregaların uygunluk kriterleri tartışılarak en uygun tane boyutlarında ve optimum çimento oranında karışımlar hazırlanarak elde edilen ürünlerle, yapıların hafiflemesi sağlanarak yapı sektörüne yeni bir malzeme kazandırılması amaçlanmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Volkanik cüruf agrega, çeşitli volkanik aktivitelere bağlı olarak, bazaltik karaktere sahip lavların, patlamanın oluşturduğu basıncın etkisiyle, çatlaklar boyunca sızması sonucu oluşan bazaltik-andezitik kompozisyona sahip, gözenekli, camsı volkanik bir kayaç türüdür.

Bu agregalar, demir ve magnezyum bakımından zengin, silis içeriği bakımından fakir mafik lavların boşalımı esnasında, magmanın zamanla yüzeye doğru yaklaşması ve basınçta meydana gelen azalma nedeniyle, lavın bünyesinde bulunan uçucu gazların ve çeşitli volkanik bileşenlerin büneyi terk ederek ortamdan uzaklaşması ve ani soğumaya bağlı olarak meydana gelmiştir.

Yüksek demir içeriğinden dolayı, koyu griden siyaha kadar değişen bir renk aralığına sahiptir. Özellikle oksidasyonun etkisiyle daha ziyade kırmızı, kahverengi ve siyah tonlarda görülebilmektedir (Demirdağ ve Gündüz, 2003).

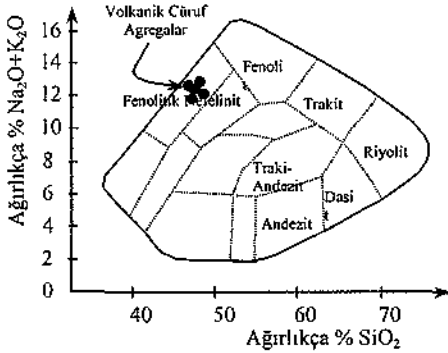
Volkanik olaylar sonucu oluşmuş, boşluklu ve gözenekli bir yapıya sahip olan cüruf oluşumlarının, özellikle Ege Bölgesinde, Manisa ili Kula ve Salıhlı ilçeleri çevresinde dağılımı göz önüne alındığında, bu volkanik kayaç oluşumlarının yapı malzemesi olarak değerlendirilebilirliği göz ardı edilemeyecek boyutlardadır.

Volkanik cüruf oluşumlarının yapı sektöründe hafif beton agregası olarak değerlendirilmesine ilişkin ASTM standartları ve TS 1114 standardında öngörülen prensiplere göre bir dizi deneysel inceleme yapılmıştır. Bu incelemelerde, cürüfların kimyasal, mineralojik-petrografik ve fiziksel analizleri ile volkanik cüruf agregalarından elde edilen karışımlarla hazırlanan 10x10x10cm boyutlarındaki küp numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Volkanik cüruf agregaların kimyasal özellikleri belirlenmiş olup, deneysel bulgular Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Volkanik cüruf agregaların kimyasal özellikleri.

Majör Element	Numune			Ort.
	1	2	3	
SiO ₂	45.63	45.58	46.03	45.75
Al ₂ O ₃	15.63	15.74	15.61	15.66
Fe ₂ O ₃	10.71	10.68	10.65	10.68
CaO	8.79	8.85	8.55	8.73
MgO	5.85	5.92	6.03	5.93
SO ₃	0.04	0.04	0.03	0.036
Na ₂ O+K ₂ O	11.35	11.90	11.78	11.68
A.K.	1.95	1.29	1.32	1.52

Petrokimyasal açıdan volkanik cüruf oluşumlarının silika ve alkali içeriklerine göre yapılan sınıflandırma sisteminde *Fenolitik Nefelin* kayaç yapısında olduğu gözlenmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Volkanik cüruf agregaların, silika ve alkali içeriklerine göre sınıflandırması.

Hafif beton agregası olarak kullanılacak doğal agregalarda, özgül ağırlık değerleri, TS 3526'da belirtilen piknometre esasına göre yapılarak cürufaların, ortalama değeri 2560 kg/m^3 olarak belirlenmiştir.

Volkanik cürufaların gevşek ve sıkışık birim ağırlık değerleri, TS 3529 ve DIN 4226 standartlarında belirtilen prensipler dahilinde deneysel olarak belirlenerek, bulgular Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Volkanik cüruf agregaların gevşek-sıkışık birim hacim ağırlık değerleri.

Boyut Aralığı (mm)	Gevşek Birim Hacim Ağırlık (kg/m^3)	Sıkışık Birim Hacim Ağırlık (kg/m^3)
>32	210	221
16-32	344	402
8-16	493	603
4-8	642	805
2-4	790	1003
1-2	938	1210
0.5-1	1086	1461
0.25-0.50	1235	1608
<0.25	1383	1820

Deneysel bulgular irdelendiğinde, cüruf agregaların birim ağırlık değerleri, standardın öngördüğü limitler içerisinde kaldığı gözlenmiş olup, bu agrega malzemenin hafif beton agregası olarak kullanılabilmesi tanımlanmıştır.

Gözenekli agregalarda genelde arzu edilen 24 saatlik su emme yüzdeleri, ince agregada %20, iri agregada ise %30 civarında bir değerdir. Ancak, bu değerler, agreganın sağlandığı yere, granülometrisine, tane şekline ve yüzey yapısına göre değişmektedir. Cüruf örneklerinin su emme yüzdeleri itibarıyla, arzu edilen limit değerler arasında olduğu saptanmış ve bulgular Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3. Volkanik cüruf örneklerinin su emme, doluluk ve porozite değerleri.

Boyut Aralığı (mm)	Su emme Oranı (%)	Doluluk Oranı (%)	Porozite (%)
>32	34.54	8.20	91.80
16-32	27.18	13.44	86.56
8-16	23.11	19.26	80.74
4-8	19.22	25.08	74.92
2-4	15.20	30.09	69.91
1-2	12.39	36.64	63.36
0.5-1	11.23	42.42	57.58
0.25-0.5	9.12	48.24	51.76

Volkanik cüruf agregaların, yapı sektöründe hafif beton agregası olarak kullanılması için farklı kombinasyonlarda hafif betonlar elde edilerek, standart küp örnekleri hacimce %3-%12 çimento kullanım oranlarında dökülmüştür. Bu çalışmalarda, volkanik cüruf agregaların 0-4 mm ince agrega (kırmızı cüruf) ve 4-8 mm iri agrega (siyah cüruf) boyutuna sahip agregalar hacimce farklı oranlarda ve çimento kullanım oranlarında küp numuneler dökülmüştür. Doğal ortam kür koşullarına tabi tutulan küp örnekleri üzerinde, 28 günlük kür sonunda basınç dayanım, birim ağırlık ve su emme deneyleri yapılmıştır. Yapı malzemelerini kullanım yerlerinde bir avantaj yapan yani diğer malzemelerden ayıran parametreleri *Dayanım*, *Ağırlık* ve atmosfer şartlarına bağlı olarak *Su Emme* değerleridir. Bu özelliklere, su/çimento oranı, çimentonun cinsi, agrega boyutu ve agreganın hacim oranı gibi çeşitli özellikleri etki etmektedir. Yapı malzemesi olarak elde edilecek kuru karışım hafif betonların 28 günlük basınç dayanım değerlerinin 25 kgf/cm^2 ve dolu hacim birim ağırlıklarının ise $300\text{-}1800 \text{ kg/m}^3$ olması arzu edilmektedir. Bu çalışma kapsamında, pratik bir uygulama modelini sembolize etmesi bakımından,

burada yalnızca 3 ayrı karışım bileşimine ait teknik irdelemeler örnek olarak verilmiştir:

- %70 iri agrega + %30 ince agrega ile yapılan efektif çimento belirleme çalışması,
- %60 iri agrega + %40 ince agrega ile yapılan efektif çimento belirleme çalışması,
- %50 iri agrega + %50 ince agrega ile yapılan efektif çimento belirleme çalışması,

Bu 3 ayrı karışım bileşimine göre farklı çimento hacimlerinde dökülmüş standart küp numunelerinin 28 günlük dayanım, birim ağırlık ve su emme değerleri Çizelge 4 ve Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 4. Küp numunelerin dayanımı, MPa.

Çimento Kullanımı Hacimce %	%70 iri %30 ince Agregalı Örnekler	%60 iri %40 ince Agregalı Örnekler	%50 iri %50 ince Agregalı Örnekler
3	1,10	0,69	0,67
5	1,71	1,13	0,91
7	1,92	1,79	1,74
8	2,22	2,15	1,78
10	3,13	3,76	2,72
12	4,05	4,37	3,83

Çizelge 5. Küp numunelerin kuru birim ağırlık değerleri, kg/m³.

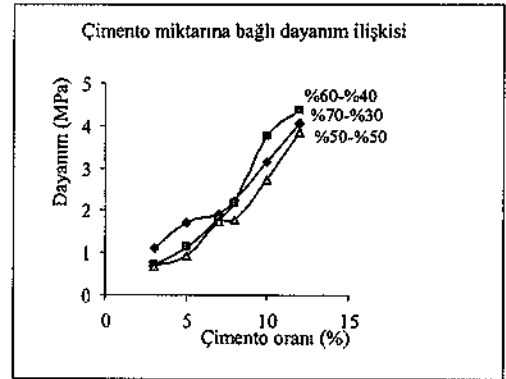
Çimento Kullanımı Hacimce %	%70 iri %30 ince Agregalı Örnekler	%60 iri %40 ince Agregalı Örnekler	%50 iri %50 ince Agregalı Örnekler
3	1299,5	1317,27	1184,51
5	1306,8	1322,86	1233,9
7	1311,57	1377,2	1262,6
8	1318,37	1404,5	1277,4
10	1400,6	1411,4	1288,6
12	1459,2	1473,2	1345,1

Çizelge 6. Küp numunelerin su emme değerleri, %.

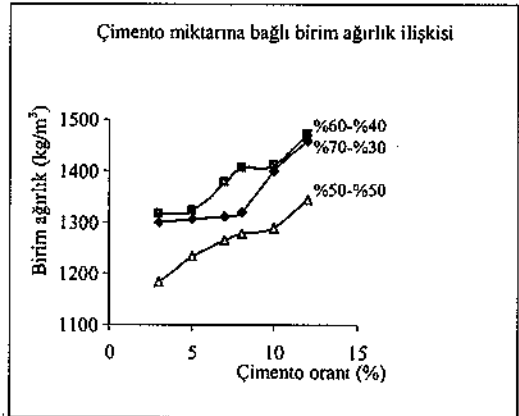
Çimento Kullanımı Hacimce %	%70 iri %30 ince Agregalı Örnekler	%60 iri %40 ince Agregalı Örnekler	%50 iri %50 ince Agregalı Örnekler
3	15,22	16,47	17,97
5	14,75	16,21	17,10
7	14,05	15,02	16,27
8	13,88	14,81	16,09
10	13,81	14,58	15,53
12	13,65	14,41	14,59

numunelerin standartlara uygun bir şekilde hangi karışım oranlarında ve efektif çimento oranlarında ürünler elde edilebileceğini belirtmektedir. Bu değerlere göre, deneysel olarak elde edilen küp numunelerin dayanım değerleri, birim ağırlık ve su emme değerlerini irdeleyerek, en uygun çimento kullanımının ne olabileceğini ve hangi oranlarda malzeme kullanılabileceği yorumlanabilmektedir.

Elde edilen sonuçlara göre çimento oranının dayanım ve birim ağırlığa etkisi grafiksel olarak Şekil 2 ve Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 2. Çimento oranının dayanıma etkisi



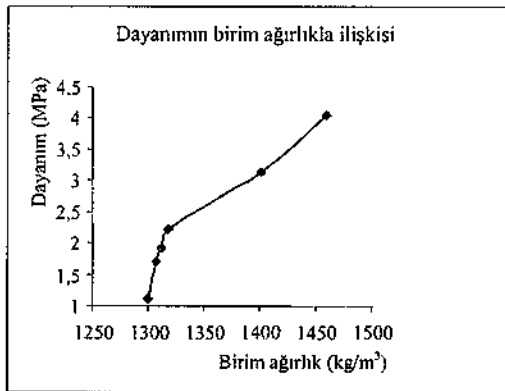
Şekil 3. Çimento oranının birim ağırlığa etkisi

Küp numunelerin, dayanım, birim ağırlık ve su emme değerleri açısından ele alındığında, volkanik cüruf kullanımı ile hedeflenen kuru karışım hafif betonların elde edilebileceği görülmektedir. Çizelgeler'de verilen değerler, dökümü yapılan küp

Şekil 2 ve Şekil 3'te görüldüğü gibi çimento miktarının artmasıyla dayanım ve birim ağırlığın da arttığı görülmektedir. Ancak burada önemli olan standartların öngördüğü dayanımı ve birim ağırlığı

en optimum çimento oranında elde ederek maliyetin istenilen seviyelerde kalmasını, seri üretime geçmeden önce belirlemektir. Yapılan çalışmalarda elde edilen karışım oranlarında standartlara uygun ve hafif yapı elemanı blok üretimi için kuru karışım hafif betonların elde edilebileceği görülmüştür.

Ayrıca birim ağırlığın dayanıma olan etkisini analiz etmek amacıyla, yalnızca %70 iri-% 30 ince agregaya karışımına ait değerlerin grafiksel analizi yapılarak Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. Birim ağırlığın dayanıma etkisi

Yapılan grafiksel analizde, birim ağırlığa bağlı olarak dayanımın arttığı, buna karşın elde edilen değerlerin standartlarda belirtilen sınır değerler arasında olduğu görülmektedir.

3. SONUÇLAR

Bu çalışmada Ege Bölgesinde özellikle Manisa İli Salihli ve Kula Yöresi çevresinde bulunan kırmızı ve siyah renkli volkanik cüruf oluşumlarının, inşaat sektöründe hafif yapı malzemesi ve hafif yapı elemanı boşluklu ve/veya dolu blokların üretimi için kuru karışım hafif betonların elde edilmesinde değerlendirilebilirliği, yapılan deneysel çalışmalar sonucunda belirlenmiştir. Volkanik cürufarla elde edilen bu betonların birim ağırlıkları ve dayanımlarının, blok üretimi için uygulanan standartlara uygun olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

Demirdağ, S., Gündüz, L., 2003. *Volkanik Cürufaların İnşaat Endüstrisinde Hafif Beton Agregası Olarak Değerlendirilme Kriterleri*. III. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, 3-4 Aralık, İstanbul.

Kılıç, A., Atış, D.C., Yaşar, E. ve Özcan, F., 2003. *High-Strength Lightweight Concrete Made with Scoria Aggregate Containing Mineral Admixtures*. Cement and Concrete Research, 33, 1595-1599.

Topçu, İ.B., 1989. *Volkanik Cürufaların Hafif Beton Agregası Olarak Kullanılma Olanaklarının İncelenmesi*. Türkiye İnşaat Mühendisliği X. Teknik Kongre Bildiriler Kitabı, Cilt I, 9-12 Ekim, Ankara, 437-451.

Topçu, İ.B., 1997. *Semi Lightweight Concretes Produced By Volcanic Slags*. Cement and Concrete Research, Vol. 27, No. 1, USA, pp. 15-21.

TS 1114, 1986, Hafif Agregalar – Beton İçin, TSE, Ankara.

Yaşar, E., Atış, D.C., Kılıç, A. ve Gülşen, H., 2003. *Strength Properties of Lightweight Concrete Made with Basaltic Pumice and Fly Ash*. Materials Letters 57, 2267-2270.

Artık Manyezit Tozundan Yüksek Safılıkta Sinter Magnezya Üretimi

N. Erdoğan
Belde A.Ş., Kütahya

M. Kaya
Osmangazi Üni., Teknoloji Araştırma Merkezi (TEKAM), Eskişehir

T. Batar & B. Kahraman
Dokuz Eylül Üni. Müh. Fak. Maden Müh. Böl. Bornova, İzmir

ÖZET: Üretim aşamasında açığa çıkan 50.000 ton civarındaki ortalama 63 mikron boyuta sahip elektrofiltre manyezit tozu Kümaş A.Ş. firmasının en önemli sorunlarından biridir. Farklı metodlarla yüksek safılıkta sentetik sinter magnezya üretimi birçok ülkede yapılmasına rağmen Türkiye’de henüz ticari boyutta üretimi yapılmamaktadır. Bu çalışmanın amacı, Kümaş manyezit artıklarını değerlendirerek firma ve ülke ekonomisine katkı sağlamak ve ince boyutta stoklanması zor olan artık malzemenin rüzgar ve sel gibi etkenlerle çevreye zarar vermesine engel olmaktır. Deneysel çalışmalar sırasıyla, numunenin kimyasal ve mineralojik özelliklerinin tespiti, liç işlemi, briketleme ve sinterleme işlemlerinden oluşmaktadır. Tekrar edilen deneylerde % 0.23 SiO₂, % 0.71 CaO, % 0 Fe₂O₃, %0 Al₂O₃ ve %99.01 MgO içeren temiz ürünler elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar cesaret verici olarak değerlendirilmiştir.

ABSTRACT: During production stage, nearly 50.000 tones accumulated electro-filter magnesite dust, which is minus 63 micron, is the most basic problem for Kümaş A. Ş. Enterprise. Although the high purity of MgO produced in many countries by means of different methods, there is no any commercial production in Turkey. The aim of this study is to beneficiate magnesite dust, which is hard to storage as fine, and also to prevent the harmful effects to environment, furthermore, to contribute additional income to company budget by production of MgO compound. The procedures of experimental studies were initially to define the chemical and mineralogical properties of assay and then the briquetting and sintering stages, following leaching process respectively. The products obtained at the repeated conditions are bearing 0.23% SiO₂, 0.71% CaO, 0% Fe₂O₃, 0% Al₂O₃, and 99.01% MgO respectively. These results have been regarded as encouraging.

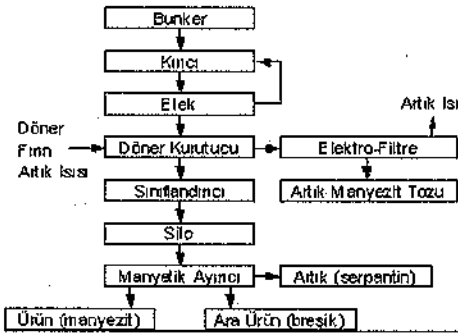
1. GİRİŞ

Elektro-filtre manyezit tozu artığı, ortalama 80 mikron boyutunda ve her yıl yaklaşık 50.000 ton üretilmekte olup, 1997 yılından itibaren 250.000 ton’u bulduğu hesap edilmektedir. Söz konusu artığa bir çözüm getirilip üretime tekrar kazandırılmaz ise Kümaş ve Kütahya için sorun oluşturacağı ortadadır. Bu nedenle elektro-filtre manyezit tozu artığının liç edilip yüksek kalitede sentetik sinter magnezya ve magnezyum bileşikleri üretiminin gerçekleştirilmesi zorunlu hale gelmektedir.

Üretimin gerçekleşmesi halinde, problem oluşturan artıklar Kümaş ve ülke ekonomisine kazandırılacak ve ülkemizde bir ilk gerçekleştirilmiş olunacaktır. Sentetik sinter magnezya ve magnezyum bileşikleri üretimi dünyada çeşitli yöntemlerle yapılmakta olup ülkemizde henüz endüstriyel boyutta üretim yapılmamaktadır. Bu çalışma ile endüstriyel boyutta yüksek safılık derecesinde sentetik sinter magnezya ve magnezyum bileşikleri üretimi ilk ve tek olarak gerçekleştirilecektir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Çalışmaya konu malzeme, Kumaş A.Ş. firmasının cevher hazırlama tesisinde kurulu bulunan döner kurutucuya bağlı olarak çalışan elektro-filtre tarafından tutulmuş olan artık manyezit tozu'dur. Malzemenin tesisten alındığı yer Şekil 1.'de gösterilmiştir.

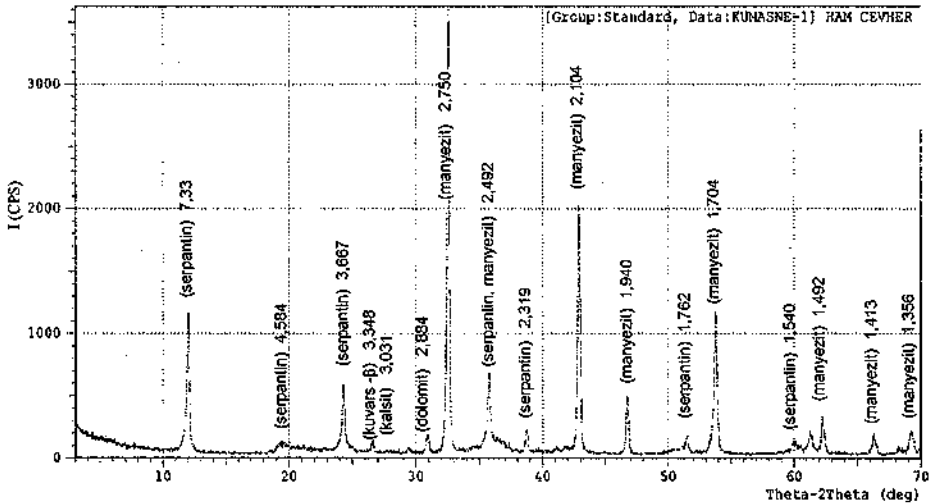


Artık manyezit tozu akım şeması.

Kumaş firması yılda 160.000 ton sinter magnezya ve 400.000 ton konsantre cevher üretmektedir. Konsantre cevher üretimine bağlı olarak elektro-filtreden yılda yaklaşık 50.000 ton manyezit tozu artığı alınmaktadır. Şu ana kadar elektro-filtreden alınan artık manyezit tozu stokunun yaklaşık 300.000 ton olduğu hesaplanmaktadır. Stoktan alınan temsili numunenin kimyasal analizi, ASTM C574-78 standardına göre yapılmış ve numuneye ait kimyasal analiz sonuçları Tablo 1.'de, verilmiştir. Tablo 1.'den anlaşıldığı üzere, artık manyezit tozu, yüksek SiO_2 , CaO ve Fe_2O_3 içeriğine sahiptir.

Tablo 1. Kimyasal analiz sonuçları.

Kimyasal bileşimler	Manyezit tozu
% MgO	43,80
% SiO_2	13,32
% CaO	2,13
% Fe_2O_3	2,85
% Al_2O_3	0,15
% Ateş Kaybı	37,75



Şekil 2. Artık manyezit tozunun XRD grafiği

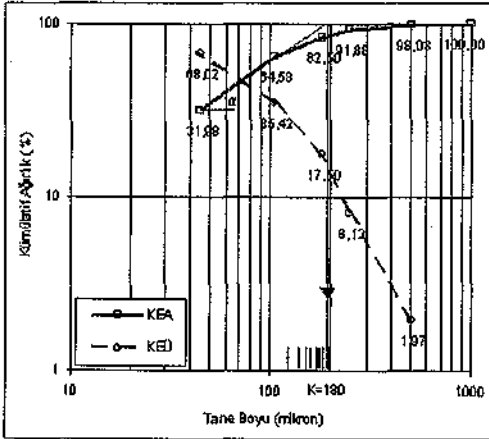
Şekil 2.'de verilen, artık manyezit tozunun XRD grafiği incelendiğinde, ana mineral olarak manyezit [$MgCO_3$], yan taş olarak serpantin [$3MgO \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$], kalsit [$CaCO_3$], dolomit [$CaCO_3 \cdot MgCO_3$] ve kuvars β [SiO_2] minerallerinden oluştuğu gözlenmektedir.

Stoktan alınmış temsili numunenin elek analizi yapılmış ve elek analiz sonuçları Tablo 2.'de verilmiştir. Şekil 3.'de ve ortalama tane boyutu hesaplamak için verilen bağıntıda ilgili değerler yerlerine konulup hesaplama yapıldığında, ortalama tane boyutunun 63 mikron olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 2. Elek analiz sonuçları.

Elek açıklığı (mikron)	Ağırlık (%)	KEÜ %	KEA %
-1000+500	1,97	1,97	100,00
-500+250	6,15	8,12	98,03
-250+180	9,38	17,50	91,88
-180+106	17,92	35,42	82,50
-106+45	32,60	68,02	64,58
-45+0	31,98	100,00	31,98
Toplam	100,00		

Şekil 3.'de, artık manyezit tozu'nun kümülatif elek altı (KEA) ve kümülatif elek üstü (KEÜ) eğrisi verilmiştir.



Şekil 3. Kümülatif elek altı ve kümülatif elek üstü eğrisi.

$$\begin{aligned}
 X &: \text{ortalama tane boyutu (mikron),} \\
 K &: \text{boyut modülü} \\
 m &= \text{tga : dağılım faktörü,} \\
 X &= [m / (m + 1)] K, \\
 m &= \text{tga} = (64,58 - 31,98) / (106 - 45) \\
 m &= 32,60 / 61 = 0,534 \\
 m &= 0,534 \\
 X &= [0,534 / (0,534 + 1)] 180 \\
 X &= 63 \text{ mikron.}
 \end{aligned}$$

2.1. Kalsine Dolomit Cevheri

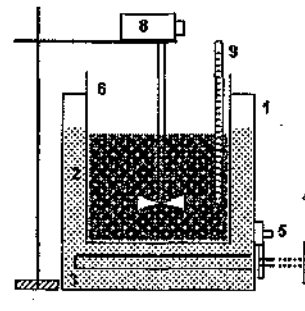
Kalsine dolomit cevheri stokundan alınmış temsili numunenin kimyasal analizi yapılmıştır. Numuneye ait kimyasal analiz sonuçları Tablo 3.'de, verilmiştir.

2.2. Hidroklorik Asit

Çalışmalarda, "Teknik Asit" adıyla bilinen endüstri tipi, %32,0 'lık HCl asidi kullanılmıştır. Teknik asidin Yoğunluğu = $1,17 \text{ gr/cm}^3$ olarak ölçülmüştür.

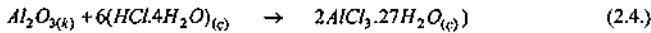
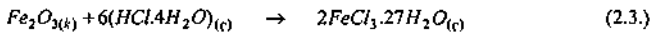
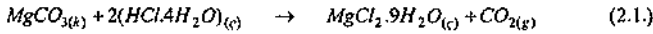
2.3. Deney Düzenegi

Liç deney çalışmalarında, ısı ayar kontrolüne sahip su banyosu kullanılmıştır. Su banyosunun içinde bulunan suyun ısıtılması vasıtasıyla liç tankının içi, dolayısıyla liç ortamının ısıtılması sağlanmıştır. Kullanılan HCl asidinin metaller ile reaksiyona girmesinden dolayı, liç tankını direkt olarak içeriden değil, indirekt olarak dışarıdan ısıtma tercih edilmiştir. Liç tankına, 60 devir/dakika ile çalışan karıştırma cihazı yerleştirilerek deneyler yapılmıştır.



Şekil 4. $MgCl_2$ çözelti üretimi deney düzenegi

MgCl₂ çözelti üretimi (liç) deney düzeneği Şekil 4.'de görülmektedir. Liç prosesi deney düzeneğinde gösterilen sayılar, (1) : su banyosu, (2) : su, (3) : ısıtıcı rezistans, (4) : elektrik kaynağı, (5): ısı kontrol düğmesi, (6) : liçin yapıldığı cam beher (reaktör), (7) : HCl asidi + elektro-filtre manyezit tozu, (8) : hız devir kontrollü karıştırıcı, (9): termometreyi göstermektedir.



2.5. MgCl₂ Çözeltisi Üretimi

Sabit liç şartları ; 3 saat liç süresi, 50 gram katı, 60 devir/dakika karıştırma hızı.

Değişken liç şartları ; 20°C'de, 100 – 115 – 130 – 140 mlt asit ile, 50°C'de 100 – 115 – 130 – 140 mlt asit ile ve 70°C'de 100 – 115 – 130 – 140 mlt asit miktarlarıyla çözündürme işlemi yapılmıştır.

Çalışma sonucuna göre çizilmiş Şekil 5.'deki grafik incelendiğinde, sıcaklık ve asit miktarının artışıyla çözünme hızının arttığı, ancak 130 mlt asit miktarından sonra çözünme hızının çok daha düşük olduğu gözlenmiştir.

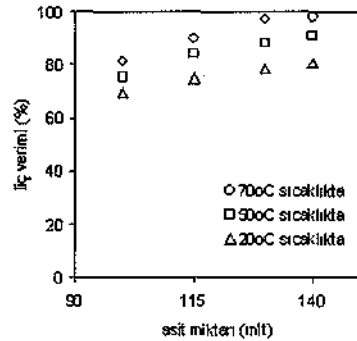
Çözündürme işlemi sonunda optimum çözündürme şartları olan, 3 saat liç süresi, 50 gram katı, 60 devir/dakika karıştırma hızı, 70°C liç sıcaklığı ve 130 mlt asit ile yapılan çözündürme işlemi sonunda malzemenin %97,53'ünün çözündüğü saptanmıştır.

2.6. Ca(OH)₂ Çözeltisi Üretimi

Mg(OH)₂ üretimi için Ca(OH)₂ üretimine gereksinim vardır. Ca(OH)₂ üretmek için, kalsine

2.4. Liç Mekanizması

Manyezit, kalsit, dolomit, serpantin ve kuvars minerallerinin bulunduğu ortama HCl asidi eklendiğinde, SiO₂ mineralleri hariç diğer mineraller asit ile reaksiyona girmektedir. Minerallerin asit ile oluşturduğu reaksiyonlar, (2.1.), (2.2.), (2.3.) ve (2.4.) no'lu denklemlerde gösterilen mekanizmaya göre olmaktadır (Karakaya ve diğer. 1996).



Şekil 5. Asit miktarı - liç verimi (çözünme) grafiği

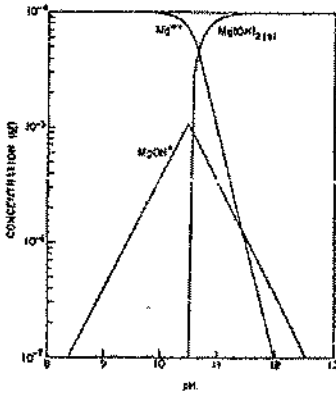
edilmiş dolomit cevheri, karıştırma tankına su ile birlikte ilave edilir. Karıştırma sonunda elde edilen çözelti, Ca(OH)₂ çözeltisidir ve pH'ı 12,0-12,5 aralığındadır. Üretilen Ca(OH)₂ çözeltisi içerisinde kalan askıdaki partiküllerin çöktürülmesi için çözelti dinlendirme tankına alınır. Dinlendirilmiş Ca(OH)₂ çözeltisinin pH'ı,

soda ile 13,5'ye yükseltilir ve magnezyum hidroksit üretimi için hazır hale getirilir.

2.7. $Mg(OH)_2$ Kek Üretimi

$Mg(OH)_2$ üretme tankına verilmeye hazır hale getirilmiş $MgCl_2$ çözeltisi içerisinde, 12,69 gram Magnezyum (Mg^{++}) varlığı ölçülmüştür.

Şekil 6.'da, Magnezyum iyonlarının pH ve konsantrasyon değişimine bağlı olarak oluşturduğu bileşikler gösteren grafik görülmektedir.



Şekil 6. Magnezyumun pH ve $[M]$ 'a bağlı davranışı
(Kaya, M., 1993).

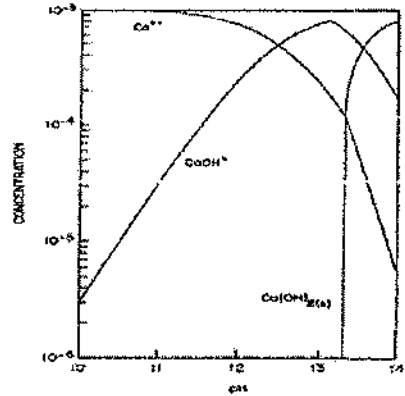
Grafik incelendiğinde, pH 10,30'dan itibaren $Mg(OH)_2(k)$ bileşiğinin oluşmaya başladığını, pH 12 - 13 aralığında ortamda serbest Mg^{++} iyonlarının, $Mg(OH)_2$ bileşiğine dönüştüğünü gözlenmektedir. Bu çalışmada amaç $Mg(OH)_2(k)$ üretmek olduğuna göre, $Mg(OH)_2(k)$ çöktürmek için ortam pH'nın 12 - 13 aralığında olması gerektiği söylenebilir.

2.8. Kalsiyum iyonlarının, pH ve konsantrasyona bağlı davranışları

$Mg(OH)_2$ üretme tankına verilmeye hazır hale getirilmiş $MgCl_2$ çözeltisi içerisinde 1,023 gram CaO olduğu ölçülmüştür.

Şekil 7.'de, kalsiyum iyonlarının pH ve konsantrasyon değişimine bağlı olarak oluşturduğu bileşikler gösteren grafik verilmiştir. $Mg(OH)_2(k)$ bileşiğini oluşturmak için çalışılacak

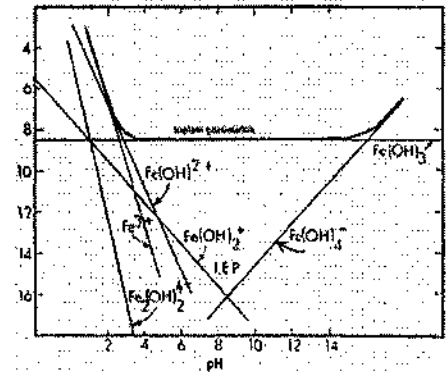
pH 12 - 13 aralığında kalsiyum iyonlarının davranışları, Ca^{++} ve $CaOH^+$ şeklinde olduğu gözlenmektedir. $Ca(OH)_2(k)$ 'in çökmesi pH 13'ten sonra başlamaktadır.



Şekil 7. Kalsiyumun pH ve $[M]$ 'a bağlı davranışı
(Kaya, M., 1993).

2.9. Demir iyonlarının, pH ve konsantrasyona bağlı davranışları

$Mg(OH)_2$ üretme tankına verilmeye hazır hale getirilmiş $MgCl_2$ çözeltisi içerisinde 1,351 gram Fe_2O_3 olduğu ölçülmüştür. Şekil 8.'de, demir iyonlarının pH ve konsantrasyon değişimine bağlı olarak oluşturduğu bileşikler gösteren grafik verilmiştir.



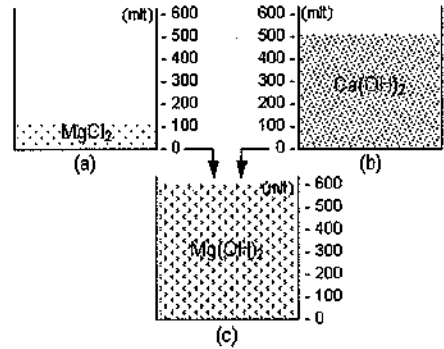
Şekil 8. Demirin pH ve $[M]$ 'a bağlı davranışı
(Atak, 1982).

Grafik incelendiğinde, pH 8'e kadar, demirin hidroksil iyonları ile bileşik oluşturduğu ve çökelediği, ortamda serbest demir iyonlarının kalmadığı gözlenmektedir.

2.10. $Mg(OH)_2$ Üretimi Deney Düzeneği

Şekil 9.'da Magnezyum hidroksit üretimi deney düzeneği verilmiştir. $Mg(OH)_2$ üretimi çalışmaları deney düzeneğinde gösterilen şekildeki gibi yapılmıştır.

Şekil 9. Magnezyum hidroksit üretimi deney düzeneği. (a) : dinlendirilmiş $MgCl_2$ çözeltisi tankı (cam beher). (b) : dinlendirilmiş $Ca(OH)_2$ çözeltisi tankı (cam beher). (c) : $Mg(OH)_2$ üretimi tankı (cam beher).

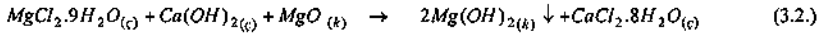
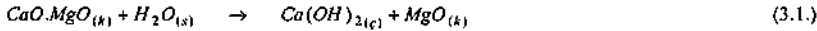


Şekil 9. $Mg(OH)_2$ üretimi deney düzeneği

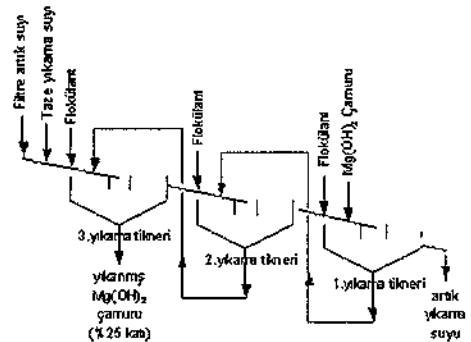
2.11. $Mg(OH)_2$ Üretim Mekanizması

$Mg(OH)_2$ üretimi, $MgCl_2$ çözeltisi ile $Ca(OH)_2$ çözeltisinin bir araya getirilerek reaksiyona girmesiyle mümkün olmaktadır. Yapılan çalışmalarda, pH 12 – 13 aralığında $Mg(OH)_2$ in oluştuğu ve çökelediği gözlenmiştir.

$Mg(OH)_2$ üretimi, (3.1.) ve (3.2.) no'lu denklemlerde verilen mekanizmaya göre gerçekleşmektedir.

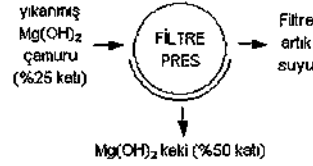


$Mg(OH)_2$ çökeleğinde bulunan kalsiyum bileşiklerinin ortandan uzaklaştırılması için yıkama prosesine gereksinim vardır. Şekil 10,'da magnezyum hidroksit yıkama prosesi akım şeması verilmiştir. $Mg(OH)_2$ çamuru 1.tiknere verilirken, yıkama suyu üçüncü tiknere beslenir. Proses ters akım olarak çalışmaktadır. Yıkama suyu taşan olarak üst akımdan ilerlerken, katılar alt akım olarak bir arkadaki tiknere beslenmektedir. Üçüncü tikner çökeni olarak, yıkamış $Mg(OH)_2$ çamuru alınır. Her aşamada, tekrar çökelmeyi hızlandırmak için çöktürücüler kullanılır; Birinci tikner taşanı olarak alınan yıkama artık suyu temizlenmek ve tekrar sisteme geri beslenmek üzere artık su havuzuna beslenir.



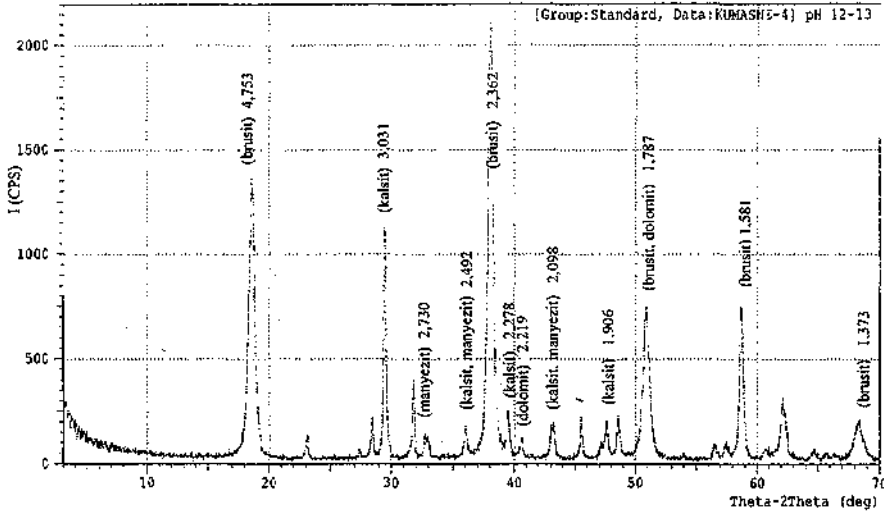
Şekil 10. $Mg(OH)_2$ yıkama prosesi.

Şekil 11.'de magnezyum hidroksit çamurunu filtre prosesi akım şeması verilmiştir. %25 katı $Mg(OH)_2$ çamuru filtre prese beslenmekte, filtreden %50 katı $Mg(OH)_2$ keki alınmaktadır. Filtre artık suyu yıkama prosesine geri beslenmektedir.



Şekil 11. $Mg(OH)_2$ filtrasyon prosesi

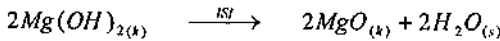
Şekil 12.'de $Mg(OH)_2$ katısının XRD grafiği verilmiştir. Grafik incelendiğinde, çöken katının $Mg(OH)_2$ yani brusit olduğu gözlenmektedir. Bu da çalışmadan beklentinin sağlandığı anlamına gelmektedir.



Şekil 12. Magnezyum hidroksit katısı XRD grafiği.

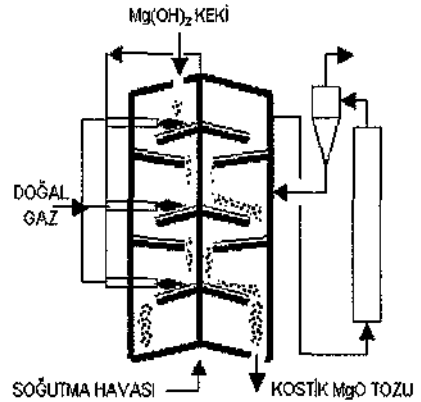
3. MgO (SİNER MAGNEZYA)ÜRETİMİ

Sentetik sinter magnezya üretim mekanizması, (5.1.) nolu denkleme göre gerçekleşmektedir.



3.1. $Mg(OH)_2$ Keki Kalsinasyonu

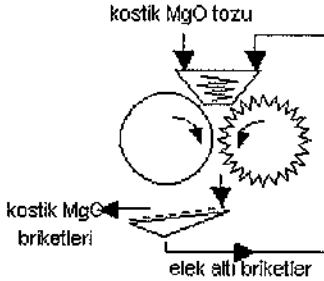
Çöktürülmüş, yıkamış ve filtrelenmiş magnezyum hidroksit katısının, döner fırında sinterleştirilebilmesi için boyut büyütülmesi, bunun için de briketlenmesi gerekir. Briketleme yapmadan önce, magnezyum hidroksit katısının önceden kalsine edilmesi gereklidir. Şekil 13.'de ince tane boyutlu malzemeleri kalsine etmekte kullanılan, çok ocaklı Herroshoff kalsine fırını şematik olarak verilmiştir (Multiple Hearth Herroshoff Calciner, www.nedmag.nl, 2001).



Şekil 13. Kalsinasyon fırını

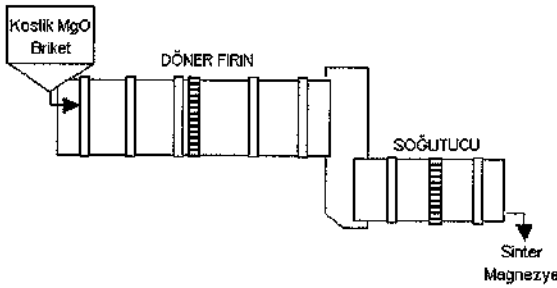
3.2. Kalsine MgO Briketleme

Şekil 14.'de briketleme prosesi akım şeması verilmiştir. Briket makinesi, biri düz diğeri üzerinde yuvalar açılmış merdanelerden oluşmaktadır.



Şekil 14. Briketleme akım şeması.

Kalsine magnezya harmanına bağlayıcı olarak magnezyum sülfat çözeltisi eklenerek karışım hazırlanmıştır. Hazırlanmış karışım bunkerden geçirilerek merdane tarafından briketlenmiştir. Briketler ortalama 2 cm büyüklüğündedir ve 2 cm'den küçük taneler tekrar briketlenmek üzere, briketleme bunkerine geri beslenmiştir. Elek üstü taneler, sinterleştirilmek üzere döner fırına gönderilmiştir.



Şekil 15. Sinterleme akım şeması

3.3. Briket MgO Sinterleme

Şekil 15.'de döner fırın prosesi akım şeması verilmiştir.

Üretilen briketler, Kümaş firmasında kurulu bulunan döner fırında sinterleştirilmiştir.

Mevcut döner fırında, halihazırda doğal manyezit cevherinden sinter magnezya üretimi yapılmaktadır.

Sinter magnezya üretim prosesi sonucunda üretilen sinter magnezya briketlerinin yapılan kimyasal analiz sonuçları Tablo 4'te verilmiştir

Tablo 4. Kimyasal analiz sonuçları.

Kimyasal bileşikler	manyezit tozu	Mg(OH) ₂ Keki	Sinter MgO
% MgO	43,80	64,85	99,01
% SiO ₂	13,32	0,15	0,23
% CaO	2,13	0,50	0,71
% Fe ₂ O ₃	2,85	-	-
% Al ₂ O ₃	1,15	-	-
% A.K.	37,75	34,50	0,05
Toplam	101,00	100,00	100,00

4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Sinter magnezya üretim prosesi sonucunda üretilen sinter magnezya briketlerinin yapılan kimyasal analizinde; artık manyezit tozunun, SiO₂ değeri %13,32'den %0,23'e, CaO değeri %2,13'den %0,71'e, Fe₂O₃ değeri %2,85'den %0'a, Al₂O₃ değeri %1,15'den %0'a indirilirken, MgO değeri %43,80'den %99,01'e yükseltilmiştir. Elde edilen bu sonuçlara göre, artık manyezit tozu içerisindeki safsızlıklar minimum değerlere indirilerek, yüksek saflıkta sentetik sinter magnezya üretilmiştir. Bu da çalışmadan beklenen sonuçların alınması anlamına gelmektedir.

KAYNAKLAR

Atak, S., 1982, "Flotasyon İlkeleri ve Uygulamaları", İ.T.Ü., Maden Fakültesi yayını, İstanbul.

Breusch, F.L. ve Ulusoy, E., 1987, "Genel ve Anorganik Kimya", İstanbul Üniversitesi yayınları, sayı:3218, İstanbul.

Karakaya, İ., Topkaya, Y. ve Ocaktan, M.C., 1996, "Kümaş Manyezitlerinden Magnezyum Kazanımı", Orta Doğu Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Tübitak Projesi, Ankara.

Kaya, M., 1993, "*Manyezit ve Bazik Refrakter Teknolojisi*", Anadolu Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, Anadolu Üniversitesi Yayınları No:450, Eskişehir.

Raschman, P., 2000, "*Leaching of Calcined Magnesite Using Ammonium Chloride at Constant pH*", Elsevier, Hydrometallurgy 56, 109-123,

Redland Minerals, Hartlepool Magnesia Works, "*Hartlepool Magnesia Works Process Flow Diagram*", England.

Sanıgök, Ü., 1987, "*Anorganik Endüstriyel Kimya*", İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü, İ.T.Ü. Yayınları No:71, İstanbul.

Shreve, R.N., 1975, "Chemical Process Industries", Third Editions, "Magnesium Compounds" bölümü, Tokyo, 183.

Sheila, D. and Khangaoankar, P.R., 1989, "Precipitation of Magnesium Carbonate", Hydrometallurgy, 22, 248-258.

<http://www.baymag.com> internet sitesi, 2001, Pure Naturel MgO, sitenin tamamı, Canada.

<http://www.britmag.co.uk> internet sitesi, 2001, sitenin tamamı, England.

<http://www.israelchemicals.co.il> internet sitesi, 2001, Dead Sea Magnesia, Dead Sea Periclase, Israel.

<http://www.nedmag.nl> internet sitesi, 2001, NEDMAG Industries, sitenin tamamı, Netherland.

Mermerlerin Anizotropik Karakteristiğinin Shore Sertliği Üzerine Etkisi

A. Güney & R. Altındağ

SDÜ Müh. Mm. Fak. Maden Müh. Böl., Isparta

Y. Kibici

AKÜ Mühendislik Fakültesi, Afyon

ÖZET: Kayaçların anizotropik karakteristikleri mekanik özelliklerinin belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada mermerlerin anizotropik karakteristiklerinin Shore sertliği (SH) üzerine etkilerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamdaki deneyler 9 farklı mermer türü üzerinde yapılmıştır. Mermer örneklerinden hazırlanan kübik numuneler üzerinde X-Y-Z uzayında XY, YZ ve XZ düzlemlerinde SH ölçümleri yapılmıştır. Sonuç olarak, kayaçların mineralojik yapısının yanı sıra ve birim hacim ağırlık, ağırlıkça su emme, ultrasonik hız geçirgenliği ve porozite gibi bazı fiziksel özelliklerinin de SH değerleri üzerindeki etkisi incelenmiştir.

ABSTRACT: Anisotropic characteristics of rocks play a significant role in determining their mechanical properties. Therefore, in this study the goal has been to investigate the influence of marble anisotropy on Shore Hardness (SH). Experimental studies were performed on 9 specific marble types. Shore hardness measurements were carried out on cubical marble samples cut out of these marble types on XY, YZ and XZ planes of X-Y-Z space. In conclusion, in addition to the effects of mineralogical structure, effects of certain physical properties of rocks such as unit weight in volume, water absorption in weight, ultrasonic velocity and porosity on the SH values were investigated.

1. GİRİŞ

Kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerinde yönlenmeye bağlı olarak görülen değişimler anizotropi olarak tanımlanmaktadır. Metamorfik ve sedimanter kayaçlarda görülen anizotropik karakteristikler genellikle kayaç içerisindeki klivaj, foliasyon, şistozite, eklemeler, tabakalanma ve microçatlakların varlığından dolayı ortaya çıkmaktadır. Bununla birlikte, kayaçların mineral yapısı, özellikle mineral yönlenmesi ve anizotropik karakteristikleri arasındaki ilişkileri belirlemek amacıyla bir çok araştırmalar yapılmıştır (Wenk, 1985; Wenk and Christie, 1991; Bunge et al., 1994; Barla, 1974; Amadei, 1983).

Bu çalışmada, kayaçların anizotropik karakteristikleri X, Y ve Z yönlerinde SH ölçümleri ile belirlenerek bu değerlerle kayaçların diğer fiziksel özellikleri (birim hacim ağırlık (BHA), ağırlıkça su emme (ASE) ve ultrasonik hız (V_p) ve

porozite (P)) arasındaki ilişkileri belirleyebilmek amacıyla istatistiksel değerlendirmeler yapılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Mineralojik İnceleme

SH ölçümleri yapılan kübik kayaç numunelerinin X,Y,Z yönlerindeki XY, YZ ve XZ düzlemlerinden ince kesit örnekleri alınmış ve mineralojik tanımlamaları Çizelge 1'de verilmiştir.

2.2. Kayaçların Fiziksel Özellikleri

Bu çalışma kapsamında seçilen kayaçların birim hacim ağırlık, ağırlıkça su emme, ultrasonik hız geçirgenliği ve porozite deneyleri TS 699 (1987) ve ISRM (1981) standartlarına göre belirlenmiştir. Belirlenen bu özellikler Çizelge 2'de verilmiştir.

2.2.1. Ultrasonik Hız Deneyi

Ultrasonik hız ölçümlerinde Pundit cihazı kullanılmıştır. V_p hızları kübik numunelerin XY, YZ, XZ düzlemlerinde (Şekil 1) ölçülmüş ve kayaca ait V_p değerleri 3 yönde ölçülen bu değerlerin aritmetik ortalaması alınarak hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 2'de özetlenmiştir.

2.2.2. Shore Sertliği Deneyi

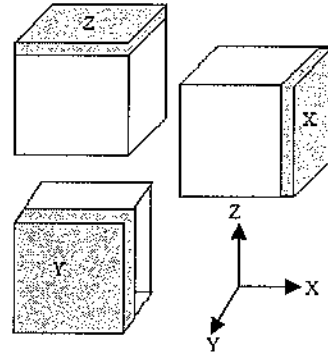
Kayaçların fiziksel özelliklerinden biri olan SH temel olarak kayacın mineralojisinden, çimentolaşma durumundan (bağlayıcı madde), matrix tipinden ve elastisitesinden etkilenmektedir. SH, tane boyutu 0,2 mm'den büyük kayaçlar için sert minerallerin yüzdesinin hızlı ölçümünü ortaya koymak için kullanılabilir ve kayacın mineralojisi ile direkt ilişkisi bulunmaktadır (McFeat-Smith, 1977).

SH ölçümü için araştırmacılar tarafından farklı deney boyutları önerilmektedir (Misra, 1972; ISRM, 1981; Rabia ve Brook, 1979; Altındag, 2002). Altındag (2002), 54,75 mm çaplı karotlar üzerinde yaptığı SH ölçümlerinde, SH değerlerinin numune hacminin 80 cm³'den daha büyük numunelerde değişmediğini belirlemiş ve minimum numune hacminin 80 cm³ olması gerektiğini önermiştir. Bu çalışmada ise 9 farklı kayaç örneğinden alınan 5cmx5cmx5cm boyutlu ($V=125$ cm³) kübik numuneler hazırlanmıştır. SH ölçümlerinde C-2 tipi Shore Sclerescopu kullanılmıştır. SH ölçümleri, bu numuneler üzerinde ISRM (1981)'de belirtilen ölçüm prensibine göre yapılmıştır. Elde edilen SH ölçümlerinin aritmetik ortalamaları Çizelge 3'de verilmiştir.

Kayaçı oluşturan minerallerin 3 farklı yönde (X,Y,Z) farklı özellikler gösterebileceği bilinmektedir. Dolayısıyla, deney numunesi olarak seçilen bir kayaç örneğini oluşturan mineraller hazırlanan numunenin X,Y,Z yönlerinde de farklı özellikler göstermesi doğaldır. Dolayısıyla, her 3 yönde de ölçülen SH sertliği değerleri de mineral yapısına göre farklılıklar gösterecektir.

ISRM (1981)'e göre SH ölçümü için hazırlanacak olan numunenin boyutları 10 cm² alanında ve 1 cm kalınlığında olması gerekmektedir. Böyle bir numunede sadece bir yönde (10 cm² alan

üzerindeki yüzeyde) ölçüm alınabilmektedir. Seçilen kayaç örneği tabakalaşma özelliği göstermeyen mağmatik veya metamorfik bir kayaç ise ve kesilen numunenin arazide hangi yönelimde olduğunun da belirlenememesi durumunda farklı araştırmacılar tarafından aynı bölgeden alınan farklı numuneler veya aynı araştırmacı tarafından alınan farklı numuneler üzerinde yapılacak SH ölçümleri de doğal olarak farklılıklar gösterecektir. Bu durumda o kayaca ait SH değerini hangi ölçüm değerinin temsil edeceğinin belirlenebilmesi gerekir. Aynı zamanda, ölçülen SH değerlerin hangi yüzeye ait olduğunun bilinmesi kazı ve delme çalışmaları açısından faydalı olacaktır. Bugüne kadar yapılan çalışmalarda bu belirsizliklere cevap bulunamamıştır. Yapılan çalışmalarda izlenen metod ISRM (1981) standardı ise böyle bir numuneden ancak bir yönde ölçüm alınabilmektedir. Bu ölçüm değeri de 3 farklı yöndeki sertlik değerini yansıtmamaktadır. Bir kayacın SH değerinin belirlenebilmesi için 3 farklı yönde (X,Y,Z) ölçümler yapılmalı ve değerlendirmelerde bunların aritmetik ortalamaları dikkate alınmalıdır. Bu çalışmada, ölçülen SH değerleri X,Y,Z yönlerinde (XY, YZ ve XZ düzlemlerinde) belirlenmiş ve aritmetik ortalamaları ile standart sapmaları Çizelge 3'de verilmiştir.



Şekil 1. Kübik numuneler üzerinde SH ölçümü yapılan yüzeyler

2.3. Anizotropik Değerlendirme

Kayaçlar oluşumu itibarıyla heterojen bir yapı ve anizotropik özellik taşıyabilirler. Bu iki özellik de mühendislik uygulamalarında dikkate alınması gereken parametrelerdir. Kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleri, kendilerini oluşturan minerallerin ve bağlayıcı dokuların özellikleriyle

ilintilidir. Gerek mineral ve gerekse bağlayıcı malzeme X,Y,Z yönlerinde farklı özelliklere sahip olabilmektedir. Dolayısıyla, oluşturdıkları kayaç da X,Y,Z yönlerinde (XY, YZ ve XZ düzlemlerinde)

farklı özellikler sergilemektedir. Malzemenin farklı yönlerde farklı özellikler göstermesi anizotropi olarak tanımlandığına göre kayaçların anizotropik durumlarının da belirlenmesi gerekir.

Cizelge 1. Kayaçların mineralojik tanımlamaları

Kayaç No	Mineralojik Tanımı
1	Kataklastik doku gösteren kayaç, tane boyutu farklı kalsit minerallerinden ibarettir. Bazı kesimlerde poligonall kalsitler 5 mμ - 60 mμ arasında değişen boyutlardadır. Farklı boyutlardaki kalsit mineralleri yer yer bantlar oluşturur. Kalsit tane boyutu bazı bantlarda iri (yaklaşık 2 mm), diğer kesimlerde çok küçük (yaklaşık 0.2 mm) kadardır. Yönlü basınçlar nedeniyle tanelerde zaman zaman ufalanma (kataklastik doku) görülmektedir. Serisit, klorit, limonit ve hematit kayaç içinde izlenebilmektedir.
2	Mükemmel granoblastik doku gösterir. Yer yer çatlaklıdır. Gelişi güzel gelişmiş çatlaklarda çatlak içleri limonitleşme sonucu sarı - kırmızı bir renk kazanmıştır. Kayaç içinde epidotlaşma yoğun olarak izlenmektedir. Farklı boyuttaki kalsit minerallerinin boyutları 5 mμ - 70 mμ arasında değişmektedir. Muskovit, serisit, opak mineral (limonit, hematit) incekesitte yer yer görülmektedir.
3	Kayaçta, bazı kesimlerde, yer yer pelletlerin etrafını saran 0.1 mμ - 5mμ arasında çatlak ve kılıf içinde kripto kristalin kalsitler yer alır. Alg ve Fusulina sp. Kavkuları içine yerleşmiş kripto kristalin kalsitler bulunur. Kripto kristalin kalsit mineralleri mikrofossil kavkuları içinde görülmektedir. Kalsite, limonit mineralleri de eşlik eder. Hematit, iri kalsit mineralleri etrafında mineral sınırları boyunca kalsiti saran kılıflar oluşturmaktadır. Bol fosilli ve pizolitik dokudadır. Bazı kesimler çok kırıklı ve birbirini kesen çatlaklar (yaklaşık 4 mm) bir hat boyunca süreklilik arz eder. Bu çatlaklar mikrokristalin, ikincil kalsit mineralleriyle dolmuştur.
4	Farklı boyuttaki kalsit minerallerinin boyutları 7 mμ - 80 mμ arasında değişmektedir. Kayaç içerisinde yer yer muskovit, serisit ve opak mineral (limonit, hematit) görülmektedir. Granoblastik bir doku sergilemektedir.
5	Kayaçın ana bileşeni kalsit olup, çatlak dolgularında yoğun limonitleşme izlenir. Kalsit mineralleri birbirine oldukça düzensiz sınırlar boyunca kenetlenmiştir. Yönlü basınçların etkisiyle polisentetik kayma ikizleri oluşmuştur. Mikro çatlaklar boyunca ikincil (sekonder) olarak oluşan karbonat mineralleri yoğun olarak izlenir. Kalsit ikizleri 5 mμ - 45 mμ boyutlarındadır. Çatlaklarda düzenli bir gelişme yoktur. Boşluklu ve mikritik dokulu kayaçta çok az kuvars da görülmektedir. Kayaç bazı kesimlerde masif bir yapı kazanır. Tane boyutları 0.1 mμ - 10 mμ arasındadır.
6	Kayaç içerisinde mikro çatlaklar boyunca ikincil olarak karbonat mineralleri görülmektedir. Kalsit ikizlenmeleri 5 mμ - 60 mμ arasında değişmektedir. Boşluklu ve mikritik bir doku sergilemektedir.
7	2.5 mμ boyutunda mikro süreksizlikler bazı kesimlerde devamlı (kesiksiz) bir doğrultuda kalsit dolgulu ve limonitle sıvanmış (demiroksit boyamalı) durumdadır. Çatlak içinde ve yer yer serpilmiş durumda 1mμ - 3 mμ boyutunda kuvars tanecikleri bulunmaktadır. Örnek genel anlamda mono mineralik olup tümüyle kalsit minerallerinden oluşmaktadır. Minerallerde yönelme yoktur. Kayaç % 95 'in üzerinde primer poligonall kalsitten (15 mμ - 85 mμ arası) meydana gelmiştir. Kalsit mineralleri mükemmel dilinimlidir. Kayaç içinde limonitleşme ve hematitleşmenin yanı sıra, tane boyutu 2 mμ - 75 mμ boyutunda çok az hornblend, epidot, klorit, muskovit, serisit bulunmaktadır. Kısmen epidotlaşma görülür. Granoblastik dokulu kayaç, bazı kesimlerde ince sarı renkli damarlar içerir. Bazı kesimlerde kalsit boyutları 5 mμ - 70 mμ arasında değişebilmektedir.
8	Kayaç, kripto kristalin kalsit minerallerinin yer yer yıkanıp gitmesiyle, bunların yerine mezo ve makro kristalin kalsit mineralleri oluşmuştur. Ana bileşen olan, iri taneli kalsitin yanı sıra kuvars, kil, ve klorit kayaç içinde görülür. Limonitleşme de izlenmektedir. Kayaç içinde çok az da olsa mikro fosil bulunur.
9	Çok iri, mükemmel dilinimli kalsit kristallerinden oluşmaktadır. Kayaçın dominant minerali (Yaklaşık % 97) kalsittir. Kayaç içinde 1 mμ - 2 mμ boyutunda çok az kuvars, epidot, serisit bulunmaktadır. Poligonall kalsit minerallerini yaklaşık 30° açıyla diyagonal olarak kesen ve kayaç kesitinde sürekli izlenemeyen, kripto kristalin kalsit dolgulu mikro süreksizlikler görülür. Yönlü basınçtan dolayı poligonall kalsitlerin dilinim düzlemlerinde de çatlak oluşmasının yanı sıra, basınç ikizlenmeleri de izlenir. Basınç etkisini işaret eden bu polisentetik kalsit ikizlerinin mükemmel gelişimi kayaya ayrı bir dokusal özellik kazandırmıştır. Kayaç içinde, çatlaklar boyunca kloritleşme, epidotlaşma (Pistaşist) ve limonitleşme görülür. Çok iri kalsit mineralleri birbiriyle son derece düzenli sınırlar boyunca kenetlenmiştir.

Çizelge 2. Kayaçların fiziksel özellikleri

Kayaç No.	Kayaç Türü	Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	Ağırlıkça Su Emme (%)	Porozite (%)	SH(ort)	Vp(ort) (km/s)
1	Mermer	27,1±0,1	0,10±0,04	0,27±0,09	49,02	6,21
2	Mermer	27,3±0,2	0,16±0,06	0,43±0,17	52,15	5,91
3	Bej (Kireçtaşı)	26,8±0,1	0,34±0,10	0,91±0,28	58,92	5,89
4	Mermer	27,1±0,1	0,09±0,02	0,25±0,05	51,5	6,14
5	Traverten	25,2±0,5	1,64±0,30	4,13±0,67	34,18	5,22
6	Traverten	25,6±0,4	0,76±0,18	1,94±0,42	45,16	5,77
7	Mermer	27,1±0,0	0,08±0,02	0,20±0,06	45,32	6,24
8	Killi Kireçtaşı	22,6±0,3	5,17±0,49	11,68±1,01	24,56	4,54
9	Mermer	27,0±0,0	0,11±0,01	0,29±0,02	36,1	5,23

Çizelge 3. Numunelerin X,Y,Z yönlerine göre SH, SH(ort) ve SH_k değerleri.

Kayaç No.	Yön	SH	SH(ort)	SH _k
1	X _{YZ}	45,53±3,95	49,02	0,9956
	Y _{XZ}	51,95±3,65		
	Z _{XY}	49,58±4,03		
2	X _{YZ}	55,3±4,05	52,15	0,9966
	Y _{XZ}	51,95±3,72		
	Z _{XY}	49,20±4,53		
3	X _{YZ}	59,5±2,5	58,92	0,9998
	Y _{XZ}	59,16±2,19		
	Z _{XY}	58,10±4,58		
4	X _{YZ}	52,35±4,06	51,50	0,9997
	Y _{XZ}	50,70±2,41		
	Z _{XY}	51,45±2,70		
5	X _{YZ}	35,72±4,16	34,18	0,9975
	Y _{XZ}	32,53±4,30		
	Z _{XY}	34,28±5,26		
6	X _{YZ}	44,28±6,07	45,16	0,9997
	Y _{XZ}	45,80±4,41		
	Z _{XY}	45,40±3,84		
7	X _{YZ}	44,70±2,32	45,32	0,9996
	Y _{XZ}	45,42±1,98		
	Z _{XY}	45,83±2,36		
8	X _{YZ}	21,0±4,82	24,56	0,9793
	Y _{XZ}	27,95±3,19		
	Z _{XY}	24,72±3,59		
9	X _{YZ}	33,26±6,02	36,10	0,9800
	Y _{XZ}	32,84±2,22		
	Z _{XY}	42,21±2,42		

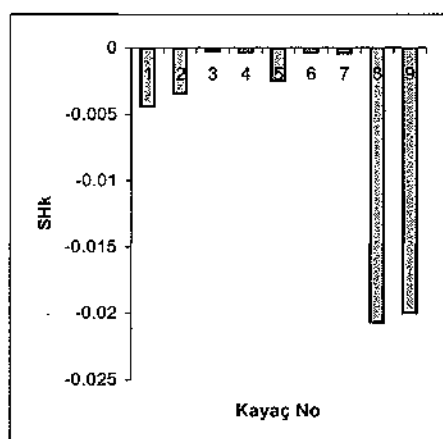
Bu çalışma kapsamında, X,Y,Z yönlerinde ölçülen SH değerlerinin farklılıklar gösterdiği belirlenmiş ve incelenen kayaçların SH değerlerine bağlı anizotropik katsayıları (SH_k) Eşitlik 1'e göre belirlenmiştir. Eşitlikteki SH(ort) değeri X,Y,Z yönünde ölçülen SH ölçümlerinin aritmetik ortalamasıdır. XY_{SH}, YZ_{SH} ve XZ_{SH} ise sırasıyla, X,Y,Z yönlerinde alınan SH ölçümlerinin aritmetik ortalamalarıdır. Homojen ve izotropik özellik gösteren malzemeler için SH_k = 1 olacaktır. Kayaçlar heterojen ve anizotrop özellik gösteren malzemeler olarak bilindiğinden, SH_k ≠ 1 olacaktır. Bu değer 1'e yaklaşması anizotropinin azaldığını, 1'den uzaklaşması ise anizotropik özelliğinin arttığını ifade etmektedir.

$$SH_k = \frac{SH_{XY}}{SH(ort)} * \frac{SH_{YZ}}{SH(ort)} * \frac{SH_{XZ}}{SH(ort)} \quad (1)$$

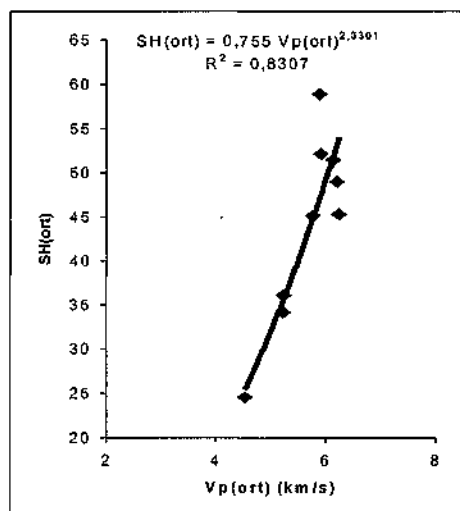
Bu çalışma kapsamında ele alınan kayaçlara ait hesaplanan SH_k değerleri Çizelge 3'de verilmiştir.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

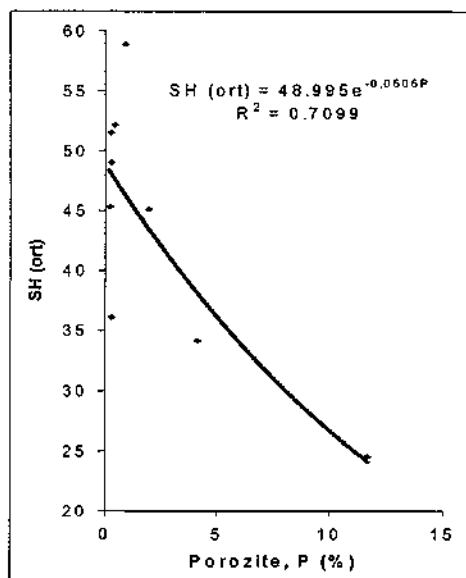
Kayaçların SH(ort) değerleri ile P, BHA, ASE ve Vp(ort) değerleri arasındaki ilişkiler istatistiksel olarak irdelenmiştir. Söz konusu ilişkilerin grafikleri Şekil 3-7' de verilmiş ve ilişki denklemleri de Çizelge 4'de sunulmuştur.



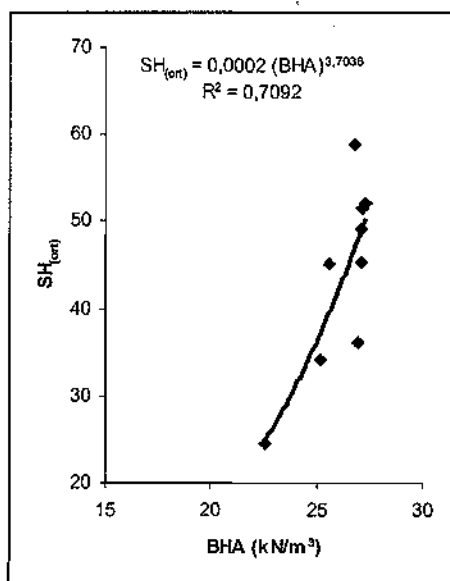
Şekil 2: Numunelerin SH değerlerine göre anizotropi (SH_p) durumu



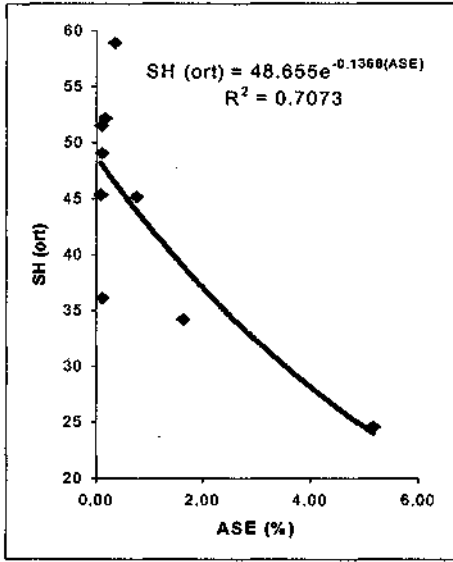
Şekil 4. X,Y,Z yönlerinde ölçüm alınan numunelerin ortalama SH(ort) ve ultrasonik hız (Vp(ort)) arasındaki ilişki



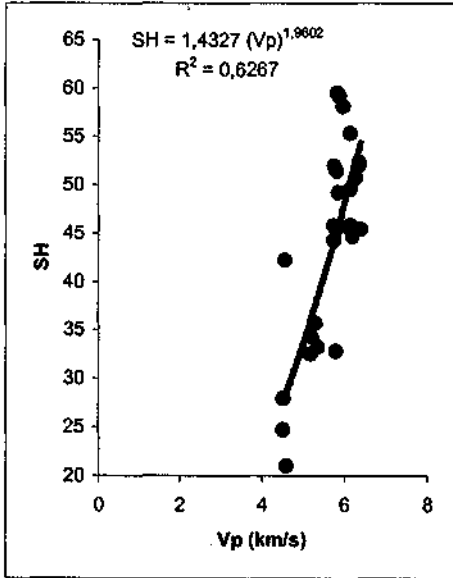
Şekil 3: Porozite ile SH(ort) arasındaki ilişki.



Şekil 5. Birim hacim ağırlık ile SH(ort) arasındaki ilişki.



Şekil 6. Ağırlıkça su emme ve SH(ort) arasındaki ilişki.



Şekil 7. Ölçüm yapılan tüm yüzeylere ait SH ve Vp arasındaki ilişki

Çizelge 4. Elde edilen istatistiksel ilişkilerin denklemleri

İlişki Denklemleri	Korelasyon Katsayısı (r)	
SH(ort) = 48,995 e ^{-0,0605 P}	0,84	Şekil 3
SH(ort) = 0,755 V _{p(ort)} ^{2,3301}	0,91	Şekil 4
SH(ort) = 0,0002(BHA) ^{3,7036}	0,84	Şekil 5
SH(ort) = 48,655 e ^{-0,1368 ASE}	0,84	Şekil 6
SH = 1,4327 (Vp) ^{1,9602}	0,79	Şekil 7

Elde edilen bulgular genel olarak değerlendirildiğinde;

- Kayaçların porozite değerleri arttıkça SH(ort) değerleri azalmaktadır (Şekil 3). Dar aralıktaki porozite değerlerine sahip kayaçlar, birbirlerinden farklı SH değerleri gösterebilirler. Bu durumda ilişki eğilimini ortaya koymak için genel değerlendirmeyi (çok farklı poroziteye sahip kayaçları) dikkate almak daha doğru olacaktır.
- SH(ort) ve V_p(ort) değerleri arasında $r = 0,91$ korelasyon katsayılı bir ilişki mevcuttur (Şekil 4). Aynı şekilde, ölçüm alınan tüm yüzeyler bazında dikkate alındığında da SH ile V_p arasında $r = 0,79$ korelasyon katsayılı bir ilişkinin var olduğu görülmüştür (Şekil 7).
- Birim hacim ağırlık değerleri ile SH(ort) arasında da $r = 0,84$ (Şekil 5) korelasyon katsayılı bir ilişki elde edilmiştir.
- Ağırlıkça su emme değeri arttıkça SH(ort) değerinde bir azalma gözlenmektedir. Bu ilişkinin korelasyon katsayısı $r = 0,84$ (Şekil 6) olarak belirlenmiştir.
- Anizotropik karakteristik en fazla 8 nolu kayaçta ve en az da 3 nolu kayaçta gözlenmektedir (Şekil 2). Kayaçların incekesitlerinin polarizan mikroskop incelemesinde, "örneklerin SH değerlerine göre anizotropi (SH_k) durumu" na bakıldığında önemli bir dokusal ilişki ortaya çıkmaktadır. Özellikle kript kristalin dokulu, diğer bir deyişle tane boyutu küçük olan minerallerin oluşturduğu kayaç dokularında anizotropi düşük görülmektedir. Şekil. 2 'de görüleceği üzere, 8

ve 9 nolu örneklerin mineralojik kompozisyonlarını tümüne yakın kısmını iri taneli kalsit kristalleri oluşturmaktadır. Bu kayaların anizotropileri de yüksek görülmektedir. Anizotropiyi etkileyen önemli diğer bir dokusal özellik ise, çatlaklar ve bunların dolgu maddeleridir. Çatlak ve dolgu ne kadar çok olursa kayacın anizotropisi de azalmaktadır.

Kısaca, kriptokristalin bir kayacın içerisinde ne kadar değişik boyutlarda çatlak ve bunları dolduran sekonder mineral kriptokristalin, kalsit, kuvars vb.) varsa, anizotropi de o derece etkilenmektedir. Anizotropisi düşük, 3, 4, 5, 6 ve 7 nolu kayaların dokusal özelliklerinde bu durum gözlenmektedir. Bu kayalarda, sekonder karbonat, silis, epidot, klorit vb. mineraller de görülmektedir. Anizotropisi yüksek olan kayalarda da kristal boyutu iri ve homojen, çatlak dolgu ve sekonder mineral oluşumu da nispeten azdır.

Bugüne kadar ISRM (1981) standardına uygun olarak yapılan çalışmalarda, numuneden ancak bir yönde ölçüm alınabilmektedir. Bu ölçüm değeri de numunenin 3 farklı yöndeki sertlik değerini, dolayısıyla anizotropinin etkisini yansıtmamaktadır. Bir kayacın SH değerinin daha sağlıklı belirlenebilmesi ve diğer deney sonuçları ile karşılaştırılmalarında daha doğru ele alınabilmesi için numunelerin X,Y,Z yönlerinde de SH ölçümleri yapılmalı ve buna göre numune boyutları seçilmelidir. SH değeri olarak; X,Y,Z yönlerindeki SH değerlerinin aritmetik ortalaması dikkate alınmalıdır.

KAYNAKLAR

- Altındağ, R., 2002. *Effects of specimen volume and temperature on measurements of Shore hardness*, Technical Note, Rock Mech. Rock Engng., 35 (2), 109-113.
- Amadei, B., 1983. *Rock Anisotropy and the Theory of Stress Measurements*, Springer, Berlin.
- Barla, G., 1974. *Rock anisotropy; theory and laboratory testing*. International Centre for Mechanical Sciences, Courses & Lectures 165, pp. 131-169.
- Bunge, H.J., Siegesmund, S., Skrotzki, W. and Weber, K., 1994. *Textures of Geological Materials*, DGM.
- ISRM, 1981: *Commission on standardisation laboratory and field results, Suggested methods for determining hardness and abrasiveness of rocks*, Int. J. Rock Mech. Min. Geomech. Abstr., 15, 89-97.
- McFeat-Smith, I., Rock property testing for the assessment of tunnelling machine performance, Tunnels and Tunnelling, March, 29-33.
- Misra B., 1972: *Correlation of rock properties with machine performance*, Ph.D. Thesis, University of Leeds.
- Rabia, H., Brook, N., 1979: *The Shore Hardness of Rock*, Technical Note, Int. J. Rock Mech. Min. Geomech. Abstr., 16, 335-336.
- TS 699, 1987. *Tabii Yapı Taşları Muayene ve Deney Metotları*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Wenk, H.R., 1985. *Preferred Orientation in deformed Metals and Rocks: An Introduction to Modern Texture Analysis*, Academic Press, Orlando.
- Wenk, H.-R. and Christie, J.M., 1991. *Comments on the interpretation of deformation textures in rocks*. Journal of Structural Geology 13, pp. 1091-1110.

Soylu Endüstriyel Mineraller A.Ş.'nin Pomza Zenginleştirme Tesisindeki Jig Performanslarının Değerlendirilmesi

V. Deniz & Y. Umucu

Süleyman Demirel Üniversitesi, Müh.-Mim. Fakültesi, Maden Müh. Böl., Isparta

İ. Yılmaz

Soylu Endüstriyel Mineraller, Kapadokya, Nevşehir

ÖZET: Nevşehir bölgesinde bulunan Soylu Endüstriyel Mineraller A.Ş. tarafından kaliteli pomza üretimi gerçekleştirmek için üç farklı boyut (-50+30 mm, -30+20 mm ve -12+4 mm) grubu için jig yıkama ünitesi kurulmuştur. Bu çalışmada, bölge pomzalarının yıkanabilirliği ve tesisteki mevcut jig'lerin çalışma durumu kontrol edilmiş ve sonuçlar irdelenmiştir.

ABSTRACT: Soylu Industrial Minerals Co. was studied on jig equipments for three different size fraction (-50+30 mm, -30+20 mm and -12+4 mm) for realized of good quality pumice in Nevşehir region. In this study, washability of pumices in region and performance characteristics of jigs in plant were controlled and, results of tests have been examined.

1. GİRİŞ

Pomza, yapı endüstrisinde başta olmak üzere, aşındırıcı, dolgu maddesi, tekstil, seramik, tarım, kimya ve çimento gibi sektörlerde çok yaygın kullanım alanı olan volkanik bir kayadır (Deniz, 1997).

Türkiye'de bir çok bölgede pomza üretimi söz konusu olup, bunlar arasında Nevşehir(Kapadokya) başta olup, bu bölgede en önemli üretici Soylu Endüstriyel Mineralleri A.Ş. firmasıdır.

Pomzanın yoğunluğu (kuru birim hacim ağırlığı), yaklaşık 0.8-1.2 gr/cm³'dür. Pomzanın en önemli gang mineralleri, andezit, traverten, serpantin ve bazalt'tır. Bu gang minerallerin yoğunlukları ise yaklaşık 2.09 ile 2.46 gr/cm³'dür (Çevikbaş ve İlgin, 1997).

Pomzanın, düşük yoğunlukta olma sebebi porozite içeriğinden kaynaklanmaktadır. Özellikle, yapı malzemesi olarak kullanım alanlarında bu porozite özelliği önemlidir.

Pomza ile yan kayalar arasındaki yoğunluk farkının bu kadar yüksek olması ister istemez

gravite yöntemi ile zenginleştirilebileceği kanısı hakim olmaktadır.

Cevherlerin yıkanabilirlik özelliklerinin tespiti amacıyla yapılan yüzdürme-batırma testleri, kurulması planlanan bir yıkama tesisinin tasarımı için gerekli çalışmaların ilk aşamasını oluşturmaktadır. Bu testler, cevherin farklı yoğunluk fraksiyonlarında dağılımı hakkında bilgi vermesi yanında, söz konusu cevherin yıkama işlemine tabii tutulması sonucunda elde edilebilecek ürünlerin miktarı ve içerikleri hakkında teorik bir bilgi vermektedir. Bu verilerin teorik olması nedeniyle uygulamada farklılıklar çıkmaktadır. Oysa, tesiste kullanılan ekipmanların ayırma performanslarının bilinmesi durumunda, yıkanması düşünülen cevherden elde edilecek temiz ürün ve artık miktarları önceden gerçeğe yakın değerler ile tahmini mümkün olabilmektedir. Ayrıca, kurulu bulunan ekipmanın ayırma sınır yoğunlukları değiştirilerek elde edilecek temiz ürün miktarları ve içerikleri tahmin edebilmemiz mümkünüdür (Leonard, 1979; Burt, 1984; Osborne, 1988).

Yıkama ekipmanların ayırma performansları, cihazın karakterine ve çalışma şartlarına, ayırma

ortamına, besleme miktarına, malzeme boyutuna ve dağılımına bağlıdır (Burt, 1984).

Bu çalışmada, Soylu Endüstriyel Mineraller A.Ş.'ye ait olan Nevşehir bölgesi pomzaların yıkanabilirlikleri ve mevcut üç adet jig'in performansları test edilmiş ve sonuçlar yorumlanmıştır.

2. MALZEME VE METOD

Deney malzemesi, Soylu Endüstriyel Mineraller A.Ş.'nin zenginleştirme tesislerinden tüvenan ve üç adet jig tesisinin ürünlerinden temsili olarak örnekler alınmıştır. Alınan, temiz ürün pomzalarının kimyasal analizleri Çizelge 1'de ve tüvenan örneğin

elek analizi ve porozite içerikleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 1. Nevşehir pomzasının kimyasal analiz sonuçları

Eleman	(%)
SiO ₂	71.22
Al ₂ O ₃	13.47
Fe ₂ O ₃	1.18
MgO	0.63
Na ₂ O	6.07
K ₂ O	3.32
CaO	0.96
TiO ₂	0.67

Çizelge 2. Deneylerde kullanılan örneğin elek analizi ve porozite dağılımı

Elek Boyutu (mm)	Miktar (%)	Porozite (%)	Dağılım (%)	Küm. E.A. (%) Miktar	Küm. E.A. (%) Porozite	Küm. (%) Porozite Dağılımı
+50	5.55	66.76	6.10	5.55	66.76	6.10
-50+30	23.48	63.28	24.48	29.03	63.95	30.58
-30+20	27.22	61.29	27.48	56.25	62.66	58.06
-20+12	16.39	60.37	16.30	72.64	62.14	74.36
-12+4	14.06	59.11	13.69	86.70	61.65	88.05
-4	13.30	54.53	11.95	100.00	60.70	100.00
Toplam	100.00	60.70	100.00			

Malzemenin elek analizi incelendiğinde, pomzaların kısmen boyuta göre zenginleştirmeye uğradığı tespit edilmektedir. Nevşehir pomza cevherinin yan kayaçları olan, andezit, traverten, bazalt, ve serpantin'e göre doğal ufalanması çok daha zor olduğu elek boyutu incelendiğinde porozite değerlerinde bir azalış olması ile ortaya çıkmıştır.

Nevşehir yöresi pomzalarının yıkanabilirliklerini belirleyebilmek için Soylu Endüstriyel Mineraller A.Ş.'nin yıkama tesislerindeki Jig'lerin besleme boyutları olan 50-30 mm, 30-20 mm ve 12-4 mm'lik boyutlar yüzdürme-batırma testlerine tabi tutulmuştur. Ayrıca, tesisdeki jig performanslarını belirleyebilmek için, konsantre ve artık ürünlerinden temsili olarak örnekler alınmış ve yüzdürme-batırma testleri uygulanmıştır.

Yüzdürme-batırma testi, öncelikle 1.0 gr/cm³'lük su yoğunluğundan başlayarak, 1.7 gr/cm³'lük yoğunluğa kadar 0.1 gr/cm³ yoğunluk farkları için öncelikle 50 lt'lik plastik kovalarda ağır sıvılar

(ZnCl₂) hazırlanmıştır. Bu hazırlanan sıvıların, pomza gözeneklerine girmemesi için önceden su ile gözenekler doygunlaştırılmıştır. Daha sonra, en yüksek yoğunluk olan 1.7 gr/cm³'den başlayarak 1.0 gr/cm³'e kadar test edilmiştir.

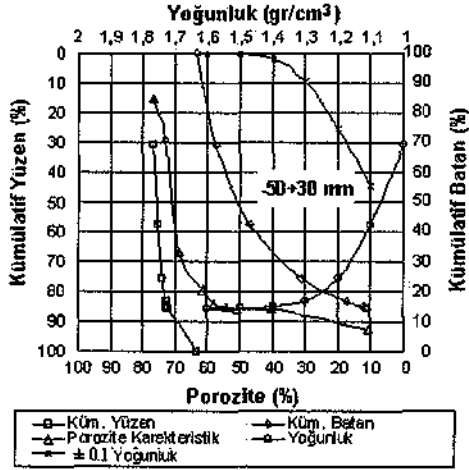
Yüzdürme-batırma test sonucunda, kovalardaki batan ürünler su ile iyice yıkandıktan sonra etüvde 105 °C'de kurutularak ağırlıklar tartılmış ve her bir yoğunluk fraksiyonları için porozite ölçümü yapılmıştır. Porozite ölçümleri TS 699 (1987)'e göre yapılmıştır.

3. DENEY SONUÇLARI

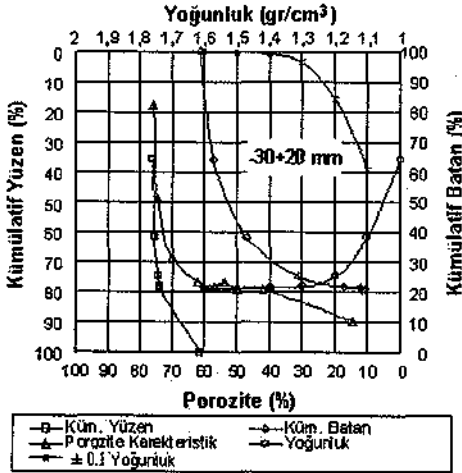
3.1. Bölge Pomzalarının Yıkanabilirlik Durumları

Nevşehir bölgesi pomza cevherlerinin yoğunluğuna göre yıkanabilirliklerini belirleyebilmek için, tesiste bulunan üç adet jig beslemeleri üzerinde yüzdürme-

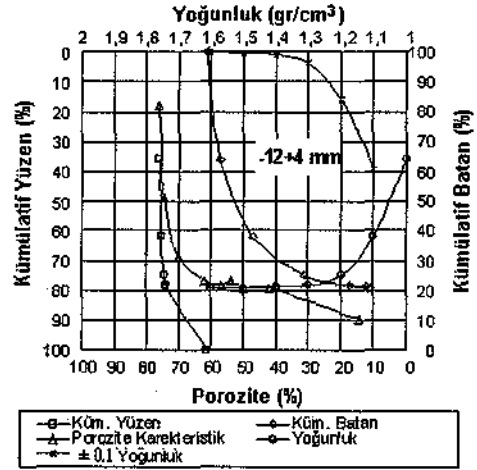
batırma testi uygulanmıştır. Bu üç farklı boyut grubu için yapılan yüzdürme-batırma test sonuçları Çizelge 3-5'de ve Yüzdürme-batırma eğrileri ise Şekil 1-3'de verilmiştir.



Şekil 1. 50-30 mm'lik boyut grubu için yapılan yüzdürme-batırma eğrileri



Şekil 2. 30-20 mm'lik boyut grubu için yapılan yüzdürme-batırma eğrileri



Şekil 3. 12-4 mm'lik boyut grubu için yapılan yüzdürme-batırma eğrileri

Şekil 1-3'de görüldüğü üzere tüm boyut gruplarında pomzaların yıkanabilirliklerinin çok iyi olduğu, hem porozite karakteristik eğrisinden hem de ± 0.1 yoğunluk eğrisinden görülmektedir. Boyutun azalması ile yıkanabilirlikler daha da kolaylaşmakta olduğu ± 0.1 yoğunluk eğrilerinden daha net olarak görülmektedir. Bu durum, serbestleşme ile ilgisi olmayıp, kümülatif yüzen miktar eğrisinden de görüldüğü üzere ince boyut grubunda daha fazla gang minerallerinin olmasından kaynaklanmaktadır.

Yüzdürme-batırma test sonuçlarından, Nevşehir pomzalarının gravite yöntemleri ile gang mineralleri olan andezit, bazalt, traverten ve serpantin'ten ayrılmasında sorun olmayacağını söylemek mümkündür.

3.2. Mevcut Jig Performanslarının Belirlenmesi

Yüzdürme-batırma testlerinde ortaya çıkan sonuç pomza cevherinin tüm boyut grubu için gravite ile kolay zenginleştirilebileceği gerçeğini, seçilmiş olan doğru ekipmanların çalışma şartları açısından da ne kadar doğru çalıştığını görmek gerekir.

Soylu Endüstriyel Mineraller A.Ş., pomza zenginleştirilmesi için 3 adet jig öngörmüştür. Bu jiglerin mevcut şartlar altında düzgün çalışıp çalışmadığının kontrolü için yüzdürme-batırma testleri yapılarak Tromp eğrileri her üç jig için Şekil 4'de verilmiştir.

Çizelge 3. 50-30 mm'lik boyut grubu için yapılan yüzdürme-batırma sonuçları

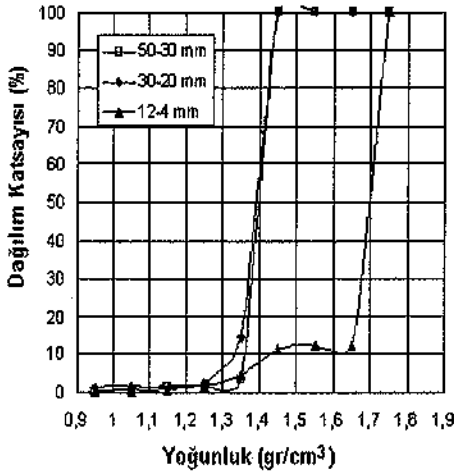
Yoğunluk gr/cm ³	Yüzün		Kümülatif Yüzün		Kümülatif Batan		Porozite Karakteristik Değerleri	± 0.1 Yoğunluk Değerleri
	Miktar (%)	Porozite (%)	Miktar (%)	Porozite (%)	Miktar (%)	Porozite (%)		
-1.0	30.88	76.84	30.88	76.84	100.00	63.28	15.44	---
-1.1	27.04	73.08	57.92	75.08	69.12	57.22	28.96	44.72
-1.2	17.68	68.73	75.60	73.60	42.08	47.03	66.76	25.42
-1.3	7.74	61.12	83.34	72.44	24.40	31.30	79.47	9.54
-1.4	1.80	57.71	85.14	72.13	16.66	17.45	84.24	2.17
-1.5	0.37	54.15	85.51	72.05	14.86	12.57	85.49	0.59
-1.6	0.22	50.79	85.73	72.00	14.49	11.51	85.62	0.31
-1.7	0.09	40.08	85.82	71.96	14.27	10.91	85.78	---
+1.7	14.18	10.78	100.00	63.28	14.18	10.72	92.91	----
Toplam	100.00	63.28						

Çizelge 4. 30-20 mm'lik boyut grubu için yapılan yüzdürme-batırma sonuçları

Yoğunluk gr/cm ³	Yüzün		Kümülatif Yüzün		Kümülatif Batan		Porozite Karakteristik Değerleri	± 0.1 Yoğunluk Değerleri
	Miktar (%)	Porozite (%)	Miktar (%)	Porozite (%)	Miktar (%)	Porozite (%)		
-1.0	35.80	75.97	35.80	75.97	100.00	61.29	17.9	----
-1.1	26.29	74.35	62.09	75.28	64.20	53.10	48.95	39.14
-1.2	12.85	69.76	74.94	74.34	37.91	38.37	68.52	16.06
-1.3	3.21	62.08	78.15	73.83	25.06	22.27	76.55	3.74
-1.4	0.53	56.74	78.68	73.72	21.85	16.42	78.42	0.79
-1.5	0.26	53.89	78.94	73.65	21.32	15.42	76.94	0.37
-1.6	0.11	49.69	79.05	73.62	21.06	14.94	79.00	0.11
-1.7	0	41.93	79.05	73.62	20.95	14.76	79.05	----
+1.7	20.95	14.76	100.00	61.29	20.95	14.76	89.53	----
Toplam	100.00	61.29						

Çizelge 5. 12-4 mm'lik boyut grubu için yapılan yüzdürme-batırma sonuçları

Yoğunluk gr/cm ³	Yüzün		Kümülatif Yüzün		Kümülatif Batan		Porozite Karakteristik Değerleri	± 0.1 Yoğunluk Değerleri
	Miktar (%)	Porozite (%)	Miktar (%)	Porozite (%)	Miktar (%)	Porozite (%)		
-1.0	35.36	78.06	35.36	78.09	100.00	59.11	17.68	----
-1.1	17.88	76.02	53.24	77.38	64.64	48.75	44.30	28.44
-1.2	10.56	73.14	63.80	76.67	46.70	38.24	58.49	15.19
-1.3	4.63	66.47	68.43	75.98	36.20	28.16	66.12	6.29
-1.4	1.66	61.78	70.09	75.65	31.57	22.54	69.26	2.00
-1.5	0.34	59.64	70.43	75.57	29.91	20.34	70.26	0.45
-1.6	0.11	54.36	70.54	75.54	29.57	19.91	70.49	0.11
-1.7	0	54.36	70.54	75.54	29.46	19.78	70.54	----
+1.7	29.46	19.78	100.00	59.11	29.46	19.78	85.27	----
Toplam	100.00	59.11						



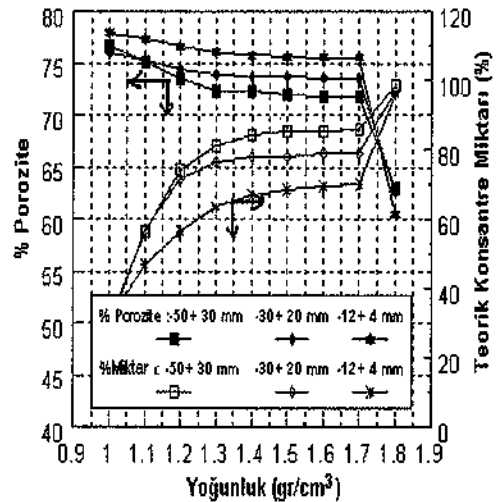
Şekil 4. Mevcut jiglerin Tromp eğrileri

Şekil 4'de görülebileceği üzere her üç boyut grubu içinde ekipmanların ayırma performansları, hata alanı ve E_p hata faktörü değerlerine bakıldığında özellikle 50-30 mm ($E_p = 0.020$) ve 30-20 mm ($E_p = 0.025$) boyutu için oldukça iyi bir başarı gözükmemektedir. 12-4 mm'lik boyut grubunda ise ayırma performansında biraz sorun olduğunu göstermektedir. Bu sorun, hem ayırma sınır yoğunluğu ($\rho_{50} = 1.69 \text{ gr/cm}^3$) değerinin daha fazla olması, hem alanının ve $E_p = 0.030$ değerinin azda olsa diğer iki boyutta göre fazla olmasından da görülmektedir. Bu durum, gravite yöntemlerinde özellikle ince boyutlarda dar boyut olma zorunluluğunun, tesisde 12-4 mm'lik geniş boyut kullanılmasından kaynaklandığı kanısı hakim olmuştur.

4. JİG PERFORMANSLARININ SİMİLASYON İLE OPTİMİZE EDİLMESİ

Tromp eğrisinin şekli, beslenen malzeme özelliklerinden ziyade kullanılan yıkama aygıtlarının ayırma hassasiyetine bağlıdır. Bu eğriden yararlanarak farklı yıkama aygıtları arasında mukayese yapılabildiği gibi, aynı yıkama aygıtında uygulanan farklı yıkama koşullarında mukayese edilebilmektedir (Leonard, 1979; Ateşok, 1986; Kemal, 1987).

Bu amaçla, Soylu Endüstriyel Mineraller şirketindeki mevcut jiglerin ayırma yoğunluğunun değiştirilmesi sonucu elde edilecek ürün özellikleri yanı sıra verim ve porozite oranlarındaki değişim araştırılmıştır. Mevcut jiglerin, 1.0 ile 1.7 gr/cm^3 yoğunluklar arasında 0.1 gr/cm^3 lük yoğunluk farklarında çalışması durumunda ortaya çıkacak ürün özellikleri simülasyon ile ortaya konulmuştur. Bu değişimler sonucunda meydana gelen konsantr ve %porozite hesaplanmış ve her jig için de farklı ayırma yoğunluklarında konsantr miktarı ve porozite oranlarının değişimi Şekil 5'de verilmiştir.

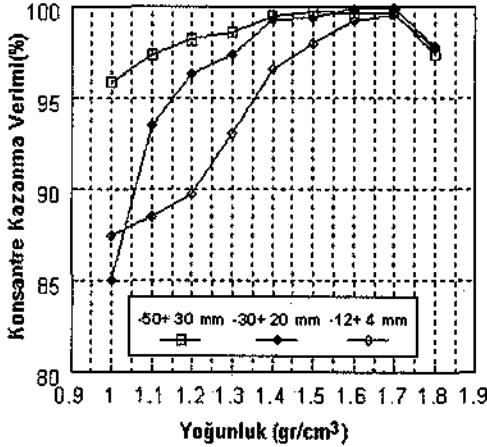


Şekil 5. Farklı ayırma yoğunlukları için elde edilecek konsantr miktarı ve porozite değişimi

Şekil 5'de görüldüğü üzere ince boyutlarda elde edilecek temiz konsantr miktarlarının düşmekte ve porozite değerleri artmaktadır. Porozite değerlerindeki bu artış, ince boyutlarda serbestleşme ile açıklanabilir. Konsantr miktarındaki düşüş ise jiglerin ince boyutlarda verimsiz çalışmasına bağlanabilir.

Jiglerin farklı yoğunluklarda konsantr kazanma verimleri ise Şekil 6'da verilmiştir.

Şekil 6'dan görülebileceği üzere iri boyutlarda jiglerin ayırma verimleri her yoğunluk için çok yüksek iken boyut incelidikçe konsantr verimleri yüksek yoğunluklar için gerçekteşmektedir.



Şekil 6. Üç farklı boyut grubu için konsantre kazanma verimleri

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Nevşehir pomzalarının genel anlamda yoğunluk farkına göre zenginleştirilebilirlikleri yüzdürme-batırma testlerinden çok kolay olduğu ortaya çıkmıştır.

Soylu Endüstriyel Mineraller A.Ş.'ye ait 3 adet jig'in de iyi performans ile çalıştığı, fakat 12-4 mm boyut da jig'in çalışma ayarlarının tekrar gözden geçirilmesi gerektiği ortaya çıkmıştır.

Pomza boyutunun küçülmesi, jiglerin tabakalaşmasındaki çöküş sonucu ivme farklılığının yeterince yaratılamaması sonucunu doğurmakta ve bu nedenle 12-4 mm'lik jig'in ayırma verimi düşmektedir.

Bu çalışma da göstermiştir ki, gravite yöntemleri ile zenginleştirme yapılan tesislerde, cevher ile ekipmanın çalışma şartlarının yüzdürme-batırma testleri ile mutlaka kontrol edilme gerekliliği ortaya çıkmıştır.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, Soylu Endüstriyel Mineraller A.Ş. firmasına yardımlarından dolayı teşekkür etmeyi bir borç bilirler.

KAYNAKLAR

- Ateşok, G., 1986. *Kömür Hazırlama*, İTÜ Maden fakültesi, İstanbul, 158-167.
- Burt, R.O., 1984. *Gravity Concentration Technology*, Elsevier, Amsterdam, Netherlands, 33-51.
- Çevikbaş, A. ve İlgin, F., 1997. *Türkiye Pomza Yataklarının Jeolojisi ve Ekonomisi*, 1. Isparta Pomza Sempozyumu, Isparta, 13-18.
- Deniz, V., 1997. *Isparta Yöresi İki Farklı Pomzanın Kurulma Özelliklerinin İncelenmesi*, 1. Isparta Pomza Sempozyumu, Isparta, 207-212.
- Kemal, M., 1987. *Kömür Teknolojisi*, D.E.U., Müh.-Mim. Fak. Yayını, İzmir, 91-114.
- Leonard, J.W., 1979. *Coal Preparation*, AIME, 4th edition. NewYork
- Osborne, D.G., 1988 *Coal Preparation Technology*, Vol. 1, Chapter 5, Graham & Trotman, London, 179-188.
- TS 699, 1987, *Doğal Yapı Taşlarının Muayene ve Deney Metotları*, Ankara.

Diatomit Katkılı Çini Karo Bünye Üretimi

İ. Tatar

Altın Çini ve Seramik A.Ş., Eskişehir Yolu 9.km, Kütahya

N. Ediz

Dumlupınar Üniversitesi, Seramik Mühendisliği Bölümü, Kütahya

İ. Bentli

Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya

ÖZET: Bu çalışmada, yüksek silis içerikli çini karolara ham diatomit ilave edilerek, mukavemetin artırılması ve birim hacim ağırlığın azaltılması amaçlanmıştır. Bu amaçla Kütahya'da üretilen yüksek silis içerikli çini karo bünyelerine %8, %18 ve %23 oranlarında diatomit ilave edilmiş, kuru olarak preslenmiş ve çini pişirim sıcaklığı olan 900°C'de pişirilmiştir. Daha sonra karolara pişme mukavemeti, toplam küçülme, su emme-porozite ile birim hacim ağırlığı testleri uygulanmıştır. Testler sonucunda %18 diatomit katkılı çini karolarda pişme mukavemeti 2.3 kat artmış ve birim hacim ağırlığı %7.2 oranında azalmıştır.

ABSTRACT: In this study, it was aimed to increase the strength and reduce the density of art-tiles with high silica content by adding diatomite. For this purpose, diatomite was added to Kütahya art-tile bodies with high silica content at 8%, 18% and 23%, then they were dry-pressed and fired at 900°C which is normal art-tile firing temperature. Later on, tests such as fired strength, total shrinkage, water absorption-porosity and density were applied to the tiles produced. After the tests, it was observed that the fired strength of the tiles with 18% diatomite addition was increased by 2.3 times whereas density was decreased by 7.2%.

1. GİRİŞ

Türk çini ve seramik sanatının, Türk sanatları arasında önemli bir yeri vardır. Osmanlılar döneminde İznik ve Kütahya, çini ve seramik üretim merkezleri olmuşlardır. 18. yüzyılın sonlarına doğru İznik'te bulunan atölyeler kapanmış ve bu tarihten sonra sadece Kütahya'da bulunan atölyeler günümüze kadar faaliyetlerini sürdürmüşlerdir. 16. yüzyılda Türk çini ve seramik sanatı sürekli bir gelişme göstererek teknik ve sanatsal açıdan doruk noktasına ulaşmıştır. Bu dönemde sıralı tekniğinde önemli gelişmeler meydana gelmiştir. Böyle bir sanat anlayışı, çini ve seramiklerin uzun yıllar bozulmadan kalmasına, boyaların korunmasına ve renklerin daha hoş görünmesine imkan sağlamıştır (Gyözö 1986). 16. yüzyılda İznik ve Kütahya çini bünyeleri, silika, cam frit ve %80'i montmorillonitten oluşan bentonit içermektedir. Bu dönemde çini bünyelerde silika kaynağı olarak kuvars, kuvars kumu veya çakmaktaşı kullanılmıştır (Atasoy, 1989).

Doğadaki en önemli silis kaynaklarından biri de diatomittir. Diatomit, algler sınıfından su canlıları olan diatomelerin silisli kabuklarının birikimiyle oluşmuş fosil karakterli sedimanter bir kayadır (Önem 2000, Bozkurt 2000, Akar 1987). Diatomitin en önemli özelliği yüksek gözeneklilik ile düşük özgül ağırlığa sahip olmasıdır. Özgül ağırlığı 1.9-2.4 gr/cm³ arasında olmasına rağmen, kuru diatomitin özgül ağırlığı 0.4 gr/cm³'e kadar düşebilmektedir. Diatomitin diğer bir özelliği de ortalama tane boyutunun 50-100 mikron civarında olmasıdır (Breese 1994, Harben 1995). Diatomit genellikle filtrasyon işlemlerinde, dolgu malzemesi olarak ve izolasyon alanında kullanım alanı bulmaktadır (Bentli 2002, Köktürk 1997, Karadeniz 1996, Mete 1988).

Günümüzde Kütahya'da üretilen yüksek silis içerikli duvar çinileri, klasik Kütahya çinilerine göre daha kalın ve büyük ebatla üretilmektedir. Yüksek silis içerikli 25x25 cm ebadında bir adet çini karonun ağırlığı 1550-1560 gram gelmektedir.

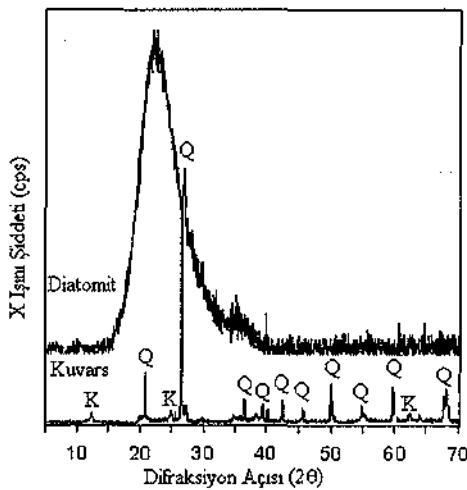
Bu ağırlık gerek malzemenin nakliyesinde gerekse döşendiği binaya gelen yük açısından olumsuz etki yapmaktadır.

Bu çalışmada, Kütahya'da üretilen yüksek silis içerikli duvar çinilerinin birim ağırlıklarının azaltılmasına çalışılmıştır. Bu amaçla yüksek silis içerikli çini reçete bileşiminde silis kaynağı olarak kuvars kumu yerine belirli oranlarda diatomit kullanılmış ve elde edilen yeni ürünlerin özellikleri incelenmiştir.

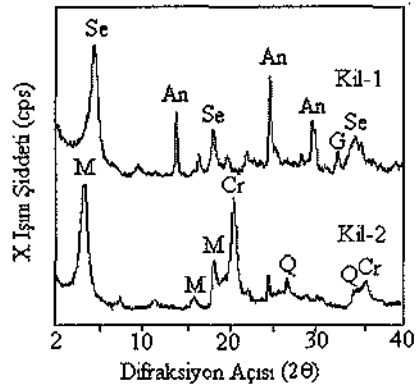
2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Malzeme

Bu çalışmada kullanılan kuvars kumu İstanbul, kil-1 Eskişehir, kil-2 ve diatomit Kütahya yörelerinden temin edilmiştir. RIGAKU marka XRD cihazında yapılan killerin, diatomitin ve kuvars kumunun XRD paternleri Şekil 1 ve Şekil 2'de gösterilmektedir. Şekil 1'de diatomitin amorf halde olduğu, kuvars kumunda ise kuvars ve çok az miktarda kaolen bulunduğu görülmektedir. Deneylerde kullanılan hammaddelerin XRF cihazı ile yapılan kimyasal analizleri Çizelge 1'de verilmiştir. Çalışmalarda kullanılan diatomitin 63 mikron elek üstü bakiyesi %, kuvars kumunun ise %72.9'dur.



Şekil 1. Diatomit ve kuvars kumunun XRD paternleri (Q:Kuvars; K:Kaolen).



Şekil 2. Killerin XRD paternleri (Se:Sepiyolit; An:Analsim; G:Götit; Cr:Kristobalit; Q:Kuvars; M:Montmorillonit).

Çizelge 1. Hammaddelerin kimyasal bileşimleri.

Bileşim (%)	Kil-1	Kil-2	Kuvars Kumu	Diatomit
SiO ₂	50.12	68.12	87.02	89.86
Al ₂ O ₃	6.76	14.98	7.12	1.62
Fe ₂ O ₃	2.64	1.12	0.65	0.40
TiO ₂	0.42	0.10	0.32	0.05
Na ₂ O	5.22	1.00	1.02	0.77
K ₂ O	1.46	1.62	0.77	0.18
CaO	3.53	2.58	0.49	1.28
MgO	14.60	1.67	0.12	0.18
Ateş Kaybı	11.41	6.46	2.49	5.66

2.2. Yöntem

Bu çalışmada, Kütahya bölgesinde yüksek silis içerikli duvar çinişi üretiminde kullanılan referans reçetede (R1) bulunan kuvars kumu azaltılarak yerine diatomitin kullanılmasıyla 3 farklı duvar çini reçetesi hazırlanmıştır. Hazırlanan reçeteler Çizelge 2'de verilmektedir. Reçetelerin SiO₂ içeriği %72 olacak şekilde ayarlanmıştır.

Çizelge 2. Çini reçete bileşimleri (%).

Hammadde	R1	R2	R3	R4
Kuvars kumu	62	54	42	37
Diatomit	-	8	18	23
Kil-1 + Kil-2				
+ Flaks	38	38	40	40

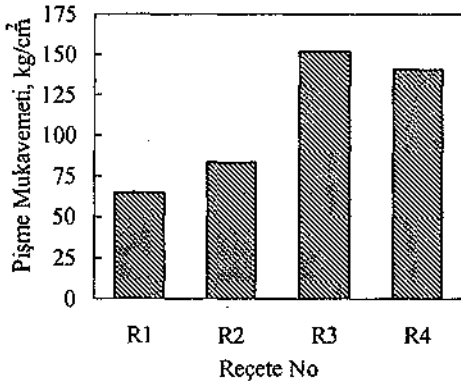
Hazırlanan reçete bileşimleri, seramik bilyalı değirmende 30 dakika süreyle öğütülmüştür. Öğütülen malzemeler etüvde 105°C'de 24 saat süreyle kurutulmuş ve daha sonra kırma işlemine tabi tutulmuştur. Kırılan malzemeler 1500 mikronluk elekten geçirilerek granül hale getirilmiştir. Elde edilen granüller, kuru presleme yöntemi ile 160 kg/cm² basınçta şekillendirilmiş ve elektrikli kamara fırınında çini bisküvi pişirim sıcaklığı olan 900°C'de 1 saat süreyle pişirilmiştir. Fırın sıcaklığı dakikada 3°C artacak şekilde ayarlanmıştır.

2.3. Fiziksel Testler

Pişmiş çini karo örneklerine, fiziksel özelliklerinin belirlenmesi amacıyla pişme mukavemeti, toplam küçülme, porozite-su emme ve birim hacim ağırlık testleri uygulanmıştır.

2.3.1. Mukavemet Testleri

Üretilen çini karoların pişme mukavemeti değişimleri Şekil 3'de gösterilmektedir. Şekil 3'de, referans reçeteye (R1) %18'e kadar ilave edilen diatomit katkısının pişme mukavemetini artırdığı görülmektedir. Diatomit katkısının %23'e çıkarıldığı R4 nolu reçetede ise pişme mukavemet artışının durduğu görülmektedir.



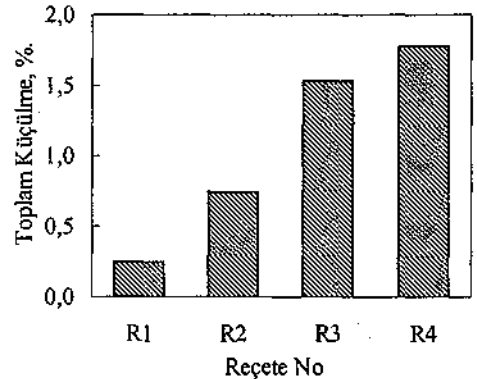
Şekil 3. Reçetelerin pişme mukavemeti değişimleri

Bu sonuçlar, diatomitin kuvars kumuna göre çok ince boyutlu olması ve boşlukları doldurarak sinterleşme sırasında daha kompakt bir yapı oluşturması şeklinde açıklanabilir. Yüksek silisli malzemelerin sinterleşmesi sıvı faz sinterleme

yöntemi ile gerçekleşmektedir. Sıvı faz, katı haldeki tozları ıslatmakta ve tozlar arasındaki ince kanallarda 0.007 kg/cm²'ye varan yüksek kapiler basınç meydana getirmektedir. İnce malzemelerde, kapiler basınç miktarı daha fazla olup sinterleşme kolaylaşmaktadır (Geçkinli 1991). Dolayısıyla diatomit dolgu malzemesi olarak kullanıldığında, elde edilen ürünün özelliklerini ve performansını olumlu yönde etkilemektedir (Bozkurt, 2000).

2.3.2. Küçülme Testleri

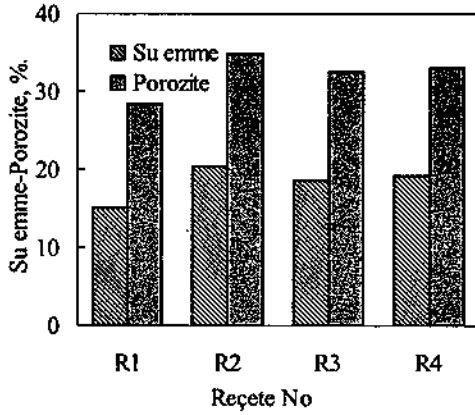
Çini karo örneklerinin toplam küçülme değişimleri Şekil 4'de gösterilmektedir. Şekil 4 incelendiğinde, R1'den R4'e doğru gidildikçe (kuvars kumu miktarının azalmasına bağlı olarak) toplam küçülme oranları artmıştır. Reçetelerin pişme küçülmelerinin ve mukavemetlerinin artması sinterleşmenin daha iyi olduğunun bir göstergesidir. Ayrıca diatomitin ateş kaybının %5.59 ve kuvars kumunun ise %2.15 değerlerinde olması, toplam küçülmenin artmasının bir diğer sebebi olarak düşünülmektedir.



Şekil 4. Reçetelerin toplam küçülme değişimleri.

2.3.3. Su Emme-Porozite Testleri

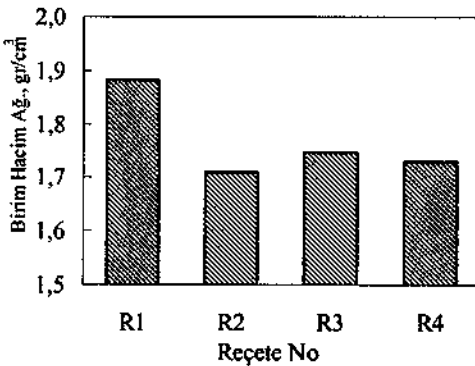
Çini karo örneklerinin görünür porozite ölçümleri Archiment terazisi ile yapılmıştır. Örneklerin su emme-porozite değerleri Şekil 5'de verilmektedir. Diatomit gözenekli bir yapıya sahip olduğundan, çini karo bünyelerinde diatomit miktarının artmasıyla birlikte, referans bünneye göre su emme-porozite değerleri artmıştır. Bu değerler TS EN 159 standardına göre kabul edilebilir sınırlar arasında kalmaktadır.



Şekil 5. Reçetelerin su emme-porozite değişimleri.

2.3.4. Birim Hacim Ağırlık Testleri

Çini karo örneklerinin birim hacim ağırlık değişimleri Şekil 6'da gösterilmektedir. Çini karo bünyelerine diatomit ilavesi, birim hacim ağırlığını azaltmıştır. Kuvars kumu yerine %8 oranında diatomitin kullanıldığı reçetede (R2), referans reçeteye (R1) göre %9.14 oranında birim hacim ağırlığı azalma göstermiştir. Bu sonuç, çini karoların döşenmesi ve nakliyesinde sağlayacağı avantaj açısından oldukça önemlidir.



Şekil 6. Reçetelerin birim hacim ağırlık değişimleri.

3. SONUÇLAR

Yüksek silis içerikli çini karolara, silis kaynağı olarak kuvars kumu yerine %8, %18, %23 oranlarında ham diatomit ilave edilerek üretilen bünyelerde uygulanan testler sonrasında, elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Çini karo bünnyeye %18'e kadar diatomit ilavesi pişme mukavemetini 2.3 kat arttırmıştır.
- Referans reçetede %0.25 olan toplam küçülme, %23 diatomit katkılı reçetede %1.78'e yükselmiştir.
- Diatomit katkılı reçetelerin su emme-porozite değerleri referans reçeteye göre artmıştır.
- Çini karolara ilave edilen diatomit, birim hacim ağırlığını %9'a kadar azaltmıştır.
- Gerek pişme mukavemetinin yüksekliği gerekse birim hacim ağırlığının düşük olması nedeniyle, çini karo bünyesine %18'e kadar diatomit ilavesinin mümkün olabileceği saptanmıştır.

KAYNAKLAR

- Akar, A., 1987. *Endüstriyel Hammaddeler ve Zenginleştirme Yöntemleri*, Dokuz Eylül Üniversitesi Yayın No: 142, İzmir, 145-163.
- Atasoy N., Raby, J., 1989. *Türkiye'de Günümüze Gelen İznik Çinileri*, İstanbul Üni. Sosyal Bilimler Ens. Yayını, 384 s.
- Bentli, İ., 2002. *Kütahya-Alayunt Diatomit Cevherinin Zengin. Araştırılması*, 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, 121-126
- Bozkurt, R., *Diatomit*, Türkiye'de Endüstriyel Mineraller Envanteri, İstanbul Maden İhracatçıları Birliği (İMİB), Hazırlayan: Yurt Madenciligi Geliştirme Vakfı, Önal vd (Eds), İstanbul, 42-47.
- Breese, R.O.Y., 1994. *Diatomite, Industrial Minerals and Rocks*, Carr (Ed), SMME, Colorado, USA, 397-412.
- Geçkinli, A.E., 1991. *İleri Teknoloji Malzemeleri*, İTÜ Kütüphanesi No:1454, İstanbul, 287 s.

- Gyözö, G., 1986. *Anatolian Pottery from İznik and Kütahya in Hungary in the 16th and 17th Centuries*, 1. Uluslararası Türk Çini ve Seramik Kongresi, Kütahya, 143-148
- Harben, P.W., 1995. *Diatomite, The Industrial Minerals Handy Book*, 57-61.
- Karadeniz, M., 1996. *Cevher Zenginleştirme Tesisi Artıkları-Çevreye Etkileri-Önlemler*, MTA MAT Daire Başkanlığı, Ankara, 332 s.
- Köktürk, U., 1997. *Endüstriyel Hammaddeler*, Dokuz Eylül Üniversitesi Müh.-Mim. Fak. Yayın No:205, İzmir, 64-68.
- Mete, Z., 1988. *Kütahya-Alayunt Yöresi Diatomit Yataklarının Zenginleştirilmesi*, Akdeniz Üniversitesi Isparta Müh. Fak. Dergisi, Maden Mühendisliği Seksiyonu, Yarıık (Ed), S: 1, Isparta, 184-201.
- Önem, Y., 2000. *Sanayi Hammaddeleri*, Kozan Ofset, Ankara, 386 s.
- TS EN 159, 1997. *Seramik Karolar Toz Halinde Preslenmiş*.

Yeni Bir Feldspat Kaynağı: Trakit

V. Bozkurt, Y. Uçbaş, S. Koca & H. İpek

Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir

ÖZET: Bu çalışmada, manyetik ayırma ve manyetik ayırma + flotasyon yöntemleri kullanılarak trakitten feldspatların kazanılabilirliği incelenmiştir. Sadece manyetik ayırmanın kullanıldığı deneylerden %1.547 Fe₂O₃, %0.221 TiO₂, %3.41 Na₂O ve %5.17 K₂O içeren bir cevherden %0.198 Fe₂O₃, %0.019 TiO₂, %4.40 Na₂O, %5.63 K₂O ve %0.749 Fe₂O₃, %0.165 TiO₂, %2.87 Na₂O, %5.07 K₂O içeren iki ayrı feldspat konsantresi elde edilmiştir. Aynı cevher ile yapılan manyetik ayırma + flotasyon deneylerinden ise %0.28 Fe₂O₃, %0.035 TiO₂, %5.43 Na₂O, %5.72 K₂O ve %0.771 Fe₂O₃, %0.119 TiO₂, %2.24 Na₂O ve %4.80 K₂O içeren iki ayrı feldspat konsantresi elde edilmiştir. Elde edilen tüm feldspat konsantreleri seramik endüstrisinde kullanılabilir niteliktedir.

ABSTRACT: In this work, the concentration of feldspar from trachyte by magnetic separation and magnetic separation + flotation was investigated. Feldspar concentrates containing 0.198% Fe₂O₃, 0.019% TiO₂, 4.40% Na₂O, 5.63% K₂O and 0.749% Fe₂O₃, 0.165% TiO₂, 2.87% Na₂O, 5.07% K₂O were obtained from an ore containing 1.547% Fe₂O₃, 0.221% TiO₂, 3.41% Na₂O, 5.17% K₂O using magnetic separation. Feldspar concentrates containing 0.280% Fe₂O₃, 0.035% TiO₂, 5.43% Na₂O, 5.72% K₂O and 0.771% Fe₂O₃, 0.119% TiO₂, 2.24% Na₂O, 4.80% K₂O were obtained from magnetic separation + flotation. All feldspar concentrates obtained could be used in ceramic industry.

1. GİRİŞ

Feldspatlar cam ve seramik sanayiinin ana hammaddelerinden biridir. Bu sanayilerin yanında boya, plastik ve kaynak elektrodları üretim sanayilerinde de artarak kullanılmaktadır. Alkali feldspatlar asidik magmadan oluşan derinlik, yarı derinlik ve yüzey kayaçlarında %60 oranlarına kadar bulunabilmektedirler. Çoğunlukla yarı derinlik kayaçlarından pegmatitlerin içinde kuvars, mika ve diğer ikincil kayaçlarca doğal olarak ayrılmış zengin zonlar halinde bulunurlar (Moorhouse, 1959). Bu tür yataklardan selektif madencilik ve cevher zenginleştirme faaliyetleriyle elde edilen feldspat konsantreleri seramik sanayine verilmektedir.

Seramik endüstrisi genellikle potasyum feldspat kullanmayı tercih etmektedir. Fakat artan seramik fabrikalarının sayısı, zaten kısıtlı olan potasyum

feldspat rezervlerinin ihtiyacı karşılayamaz duruma gelmesine neden olmuştur. Bu yüzden potasyum feldspat yerine sodyum feldspat kullanılmaya başlanmıştır. Sodyum feldspatlardan da önceleri demir ve titanyum düşük olanlar direkt olarak kullanılmış bu tür yataklarında azalmasıyla birlikte cevher zenginleştirme faaliyetleri kaçınılmaz olmuştur. Bu yüzden son yıllarda feldspatların zenginleştirilmesine yönelik bir çok araştırma yapılmıştır (Bozdoğan vd., 1992; Akar 1994, Geredeli ve Özbayoğlu 1995, Sümer ve Kaya 1995; Bayraktar vd. 1997; Seyrankaya vd. 1997, Bayraktar vd. 1998; Bilir vd. 1998; İpekoğlu vd. 1998; Okur vd. 1999; Seyrankaya 2003).

Türkiye'de özellikle yer karosu ve duvar karosu üreten tesisler Bilecik, Kütahya, Uşak, İzmir ve Çanakkale civarında bulunmaktadır. İzmir ve Uşak hariç diğer iller sodyum feldspat ihtiyaçlarını 500 km'den daha fazla uzaklıkta bulunan Aydın

yöresinden sağlamaktadırlar. Bu nedenle nakliye bedelleri hammadde bedellerinin oldukça üstüne çıkabilmektedir. Bu yüzden Kütahya-Emet bölgesindeki tüfler, Söğüt-Akköy-Eskişehir-Sarıcakaya granit kumları, Bursa bölgesi nefelinli siyenitlerinin ve diğer mümkün alternatif feldspat kaynaklarının kullanılabilirlikleri araştırma konuları olmuştur (Tanışan, 1993; Çelik vd., 1999; Öteyaka vd., 2000).

Trakitlerde aynı zamanda alternatif bir feldspat kaynağıdır. Bileşimlerinde alkali feldspat olarak, çoğunlukla sanidin, anortoklaz veya daha sodyumlarında oligoklas veya albit yer alırken bunların yanında biyotit, hornblend veya piroksen gibi ferromagnetik mineraller ve zirkon, ilmenite, apatit ve sfen gibi aksesuar mineraller bulunur (Moorhouse, 1959).

Trakitlerin alternatif bir feldspat kaynağı olarak kullanılmasına yönelik bir zenginleştirme çalışması yapılmıştır (Bozkurt ve Uçbaş, 2000). Bu çalışma sonucunda Permiroll yüksek alan şiddetli kuru manyetik ayırıcı ile, %0.20 Fe_2O_3 , %0.08 TiO_2 ,

%3.19 Na_2O ve %7.37 K_2O içeren bir konsantre oldukça düşük bir verimle elde edilmiştir.

Bu çalışmanın amacı, trakitten manyetik ayırma ve manyetik ayırma + flotasyon yöntemleri kullanılarak daha yüksek verimlerle feldspatların kazanılabilirliğinin araştırılmasıdır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Trakit örneği Eskişehir civarından alınmıştır. Mineralojik analiz sonuçlarına göre örneğin %15'ini 2 cm büyüklüğüne kadar erişebilen sanidin feno-kristalleri oluştururken, geri kalanını albit, hematit, manyetit, ilmenit ve esas olarak biotit mikrokristallerini içeren hamur oluşturmaktadır. Hamur zayıf manyetik özelliktedir.

Örneğin iri parçaları çeneli ve merdaneli kırıcı kombinasyonu kullanılarak 4 mm altına kırıldıktan sonra, seramik değirmende 212 μm altına öğütülmüştür. 38 μm altı şlam olarak uzaklaştırılmıştır. Öğütülmüş örneğin elek analizi ve kimyasal analizleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Örneğin Kimyasal Analizi

Boyut (μm)	Ağ. %	SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 (%)	TiO_2 (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na_2O (%)	K_2O (%)
+212	0.9	56.32	14.09	6.998	1.571	0.89	6.12	1.29	7.94
-212+38	82.4	71.42	15.23	1.547	0.221	1.73	0.27	3.41	5.17
-38	16.7	68.26	15.85	2.609	0.295	1.78	0.47	3.14	5.29
Besleme	100	70.76	15.32	1.773	0.246	1.73	0.36	3.35	5.21

-212+38 μm boyut fraksiyonu manyetik ayırma ve flotasyon deneylerinde kullanılmıştır. Manyetik ayırma deneylerinde Carpco yüksek alan şiddetli elektromıknatısı manyetik ayırıcı kullanılmıştır. Tambur hızının konsantrenin Fe_2O_3 ve TiO_2 içerikleri ve uzaklaştırma verimleri üzerine etkisi incelenmiştir. Daha sonra tambur hızı 30 d/d tutularak birinci feldspat konsantresi ve tambur hızı 30 ve 70 d/d tutularak ikinci bir feldspat konsantresi elde edilmiştir.

Flotasyon deneyleri, 80 d/d'da manyetik ayırma deneylerinden elde edilen konsantre ile yapılmıştır. Deneyler mika, Fe-Ti ve feldspat flotasyonu olarak üç aşamada gerçekleştirilmiştir. Deneylerde Denver

flotasyon makinesi, 1 lt'lik hücre ve 150 gr örnek kullanılmıştır.

Mika flotasyonu 450 gr/ton Procol CK 921 toplayıcı olarak kullanılarak pH 2.5'da (H_2SO_4), Fe-Ti flotasyonu 100 gr/ton SM15 ve 200 gr/ton SM35 toplayıcıları ile pH 2.7'de (H_2SO_4), feldspat flotasyonu 300 gr/ton Armac C kullanılarak pH 2.5'da (HF) gerçekleştirilmiştir. Bütün flotasyon aşamalarında pülp, pH ayarlanmasından önce ve sonra 3 dak., toplayıcı ilavesinden sonra da 3 dak. koşullandırılmıştır. Köpük toplama süresi 2 dak. olup her flotasyon aşamasından sonra durulama (su değiştirme) yapılmıştır.

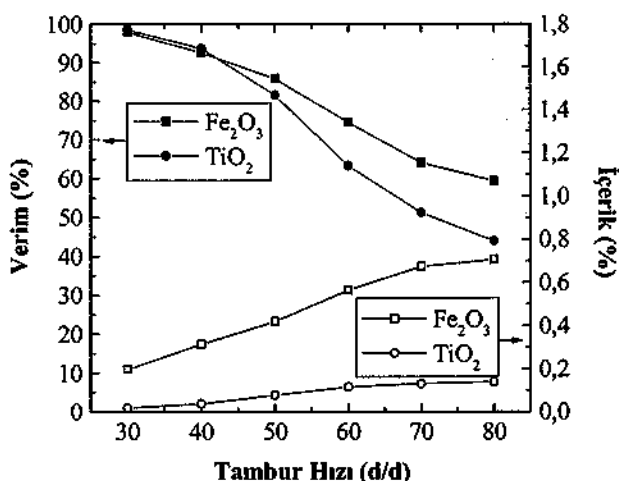
3. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Manyetik Ayırma Deneyleri

Tambur hızının konsantrenin Fe_2O_3 ve TiO_2 uzaklaştırma verimleri ve Fe_2O_3 ve TiO_2 içerikleri üzerine etkisi Şekil 1'de görülmektedir.

Şekil 1'den görüldüğü gibi tambur hızı arttıkça Fe_2O_3 ve TiO_2 uzaklaştırma verimleri düşerken, elde edilen konsantrelerin Fe_2O_3 ve TiO_2 içerikleri de artmaktadır. Tambur hızının en yavaş olduğu 30 d/d'da Fe_2O_3 ve TiO_2 uzaklaştırma verimleri sırasıyla %97.9 ve %98.6 iken, konsantrenin Fe_2O_3 ve TiO_2 içerikleri %0.198 ve %0.019'dur. Tambur hızının en hızlı olduğu 80 d/d'da Fe_2O_3 ve TiO_2 uzaklaştırma verimleri sırasıyla %40.6 ve %56.0, konsantrenin Fe_2O_3 ve TiO_2 içerikleri de %0.706 ve %0.139'dur.

Tambur hızının 30 d/d olduğu durumdaki toplu sonuçlar Çizelge 2'de verilmiştir. Çizelge 2'den görülebileceği gibi, 30 d/d'da %0.198 Fe_2O_3 , %0.019 TiO_2 , %4.40 Na_2O ve %5.63 K_2O içeren bir konsantre elde edilebilmiştir. Elde edilen manyetik ürün (hamur) ise %1.808 Fe_2O_3 , %0.261 TiO_2 , %3.22 Na_2O ve %5.07 K_2O içermektedir. Hamurun alkali içeriği yüksek olmasına rağmen Fe_2O_3 ve TiO_2 içerikleri de yüksektir. Demir ve titan minerallerini uzaklaştırabilmek için hamur bu kez de 70 d/d tambur hızında manyetik ayırıcıdan geçirilmiştir ve toplu sonuçlar yine Çizelge 2'de verilmiştir. Buradan elde edilen ikinci konsantre %0.749 Fe_2O_3 , %0.165 TiO_2 , %2.87 Na_2O ve %5.07 K_2O içermektedir ve bu ürün de seramik sanayiinde kullanılabilecek niteliktedir.



Şekil 1. Tambur hızının verim ve içerik üzerine etkisi

Çizelge 2. Manyetik Ayırma Sonrası Toplu Sonuçlar

Ürünler	Ağ %	Tenör (%)				Verim (%)			
		Fe_2O_3	TiO_2	Na_2O	K_2O	Fe_2O_3	TiO_2	Na_2O	K_2O
+212 μm	0.9	6.998	1.571	1.29	7.94	3.5	5.8	0.3	1.4
Feldspat 1 (30d/d)	13.4	0.198	0.019	4.40	5.63	1.5	1.0	17.6	14.5
Feldspat 2 (70d/d)	54.4	0.749	0.165	2.87	5.07	23.0	36.5	46.6	52.9
Artık	14.6	5.756	0.618	4.54	5.08	47.4	36.6	19.8	14.3
-38 μm	16.7	2.609	0.295	3.14	5.29	24.6	20.1	15.7	16.9
Besleme	100.0	1.773	0.246	3.35	5.21	100.0	100.0	100.0	100.0

3.2. Manyetik Ayırma + Flotasyon Deneyleri

Manyetik ayırma + flotasyon deneylerinde ise kuvvetli manyetik özellikli mineralleri manyetik ayırmayla uzaklaştırmak ve elde edilen manyetik olmayan ürünün (feldspat + hamur) flotasyon ile zenginleştirilmesi amaçlanmıştır. Manyetik ayırma 80 d/d tambur dönüş hızında yapılmıştır. Buradan elde edilen ön konsantre %0.706 Fe₂O₃, %0.139 TiO₂, %3.17 Na₂O ve %5.16 K₂O içermektedir. Bu ön konsantre flotasyon deneylerinde besleme olarak kullanılmıştır. Manyetik ayırmadan elde edilen

feldspat konsantresi üç aşamalı flotasyona tabii tutularak seramik sanayiinde kullanılabilecek farklı özelliklerde feldspat konsantreleri elde edilmeye çalışılmıştır. Flotasyon sonuçları Çizelge 3'de verilmiştir. Flotasyon sonucunda %0.280 Fe₂O₃, %0.035 TiO₂, %5.43 Na₂O ve %5.72 K₂O içeren bir feldspat konsantresi elde edilirken, %0.771 Fe₂O₃, %0.119 TiO₂, %2.24 Na₂O ve 4.80 K₂O içeren bir ikinci bir feldspat konsantresi (hamur) elde edilmiştir. Manyetik ayırma ve flotasyon sonuçları toplu halde Çizelge 4'de verilmiştir.

Çizelge 3. Flotasyon Sonuçları

Ürünler	Ağ %	Tenör (%)				Verim (%)			
		Fe ₂ O ₃	TiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O
Mika Flot.	6.6	1.541	0.187	2.37	6.52	14.4	8.9	4.9	8.3
Fe-Ti Flot.	1.0	3.919	4.190	1.78	1.85	5.6	30.1	0.6	0.4
Feldspat 1	30.0	0.280	0.035	5.43	5.72	11.9	7.6	50.4	33.3
Feldspat 2	62.4	0.771	0.119	2.24	4.80	68.1	53.4	44.1	58.0
Beslenen	100.0	0.706	0.139	3.17	5.16	100.0	100.0	100.0	100.0

Çizelge 4. Manyetik Ayırma + Flotasyon Toplu Sonuçları

Ürünler	Ağ %	Tenör (%)				Verim (%)			
		Fe ₂ O ₃	TiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O
+212 µm	0.9	6.998	1.571	1.29	7.94	3.5	5.8	0.3	1.4
Mika	4.8	1.541	0.187	2.37	6.52	4.2	3.7	3.4	6.0
Fe-Ti	0.7	3.919	4.190	1.78	1.85	1.5	12.0	0.4	0.2
Feldspat 1	22.0	0.280	0.035	5.43	5.72	3.5	3.2	35.1	24.2
Feldspat 2	45.7	0.771	0.119	2.24	4.80	19.9	22.3	30.6	42.1
Artık	9.1	8.351	0.884	5.35	5.25	42.9	32.9	14.6	9.2
-38 µm	16.7	2.609	0.295	3.14	5.29	24.5	20.1	15.6	16.9
Feed	100.0	1.773	0.246	3.35	5.21	100.0	100.0	100.0	100.0

4. SONUÇLAR

Sadece manyetik ayırmanın kullanıldığı deneylerde %1.547 Fe₂O₃, %0.221 TiO₂, %3.41 Na₂O ve %5.17 K₂O içeren bir cevherden %0.198 Fe₂O₃, %0.019 TiO₂, %4.40 Na₂O, %5.63 K₂O (30 d/d) ve %0.749 Fe₂O₃, %0.165 TiO₂, %2.87 Na₂O, %5.07 K₂O (70 d/d) içeren iki ayrı feldspat konsantresi elde edilmiştir.

Manyetik ayırma + flotasyon deneylerinde ise %0.28 Fe₂O₃, %0.035 TiO₂, %5.43 Na₂O, %5.72 K₂O ve %0.771 Fe₂O₃, %0.119 TiO₂, %2.24 Na₂O

ve %4.80 K₂O içeren yine iki ayrı feldspat konsantresi elde edilmiştir.

Trakitin seramik reçetelerinde kullanımına yönelik çalışmalar devam etmektedir. İlk çalışmalar trakitin tüvenan olarak yer karosu bünyesinde %10, manyetik ayırma ile zenginleştirildikten sonra ise %20 oranında kullanılabileceğini göstermektedir. Trakitin tüvenan ve manyetik ayırma konsantresi olarak bünyede kullanımının maliyet analizi yapılmalıdır. Elde edilen sonuçlar şu anda bünyede kullanılan pegmatit ve albitin maliyetleriyle karşılaştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Akar, A., 1994. *Evaluation of Gördes-Köprübaşı district feldspar industrial raw material*, H. Demirel & S. Ersayın (ed.), V. Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu, Kapadokya, Balkema, 243-249.
- Bayraktar, İ., Ersayın, S. ve Gülsoy, O. Y., 1997. *Upgrading titanium bearing Na-feldspar by flotation using sulphonates, succinamate and soaps of vegetable oils*, Minerals Engineering 1, 12, 1363-1374.
- Bayraktar, İ., Ersayın S. ve Gülsoy, O. Y., 1998. *Magnetic separation and flotation of albite ore*, VII. Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu, İstanbul, Balkema, 315-318.
- Bilir, K., Öteyaka, B. ve Uçbaş, Y., 1998. *The effect of particle size on recovery in concentration of feldspar by using MFC*, VII. Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu, İstanbul, Balkema, 323-329.
- Bozdoğan, İ., Türkistanlı, A. ve Yapa, N., 1992. *Milas-Çine yöresi albit cevherinin özellikleri ve flotasyonla yöntemiyle zenginleştirilmesi*, G. Özbayoğlu (ed.), IV. Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu, Antalya, 563-575.
- Bozkurt, V. ve Uçbaş, Y., 2000. *Concentration of feldspar from trachyte*, G. Özbayoğlu ve Ç. Hoşten (ed.), VIII. Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu, Antalya, Balkema, 327-329.
- Çelik, M. S., Eren R. H., Uztok, G., Gürcüoğlu C., ve Doğan, M. Z., 1999. *Beneficiation of nepheline syenite by magnetic separation and flotation techniques*, D. Salatic (ed.), Proceedings of the VIII. Balkan Mineral Processing Conference, (1), Belgrade, 105-110.
- Geredeli, A. ve Özbayoğlu, G., 1995. *Simav feldsparının flotasyonu*, H. Köse & M. S. Kızıl (ed.), Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, 71-81.
- İpekoğlu, B., Hoşkan, Ş., Çinku, K. ve Akser, M., 1998. *Preliminary technological assessment of albite flotation tailings for rutile recovery*, VII. Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu, Balkema, İstanbul, 307-315.
- Moorhouse, W. W. 1959. *The study of rocks in thin section*, New York: Harper & Brothers.
- Okur, E., Önal G. ve Doğan, M. Z., 1999. *Feldspar from Simav-Dağardı pegmatites by flotation and magnetic separation*, D. Salatic (ed.), Proceedings of the VIII. Balkan Mineral Processing Conference, (1), Belgrade, 111-114.
- Öteyaka, B., Uçbaş, Y., Bilir, K., Gürsoy, H., Bozkurt, R. ve Çiftçi, M., 2000. *Recovery of feldspar from altered granites*, G. Özbayoğlu ve Ç. Hoşten (ed.), VIII. Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu, Antalya, Balkema, 323-326.
- Seyrankaya, A., Akar, A., Güler, E. ve Akar G., 1997. *Aydın-Çine ve Muğla-Milas feldsparlarının flotasyonla zenginleştirilmesi*, Köse ve Arslan (ed.), 2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, 236-246.
- Seyrankaya, A., 2003. *Upgrading low-grade feldspar ores for use in the ceramic and glass industries by combination of froth flotation and magnetic separation methods*, Geosound, 42, 223-235.
- Sümer, G. ve Kaya, M., 1995. *Aydın-Çine feldsparlarının flotasyon ile zenginleştirilmesi*, H. Köse ve M. S. Kızıl (ed.), 1. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, 59-71.
- Tanişan, H. H., 1993. *Yer ve duvar karosu üretiminde yeni alkali kaynakları*, Çavuşoğlu, A. (ed.), Seramik Sırları Semineri Bildiriler Kitapçığı, Türk Seramik Demeği Yayınları, No 7, 35-41.

Boşluk Doldurma Oranının Kolemanit'in Öğütme Kinetiği Üzerine Etkisi

I. Özgür, V. Bozkurt & H. İpek

Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir

ÖZET: Farklı besleme boyutlarında ve boşluk doldurma oranlarında kolemanit'in Standart Bond değirmeni kullanarak kuru öğütme kinetiği incelenmiştir. Öğütme kinetiği yavaşlama etkisinde dolayı öğütmenin birinci dakikasından sonra birinci derece öğütme kinetiğinden sapmıştır. En yüksek kırılma hızı değerleri bilyalar arası boşluğun %75'inin malzeme tarafından doldurulduğu koşullarda elde edilmiştir.

ABSTRACT: The effects of interstitial filling ratios on the dry grinding kinetics of colemanite in different feed size were investigated using standard Bond ball mill. Grinding kinetic deviated from first order breakage after one minute grinding due to slowing down effect. It was found that the highest breakage rate value was obtained when 75% of the voidage between balls was filled with powder.

1. GİRİŞ

Bor ve bor ürünleri çağımızın gelişen modern teknolojisinin vazgeçilmez birer unsurudur. Başta cam, seramik, emaye, metalürji, deterjan sanayii, tarım sektörü olmak üzere nükleer enerji, jet ve roket yakıtı, eczacılık, kimya ve daha bir çok tüketim alanında yerini başka bir maddenin alamayacağı bir madde olarak kullanılmaktadır ve kullanım alanı her geçen gün gelişen teknolojiye göre artmaktadır.

Boyut küçültme enerji yoğun bir işlemdir ve dünyadaki endüstrileşmiş ülkelerde üretilen enerjinin yaklaşık % 3'ünü tüketir (Schonert, 1979; Narayanan, 1987). Cevher hazırlama tesislerinde tüketilen toplam enerjinin yaklaşık %55-70'i boyut küçültme işlemlerinde harcanmaktadır (Cohen, 1983; Lynch ve ark., 1986).

Ürün kalitesinin iyileştirilmesi ve yeni malzemelerin geliştirilmesi için ince ve çok ince malzemelerin üretiminde öğütmeden oldukça fazla yararlanılmaktadır (Kotake ve ark., 2002).

Özgül kırılma hızı ve kırılma dağılımı kavramlarının kullanıldığı bilyalı değirmenlerdeki

boyut küçültmenin analizi son yıllarda hatırı sayılır bir şekilde ele alınmıştır (Yekeler ve ark., 1999; Deniz ve Onur, 2002; Austin, 2002). Austin ve arkadaşları (1984) bir çok makalede bu yaklaşımın avantajlarını incelemişler ayrıca laboratuvar verilerinden endüstriyel ölçekli değirmenlere geçmek için ölçek büyütmeyi de ele almışlardır.

Shoji ve arkadaşları (1982) laboratuvar ölçekli bir bilyalı değirmen kullanarak kuvarsın yaş ve kuru olarak öğütülmesinde malzeme doluluk oranının etkilerini araştırmışlardır. Düşük malzeme doluluk oranlarında düşük kırılma hızları elde edilirken, malzeme doluluk oranı arttıkça bilyalar arası boşluğun dolmasıyla kırılma hızı değerlerinin arttığını gözlemlemişlerdir. En yüksek kırılma hızı değerlerini boşluk doldurma oranının %60-110 ($U=0.60-1.10$), olduğu koşullarda elde etmişlerdir. Deniz ve Onur'un (2002) pomza taşı üzerinde yaptıkları araştırmada ise en yüksek kırılma hızı değeri boşluk doldurma oranının %40 ($U=0.40$) olduğu şartlarda elde etmişlerdir.

Bu çalışmanın amacı, boşluk doldurma oranının kolemanit'in özgül kırılma parametreleri üzerine etkisinin incelenmesidir.

2. TEORİ

Değirmene beslemek için hazırlanan malzeme $\sqrt{2}$ veya $4\sqrt{2}$ elek serisi ile tanımlanan birçok tane boyut aralıklarına bölünmekte, en iri tane boyut aralığı 1, ikinci tane boyut aralığı 2, en ince tane boyut aralığı da n ile gösterilmektedir. Değirmende etkin bir şekilde kırılma olduğu zaman belirli bir tane boyut aralığında olan malzemenin kırılması genellikle birinci derece öğütme kuramına uymaktadır (Austin ve ark., 1981).

$$i \text{ boyutunun kırılma hızı} = S_i w_i W \quad (1)$$

Burada, S_i ; i tane boyut aralığındaki malzemenin birim kütlesinin birim zamanda kırılma hızı, w_i ; i tane boyut aralığındaki malzeme fraksiyonu ve W ; değirmende öğütülen malzemenin toplam ağırlığıdır. Eğer başlangıç beslemesinin tamamı 1 boyut aralığı ile tanımlanan üst boyut aralığında yani en iri boyut fraksiyonundaysa;

Kırılmayla 1.inci boyut aralığının kaybolma hızı $w_1(t)$ W ile orantılı olacaktır. Toplam kütle, W , sabit olduğundan;

$$\frac{dw_1(t)}{dt} = -S_1 w_1(t) \quad (2)$$

Burada S_1 özgül kırılma hızı olarak adlandırılır ve oransal olarak sabittir ve zamanla değişmiyorsa,

$$w_1(t) = w_1(0) \exp(-S_1 t) \quad (3)$$

yani,

$$\log[w_1(t)] = \log[w_1(0)] - S_1 t / 2.3 \quad (4)$$

bu birinci derece öğütme hipotezi olarak adlandırılır. Özgül kırılma hızının, S_1 tane boyut ile değişimi Austin ve arkadaşları (1984) tarafında ele alınmıştır.

$$S_i = a_T (x_i/x_0)^\alpha \quad (5)$$

Burada a_T değirmen koşullarına bağlı bir parametre iken α malzemeden malzemeye değişiklik gösteren malzemeye özgül bir parametredir. x_i tane boyut, x_0 ise 1 mm dir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Mineral

Bu çalışmada kullanılan kolemanit örnekleri Etibank Emet Etibor işletmesindeki -100+25 mm boyutlarındaki yıkanmış konsantreden alınmıştır. Örneklerin fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 1 ve 2'de verilmiştir.

Çizelge 1. Kolemanit'in fiziksel özellikleri

Yoğunluk (g/cm ³)	Mohr Sertliği	İş İndeks (Kwh/t)
2.05	4	8.66

Çizelge 2. Kolemanit'in kimyasal analiz değerleri

Bileşen	%
B ₂ O ₃	46.85
CaO	21.04
Na ₂ O	0.07
SiO ₂	3.77
As ₂ O ₃	1.25
SrO	1.46
MgO	1.15
TiO ₂	0.20
K ₂ O	0.18
SO ₄	0.26
Fe ₂ O ₃	0.28
Al ₂ O ₃	0.85
A. Z.	21.78

-25+100 mm boyutlarındaki kolemanit örnekleri kapalı devre olarak çeneli kırıcıyla kırılmış ve yaklaşık %95 tek boyut aralıklarında olan altı adet tek boyut fraksiyonu hazırlanmıştır (-3.350+2.360 mm, -2.360+1.700 mm, -1.700+1.180 mm, -1.180+0.850 mm, -0.850+0.600 mm ve -0.850+0.600 mm). Tek boyut fraksiyonunda hazırlanmış kolemanit örnekleri değirmende kuru olarak artan zaman aralıklarında öğütülmüş (0.5, 1, 2, 3, 4 ve 5 dakika) ve her öğütme adımından sonra boyut analizleri yapılmıştır.

3.2. Değirmen ve Deneysel Yöntem

Bu çalışmada kullanılan değirmen, paslanmaz çelikten imal edilmiş, 30.5 x 30.5 cm boyutlarında ve 22,272 cm³'lük bir iç hacme sahip olan standart Bond değirmenidir. Değirmen şarjı beş farklı çaptaki paslanmaz çelik bilyanın bir karışımıdır.

Bilyalar arası boşluk bilya hacminin %40.48'dir. Bu değer suyun yer değiştirmesiyle bulunmuştur. Değirmen besleme malzemesi ve bilya şarjı kat şeklinde beslenilmiştir (bir kat bilya, bir kat malzeme). Bu şekil besleme bilyalar ile beslenen malzemenin öğütme esnasında hemen karışmasını sağlamaktadır. Öğütme deneylerinde kullanılan şartlar Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. Değirmen özellikleri ve deney şartları

Değirmen	Çap, D, cm	30.50				
	Uzunluk, L, cm	30.50				
	Hacim, V, cm ³	22272				
	Hız, rpm	70				
	Kritik Hız, N _c ^a	81.88				
Ortam	Çap, d, inç	1 ^{1/2}	1 ^{1/4}	1	7/8	3/4
	Sayı	43	67	10	71	94
	Σ Bilya ağırlığı, g	22648				
	Özgül ağırlık	7.79				
Malzeme	Bilya şarjı, J ^b	0.22				
	Malzeme şarjı, f _c ^c	0.11	0.08	0.06	0.04	0.02
	Malz bilya oranı, U ^d	1.25	1.00	0.75	0.50	0.25
Malz. mik., kg		3.0	2.4	1.8	1.2	0.6

$$^a N_c = \frac{42.3}{\sqrt{D-d}}$$

$$^b J = \left(\frac{\text{bilya kütlesi/bilya yog}}{\text{degirmen hacmi}} \right) \times \frac{1.0}{0.6}$$

$$^c f_c = \left(\frac{\text{malzeme kütlesi/malzeme yog.}}{\text{degirmen hacmi}} \right) \times \frac{1.0}{0.6}$$

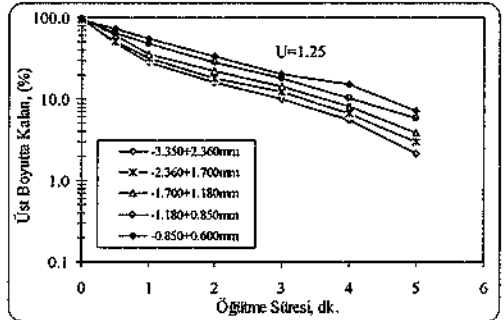
$$^d U = \frac{f_c}{0.4J}$$

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

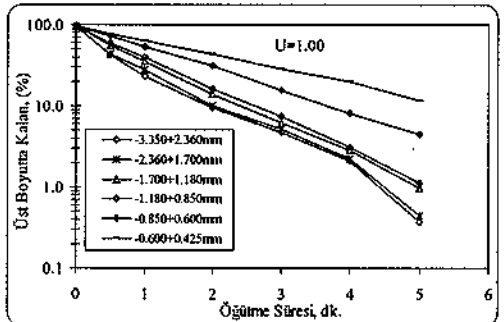
4.1. Özgül Kırılma Hızı, Fonksiyonunun Belirlenmesi

Beş farklı boşluk doldurma oranında, U, beslenen -3.350+2.360 mm, -2.360+1.700 mm, -1.700+1.180 mm, -1.180+0.850 mm, -0.850+0.600 mm ve -0.600+0.425 mm boyut fraksiyonlarındaki kolemanit örnekleri artan öğütme sürelerinde öğütülmüşlerdir. Zamana karşı öğütülen bu örneklerin, her bir öğütme süresi sonunda en üst tane boyu aralığında kalan malzeme fraksiyonlarının, öğütme sürelerine karşılık yarı logaritmik grafikleri çizilmiştir ve sonuçlar Şekil 1-5'te verilmiştir. Grafiğin doğrusal olarak azaldığı

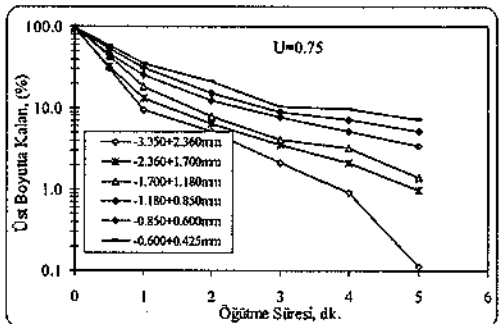
bölge birinci derece kırılma bölgesini temsil etmektedir ve bu bölgedeki doğrunun eğimi malzemenin o tane boyutundaki özgül kırılma hızını vermektedir.



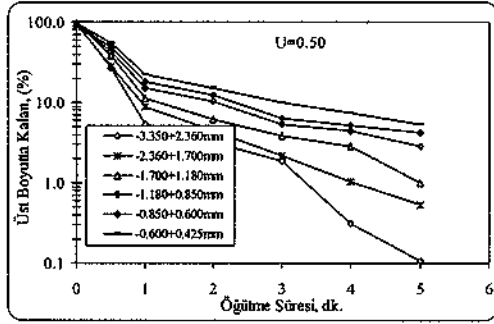
Şekil 1. U=1.25 için farklı besleme boyut fraksiyonlarındaki kolemanitin özgül kırılma hızı değerleri



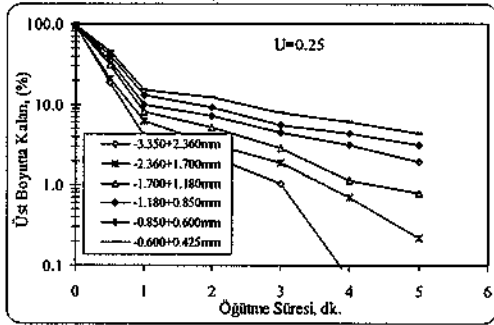
Şekil 2. U=1.00 için farklı besleme boyut fraksiyonlarındaki kolemanitin özgül kırılma hızı değerleri



Şekil 3. U=0.75 için farklı besleme boyut fraksiyonlarındaki kolemanitin özgül kırılma hızı değerleri



Şekil 4. $U=0.50$ için farklı besleme boyut fraksiyonlarındaki kolemanitin özgül kırılma hızı değerleri



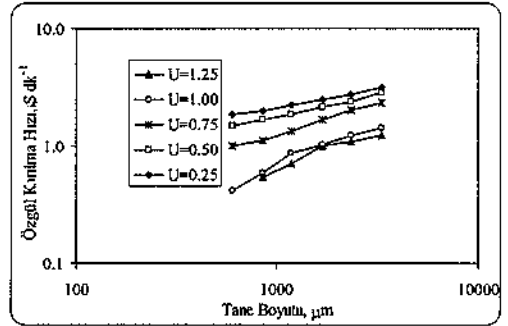
Şekil 5. $U=0.25$ için farklı besleme boyut fraksiyonlarındaki kolemanitin özgül kırılma hızı değerleri

Şekil 1-5'te de görüleceği üzere 1 dakikadan sonra kuru öğütmeden dolayı yavaşlama etkisine girerek öğütme hızı düşmektedir. Bu çok süratle kırılan kolemanit tanelerinin bilya ve değirmen çeperlerine sıvanıp öğütmeyi yavaşlatmasındandır. Bu yüzden özgül kırılma hızları hesaplanırken 1 dakikalık öğütme sonundaki değerler kullanılmıştır.

Şekil 6'da besleme boyutunun bir fonksiyonu olarak ilgili boşluk doldurma oranlarıyla özgül kırılma hızı, S_i , değerlerinin değişimi görülmektedir.

Şekil 6'dan da görüleceği üzere besleme tane boyu arttıkça özgül kırılma hızı değerleri de artmaktadır. Elde edilen bu değerler Eşitlik 5'e uydurulmuş ve ölçülen ile hesaplanan değerler arasındaki farkları en aza indirecek şekilde her malzeme doldurma

oranı için a_T ve α parametreleri belirlenmiştir. Burada a_T değeri S_i değerinin 1mm'deki değeri olup α ise doğrunun eğimidir. Çizelge 4'te bu model parametrelerin değerleri verilmiştir.



Şekil 6. Farklı malzeme doldurma oranları için besleme boyutuyla S_i değerlerinin değişimi

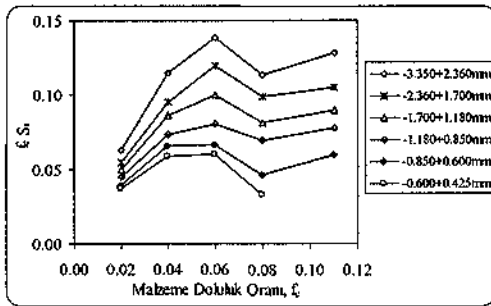
Çizelge 4. Özgül kırılma hızı model parametreleri

U	f_c	a_T	$U a_T$	α
1.25	0.11	0.65	0.84	0.54
1.00	0.08	0.74	0.74	0.56
0.75	0.06	1.25	0.94	0.53
0.50	0.04	1.73	0.87	0.40
0.25	0.02	2.09	0.52	0.33

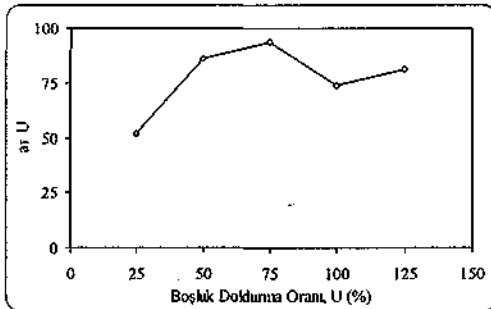
4.2. Malzeme Doluluk Oranı İle Mutlak Kırılma Hızı Arasındaki İlişki

Deneysel çalışmalar sabit bir malzeme miktarında, W, veya fraksiyonel bir doluluk oranında, f_c , yapılıyorsa, özgül kırılma hızları malzemenin öğütülebilirliğinin doğrudan bir göstergesi olur. Ancak, farklı malzeme doluluk oranlarında yapılan çalışmalar karşılaştırılacaksa o zaman kullanılan ifadelerde değirmendeki malzeme miktarının da olması gerekmektedir. Bu durum da değirmen kapasitesiyle orantılı olduğundan, SiW veya $S_i f_c$ ile tanımlanan mutlak kırılma hızlarının karşılaştırılması daha doğru olmaktadır (Austin ve ark., 1984; Prasher, 1987).

Malzeme doldurma oranına karşılık mutlak kırılma hızının grafiği çizilmiş ve sonuçlar Şekil 7'de verilmiştir. Ayrıca değirmendeki malzeme miktarının değişikliğin etkisi de incelenmiş ve değişim Şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 7. Malzeme doldurma oranı, f_c ile mutlak kırılma hızının, f_c Si, değişimi



Şekil 8. Bilyalar arası boşluğun doldurma oranıyla $a_T U$ parametresinin değişimi

Şekil 7 ve 8'den de anlaşılacağı üzere en yüksek kırılma hızı değeri bilyalar arası boşluğun %75'inin dolu olduğu öğütme koşullarında gerçekleşmiştir.

5. SONUÇLAR

Altı farklı besleme tane boyut aralığında ve beş farklı doldurma oranlarında kolemanit'in kuru öğütülmesi sonucunda öğütme kinetiğinin bir dakikalık öğütmeden sonra kolemanitin hızlı kırılmasından dolayı yavaşlama etkisine girdiği ve birinci derece öğütme kinetiğinden saptığı gözlemlenmiştir.

Yapılan çalışmada en yüksek kırılma hızı değerleri, malzemenin bilyalar arası boşluğun %75'ini doldurduğu öğütme koşullarında elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Austin, L. G., 2002. *A Treatment of Impact Breakage of Particles*. Powder Tech 126, 85-90.
- Austin, L. G., Bagga, P., Çelik, M., 1981. *Breakage Properties Of Some Materials In A Laboratory Ball Mill*. Powder Tech 28, 235-241.
- Austin, L. G., Klimpel, R. R., Luckie, P. T., 1984. *Process Engineering Of Size Reduction: Ball Milling*. AIME/SME, New York, USA.
- Cohen, H. E., 1983. *Energy Usage In Mineral Processing*. Trans Inst. Min. Metal., 92, C160-164.
- Deniz, V., Onur, T., 2002. *Investigation Of The Breakage Kinetics Of Pumice Samples As Dependent On Powder Filling In A Ball Mill*. Int. J. Miner. Process. 67, pp71-78.
- Kotake, N., Suzuki, K., Asahi, S., Kanda, Y., 2002. *Experimental Study On The Grinding Rate Constant Of Solid Materials In A Ball Mill*. Powder Tech., 122, pp.101-108.
- Lynch, A. J., Whitten, W. J., Narayanan, S. S., 1986. *Ball Mill Model: Their Evolution And Present Status*. Advance in Mineral Processing, P. Samasundaran (Ed), SME/AIME Pub. Littleton, CO, pp 48-66.
- Narayanan, S.S., 1987. *Modeling the performance of industrial ball mills using single particle breakage*. Int. J. Miner. Process., 20, 211-228.
- Prasher, C. L., 1987. *Crushing And Grinding Process Handbook*. John Wiley and Sons Ltd. Great Britain.
- Schonert, K., 1979. *Energy aspect of size reduction of brittle materials*. Zem-Klak-Gips Translation No 1/79., 3: 40-44.
- Shoji, K., Austin, L. G., Smalia, F., Brame, K., Luckie, P. T., 1982. *Further Studies Of Ball And Powder Filling Effects In Ball Milling*. Powder Tech., 31, pp 121-126.
- Yekeler, M., Özkan, A., Kaya, Ö., Coşgun, F., 1999. *Klinkerin Öğütme Kinetiği ve Ürünlerin Boyut Dağılımının Simülasyonu*. 3. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, pp. 201-207.

Opal ve Genel Özellikleri

M. Vıdı, İ. Çavuşoğlu, O. Celep, İ. Alp & A.O. Yılmaz

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon

ÖZET: Bu çalışmada, bir süs taşı olarak opal tanıtılmıştır. Fiziksel ve mineralojik özelliklerinin yanı sıra literatürde yapılan çok değişik opal sınıflandırılması (görünüm ve değerli oluşuna göre, renk tonuna göre, doğal yada yapay oluşuna göre, fiziksel özelliklerine göre) yapılmıştır. Ayrıca opalin fiziksel özelliklerine yapılan ve uluslar arası literatürde kabul gören sınıflandırılması da detaylı olarak verilmiştir. Avustralya dünya opal yataklarının %95' ine sahip olmakla birlikte ülkemizde de çeşitli bölgelerde (Afyon-Bayat, Eskişehir-İnönü, Kütahya-Şaphane ve Erzurum-Oltu) opal yatakları mevcuttur.

ABSTRACT: In this study, opal is presented as a ornament stone. The different classification of opal (as appearance and precious, as colors tone, as natural or synthetic, as physical features) is performed as a result examination of literature studies together physical and mineralogical features of opal. Also, as to physical features classification of opal is given as detailed. Australia has 95 % of world opal deposits and there are opal deposits (Afyon-Bayat, Eskişehir-İnönü, Kütahya-Şaphane ve Erzurum-Oltu) in several regions in Turkey.

1. GİRİŞ

Süstaşı, yerkabuğundan çıkarılıp işlenen ve insanlar tarafından süs ve ziynet eşyası olarak kullanılan değişik renkli mineral, taş ve organik malzemelere denir (Sarıöz, Nuhoglu, 1992). Süstaşları yada kıymetli taşlar olarak da tanımlanan malzemeler izafi olarak yarı kıymetli ve kıymetli süs taşları olmak üzere iki grup altında incelenirler. Bu ayrımın kesin bir sınırı yoktur. Süs taşları doğada yaygın olarak bulunan oksijen, karbon, alüminyum, silisyum, kalsiyum ve magnezyum gibi elementler tarafından oluşturulur (Ural 1). Kimyasal bileşimlerinde silikatlar, oksitler, fosfatlar, sülfatlar, karbonatlar, ve benzeri mineral bileşikler bulunur (Köktürk, 2002). Doğada ender olarak bulunan bu mineral, taş ve organik malzemelerin bazıları, onlara ekonomik bir değer katan ayrıcalıklı bazı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahiptirler.

Süstaşlarının ayrıcalıklarını sağlayan bu başlıca özellikleri :

- Güzellik ve estetik görünüm
- Dayanıklılık ve ender bulunma
- Taşınabilme
- Şekillendirmeye uygunluk
- İri ve tek kristal olma
- Sertlik
- Parlaklık, saydamlık, saflık ve renk'tir (Hatipoğlu, 1998).

Ancak doğada bulunan her mineral de süstaşı değildir. Bu nedenle süstaşları şöyle sınıflandırılabilir:

- Mineral kökenli süstaşları : Yukarıdaki özelliklere sahip olan minerallerdir (kuvars, opal, kalsedon, granat, turmalin, beril, korendum, diaspor).
- Kaya kökenli süstaşları : Sert ve sağlam belirgin kullanım alanı olan çeşitli renkli ve ekonomik öneme sahip kayalar (oniks, obsidiyen).
- Organik kökenli süs taşları : (inci, mercan, kehribar, silisleşmiş ağaç) (Köktürk, 2002).

Opal önemli süs taşlarından biridir. Opaller, kesilip parlatılabilir. Opal aynı zamanda oldukça popüler mineraller arasındadır ve müzeler en zarif ürünleri alabilmek için rekabet halindedir. En değerli opaller Avustralya, Amerika, Meksika ve Brezilya'da çıkartılmaktadır. Opal yataklarının bulunduğu diğer belli başlı ülkeler: Etiyopya, Çek Cumhuriyeti, Slovakya, Macaristan, Türkiye, Endonezya, Brezilya, Honduras, Guatemala ve Nikaragua.

Bir süs taşı olan opalin literatürde çok değişik sınıflandırılması yapılmıştır. Bu çalışmada literatürde yapılmış bu sınıflandırmalar incelenip görünüm ve değerli oluşuna göre, renk tonuna göre, doğal yada yapay oluşuna göre, fiziksel özelliklerine göre opaller sınıflandırılmıştır (Url 2). Opallerin fiziksel özelliklerine göre sınıflandırılmasında 99 çeşit opal türü verilmiştir (Url 4). Bu sınıflandırma en geniş opal türlerini içeren uluslar arası bir sınıflandırmadır. Ayrıca çalışmada dünyadaki ve ülkemizdeki mevcut opal yatakları sunulmuştur.

2. OPAL NEDİR?

Opal Yunanca "renk değişimini görmek" (opallious) anlamına gelir (Url 1). Opal, bir kristobalit silis küreciklerinin düzenli ve düzensiz bir kafes yapısına sahip ve %3 ile %21 arasında su içeren bir sulu amorf silikasıdır. Opal, amorf bir yapıya sahip olmasına rağmen silisin kristal olmayan bir şeklidir. Opal 100°C altında oluşmuş bir silika jelidir (çökelimlidir). Bu jel sedimanter tabaka çatlak ve yarıkları içine sızarak oluşmuştur. Meteorik sudaki silika, buharlaşmayla konsantre haline gelir ve bunun sonucundan kolloidal silika jeli yani opal oluşumu gerçekleşir (Simandl, 1998). Opalin bilinen klasik jel dokusu yanında taneli agregalar gösterebileceği ve bu doku ile kristobalite bir geçiş gösterdiği bilinmektedir (Andaç, 1976).

Elektron mikroskopunda değerli opal, kapanım silika kürecikleri ve su yada CO₂ gaz boşlukları içerdiği gözlemlenmiştir. Opal konkoidal kırınımı ve değişik renk oluşumuyla karakterize edilmektedir (Simandl, 1998).

Opalin jeolojik şartlarda oluşması için (H₂SiO₄) silisikosit konsantrasyonunun 100-200ppm olması gereklidir. Volkanik kayalarda silis silikatların hidrotermal alterasyonundan türeyebilir. Kırılma

yüzeyi konkoidaldır. Sertlik 5-6, özgül ağırlık 2-2,25'dir. Camı parlaklıkta fakat sık sık reçinemsidir. Rensiz, beyaz, sarı, kırmızı, kahverengi, yeşil, gri ve mavinin açık tonlarındadır. Koyu renkler safsızlıklar nedeniyle oluşur. Saydam, yarı saydamdır. Ultraviyole ışıktaki bazı opal türleri yeşilimsi flüoresans özellik gösterir. Yapısındaki su miktarı %3 - %21 arasındadır(Url 4).

Kıymetli opallerin, göze çarpan en belirgin özelliği ışığın spesifik dalga boyunu yansıtabilme ve kırabilme özelliğine sahip olmasıdır. Aslında bu olayı açıklayabilmek için "opalescence" (opal ışımı) terimi ortaya atılmıştır. Kayalardaki amorf silika küreciklerinin boşluk ve boyutu ışığın spesifik dalga boyunu yansıtır; her bir küreden yansıyan ışınlar, küçük su damlacıklarındaki gökkuşağı rengine benzer. Işığın dalga boylarının bu karşılıklı etkileşimi opale sahip olduğu eşsiz bir görsel cazibe verir ve aynı zamanda opali dünyada en çok aranan süs taşlarından birisi yapar (Url 2).

Opalde bulunan renk oyununun nedenini açıklamak için pek çok teori ileri sürülmüştür. 1960'larda Elektron mikroskopunun da yardımıyla bu renk oyununun sebebi keşfedildi. Bunun kısaca açıklaması; Opaller düzgün bir şekilde dizili küçük silika küreciklerinden oluşur ve bunlar kayaya giren ışığı spektral renklere ayırır. Ayrılan bu ışık dalgası kayada bir ışık parıltısına veya parıldamasına neden olur. Sıralanmış bu silika küreciklerinin yapı ve yoğunluğu opalde farklı renklerin kırılmasıyla ilişkilidir.

Çatlama durumunda opaller olumsuz etkilenmektedir ve opalin biçiminde belirsizlikler oluşturmaktadır. Çatlama durumu genelde opalin çabuk kuruması yada nemli ortamdan alınıp ani ve yoğun ışığa maruz kaldığında oluşmaktadır. Opalin sertliğinin fazla olmasına rağmen, çatlamaya ve kırılmaya karşı oldukça eğilimlidirler. Opalin su içeriği kaybı yanardönerliğinin kaybına da sebep olmaktadır.

Jel bir bünyeye sahip olan opallerin uranyumlu eriyikleri adsorbe ettiği kanısının aksine M. Andaç ve ark. Afyon-Bayat ve Kütahya-Şaphane yöresinde ki opaller üzerinde yapmış oldukları elektron mikroskobu çalışmasıyla, opaller içerisindeki uranyum taşıyıcısının doğrudan doğruya opallerin öz bünyelerinin olmadığı, breşik yapıda olan parçalarının arasındaki manganezli ve

demirli çimento maddesinin, kısmen opaller içerisinde, taneler arasına (intergranüler olarak) dağılmış demirli ve manganezli dandritlerin olduğu kanısına varmışlardır (Andaç, 1976).

2.1. Opalin Fiziksel ve Mineralojik Özellikleri

Kimyasal Formül $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$

Bileşimi Sulu silisyum dioksit. Su oranı toplam ağırlığın %3 - %21 arasındadır. Fakat genellikle %6-%10 arasındadır.

Renk Renksiz, beyaz, sarı, turuncu, kırmızı, mor, mavi, yeşil, gri, kahverenkli ve siyahtır. Bunlar esas alınan bazı opal renkleridir. Şüphesiz ki opaller farklı yönlerden görüntülendiğinde, ters çevrildiğinde veya ışık kaynağı hareketinde farklı renkler gösterebilirler. Renklerin oyunu (play of color) olarak adlandırılan bu olgu, bir kayaca renk parıltısı verir veya kayacı kayaca değişen farklı renklerin parıltısını verir. Pek çok opalde renk oyunu (play of color) gerçekten müstesna ve eşsizdir. Renk oyunu olarak adlandırılan opallerin gösterisi oldukça kıymetlidir. Bu şekilde görünümü olmayanlara sıradan adı verilir ki çok az değerlidir veya tamamen değersizlerdir (Url 4).

Çizgi rengi Beyaz.

Sertlik Opal genellikle çoğu kaynaklarda 5,5 sertliğinde bilinir. Bu tamamen doğru değildir. Bazı opallerin sertliği 4,5 gibi, bazılarının ise 6,5 civarındadır (Url 4).

Kristallografi Amorf. Opal şekilsiz oluşur. Opal bir mineral değil mineraloit'tir (mineraloid). Bir mineral standartlara göre mutlaka bir kristal yapıya sahip olması gerekmektedir. Çoğu bilimsel gruplar ve bilgilerinde (Dana'nın Mineral sistemlerinde) opal gerçek minerallerle beraber gruplandırılmıştır. Bu sonuca göre opal bir mineraloidin sahip olduğu kesin değerler kadar iyidir ve bu düşünce ile de mineral grubu içinde kabul görürler.

Opal toprak yığınınnda ve yer kabuğunda damarlar gibi masif, kabarık, böbreğimsi, sarkıt, toprağımsı ve yumrular şeklinde bulunur (Url 4).

Şeffaflık Opak, saydam (opak'a kadar geçirimli).

Özgül ağırlık Sıradan opalde → 1,98-2,25
Kıymetli opalde → 2,10-2,20

Parlaklık Genellikle cam gibi fakat aynı zamanda inci gibi, cilalı veya reçinemi olabilir.

Dilinim Yok.

Kırılma Konkoidal (midye kabuğu).

Sağlamlık Kolay kırılır, gevrek.

Diğer özellikler Bazı örneklerde zengin renk oyunu vardır. Sıradan opaller bazen açık yeşil, aynı zamanda parlak yeşil, parlak mavi, mor ve beyaz renkte flouresans özelliği gösterir (Url 4).

2.2. Opal Sınıflandırılması

Opalin pek çok cinsi vardır. Her birinin kendine has bazı isimleri vardır. Bazılarının isimleri belirlenememesine rağmen yine de kullanılmaktadır.

Yıllar boyunca bilim çevrelerince yapılan tartışmalı görüşlerin sonunda günümüzde Avustralya Gemoloji Endüstrisi Konseyi (AGIC) tarafından yapılan terminolojik sınıflandırmayla konuya açıklık getirilmiştir. Yaptığımız literatür araştırmaları sonucunda, opallerin ortak özellik yada belli bir kritere göre sınıflandırılması yapılmıştır.

Buna göre opalleri şu özelliklere göre sınıflandırmak mümkündür.

2.2.1. Görünüm ve Değerli Oluşuna Göre Sınıflandırılması

Opalin görünüm açısından tanımlanan üç temel formu vardır:

- **Değerli Opal** : Opalin yapısında bulunan silika küreciklerinin mikro yapısı boyunca beyaz ışık kırınımıyla meydana gelen ve "renk oyunu" olarak bilinen özelliğe sahip opallerdir. Mikro silika küreciklerinin şekli ve çapı opalin renk fraksiyonunu belirler. Değerli opal parlaklığıyla ayırt edicidir. Renk kırmızı, turuncu, yeşil ve mavi olabilmektedir.

- ❑ **Genel/adi Opal** : Renk oyununa sahip olmayan opallerdir. Genel/adi opal mikrokristalen yapı gösterir. Renk eksikliği mikro silika küreciklerinin düzensiz yığılımlarından dolayı olabilmektedir.
- ❑ **Ateş Opal** : Şeffaf turuncudan kırmızı-turuncu ana renge değişim gösteren opal için kullanılan isimdir. Ateş opal eğer renk değişimi gösterirse değerli opal, göstermezse sıradan opal adını alır. En güzel ateş opaller Meksika'da bulunmaktadır (Url 3).

2.2.2. Opalin Ana Renk Tonuna Göre Yapılan Sınıflandırma

Bir opalin ana rengi değerli opalde görülen renk oyunundan farklıdır. Ana renk, renk oyunu ihmal edildiğinde opalin parlaklık yada koyuluğuyla ilgilidir. Bu bir renk ıskalasıyla tayin edilmektedir (Şekil 1).

- ❑ **Siyah opal**: Ana rengi siyah olan ve renk oyunu gösteren opal ailesidir. Renk ıskalasında N1, N2, N3 yada N4 olabilmektedir.
- ❑ **Koyu opal**: Koyu ana renge sahip ve renk oyunu gösteren opal ailesidir. Renk ıskalasında N5 yada N6 olabilmektedir.
- ❑ **Açık opal**: Açık ana renge sahip olan ve renk oyunu gösteren opal ailesidir. Renk ıskalasında N7, N8 yada N9 olabilmektedir. N9 beyaz opal olarak da bilinmektedir (Url 3).

2.2.3. Doğal Yada Yapay Oluşuna Göre Sınıflandırma

- ❑ **Doğal opal**: Doğal opal, cıllanıp yada kesilmek suretiyle herhangi bir işleme tabi tutulmamış opale verilen addır. Doğal opalin yapı karakterizasyonu kriterine bağlı olarak belirlenen 3 tipi vardır.

1.Tip Doğal Opal: Homojen kimyasal yapıya sahip olan, kesme ve cıllanmamış kendi doğal durumundaki tek parça halinde bulunan opaldır.

2.Tip Doğal Opal: Farklı kimyasal bileşime sahip, ana kayaçla birleşik olarak tek parça halinde bulunan opali tanımlayan tiptir.

3.Tip Doğal Opal: Ana kayacın taneleri yada gözenekleri arasına nüfuz etmiş tek parça halinde bulunan opaldır. Bu opal matriks opal olarak ta bilinmektedir.

Doğal opalin bileşimi, diğer materyallere birleşik olarak opal laminatları (levhacıkları) içerir. Doğal opal birleşik opaldır ve üç ana formu vardır.

- Douplet opal (çift opal)
- Triplet opal (üç kat opal)
- Mozaik opal

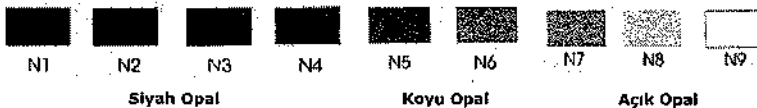
❑ **Sentetik / taklit opal**: Doğal opalin aynı fiziksel ve kimyasal yapısını yada gemolojik içeriğine sahip olmayan, ancak doğal opalin renk oyununu taklit eden opaldır.

2.2.4. Opalin Fiziksel Özelliklerine Göre Yapılan Sınıflandırma

Çok çeşitli isimlerde pek çok opal çeşidi vardır. Bazıları bilimsel olarak tanınmamakta fakat genelde kullanılmaktadır. En önemli çeşitleri Çizelge 1'de belirtilmiştir (Url 4).

2.3. Opalin Oluşumu

Opal genellikle volkanik bölgelerde hidrotermal sular ve gayzerlerden oluşurlar. Ayrıca kayaların çatlak ve boşluklarında bazen de solüsyon olarak oluşmaktadır.



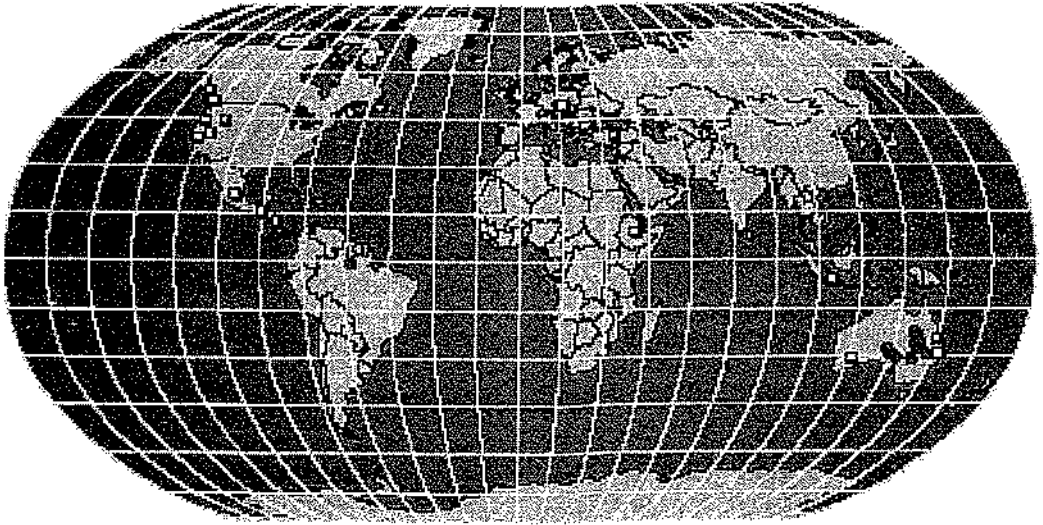
Şekil 1: Değerli opaller için belirlenmiş renk ıskalasını (Url 3).

Opal ultrabazik kayaların ayrışması olarak silikaların bozulmasıyla oluşurlar. Silikatların kristal yapılarının ayrışmasıyla serbest hale gelen silika önce eriyiğe (Silisik asit H_4SiO_4) dönüşür. Bu durum eluvial zonda yada demir, alüminyum ve diğer elementlerin hidroksitleriyle beraber

metazomatik olarak çökmesiyle gerçekleşir. Geniş opal yatakları denizel vadilerin kıyı zonlarına nehir sularının getirdiği silika solüsyonlarının çökmesiyle sedimantasyonla oluşurlar (Betekhtin).

Çizelge 1. Opal türleri (Url 4).

Uluslararası Sınıflama			
1. Agate Opal	Agat (Akik) Opal	51. Mother of Pearl Opal	Sedef Opal
2. Amatite	Amatite	52. Mountain Opal	Dağ Opali
3. Amber Opal	Amber Opal	53. Neslite	Koyu Kahve Opal
4. Andamooka Opal	Andamooka Opal	54. Nevada Opal	Nevada Opali
5. Banded Opal	Bandlı, Çizgili Opal	55. Onyx Opal	Oniks Opal
6. Bandfire Opal	Bandlı Ateş Opal	56. Opal Matrix	Matris (Parçacık) Opal
7. Black Opal	Siyah (Kara) Opal	57. Opaline	Parçacık Opal
8. Bone Opal	Kemik Opal	58. Opalite	Opalit
9. Boulder Opal	Parçalı Opal	59. Opalized Bone	Opalleşmiş Kemik
10. Cachalong Opal	Boşluklu (Delikli) Opal	60. Opalized Fossil	Opalleşmiş Fossil
11. Cherry Opal	Kiraz Opal	61. Opalized Shell	Opalleşmiş Kavkı
12. Chloropal	Klor Opal	62. Opalized Wood	Opalleşmiş Odun
13. Chrysopal	Krizopal	63. Painted Boulder	Boyalı Opal
14. Claro Opal	Şeffaf Opal	64. Pearl Opal	Sedef (İncimsi) Opal
15. Common Opal	Adi (Bayağı) Opal	65. Pineapple Opal	Ananas Opal
16. Contra Luz Opal	Kontra Luz Opal	66. Pinfire Opal	İğne Şekilli Ateş Opal
17. Coober Pedy Opal	Kuber Pedy Opal	67. Pin Point	İğne Uçlu Opal
18. Crystal Opal	Kristal Opal	68. Pipe Opal	Boru (Pipo) Opal
19. Dark Opal	Koyu (Kara) Opal	69. Pitch Opal	Zift Opal
20. Diatomite Opal	Diyatomit Opal	70. Potch	Adi Opal
21. Fire Opal	Ateş Opal	71. Prase Opal	Koyu Yeşil Adi Opal
22. Flame Opal	Alev Opal	72. Precious Fire Opal	Nadide Ateş Opali
23. Flash Opal	Parıltı (Şimşek) Opal	73. Precious Opal	Nadide Opal
24. Flashfire Opal	Parıltı Ateş Opal	74. Primed Opal	En İyi (Ana) Opal
25. Fossil opal	Fossil Opal	75. Pyrophane	Nadide Opal
26. Gelite Opal	Jel Opal	76. Queensland Opal	Kraliçeler Karası Opal
27. Gayserite	Gayser (Sıcak su) Opal	77. Quincite Opal	Pembe Opal
28. Gilson Opal	Gilson Opal (Sentetik)	78. Radiolite Opal (Radio Opal)	Adi (Radiolaryalı) Opal
29. Girasol Opal	Girasol Opal	79. Rainbow Opal	Gökkuşağı Opal
30. Glass Opal	Cam Opal	80. Red Flash Opal	Kırmızı Parıltılı Opal
31. Gold Opal	Altın Opal	81. Resin Opal	Sakız (Sakız Cilalı) Opal
32. Harlequin Opal	Palyaço Opal	82. Rumanite Opal	Romanya Opali
33. Honey Opal	Bal Opal	83. Seam Opal	Damarcıklı Opal
34. Hungarian Opal	Macar Opali	84. Semi Opal	Yarım (Opalimsi) Opal
35. Hyacinth Opal	Sümbül Opal	85. Shell Opal	Kavkı Opal
36. Hyalite	Hyalit	86. Slocum Stone	Slokum Taşı (Sentetik)
37. Hydrophane	Boşluklu Opal	87. Sun Opal	Güneş Opali
38. Iridot	Şans Opali	88. Tabasheer	Organik Opal
39. Isopyre	Parçalı Opal	89. Virgin Valley Opal	Virjin Vadisi Opali
40. Jasper Opal	Jasp Opal	90. Wash Opal	Aşınmalı (Su ile) Opal
41. Jell Opal	Jelimsi Opal	91. Water Opal	Su opali (Jel Opal)
42. Lechosos Opal	Lekosos Opal	92. Wax Opal	Mum Opal
43. Lemon Opal	Limon Opal	93. White Cliff Opal	Beyaz Klif Opali
44. Levin Opal	Işımalı Kıymetli Opal	94. White Opal	Beyaz Opal
45. Light Opal	Parlak Opal	95. Wood Opal	Odun (Ağaç) Opal
46. Lighting Ride Opal	Parlaklı Dağ Silsilesi Opali	96. Yowah Nut	(Yuvarlak) Parçalı Opal
47. Lithoxyl Opal	Ağaç (Odun) Opali	97. Liver Opal	Koyu Bordo Renkli Opal
48. Milk Opal	Süt Opal	98. Menilite	Mat Koyu Kahve Adi Opal
49. Moss Opal	Yosun Opal	99. Mexican Fire Opal	Meksika Ateş Opali
50. Mother Opal	Ana Opal		



- Sedimanter Opal
□ Volkanik Opal ve Diğer

Şekil 2. Dünyanın değerli opal yatakları (Horton, 2000)

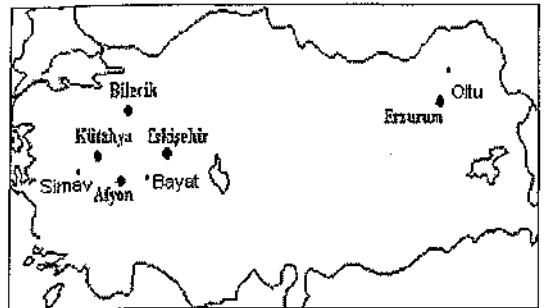
2.4. Dünya'da ve Türkiye'de opal

Opal, elektron mikroskobu ile ilk 1963 yılında küresel kapanımlar içinde küçük silika taneleri bileşiminde bulunmuştur. Opalin yaygın olarak bulunması, düşük sıcaklıklarda oluşmasının sonucudur. Opal, doğal olarak yüzeylenmiş kristal düzeninden ziyade amorf silika yığımları veya kürelerinden oluşmaktadır.

Opal Avustralya'nın ulusal bir süstaşısıdır. Avustralya bugün yaklaşık olarak dünyanın değerli opallerinin %95'ini üretmektedir ve hemen hemen dünya opal rezervlerinin tümüne sahiptir. Diğer önemli üreticiler ise Meksika ve Brezilya'dır. Opal yataklarına sahip diğer ülkeler ise Çek Cumhuriyeti, Slovakya, Guatemala, Honduras, Nikaragua, Batı Amerika ve Kanada, Endonezya, Türkiye ve Etiyopya'dır (Şekil 2). (Horton, 2000).

Türkiye'de Eskişehir, Kütahya, Bilecik, Afyon ve Erzurum sınırları içinde opal oluşumları şekillenmiştir. Çok değişik renk ve kalitede opal varlığı mevcuttur. Kütahya-Simav-Şaphane Ateş opal yatakları Osmanlı zamanında işletildiği bilinmektedir. Kıymetli Opal veya diğer adıyla İrize

opalin ana yurdu Avustralya olarak kabul edilebilir. Türkiye'de de özellikle Eskişehir, Bilecik, Kütahya, Afyon ve Erzurum illerinde volkanik faaliyetlerin etkin olduğu yörelerde ve serpantinleşmiş ultrabazikler üzerine gelen Eosen konglomeralarında hemen hemen her çeşit ve renkte opal oluşumlarına rastlanılır (Şekil 3). Opal oluşumları magnezit yatakları ile yakın ilişkilidir. Eskişehir Dereyalak köyü civarından ekonomik boyutta opal çakılları, konglomeraları oluşturur. Eskişehir-Sivrihisar-Karkın süt opalleri ağsal damarlar halinde serpantinleri kesmiş olarak gözlenir (Bozkurt, 2003).



Şekil 3: Türkiye'deki opal yatakları.

Afyon Bayat bölgesinde de, breşik-dendritli ve homojen-dendritli yapılarda, beyaz, sarı, turuncu, siyah, kahve ve yeşil renklerde, moss opal türü ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) süs taşları bulunmaktadır (Hatipoğlu, 2001).

2.5. Dünya Opal Yataklarından

2.5.1. İngiliz Columbia'sında

Andezit-Bazalt, Riyolit ve Riyolitik, Lav, Tüf breşlerde boşluklar, kırık, kılcal, çatlak ve ara dolgularda oluşmuşlar. Bu birimler Eosen yaşı ve Lapilli-Tüf içerisinde yer alırlar. Çevrede Apatit, Şabazit ve Zeolitlerde bulunmaktadır. Opal renkleri yeşil, turuncu ve mavimsi renkli opallerdir.

Tektonik olarak Volkanik kuşaklar, riftler, kalderalar volkanizmaya bağlı sıcak noktalar.

Yatak şekli Opal içerikli zonlar, katmanlar şeklinde olup opaller düzgün olmayan yüzeye yakın kırıklar, boşluklar ve tanelerin (kayaç parçaları) çevresinde oluşmuşlardır. Hidrotermal veya volkanik opal, silisyum taşıyıcı suların en yüksek ısısının 325°C olabileceği belirtilmiştir (Url 5).

2.5.2. Idaho Spencer Opal Yatağı (ABD)

Opal Riyolitik lavlar içerisinde silisli sular taşıyan hidrotermal sularla oluşmuştur. Bu kayaca bağlı olarak yatağın yaşı Tersiyerdir. Silisli sular Riyolit boşluklarında yumru olarak oluşmuşlardır. Ayrıca boşlu ve kırıklarında ince akikler oluşmuştur (Url 6).

Opal renkleri Ateş opali, renksiz, sarı, pembe, mavi ve kırmızıdır (Url 7).

2.5.3. Tortul Kayaçlardaki Opal Yatakları-Avustralya

Opalin oluştuğu kayaç ileri derecede ayrılmış kumtaşıdır. Kayacın yaşı taban kayacından daha çok gençtir. Taban kayacı Paleozoyik ve Kretase'dir. Mineralleşme yaşı üst Eosen, alt Oligosendir. Kumtaşları ileri derecede ayrılmışlardır. Kilaşı ve silt taşları kumtaşlarını aralarında bulundurulur. Onu kapayan olarak sakladıkları için opali oluşturan sular kumtaşı, kırık, boşluk ve geçirimli her yerine girip yerleşmişlerdir (Horton, 2000).

Opaller stratabounddur. 10m'lik bir zonda bulunurlar ki yaklaşık 100km'lik zona yayılmışlardır. Damarcıkların çoğu 10cm kalınlıktadır. Bazı opaller ise fosil ve odun fosili içine girip oluşmuşlardır. Opallerde ganglar (Avustralya'da) jips, alunit, hematit, limonit ve götittir (Url 7).

2.6. Maden İşletme Yöntemleri

Kıymetli süstaşların işletilmesi basit madencilik işlemleriyle gerçekleştirilir. Genellikle açık ocak işletmeleri olarak kazma, kürek ve kayacı kırıcı olarak el mırçları ve gerektiğinde ufak benzinli kırıcı ve delici kullandırılır.

Jeolojik yapının ve kıymetli taşların litolojideki dağılımına göre mekanize işletmeler de şekillenebilmektedir. Bugün Avustralya Queensland'da Cragg asil opal madeninde 41 iş makinesi çalışmaktadır. Bölgede yeni bir ocak açılırken önce 75 cm çaplı sondaj ile 20 metre derinliğe kadar kuyu açılır. Opal varlığını gösteren işaretler aranır. Şayet bir işaret bulunursa işçi ekibinden bir kişi ip ile kuyuya inerek renk kontrolü yapar. Üretim yapılabilecek bir bölge bulunmuşsa buldozerler ile opal bulunan tabakanın üstü temizlenir. Derinliği 2,5 ile 12 metre arasında 60x15 m genişliğinde bir alan açılır. Opal varlığına göre yapılacak üretim ile açık ocağın şekli belirlenir. Bulunan en büyük opal 1m x 60 cm x 25 cm boyutludur (1907) (Bozkurt, 2003).

2.7. Opal Endüstrisi

Dünya opal yataklarından elde edilen opallerin yaklaşık %95'ini Avustralya üretmektedir. Çok az miktarda opal üreten ülkeler ise Honduras, Meksika, Çek Cumhuriyeti Brezilya ve Türkiye'dir. Sedimanter opaller volkanik olanlarına göre daha yüksek kaliteye sahiptirler.

Avustralya'nın en önemli opal yataklarının tümü Büyük Avustralya Vadilerinin sınırlarına bitişik bir şekilde yerleşmişlerdir. Opallerin karakteristikleri her bir yataktan diğerine değişiklik göstermektedir.

Kaliteli süstaşı opalleri, fiyatları çok değiştirmektedir. İşlenmemiş kaliteli siyah opalin şuan ki fiyatı kg başına 2-10\$'dır. Daha düşük kaliteli opaller, opal tipine bağlı olarak (opalin rengi, içerdiği yabancı madde ve eksikliği gibi)

fiyatları oldukça değişebilmektedir. Opal endüstrisinin Dünya ve Avustralya ekonomisindeki değeri yetersiz verilerden dolayı tam olarak bilinmemektedir. Ancak Avustralya'daki opal üreticilerinin hesaplarına göre opalin Avustralya ekonomisindeki değerinin yıllık 100 milyon \$ ile 200 milyon \$ arasında olduğu varsayılmaktadır. Bu kabul Avustralya hükümetince de onaylanmaktadır (Horton, 2000).

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Opal renk oyunu gösteren (play of color) ve bileşimi sulu silisyumdioksit olan önemli süs taşları arasında yer almaktadır. Opallerin renk oyunu göstermeleri onlara eşsiz ve müstesna bir görünüm kazandırmaktadır. Ancak bazı opallerde ise renk oyunu gözükmemekte ki bunlar sıradan opaller grubunda yer almaktadırlar. Renksiz, beyaz, sarı, turuncu, kırmızı, mor, mavi, yeşil, gri, kahverengi ve siyah renklerde bulunan opaller kesilip, cilalanıp parlatılabilirler. Opal genellikle volkanik bölgelerde hidrotermal sular ve gayzerlerden oluşurlar. Ayrıca kayaların çatlak ve boşluklarında bazen de solüsyon olarak bulunmaktadır. Opallerin sınıflandırılması çok değişik şekillerde yapılmaktadır. Görünüm ve değerli oluşuna göre, renk tonuna göre, doğal yada yapay oluşuna göre, fiziksel özelliklerine göre sınıflandırılmasının yapılması söz konusudur. Fiziksel özelliklerine yapılan sınıflamada 99 çeşit opal türü mevcuttur.

Dünyada kıymetli opal yataklarının % 95'i Avustralya'da bulunmaktadır. Ülkemizde de değişik bölgelerde opal yatakları mevcuttur. Bu yataklar için rezerv çalışmaları yapılmamış olup buna yönelik araştırmaların yapılması ülke ekonomisi açısından önem arz etmektedir.

Ülkemizde opalle ilgili yapılan çalışmalar yetersiz yada dar kapsamlıdır. Bu çalışmanın bundan sonra yapılacak olan çalışmalara ışık tutması ve gemolojik hammadde araştırmalarının genişletilmesi hususunda yararlı olacağı düşünülmüştür.

Ülkemizde bulunduğu halde bilinmeyen opal yatakları ve benzeri süs taşlarının değerlendirilmesi, gelişmiş ülkelerde bir sanayi haline gelen bu sektörü canlandırmakla birlikte ülke ekonomisi açısından önemli bir kaynak yaratacağı düşünülmektedir.

Türkiye'deki mevcut opal işletmelerinin hem teknolojik hem de hammadde değerlendirme yönünden iyileştirilmeleri gerekmektedir.

Opal araştırması açısından kapsamlı bir derleme niteliği taşıyan bu bildirinin bu alanda çalışan kişi ve kuruluşlara yardımcı olacağı ümidi duyulmaktadır.

KAYNAKLAR

- Andaç, M., Newesely, H., Wilk, H., 1976, "Bayat-Afyon ve Karamanca Köyü (Şaphane-Kütahya) Opal Zuhurlarının Elektronik Mikroskopi İle Etüdü", Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Dergisi, Sayı:87.
- Betekhtin, A., "A Course of Mineralogy", Moscow Peace Publishers, Russian.
- Bozkurt, R., 2003, "Türkişttime Sectors", Türkiye İhracatçılar Meclisi Yayın Organı, Haziran-Temmuz, 2, İstanbul.
- Hatipoğlu, M., 1998, "Sütaşlarının Dünyası", Mermer Dergisi 19, Sayfa 24-30. İzmir.
- Hatipoğlu, M., Bozkurt, R., 2001, "Bayat Dendritli (Moss) Opalının Mineralojik, Gemolojik ve Ekonomik İncelemesi", 3.Mermer Sempozyumu, Sayfa 170-173.
- Horton, D., 2000, "Australian Sedimentary Opal-Why Is Australia Unique?", Managing Director of Opal Horizon Limited, Australia.
- Köktürk, U., 2002, "Endüstriyel Hammaddeler", Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları No:205, 244-248, İzmir.
- Sarıöz, K., Nuhoglu, I., 1992, "Endüstriyel Hammadde Yatakları ve Madenciligi", Anadolu Üniversitesi, Yayın No: 636, Eskişehir.
- Simandl, G.J., Paradis, S., Diakow, L.J., Wojdak, P.J., Hartley, A.J., 1998, "Precious Opal in The Whitesail Range", West-Central British Columbia, Geological Fieldwork, 285-293 Canada.
- URL 1. <http://aogia.polygon.net>
 URL 2. <http://ezpawncorp.com>
 URL 3. <http://www.austgem.gil.com.au>
 URL 4. <http://www.minerals.net>
 URL 5. <http://www.science.uwaterloo.ca>
 URL 6. <http://volcan.wr.usgs.gov>
 URL 7. <http://www.em.gov.bc.ca>

Erzurum - Oltu - Turnalı Opalinin Genel Özelliklerinin Belirlenmesi

M. Vııl, O. Celep, İ. Çavuşoğlu, İ. Alp & A.O. Yılmaz

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon

ÖZET: Bu çalışmada, Erzurum-Oltu Turnalı bölgesinde mevcut bulunan opal yatağından alınan örneklerin genel özellikleri belirtilmiştir. Bu özelliklerin belirlenmesine yönelik çeşitli deneysel çalışmalar ve gözlemler yapılmıştır. Bunlar; su miktarı (%), özgül ağırlık, homojenleşme ısısı (°C), ince kesit, XRD analizi ve ayrıca fiziksel ve mineralojik özelliklerinin belirlenmesine yönelik çeşitli deneysel çalışmalardan ibarettir. Çalışmalar sonucunda elde edilen veriler literatürde yer alan verilerle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonrası mevcut örneklerin literatürde yer alan verilerle hemen hemen aynı özellikleri taşıdığı gözlemlenmiştir. Ayrıca örnekler üzerinde yapılan çalışmada, literatürdeki 99 çeşit opal sınıflamasından 31 çeşidinin Erzurum-Oltu Turnalı opallerinde de mevcut bulunduğu gözlemlenmiştir. Bunların yanında arazide yapılan gözlem ve deneyler sonucunda bölgenin jeolojik yapısına da değinilmiştir.

ABSTRACT: In this study, general characteristics of the opal samples obtained from Erzurum-Oltu Turnalı region are explained. For this, various experiments and observations were carried out. These are water content (%), specific weight, formation temperature (°C), thin section, XRD analysis, determination of physical and mineralogical features. Results obtained from experiments and observations were compared with literature. As results, it was observed that the studied samples on hand have nearly the same features of the ones give in literature. Also, Erzurum-Oltu Turnalı opals have 31 varieties within 99 variety opals given in literature. And, geology of region is mentioned at the end of experiments and observations carried out in area.

1. GİRİŞ

Süstaşı, yerkabuğundan çıkarılıp işlenen ve insanlar tarafından süs ve ziynet eşyası olarak kullanılan değişik renkli mineral, taş ve organik malzemelere denir (Sarız, Nuhoglu, 1992). Doğada ender olarak bulunan süstaşları, onlara ekonomik bir değer katan ayrıcalıklı bazı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahiptirler. Bu özelliklerin bazıları :

- o Güzellik ve estetik görünüm
- o Dayanıklılık ve ender bulunma
- o Taşınabilirlik
- o Şekillendirmeye uygunluk
- o İri ve tek kristal olma
- o Sertlik
- o Parlaklık, saydamlık, saflık ve renk'tir (Hatipoğlu, 1998).

Opal, bu özellikleri sağlayan önemli süs taşlarından biridir. Opaller kesilip parlatılabilirler. Opal aynı zamanda oldukça popüler mineraller arasında olup müzeler bu tür zarif ürünleri alabilmek için rekabet halindedir. En değerli opaller Avustralya, Amerika ve Meksika da çıkarılmaktadır. Opal yataklarının bulunduğu diğer belli başlı ülkeler: Etiyopya, Çek Cumhuriyeti, Slovakya, Macaristan, Türkiye, Endonezya, Brezilya, Honduras, Guatemala ve Nijerya (Horton, 2000).

Opalin göze çarpan en belirgin özelliği ışığın spesifik dalga boyunu yansıtabilme ve kırabilme özelliğine sahip olmasıdır. Kayalardaki amorf silika küreciklerinin boşluk ve boyutu ışığın spesifik dalga boyunu yansıtır; her bir kürenin yansımaları, küçük su damlacıklarındaki gökkuşağı rengi gibi saf spektral renge benzer. Işığın saf dalga

sahip olmasıyla kristal grupları içinde yer almaktadır.

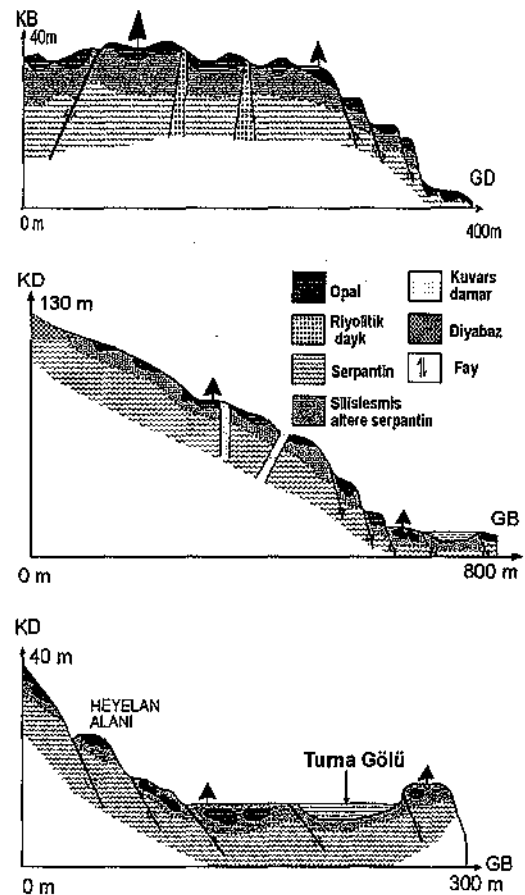
Turnalı taşının ince kesitinin incelenmesinde; ayrılmış olivin ve ortopiroksenler belirlenmiştir. Ayrıca serpantin, antigorit, krizolit, klorit, bastit ve lizartit ayrışma ürünleri gözlemlenmiştir. Bunun yanında mikro kırıklarda kalsitler ve rekristalize silikatlar saptanmıştır. Bir ultrabazik kayacın ayrışması ile oluşmuş bir yüzeyde hidrotermal etkili bir zonda Turnalı taşı oluşmuştur. Mat ve çok az yarı şeffaf olan yeşil, turkuvaz ve kahve renkli Turnalı taşı Turnalı opali olarak tarafımızdan isimlendirilmiştir. Ayrıca XRD analizleri yapılarak grafikleri incelenmiş, olivin ve ayrılmış hematitler saptanmıştır.

Turnalı taşı oluşturan minerallerin sertlikleri 3-7 arasında (Mohs'a göre) değişmekte ve ortalama 5 olarak hesaplanmıştır. Halbuki kırılmış taze yüzeylerde sertlik 6,5 olarak bulunmuştur. Minerallerin ortalama sertliği kayacın sertliğinden azdır. Bu kayacın grubunun sertliğini kazanabilmesi ancak sıvı kapanım verileri olan 220-280°C bir ısıda Turnalı taşının hidrotermal solüsyonlarının etkisiyle oluşabileceğini düşündürmüştür. Ayrıca Turnalı taşı oluşturan minerallerin renkleri koyu yeşil, yeşil ve sarı tonlardadır. Kayacı oluşturan mineral renkleri ile kayacın renkleri uyumaktadır. Ana kayacın harzburgit (Olivin-Ortopiroksen) olduğu belirlenmiştir.

Turnalı opali masif, katmansı, damarcık, breşik ve nodüler şekillerde oluşumları gözlemlenmiştir. Maden yatağında yer yer kümelenmeleri bulunmaktadır. Kümelenmiş yerler az eğimli orta alanlarda küçük tepecikler ve sırtlar oluşturmuşlardır. Bu tepeciklerin bazıları masif, bazıları katmansı paralel seviyeler, kimileri ise damarcıklar, bazıları ise killi ve kaolenize alanlarda nodül ve yumrular şeklinde bulunmaktadır. Turnalı gölüne bakan yamaçlarda heyelan ve toprak kaymaları nedeniyle blok ve çakıllar şeklinde pek çok opaller bulunmaktadır. Turnalı gölü bir heyelan gölüdür. Ancak vadi, heyelanla kapatılarak oluşan bir heyelan oluşumu olmayıp kayan bloklar arasındaki boşluk alanda oluşmuş heyelan gölüdür. Turnalı opalinin temel kayasını serpantinler teşkil etmektedir. Bu ofiyolitik birimin yaşı Üst Kretasedir. Ancak opaller, ayrılmış serpantinli seviyenin silis ve demirli (jaspilitli) üst seviyesinde Eosen veya Tersiyer yaşındaki volkanitler döneminde gelen yeraltından yükselen SiO_2 içerikli

suların bu silisli ve demirli zona gelip yerleşmeleri ile Turnalı opallerinin oluşturmuştur. Opaller tamamen üst zonda 3-10 m'lik bir seviyededir. Opallerin çıkarılması bu nedenlerle oldukça kolay olmaktadır. Opaller içerisinde zengin kromitlerin olması ofiyolitikleri bir yönüyle teyit etmektedir (Şekil 2).

Magmatik kayaların ayrışma zonunda oluşmuş Turnalı opallerinde, ortamda fosil ve odunsu kalıntılar bulunmadığı için bu yapılarla ilgili opal türleri mümkün gözükmemektedir. Belirlenmiş mevcutlar dışında başka yapı, doku ve diğer renklerde opallerin bulunabilmesi olası gözükmemektedir.



Şekil 2: Çalışma sahasının jeolojik kesiti

Işık geçirme (şeffaflık) Turnalı opalleri genelde matdır. Dış görünüşleri ile opak mineraller benzer bir görünüm arz ederler. Ancak bazı kısımlarda hem yeşil opallerde hem de açık gri kısımlarda yarı şeffaf olanları bulunmaktadır. Bu özelliği ile hem derinlik kazanmakta hem de griler dumanlı bir görünüm kazanmaktadır (dumanlı opal-cloudy opal).

Mevcut örnekler içerisinde tamamen şeffaf olanlar bulunamamıştır. Ancak daha işin başlangıcında olduğu için yeni açılacak ocaklarda veya çevrede bulunabilecek yeni yerlerde bu yatakte bulunmayan türlerin olasılığı her zaman bulunmaktadır.

Özgül ağırlık Yapılan piknometre deneyi sonucunda Turnalı opallerinin özgül ağırlığı 2,17 olarak belirlenmiştir. Bu değerle Turnalı opalleri, kıymetli opallerin özgül ağırlığı verilerine uygunluk gösterdiği görülmektedir.

Parlaklık, cila Turnalı opallerinin yüzeyi oldukça parlaktır. Kırılma yüzeylerinin taze kırılmış olanlarda bu parlaklık değeri daha da yüksektir. Yüzeyde kalan örneklerde ise ayrışma derecelerine bağlı olarak parlaklık ve cilalarını kaybetmektedir. Buradaki opallerde camı ve mumsu cilalar gözlemlenmiştir. Bazı örneklerde camı bazılarında mumsu cilalı özellikler daha etkilidir. Özel bir firmanın yaptığı takıların çok iyi parladığı ve cilalandığı gözlemlenmiştir. Hem doğal cilalarının iyi hem de hazırlanmış takı örneklerinin çok iyi cila alması Turnalı opalleri için çok önemli bir özelliktir.

Dilinin Yok, homojen, yer yer mikro kırılmalar var.

Kırılma Midye kabuğu ve camı kırılmalı var. Çoğu kere konkoidal (midye kabuğu) kırılmalı etkilidir.

Kırılma Turnalı opalleri son derece kırılmalı olup kolayca parçalanabilmektedir. Oldukça gevrekler. Büyük bloklar çekiç ve balyozla kırıldığında bazen düz kırılmalı yüzeyler elde edilebilmektedir.

Diğer özellikleri Turnalı opallerinde hakim rengin yeşil ve tonları olmasına karşın çok renklerin

yer yer birkaç milimetrik alanda oluşmuş olması opallere oldukça farklı bir özellik kazandırmıştır. Bu nedenle takı olarak kullanılacak opallerin renk seçimlerine önem verilmesi gerekmektedir.

3.3. Turnalı Opallerinde Yapılan Cevher Mikroskobu Çalışmaları

Bu yöndeki incelemede özel bir şirketin hazırlanmış olduğu takı örneklerinin parlatılmış yüzeyleri incelenmiştir. Seçilen örneklerin genelde farklı renklerde olanları seçilip incelemeye alınmıştır. Yapılan araştırma sonucunda:

Parajenezde Kromit, götit, hematit, limonit, nabit kristaller belirlenmiştir.

Süksesyon Turnalı opallerinde ilk oluşan opak mineral (cevher minerali) kromittir. Buradaki kromitlerin ayrılmış taban kayacı serpantinlerden sökülüp alınıp taşındığı belirlenmiştir. Kromitler yer yer deformasyonlara uğramışlar ve kenarları boyunca bozularak hematit ve limonitleri oluşturmuşlardır. Opaller içerisinde dağılmış bu mineraller opallerin çok renkliliklerine neden olmuşlardır. Burada özellikle Cr ve Fe bileşikleri (oksit ve silikatları) opallerin yeşil, kırmızı, turuncu, sarı, mavimsi yeşil ve kahve renkli renklerini oluşturmuşlardır. Ayrıca Ni elementini de unutmamak gerekir. Serpantinler de iz olarak bulunmaktadır. Cr ve Fe silikatları için:

- 1- $\text{Cr}(\text{SiO}_3) \rightarrow$ (Uvarovit benzeri) Kromlu sulu silikat (Yeşil opallerde).
- 2- $\text{Fe}(\text{SiO}_3) - \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O} - \text{FeO} \cdot n\text{H}_2\text{O} \rightarrow$ Grupları sarı, kahve, kırmızı, turuncu ve yeşil renkli (Fe^{+3}) opalleri oluşturmuşlardır.

Bu iki element bileşiklerinin karışımları ise Turnalı opallerindeki çok renklilik oluşumlarını sağlamışlardır. Parlatılmış örneklerdeki siyah beneklerin kromit tanecikleri olduğu belirlenmiştir. Ayrıca siyah parçalı renk kümelenmiş kısımlarda kromit taneciklerinin yığıldığı (birikim sağladığı) gözlemlenmiştir. Bu çok renkli opallerdeki sarı, kırmızı alanlara yakın kromitlerin aşırı bozduğu ve açığa çıkmış hematit, limonit ve demirli silikatların oldukça yaygın olduğu gözlemlenmiştir. Yine çok renkli opallerin mavi ve yeşilimsi alanlarında ayrılmış kromit taneleri bulunmaktadır. Açığa çıkan limonit, hematit ve götitler kılcak

damarcık, hücresele ve üçgen şekillerle dağınık olarak oluşmuşlardır. Ayrıca bu mavi ve yeşil alanlarda kıvrılmış ve bükülmüş kromitler (deforme olmuş) belirlenmiştir. Bunun yanı sıra koyu yeşil jelimsi (pıhtı) yapılarda saptanmıştır. Aynı koyu yeşil opallerde (siyah opaller) hematit ve limonit kümelenmeleri ile spekülait benzeri hematitler gözlemlenmiştir. Bu alanda grafiksel şekiller oluşmuş, üçgen, paralel kenar, trapez ve daha pek çok geometrik şekiller gözlemlenmiştir. Hematit ve limonitler silisli ortamda bulundukları için çok kuvvetli iç yansımalar göstermektedir. Bazı kristaller kafes yapılarını oluşturmuş, kristallerin ortaları ayrılmış kenarları rekristalize olmuşlardır. Yer yer çok iri kromitler bulunmaktadır ve kırıklı yapıları yanında uçları bükülmüşlerdir. Koyu yeşil opallerin bazılarında çok koyu kılcal damarcıklar oluşmuştur. Bu damarları hematitler (götite+lepidokrosit) teşkil etmişler ve bazıları birbirine paraleldirler.

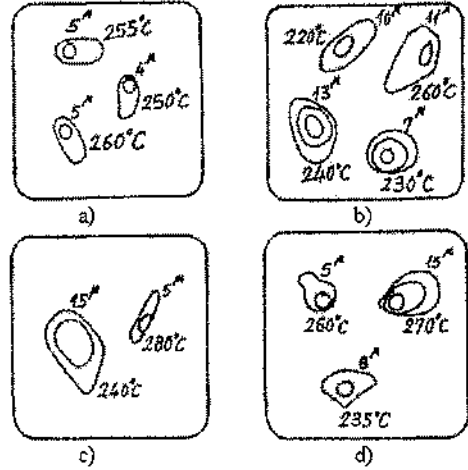
Turnalı opalleri bir ultrabazik kayanın ayrışım zonu olan üst zonunda oluşmuş olduğuna göre, bu zonda kalıntı olarak zenginleşmiş elementlerin mutlaka etkisinde kalmıştır. Ultrabazik kaya ayrışmaları ile Cr, Si, Fe, Al, Mn, Ni, U, Ba, Mg, Co elementleri bu zonda zenginleşmektedir. Bunlardan Fe, Cr, Si zenginleşmesi belirlenmiştir. Diğer elementlerin durumu ise yapılacak kimyasal analizler sonucu belli olacaktır. Ayrıca opallerde belirlenen nabit kristaller nabit Au ve nabit Ni'e benzemektedir. Bunlarında analizleri yapılması gerekir.

3.4. Turnalı Opallerinde Yapılan Sıvı Kapanım Çalışmaları

Sıvı kapanım çalışmaları, Leitz ısıtma tablası ve ekipmanları ile Jeoloji Bölümü Araştırma Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Her tür opaliden hazırlanan kesitlerde sıvı kapanım içeriklerinin çok azlığı ve oldukça küçük boyarlarda oluşları gözlemlenmiş ve çok fazla deney yapılamamıştır. Bu nedenlerle ancak 12 sıvı kapanımın ısıtma deneyleri gerçekleştirilmiş, şu özellikler belirlenmiştir:

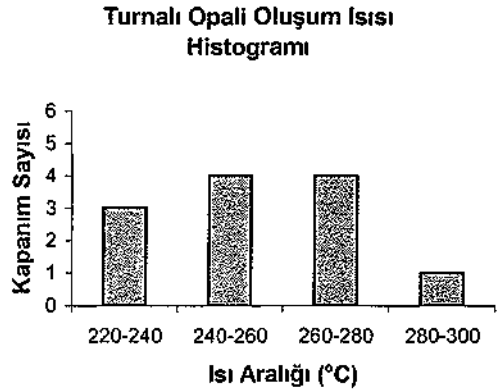
Birincil kapanımlar olan bu sıvı kapanımların boyutları 4-15 mikron arasında değişmektedir (Şekil 3.a.,b.,c.,d.). Genelde elips şekilli olan kapanımlarda 3 ayrı tür belirlenmiştir. Çoğunluğunu tek gazlı ve birinci grup kapanımlar oluşturmaktadır. Tek gazlılardan büyük gazlı bir kapanım belirlenmiştir (Şekil 4.c.). İki gazlı 3

kapanım gözlemlenmiştir (Şekil 4.b.,c.). Turnalı opallerinin sıvı kapanımlarının çok küçük ve az oluşu birçok faktöre bağlı olabilir. Opallerin amorf olması, yüzeyde bir zonda oluşması, basıncın düşüklüğü, opallerin su içermesi (%7) gibi bazı özellikler düşünülen etkili özelliklerdir.



Şekil 4: Turnalı opallerinin sıvı kapanımları.

Turnalı opallerinin oluşum ısıları için yapılan histogram da (Şekil 4.), opallerin homojenleşme ısı aralığı 220°C - 280°C arasında belirlenmiştir. Bu netice Epitermal yatakların oluşum ısılarını içermektedir (John, 1986).



Şekil 5: Turnalı Opallerinin oluşum ısıları

3.5. Turnalı Opalinin Oluşumu

Turnalı opalinin temel kayacını ultrabazik bir kayac olan harzburgitler oluşturmaktadır. Bu birim, Kuzey Anadolu'nun üst kretase ofiyolitlerinin bir üyesidir. Ofiyolitler oluşuktan sonra aşınma evresinde yüzeylenmişler ve ayrılarak serpantinleşmişlerdir. Neojende uzun bir oksidasyon döneminde silisli, demirli ve alüminyumca zengin bir yüzey de oksidasyon zonu oluşturmuştur. Serpantin oluşum döneminde olivin ve ortopiroksenler de ayrılmışlardır. Serpantin, antigorit, krizotil, bastit, lizartit ve klorit gibi silikat bileşikli ikincil mineraller oluşmuştur. Bu oksidasyon ortamındaki silikatlar, demir oksitleri, alüminyumca zengin bileşikler, neojendeki 200-300°C bir ısıyı içeren sıcak suların ortama gelişleri ile hem ortamın artık silisleri hem de kendi taşımış oldukları silis içerikleri solüsyonlarda bileşim ve yer değiştirme (metazomatoz) yoluyla tüm parçacıkları (nodülleri) ve mineral parçacıklarını bağlamışlardır. Böylece Turnalı opalleri oluşmuşlardır.

3.6. Turnalı Opali Türleri

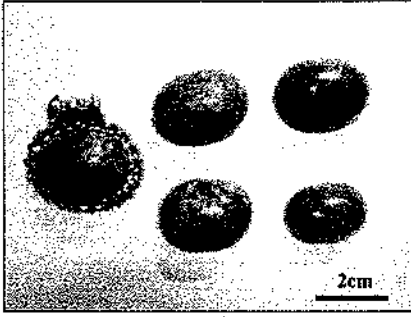
Uluslararası sınıflama grubunda koyu ve açık renklilik özelliklerine göre siyah ve beyaz opal türleri bulunmaktadır. Ayrıca parlattılmış opallerin renk oyunları gösterip göstermemesine göre ve renk oyunlarının mevcut örneklerde olmamasına göre ise sıradan opal grubunda yer almaktadırlar. Ancak Turnalı opallerinde hakim olan çok renklilik, çok değişik güzel şekiller, desenler oluşturması değerini arttırmaktadır (Şekil 6). Bu yönüyle Turnalı opalleri çok değerlilerle, sıradan opaller arasında yer almaktadır. Hatta bazı takı örneklerindeki renk, desen ve bezenimler değerli opallerle boy ölçüşecek özelliklerdedir. Yeter ki takıların estetik, uygunluk ve renk seçimi uygun seçilebilsin. 99 çeşit opal türünü içeren uluslararası opal türleri (Ek 1) içerisinde Turnalı opallerinde 4 ara olmak üzere tam 31 çeşit opal türü belirlenmiştir. Belirlenen bu opal çeşitlerinden 3 tanesi Çağla Yeşil Opali (Green Almond Opal), Manzara Opal (Panorama Opal) ve Zümrüt Opal (Emerald Opal) yeni olup uluslararası sınıflamada yer almayan ve yazar tarafından belirlenen türlerdir.

Çizelge 1. Erzurum-Oltu Turnalı opali türleri

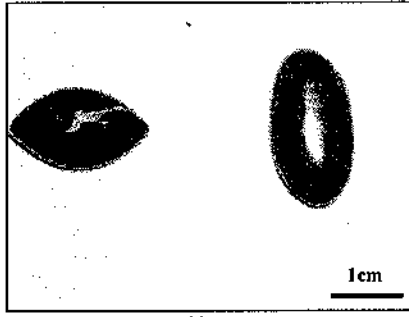
Erzurum-Oltu Turnalı Opali Türleri	
1. Adi Opal (Common Opal)	
2. Ağaç (Odun) Opali (Lithoxyl Opal)	
3. Ateş Opal (Fire Opal) (Çok Az Miktarda)	
4. Bal Opal (Honey Opal) (Çok Az Miktarda)	
5. Banlı Opal (Banded Opal)	
6. Beyaz Opal (White Opal)	
7. Boyalı Opal (Painted Opal)	
8. Cam Opal (Glass Opal)	
9. Çağla Yeşil Opali (Green Almond Opal)	
10. Dağ Opali (Mountain Opal)	
11. Damarcıklı Opal (Seam Opal)	
▪ Beyaz damarcıklı (White)	
▪ Koyu kırmızı damarcıklı (Deep Red)	
▪ Sarı damarcıklı (Yellow)	
▪ Turuncu damarcıklı (Orange)	
12. Jelimsi Opal (Jell Opal)	
13. Koyu (Kara) (Dark, Black Opal)	
14. Koyu Bordo Renkli Opal (Liver Opal)	
15. Koyu Yeşil Opal (Prase Opal)	
16. Manzara Opal (Panorama Opal)	
17. Parçalı Opal (Boulder Opal)	
18. Parıltılı Opal (Flash Opal)	
19. Parlak Dağ Silsilesi Opali (Lighting Ride O.)	
20. Parlak Opal (Light Opal)	
21. Renk Cümbüşlü Opal (Lechosos Opal)	
22. Siyah Opal (Black Opal)	
23. Süt Opal (Milk Opal)	
24. Şans Opali (Iridot)	
25. Şeffaf Opal (Claro Opal)	
26. Yosun Opal (Moss Opal)	
27. Zümrüt Opal (Emerald Opal)	

Çizelge 2. Turnalı opalinin fiziksel ve mineralojik özellikleri.

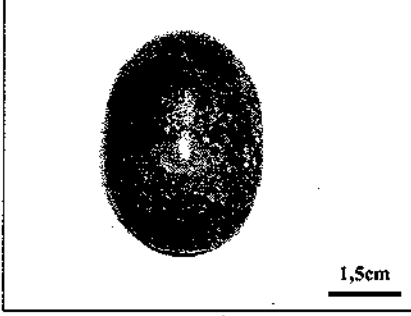
ÖZELLİK	Turnalı Opal	Uluslararası (genel) (Fillin, 2003)
Kimyasal bileşim	Sulu silisyum dioksit Su oranı %7	Sulu silisyum dioksit Su oranı %3-%21
Sertlik	6,5 (ayrışmışlarda 5,5)	5,5-6,5
Kırılma	Konkoidal (Midye kabuğu)	Konkoidal
Klivaaj	Yok	Yok
Özgül ağırlık	2,17 (su içeriğine bağlı)	1.98-2.25 (su içeriğine bağlı)
Şeffaflık	Yarı şeffaf, mat	Şeffaf olmayan, saydam
Parlaklık	Camsı	Camsı
Çizgi rengi	Beyaz	Beyaz



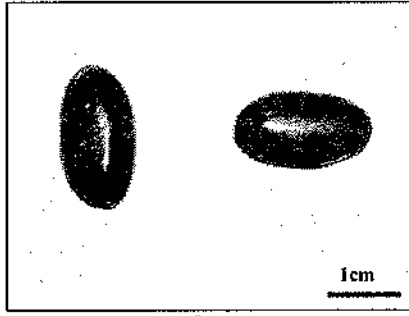
a)



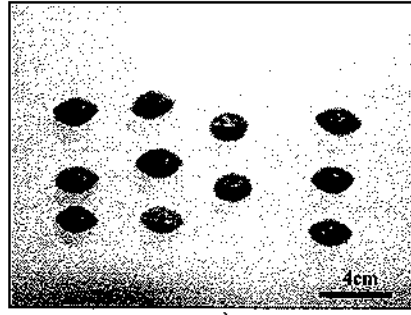
b)



c)



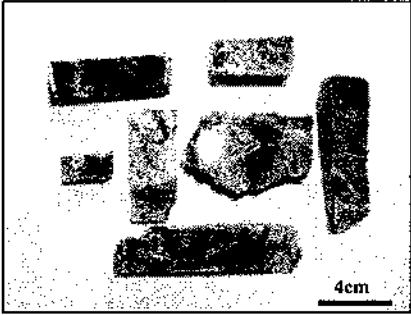
d)



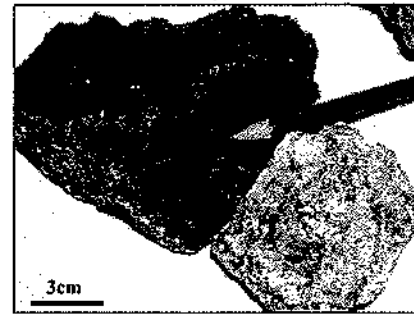
e)



f)



g)



h)

Şekil 6: Parlatılmış örnekler (a, b, c, d, e.) ve araziden alınan örnekler (f, g, h.)

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Erzurum-Oltu Turnalı bölgesinde mevcut bulunan opal yatağından alınan örnekler incelenmiş ve elde edilen sonuçlar verilmiştir. Bu incelemeler sonucunda;

- Opallerin %7 oranında su içerdiği belirlenmiştir.
- Opallerin yeşil ve tonları, mavi ve tonları, mor, kahverengi, kiremit kırmızısı, turuncu, sarı, gri ve beyaz renkleri olduğu gözlemlenmiştir. Deneyel mikroskobik çalışmalarda, parlatılmış örneklerde çokça kromit, hematit, kromitlerin ayrışması ile silisli alanlara yayılmış hematit ve limonitler renklerin oluşumlarında etkili olduğu belirlenmiştir.
- Örneklerden elde edilen ince kesitlerin incelenmesinde ayrılmış olivin ve ortopiroskenler belirlenmiştir. Yapılan XRD analizinde, grafiklerin incelenmesi sonucu olivin ve ayrılmış hematitler saptanmıştır.
- Cevher mikroskobuyla yapılan araştırmada parajenezde kromit, götüt, hematit, limonit nabit kristaller belirlenmiştir. Süksezyonda ise Turnalı opallerinde ilk oluşan opak mineral (cevher minerali) kromit olduğu belirlenmiştir.
- Turnalı opallerinde yapılan 12 adet sıvı kapanım çalışmasıyla opallerin oluşma ısılarının 220°C -280°C arasında olduğu belirlenmiştir.
- Opalin uluslararası yapılan sınıflamasında 99 opal çeşidinin olduğu ve bu sınıflama baz alınarak Turnalı opallerinde de 31 çeşit opal türü bulunmuştur.

Yapılan tüm bu çalışmalar sonucunda Erzurum-Oltu Turnalı opallerinin çok değerli opaller ile sıradan opaller arasında yer aldığı tespit edilmiştir. Ancak buradaki opaller kaba olmayan, estetik ve sanatsal bir şekilde işlemeye ve onlara en uygun takıların seçilmesiyle birlikte en değerli opallerle birlikte boy ölçüşebilecek hafe gelebilirler. Ayrıca bölgedeki yatağın, daha ayrıntılı bir araştırma yapılarak özelliklerinin ortaya çıkarılması gerekmektedir.

Dünyada geçerli olan ve kullanılan takı türleri iyice araştırılarak Erzurum-Oltu-Turnalı opali daha

albenisi yüksek ve ekonomik değere sahip olacak şekilde değerlendirilmesi (işlenmesi) gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Çelik, M., Karakaya, N., 1998, "Sistematik Mineraloji", Bizim Büro Basımevi, 1.Baskı, Konya.
- Fillin, S.V., Puzynin, A.I., Samoilov, V.N., 2003, "Some Aspects of Precious Opal Synthesis", Scientific Center For Applied Research, Dubna, JINR, Russia.
- Gilbert, J.M., Park, C.F., 1986, "The Geology of Ore Deposits", W.H. Freeman and Company, sayfa:532-571, New York.
- Hatipoğlu, M., 1998, "Sütaşlarının Dünyası", Mermer Dergisi 19, Sayfa 24-30. İzmir.
- Horton, D., 2000, "Australian Sedimentary Opal-Why Is Australia Unique?", Managing Director of Opal Horizon Limited, Australia.
- Köktürk, U., 2002, "Endüstriyel Hammaddeler", Dokuz Eylöl Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları No:205, 244-248, İzmir.
- Sarıöz, K., Nuhoglu, İ., 1992, "Endüstriyel Hammadde Yatakları ve Madenciligi", Anadolu Üniversitesi, Yayın No: 636, Eskişehir.
- Simandl, G.J., Paradis, S., Diakow, L.J., Wojdak, P.J., Hartley, A.J., 1998, "Precious Opal in The Whitesail Range", West-Central British Columbia, Geological Fieldwork, 285-293 Canada.
- URL 1.<http://www.cigem.ca>
 URL 2.<http://aogia.polygon.net>
 URL 3.<http://ezpawncorp.com>
 URL 4.<http://www.austgem.gil.com.au>
 URL 5.<http://www.minerals.net>

Ek 1. Dünya Opal Türleri (Url 5)

Uluslar Arası Sınıflama			
1. Agate Opal	Agat (Akik) Opal	51. Mother of Pearl Opal	Sedef Opal
2. Amatite	Amatite	52. Mountain Opal	Dağ Opali
3. Amber Opal	Amber Opal	53. Neslite	Koyu Kahve Opal
4. Andamooka Opal	Andamooka Opal	54. Nevada Opal	Nevada Opali
5. Banded Opal	Bandlı, Çizgili Opal	55. Onyx Opal	Oniks Opal
6. Bandfire Opal	Bandlı Ateş Opal	56. Opal Matrix	Matriks (Parçacık) Opal
7. Black Opal	Siyah (Kara) Opal	57. Opaline	Parçacık Opal
8. Bone Opal	Kemik Opal	58. Opalite	Opalit
9. Boulder Opal	Parçalı Opal	59. Opalized Bone	Opalleşmiş Kemik
10. Cachalong Opal	Boşluklu (Delikli) Opal	60. Opalized Fossil	Opalleşmiş Fosil
11. Cherry Opal	Kiraz Opal	61. Opalized Shell	Opalleşmiş Kavk
12. Chloropal	Klor Opal	62. Opalized Wood	Opalleşmiş Odun
13. Chrysopal	Krizopal	63. Painted Boulder	Boyalı Opal
14. Claro Opal	Şeffaf Opal	64. Pearl Opal	Sedef (İncimsi) Opal
15. Common Opal	Adi (Bayağı) Opal	65. Pineapple Opal	Ananas Opal
16. Contra Luz Opal	Kontra Luz Opal	66. Pinfire Opal	İğne Şekilli Ateş Opal
17. Coober Pedy Opal	Kuber Pedy Opal	67. Pin Point	İğne Uçlu Opal
18. Crystal Opal	Kristal Opal	68. Pipe Opal	Boru (Pipo) Opal
19. Dark Opal	Koyu (Kara) Opal	69. Pitch Opal	Zift Opal
20. Diatomite Opal	Diyatomit Opal	70. Potch	Adi Opal
21. Fire Opal	Ateş Opal	71. Prase Opal	Koyu Yeşil Adi Opal
22. Flame Opal	Alev Opal	72. Precious Fire Opal	Nadide Ateş Opali
23. Flash Opal	Parıltı (Şimşek) Opal	73. Precious Opal	Nadide Opal
24. Flashfire Opal	Parıltı Ateş Opal	74. Primed Opal	En İyi (Ana) Opal
25. Fossil opal	Fosil Opal	75. Pyrophane	Nadide Opal
26. Gelite Opal	Jel Opal	76. Queensland Opal	Kraliçeler Karası Opal
27. Gayserite	Gayser (Sıcak su) Opal	77. Quincite Opal	Pembe Opal
28. Gilson Opal	Gilson Opal (Sentetik)	78. Radiolite Opal (Radio Opal)	Adi (Radiolaryalı) Opal
29. Girasol Opal	Girasol Opal	79. Rainbow Opal	Gökkuşağı Opal
30. Glass Opal	Cam Opal	80. Red Flash Opal	Kırmızı Parıltılı Opal
31. Gold Opal	Altın Opal	81. Resin Opal	Sakız (Sakız Cilalı) Opal
32. Harlequin Opal	Palyaço Opal	82. Rumanite Opal	Romanya Opali
33. Honey Opal	Bal Opal	83. Seam Opal	Damarcıklı Opal
34. Hungarian Opal	Macar Opali	84. Semi Opal	Yarım (Opalimsi) Opal
35. Hyacinth Opal	Sümbül Opal	85. Shell Opal	Kavk Opal
36. Hyalilite	Hyalit	86. Slocum Stone	Slokum Taşı (Sentetik)
37. Hydrophane	Boşluklu Opal	87. Sun Opal	Güneş Opali
38. Iridot	Şans Opali	88. Tabasheer	Organik Opal
39. Isoppyre	Parçalı Opal	89. Virgin Valley Opal	Virjin Vadisi Opali
40. Jasper Opal	Jasp Opal	90. Wash Opal	Aşınmalı (Su İle) Opal
41. Jell Opal	Jelimsi Opal	91. Water Opal	Su opali (Jel Opal)
42. Lechosos Opal	Lekosos Opal	92. Wax Opal	Mum Opal
43. Lemon Opal	Limon Opal	93. White Cliff Opal	Beyaz Klif Opali
44. Levin Opal	Işımalı Kıymetli Opal	94. White Opal	Beyaz Opal
45. Light Opal	Parlak Opal	95. Wood Opal	Odun (Ağaç) Opal
46. Lighting Ride Opal	Parlaklı Dağ Silsilesi Opali	96. Yowah Nut	(Yuvarlak) Parçai: Opal
47. Lithoxyl Opal	Ağaç (Odun) Opali	97. Liver Opal	Koyu Bordo Renkli Opal
48. Milk Opal	Süt Opal	98. Menilite	Mat Koyu Kahve Adi Opal
49. Moss Opal	Yosun Opal	99. Mexican Fire Opal	Meksika Ateş Opali
50. Mother Opal	Ana Opal		

Nevşehir Pomzasının Agrega Olarak Betonda Kullanılabilirliğinin Araştırılması

A. Tolğay, E. Yaşar & Y. Erdoğan

Çukurova Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana

ÖZET: Teknolojideki gelişmelere paralel olarak, birçok endüstriyel hammadde türüne göre değişik avantajlara sahip olan pomza taşı, giderek artan bir eğilimle yaygın bir kullanım alanı bulmaktadır. Hafif yapı malzemelerine verilen önemin artmasına paralel olarak, pomza taşı düşük birim hacim ağırlığı, yüksek ısı ve ses izolasyonu, kolay sıva tutması, mükemmel akustik özelliği, deprem yük ve davranışları karşısındaki elastikiyet ve alternatiflerine göre daha ekonomik oluşu, kolay işlenebilirliği ve işçilikten tasarruf gibi üstün özelliklerinden dolayı, inşaat ve yapı endüstrisinde kullanım alanı giderek artmaktadır. Ancak, pomza taşının kullanılabilirliği konusunda ülkemizde deneysel ve gözlemsel incelemeler, pomza ile ilgilenen kuruluşlar tarafından, henüz yeterli düzeye ulaşmamıştır. Bu çalışmada, Nevşehir pomzasının jeolojik, fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri belirlenerek yapı malzemesi olarak hafif betonda kullanılabilirliği araştırılmıştır. Beton örneklerinin test sonuçlarından pomzanın yapılar için uygun malzeme olduğu belirlenmiştir.

ABSTRACT: Pumice having different advantages according to other industry material types have been widely used due to the technological developments. The use of light weight materials in building and construction sectors have been gradually increased because of having low volume unit weight, high isolation of sound and heating, easy plastering over the concrete, perfect acoustic properties, elastic behavior for the earthquake loads, relatively economic in respect of alternative materials, easy workability and saving workmanship. Although pumice is widely used and having adequate reserves, there are few experimental workings about the using area of pumice in our country. In this study, the geological, physical, mechanical and chemical properties of Nevşehir pumice and usability as aggregate materials in concrete were determined. It was determined that testing results of concrete samples were convenient for the building constructions.

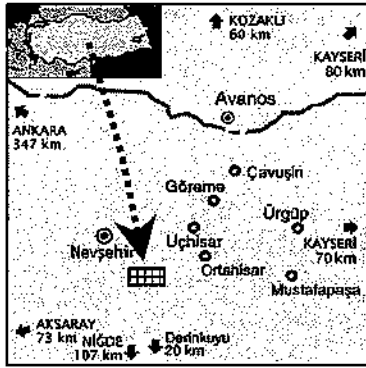
1. GİRİŞ

Gözenekli yapısı, hafifliği, yüksek izolasyon etkileri, atmosferik şartlara karşı direnci, kolay işlenebilirliği ve yüksek puzolanik aktivitesi sebebiyle, insanoglu eski çağlardan beri pomza kullanılmaktadır. Kapadokya Bölgesi'ndeki doğal konutlar ile Nevşehir ve Niğde bölgesinde soğutma deposu olarak kullanılan doğal mekanlar bunun örnekleridir (Şekil 1).

Pomza, Hristiyanlıktan çok önceleri ilk olarak Yunanlılar ve daha sonra da Romalılar tarafından kullanılmıştır. Eski Yunanlıların ve Romalıların

görmekli yapılarının bir çoğunda hala görülebilmektedir. Roma duvarlarının inşaatında, su kanallarında, diğer tarihi eserlerde puzolan olarak çimentoda bolca kullandığı hatta, Ayasofya'nın kubbesinde de bu malzemenin kullandığı bilinen bir gerçektir.

Bu çalışmada Nevşehir pomzasının hafif yapı malzemesi olarak kullanımı açısından fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri incelenmiş ve beton agregası olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır.



Şekil 1. Çalışma alanının genişletilmiş yer buldur haritası

2. POMZANIN TANIMI

Türk standartlarına göre pomza; birbirine bağlantısız boşluklu, sünger görünümlü, silikat esaslı, birim hacim ağırlığı genellikle 1 gr/cm³'ten küçük, sertliği Mohs skalasına göre yaklaşık 6 olan ve camsı doku gösteren volkanik doğal hafif bir taştır. Pomza taşı agregası yaklaşık %70 boşluk içermektedir.

Pomza, volkanik bir kayaç türü olup volkanik faaliyetler neticesinde asidik ve bazik karakterli iki tür pomza oluşmaktadır. Volkanik bir cam yapısındadır. Yeryüzünde en yaygın olarak bulunan ve kullanılan türü olan asidik pomza, beyaz ve kirli renkte olanıdır. Bazik pomza ise yabancıların Scoria dedikleri Türkçe'deki bazaltik pomza olarak bilinen kahverengimsi siyahımsı renkteki pomza türüdür. Her iki türde de oluşum esnasında ani soğuma ve gazların bünyeyi ani olarak terketmesi sonucu oldukça gözenekli bir yapı kazanmıştır. Gözenekler birbirleri ile bağlantılı değildir. Asidik pomzanın yoğunluğu bazik olanına göre daha az olup 0,5-1 gr/cm³ arasında değişmektedir. Bazik pomzanın yoğunluğu ise daha fazla ve 1-2 gr/cm³ arasında değişmektedir (Alduaij, 1999, Altun, 2001).

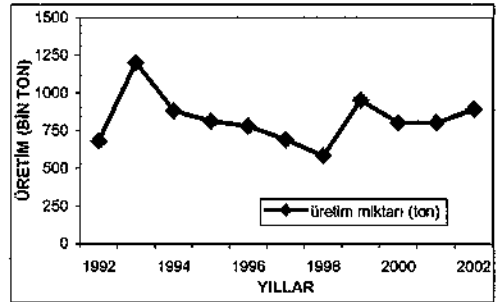
Pomzanın fazla gözenekli ve gözeneklerin birbirleriyle bağlantısız boşluklar oluşundan dolayı ısı ve ses geçirgenliği oldukça düşüktür. İçerdiği gözenekler gözle görülebilecek boyutlardan, mikroskobik boyutlara kadar sayısız miktarda olup, her biri diğerinden camsı bir zarla yalıtılmıştır. Bu

yüzden hafif, suda uzun süre yüzeabilen, izolasyonu yüksek bir kayadır. Sertliği Mohs skalasına göre 5-6 'dır (Holm, 1994). Bünyesinde kristal suyu yoktur. Kimyasal olarak tesirsiz (inert) olup, genel olarak kimyasal bileşimi şu şekildedir:

% 60 - 75 SiO₂
% 13 - 17 Al₂O₃
% 1 - 3 Fe₂O₃
% 1 - 2 CaO
% 7 - 8 Na₂O + K₂O

Kayacın içerdiği SiO₂ oranı, kayaca aşındırıcılık özelliği vermektedir. Bu yüzden pomza, çeliği rahatlıkla aşındırabilecek bir kimyasal yapı sergilemektedir. Al₂O₃ bileşimi ise ateşe ve ısıya yüksek dayanım özelliği kazandırır. Na₂O ve K₂O tekstil sanayiinde reaksiyon özellikleri veren bileşimler olarak bilinmektedir (Gündüz, 1998).

Ülkemizde en çok talep gören pomza, Nevşehir bölgesinin beyaz renkli pomzasıdır. Türkiye pomza üretimi 90'lı yılların başında 400 bin ila 700 bin ton mertebesinde iken 1992-2002 arasında üretim 550 bin ile 1250 bin ton arasında olup Şekil 2'de sunulmaktadır (Çağlayan, 2003).



Şekil 2. Yıllara göre pomza üretimi

2.1. Kullanım Alanları

2.1.1. Pomzanın Endüstriyel Kullanım Alanları

Pomzanın başlıca kullanıldığı sektörler:

- inşaat sektörü,
- tekstil sektörü,
- tarım sektörü,
- kimya sektörü,
- diğer endüstriyel ve teknolojik alanlar.

Çalışmanın amacını oluşturması itibarıyla hafif yapı malzemesi olarak kullanılan pomzaların inşaat sektöründe kullanım alanları aşağıda verilmiştir. İnşaat sektöründe pomza;

- Dolu veya boşluklu hafif yapı elemanları üretiminde,
- Prefabrik yapı elemanları üretiminde,
- Çatı ve dekoratif kaplama elemanları üretiminde,
- Hafif hazır sıva ve harç üretiminde,
- Hafif beton üretiminde,
- Çatı ve döşeme izolasyon dolgusunda sıkça kullanılmaktadır.

Ayrıca pomzaların endüstriyel alanlarda farklı kullanım alanları da araştırılmaktadır. Gelecek çalışmalara örnek olması amacıyla maddeler halinde pomzaların yeni kullanım alanları sunulmuştur.

- Yiyecekleri hijyenik ortamda koruma amaçlı, geçirgen film üretiminde,
- Hijyenik ortamda yiyecek saklama kabı imalinde,
- Polimer dolgu fast-food paketleme malzemesi imalinde,
- Silikondioksit imalinde,
- Zeolitlerin hidrotermal sentezinde,
- Tarihi eserlerin dış yüzeylerinin püskürtme metodu ile temizlenmesinde,
- Gaz geçirgen ve sıvı tutucu agregaların imalinde,
- Hafif termoplastik reçine esaslı kalıpların yapımında,
- Emprenye edici malzeme imalinde,
- Pomza ile agarose jelinden DNA'nın geri kazanımında,
- Granüler nem emici ve geri verici malzeme olarak,
- Granül veya monolitik formlarda silikon kaplamaların imali ve geliştirilmesinde,
- Konsolidasyona müsait inşaat alanlarına ait zeminlerini iyileştirilmesi ve su drenajında,
- Yazıcı mürekkebi imalinde,
- PVC kaplamada dolgu malzemesi olarak,
- Uzay teknolojisinde yüksek ısıya dayanıklı seramik ve kabin camı imalinde,
- Otomobil endüstrisinde ısı ve ses yalıtımında dolgu malzemesi olarak kullanımı araştırılmaktadır (Yaşar ve Erdoğan, 2001).

3. JEOLJİK YAPI

3.1. Genel jeoloji

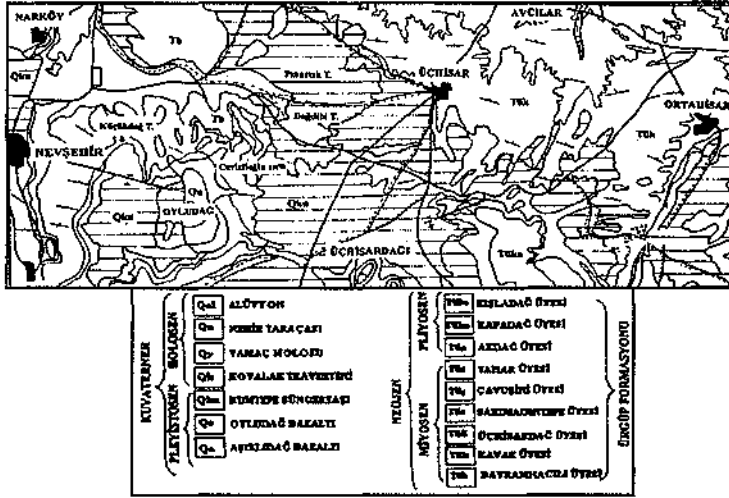
Kapadokya Bölgesi'ndeki Erciyes, Hasandağı, Melendiz ve Güllüdağ jeolojik devirlerde aktif birer volkan oldukları bilinmektedir. Volkanların püskürmeleri Üst Miyosen'de başlayıp Holosen'e kadar sürmüştür (Şekil 3). Neojen gölleri altındaki yanardağlardan çıkan lavlar, platoda göller ve akarsular üzerinde 100-150 m. kalınlığında, farklı sertlikte bir tüf tabakası meydana getirmiştir. Bu tabakanın yapısında tüfün dışında, tüffit, ignimbrit tüf, lahar, volkan külü, kil, kumtaşı, marn, aglomera ve bazalt gibi kayalar da bulunmaktadır.

Ana kayalardan püsküren maddelerle şekillenen plato, şiddeti daha küçük volkanların püskürmeleriyle sürekli değişime uğramıştır. Üst Polisen'den başlayarak, başta Kızılırmak olmak üzere akarsu ve göllerin bu tüf tabakasını aşındırmaları nedeniyle bölge bugünkü halini almıştır.

Nevşehir ili alanında hakim olan jeolojik yapı Neojendir. Bunun dışında Kızılırmak'ın güney bölgesinin jeolojik yapısını bazalt ve Mezozoik yaşlı tabakalar, ırmağın kuzey bölgesini Oligo-Miyosen, Eosen flişi, metamorfik seri ve granitik tabakalar oluşturur. "Peribacısı" diye adlandırılan oluşumlar, vadi yamaçlarından inen sel sularının ve rüzgarın, tüflerden oluşan yapıyı aşındırmasıyla ortaya çıkmıştır. Sel sularının dik yamaçlarda kendine yol bulması, sert kayaların çatlamasına ve kopmasına neden olmuştur. Alt kısımlarda bulunan ve daha kolay aşınan malzemenin derin bir şekilde oyulmasıyla yamaç gerilemiş, böylece üst kısımlarında bulunan şapka sayesinde aşınmadan korunan konik biçimli gövdeler ortaya çıkmıştır. Daha çok Ürgüp civarında bulunan şapkalı peribacaları, konik gövdelidir ve tepe bölümlerinde bir kaya bloku yer almaktadır. Gövde tüf, tüffit ve volkan külünden ibaret bir kayaktan, şapka kısmı ise lahar ve ignimbrit gibi sert kayalardan oluşmaktadır. Dolayısı ile şapka, gövdeye oranla daha dayanıklı bir kaya türüdür. Bu olay peribacasının oluşumunun ilk şartıdır. Şapkadaki kayanın direncine bağlı olarak peribacaları uzun veya kısa ömürlü olabilmektedir.

Kapadokya'da erozyonun meydana getirdiği diğer peribacası tipleri ise, konili, mantar biçimli, sütunlu ve sivri peribacalarıdır. Peribacaları en yoğun

biçimde Ürgüp – Uçhisar - Avanos üçgeni arasında kalan vadilerde ve Ürgüp - Şahinefendi arasındaki bölgede görülmektedir.



Şekil 3. Ürgüp (Nevşehir) pomza yataklarının genişletilmiş jeolojik haritası (Erdoğan, 1997).

3.2. Bölgesel Jeoloji

Kayseri, Kırşehir, Niğde ve Aksaray arasındaki bölgede Orta Anadolu ara masifinin temeli Paleozoik-Alt Jura yaşlı metamorfiklerle temsil olunmakta, Metamorfik seriyi üste doğru Üst Jura-Kretase yaşlı bir ofiyolit karmaşığı takip etmektedir (Batum, 1978). Metamorfik seri ile ofiyolit karmaşığının bileşimleri granitten gabroya kadar değişen çeşitli intrüzif kayalarla yer yer kesilmişlerdir (Ketin, 1963). Bölgede Eosen ve Oligasen'e ait sedimanter birimler kendilerinden daha yaşlı birimler üzerine oturmakta, onların da üzerinde Senozoyik'in geniş yayımlı volkanitleri ile sedimanter kayalar yer almaktadır.

Neojen yaşlı volkano-sedimanter birimlerin yer aldığı inceleme alanında litolojik farklılıklar göz önüne alınarak on iki birim ayrılmıştır (Şekil 4). Bu birimler;

- Cemilköy Tüfleri (Cmt)
- Taşkınpaşa (Tfm)
- Başköy üyesi (Tfm₁)
- Şahinefendi Üyesi (Tfm₂)
- Devretderesi Üyesi (Tfm₃)
- Kızılkağı İgnimbiritleri (Kzi)
- Keçiderebenti Pomzası (Pm₂)
- Güzelöz Gölsel Sedimanları (Gsd)
- Akpınar Kireçtaşları (Akçt)
- Karakaya Bazaltları (kbz_{a-b})
- Alahopu Pomzası (Pm₃)
- Alüvyon (Ako-Pm₄)

Çalışma alanındaki birimlerin konumu genellikle yatay ve yataya yakın olup 5°-10° D-GD'ya eğimlidir. Yapılan gözlemlerde çalışma alanında fay ve kıvrım gibi yapısal elemanlar saptanmamıştır.

Y A S		Sığ YATAY		L İ T O L O J İ	
S E N O Z O Y İ K	K U V A T E R N E R	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄
T E R S İ Y E R	N E O J E N	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄
U S T M İ Y O S E N	P L İ Y O S E N	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄

Şekil 4. Çalışma alanının genel litolojik kesiti (Açıkgöz, 1980)

4. NEVŞEHİR POMZALARI

Yörede bir çok volkanik çıkış bacası mevcuttur. Asit kökenli bir takım volkanik çıkışlar oldukça yaygın pomza yataklarının oluşmasına neden olmuşlardır. Yapılan çalışmalar sonucunda Nevşehir ve çevresinde 1,5 milyar m³'ü aşan pomza rezervi saptanmıştır. Daha önce bahsedildiği gibi otokton ve allokton olarak oluşan pomzalar farklı yerlerde farklı özelliklerde gözlenmektedirler.

Çalışma alanında yaklaşık 16 km² lik alan kaplayan pomzalar oluşum ortamı ve farklı depolanma şekilleri dikkate alınarak tipomorfolojik olarak dört ayrı şekilde incelenmiştir.

4.1. Başköy Pomzası

Çalışma alanı güneyinde bulunan Başköy yol yarmasında gözlenen bu pomza oluşumları kumtaşı, çakıtaşı-kumtaşı ardalanmasından oluşan Taşkınpaşa formasyonu Başköy üyesi içinde yer almaktadır.

Bütün olarak yayvan bir çanak şeklinde olan pomzalar iki ayrı seviyede gözlenmektedirler. Göl

çanağının en derin yeri yaklaşık 9 m'lik bir istif sunmaktadır. Kenarlara gidildikçe bu istifin kalınlığı azalmaktadır. İlk seviyede gözlenen pomza oluşumu çanağın en derin yerinde 3-3,10 m arasında kalınlık sunmaktadır. Yaklaşık 2,5 m kalınlıktaki çamurlu ara düzeyi ikinci pomza seviyesi izler. Bu pomzanın kalınlığı en derin yerde 1,5 m yi bulmaktadır. İki pomza seviyesi arasında kalan çamurlu ara düzey içinde düzensiz olarak dağılmış pomza çakılları gözlenir. Yatak oluşturan pomza taneleri 1-20 mm arasında değişen boyutlara sahiptir. Tanelerin rengi gri ile mavimsi gri arasında değişir.

Daha önce oluşmuş olan pomzaların aşınıp taşınması ve görsel bir çanak şeklinde yığılması sonucu oluşan pomzalar şimdilik ekonomik bir önem arz etmemektedir.

4.2. Keçiderebenti Pomzası (Pm₂)

Bu pomzalar otokton pomzalar olarak değerlendirilmektedir. Stratigrafik yeri Kızılkaya ıgımbiritleri ile Güzelöz görsel sedimanları arasında olan pomzalar gayet iri bloklar halinde gözlenmektedirler.

Üzeri görsel sedimanlarla örtülü olan otokton pomzalar Şahinefendi Köyü yakınında bulunan Keçiderebenti, Cevizli, Akpınar, Nalbant Mezarı ve Büyükkıran sırtlarında net olarak gözlenebilmektedirler. Çalışma alanının güneyinde ise görsel sedimanların hemen altında ve ıgımbiritlerin hemen üstünde görülürler.

Pomzalarda alterasyon rengi kahverengimsi olup taze yüzeyi bej renktedir. Ayrıca Güzelöz Köyü yol yarmasında bir kısım pomza yersel sınırlı taşınmaya uğramış, demirli suların etkisiyle yer değiştirmiş ve pembemsi bir görünüm kazanmıştır. Otokton pomzalar ortalama 3,9-4 m arasında değişen kalınlıklarda bulunmaktadır.

4.3. Alahopu Pomzası (Pm₃)

Otokton pomzaların aşınma, taşınma ve depolanması ile oluşan pomzalar çalışma alanının B ve KB'sında yaklaşık olarak 10 km²'lik bir alanda gözlenirler. İşletilmekte olan bu ocakta yöredeki diğer ocaklarla benzer istif gözlenmiştir.

Yakından incelendiğinde görsel bir çanak şeklinde oluşum sunan pomzalar arasında yatay olarak gözlenen karışık renkli çakılı seviyeler vardır. Bu çakıların boyutları 1-1,5 cm arasında değişim gösterir. Oluşturduğu tabakaların kalınlığı ise 2-5 cm arasında değişmektedir. Bir çok yerde gözlenen bu tip pomzalar kepçe ile direkt kamyonlara yüklenerek satılmaktadır. Bu ocaklar madencilik ve işletme yöntemlerini bilmeyen vasıfsız kişilerce işletildiğinden belirli bir yöntem dahilinde çalışılmamaktadır. Bu da üretim kayıplarına yol açmakta, verimin tam olarak sağlanmamasına sebep olmaktadır.

4.4. Yamaç Molozları Şeklinde Pomzalar (Pm₄)

Daha önce oluşan pomzaların su ve rüzgarın etkisiyle taşınıp bir yerde birikmesinden oluşan bu pomzalar güncel oluşuklardır. Şahinefendi Köyü'nün güneyinde, doğusunda ve kuzeydoğusunda gözlemek mümkündür.

Tane boyu açısından pomza oluşumları incelendiğinde Şahinefendi Köyü güneyinde gözlenen pomzaların doğu ve kuzeydoğudakilere oranla daha iri taneli olduğu görülmektedir. Renkleri açısından güneyde yer alan pomzaların rengi gri-beyazımsı gri arasında değişim gösterirken, doğu ve kuzeydoğudakilerin rengi de gri-mavimsi gri şeklinde farklılık sunmaktadırlar.

5. MATERYAL ve METOT

Nevşehir pomzasının hafif yapı malzemesi olarak betonda kullanılabilirliğinin belirlenmesinde fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi son derece önemlidir. Beton agregası olarak kullanılacak Nevşehir pomzasının yapısal özelliklerinin tespiti ve kullanım kriterlerini daha iyi saptayabilmek için araştırma bölgesinden numuneler alınmış ve Çukurova Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölüm Laboratuvarlarına getirilerek her deney için farklı en az 5 numune hazırlanmış ve fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri üzerinde yapılan deney sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir.

5.1. Çimento

Çimento, ana hammaddeleri kalkerle kil olan ve mineral parçalarını (kum, çakıl, tuğla, briket .vs) yapıştırma kullanılan bir malzemedir.

Çimentonun bu yapıştırma özelliğini yerine getirebilmesi için mutlaka suya ihtiyaç vardır. Çimento, su ile reaksiyona girerek sertleşen bir bağlayıcıdır. Kırılmış kalker, kil ve gerekiyorsa demir cevheri ve kum katılarak öğütülüp toz haline getirilir. Bu malzeme 1400-1500°C'de döner fırınlarda pişirilir. Meydana gelen ürüne "klinker" denir. Daha sonra klinkere bir miktar alçı taşı eklenip (%4-5 oranında) çok ince toz halinde öğütülerek Portland Çimentosu elde edilir. Bu çalışmada çimento olarak Adana Çimento Sanayiinden alınan Portland Çimento (PÇ 32.5) kullanılmıştır.

5.2. Agregalar

Beton üretiminde kullanılan kum, çakıl, kırma taş gibi malzemelerin genel adı agregadır. Beton içinde hacimsel olarak %60-75 civarında yer işgal eden agregalar önemli bir bileşendir. Agregalar tane boyutlarına göre ince (kum, kırma kum gibi) ve kaba (çakıl, kırma taş gibi) agregalar olarak ikiye ayrılır. Agregalarda aranan en önemli özellikler şunlardır:

- Sert, dayanıklı ve boşluksuz olmaları,
- Zayıf taneler içermemeleri (deniz kabuğu, odun, kömür... gibi)
- Basınca ve aşınmaya mukavemetli olmaları,
- Toz, toprak gibi betona zarar verebilecek maddeler içermemeleri,
- Yassı ve uzun taneler içermemeleri,
- Çimentoyla zararlı reaksiyona girmemeleridir.

Betonda kullanılacak agregalar TS 706'ya uygun olmalıdır.

Bu çalışmada kullanılan agregalar Nevşehir'de faaliyet gösteren Serhat Madencilik ve Soylu Madencilğe ait ocaklardan alınmıştır.

5.3. Karışım Suyu

Beton üretiminde kullanılan karışım suyunun iki önemli işlevi vardır:

1. Kuru haldeki çimento ve agregayı plastik, işlenebilir bir kütle haline getirmek.
2. Çimento ile kimyasal reaksiyon yaparak plastik kütlede sertleşmesini sağlamak.

Betonun kıvamı m³'e giren su miktarına bağlıdır. Bilindiği gibi beton mukavemeti su/çimento

oranına bağlıdır. Betona daha fazla kıvam kazandırmak amacıyla fazladan su katmak betonun mukavemetini düşürmektedir. Genel olarak içilebilir nitelik taşıyan bütün sular betonda kullanıma uygundur. Ancak, betonda kullanılacak suyun içilebilir özellikte olması şart değildir. Bir takım ön deneyler yapılmak kaydıyla, içilemeyen sularla gayet kaliteli beton üretilebilir. Bu çalışmada karışım suyu olarak normal içme suyu şebekesinden alınan 20°C su kullanılmıştır.

5.4. Su-Çimento Oranının Beton Dayanımına Etkisi

Su-çimento oranının değişiminin beton dayanımı üzerinde etkili olduğu bilinmektedir (Popovics, 1992). Su çimento oranının düşmesi beton basınç ve çekme dayanımını oldukça yükseltecektir (Atış, 2000).

5.5. Agrega Tane Boyutu-Çimento İlişkisi

Agrega tane boyutu dağılımının belli bir beton sınıfı için çimento dozajını etkilediği bilinmektedir. Agrega tane dağılımı incelidikçe agrega özgül yüzeyi artacak ve karıştırma sırasında karışım suyunun bir miktarı agrega yüzeyinin ıslatılmasında kullanılarak sabit işlenebilirliği sağlamak için su miktarını arttırmak gerekecektir. Bunun yanı sıra dayanımı sağlamak için S/Ç sabit tutularak çimento miktarı da arttırılacaktır (Atış, 2000). Bu sebeple agrega tane boyutunun optimizasyonu gerek

çimento tüketimi, gerekse beton işlenebilirliği açısından oldukça önem arz etmektedir.

6. POMZALARIN LABORATUAR DENEY SONUÇLARI

Araziden alınan pomza örnekleri Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölüm Laboratuvarlarına getirilerek deneyleri yapılmıştır. Tüvenan olarak alınan pomza örneklerinin elek analizleri, birim hacim ağırlık deneyleri, P Dalga hızını bulduğumuz sonik hız değerleri ile tek eksenli basma dayanım deneyleri yapılmıştır. Tüvenan örneklerin öğütülmesi ile kimyasal özellikleri tespit edilmiştir. Bu deneylerden sonra numuneler elenerek beton granülemetresine uygun olacak şekilde elek analizleri yapılmış ve her bir elek aralığı için birim hacim ağırlık, su emme, özgül ağırlık deneyleri yapılmıştır.

6.1. Tüvenan Pomzanın Fiziksel ve Kimyasal Deney sonuçları

Tüvenan olarak Nevşehir ilinin Kaymaklı beldesinden alınan Pomza numuneleri üzerine deneyler yapılmış ve sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir.

Tüvenan olarak pomzanın yapısal karakterleri belirlendikten sonra bulunan kimyasal özellikleri incelenerek Çizelge 2'de sunulmuştur.

Çizelge 1. Tüvenan Pomza Numunesinin Kesitleri Üzerine Yapılan Deney Sonuçları

Numune No	P-dalga Hızı (km/s)	Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)	T. Eksenli Basma Dayanımı (kg/cm ²)	Su Emme (%)
1	37.20	0.53	4.63	41.17
2	40.90	0.58	4.81	36.90
3	43.40	0.48	5.37	47.19
4	57.10	0.76	4.63	26.03
5	67.40	0.61	3.64	30.38
6	57.60	0.66	5.89	33.75
Ortalama	50.60	0.60	4.83	35.90
S.Sapma	11.82	0.10	0.76	7.60

Çizelge 2. Nevşehir Pomzasının Kimyasal Analizleri

İçerik	Ort.	S.Sapma
%Fe ₂ O ₃	1.720	0.020
%Al ₂ O ₃	15.48	1.360
%Ca	0.632	0.022
%Mg	0.212	0.026
%Na	0.380	0.021
%K	0.144	0.026
%Mn	0.053	0.002
%SiO ₂	71.124	0.744

Nevşehir pomzası üzerinde yapılan birim hacim ağırlığı deney sonuçları Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3. Nevşehir Pomzasının Birim Hacim Ağırlık Deney Sonuçları (Yapılan Beton Granülometrisine göre)

Elek aralığı	Ort	S.Sapma
>16	0.315	0.009
16-8	0.340	0.000
8-4	0.376	0.020
4-2	0.412	0.027
2-1	0.513	0.036
1-0.5	0.581	0.046
<0.5	0.640	0.057

Hafif yapı malzemesi olarak kullanılacak olan Nevşehir pomzalarının tüvenan olarak alınan numuneler üzerinde piknometre ile özgül ağırlık deneyleri yapılmış ve sonuçları Çizelge 4'de verilmiştir.

Çizelge 4. Nevşehir Pomzasının Özgül Ağırlık Deney Sonuçları

Numune No	Öz. Ağırlık (gr/cm ³)
1	2.109
2	2.131
3	2.113
4	2.006
5	2.095
6	2.254
7	2.218
8	2.133
9	2.152
Ortalama	2.135
Standart Sapma	0.071

Laboratuar koşullarında Türk Standartlarına uygun olarak gerçekleştirilen Nevşehir pomzası su emme deney sonuçları Çizelge 5'de verilmiştir.

Çizelge 5. Nevşehir Pomzasının Su Emme Deney Sonuçları

Elek Aralığı	Su Emme (%)
>16	54.36
16-8	46.80
8-4	38.20
4-2	31.60
2-1	25.60
1-0.5	20.90

6.2. Pomzadan Hafif Beton Yapımı ve Deney Sonuçları

Pomza agregaları TS 706'ya göre 16-8, 8-4, 4-2, 2-1, 1-0.5 ve <0.5 elek aralıklarına göre sınıflandırılmıştır. Uygun oranda su ve çimento ile karıştırılarak beton dökülmüş ve 7,14, 28 ve 90 günlük kür süresi içerisinde deneyleri yapılmıştır. TS 706'ya göre kullanılan malzeme miktarı aşağıdaki çizelgede verilmiştir (TS, 706, Yaşar ve diğerleri, 2003).

Çizelge 7. Agregası Su ve Çimento Karışım Oranları

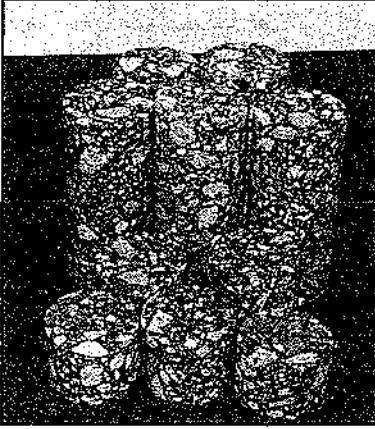
Tane Boyutu (mm)	Kullanılan Malzeme Miktarı (kg)
16-8	1.89
8-4	1.80
4-2	1.44
2-1	0.99
1-0.5	1.17
<0.5	1.80
ÇİMENTO	4.50
SU	5.45

Pomza numunelerinden hazırlanan beton döküldükten sonra ilk olarak yaş ve kuru birim hacim ağırlıkları tespit edilmiş çizelge 8'de verilmiştir.

Çizelge 8. Betonun Yaş ve Kuru Birim Hacim Ağırlıkları (kg/m³)

Örnek No	Yaş	Kuru
1	1308	1245
2	1324	1255
3	1314	1252
4	1308	1242
Ortalama	1313.5	1248.5
S. Sapma	7.54	6.02

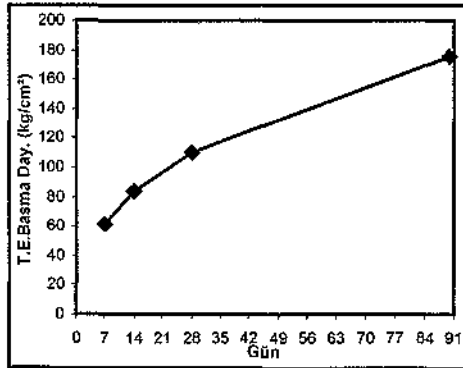
Pomza agregalarından hazırlanan beton örnekleri kalıplara dökülmüş ve 7, 14, 28 ve 90 gün bekletildikten sonra kalıplardan karotlar alınmış, örneklerin tek eksenli basma ve dolaylı çekme dayanımı (Brazilian) deneyleri yapılmıştır (Şekil 5). Elde edilen sonuçlar Çizelge 9 ve 10'da verilmiştir. Ayrıca betonun kür süresine bağlı basma ve çekme dayanım değerlerinin değişimi Şekil 6 ve 7'de grafiksel olarak sunulmuştur.



Şekil 5. Pomza betonlarından alınmış karot numuneleri

Çizelge 9. Beton Örneklerinin Basma Dayanımı Deney Sonuçları (kg/cm²)

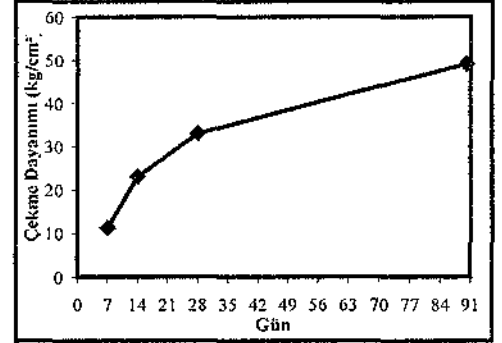
Gün	1	2	3	4	Ort.	S.Spm
7	60.69	56.36	62.14	66.47	61.42	4.17
14	84.54	79.48	83.82	86.71	83.63	3.03
28	109.83	105.49	111.27	112.72	109.83	3.12
90	173.41	169.80	180.64	179.19	175.76	5.05



Şekil 6. Betonun kür süresine bağlı olarak basma dayanımı değerleri

Çizelge 10. Beton Örneklerinin Çekme (Brazilian) Dayanım değerleri (kg/cm²)

Gün	1	2	3	4	Ort.	S.Spm.
7	10.20	14.10	10.30	10.50	11.28	1.89
14	21.40	22.50	23.40	24.90	23.05	1.48
28	28.20	38.24	34.40	31.50	33.09	4.27
90	48.38	47.20	55.20	45.40	49.05	4.28



Şekil 7. Betonun dolaylı çekme (Brazilian) dayanım değerleri

Yapılan çalışmadan da görüldüğü üzere Nevşehir pomzası kullanılarak hazırlanan beton numunelerinin 7, 14, 28 ve 90 günlük ölçüm değerleri sonucunda basma ve çekme dayanımı zaman artışına paralel olarak artmaktadır.

6. SONUÇLAR

Nevşehir pomzası kullanılarak hazırlanan beton örnekleri üzerinde yapılan birim hacim ağırlık, basma ve çekme dayanımı deneylerinin sonuçlarına göre, bölgede çıkarılan asidik pomzanın yüksek dayanım ve düşük yoğunluktan dolayı hafif beton yapımında agrega olarak kullanılabilirliğinin mümkün olduğu görülmektedir. Pomza kullanılarak yapılan hafif betonlar binalarda taşıyıcı elemanlara ve zemine daha az yük uygulayacağından depreme karşı daha dayanıklı olacaktır ki bunun önemi de son yıllarda ülkemizde gerçekleşen depremlerin ardından daha iyi anlaşılmaktadır. Bunun yanında pomza kullanılarak yapılan binalarda ısı ve ses yalıtımı sağlanacağından ısıtma ve soğutma giderleri büyük oranlarda azalacaktır. Bu da başta enerji tasarrufu sağlaması ve çevre kirliliğini azaltması sebebiyle yurdumuza milyarlarca dolarlık tasarruf sağlayacaktır.

TEŞEKKÜR

Yazarlar FBE 2002 YL 332 numaralı Yüksek lisans projesine desteğinden dolayı Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine teşekkür ederler.

KAYNAKLAR:

Açıkgöz, F., Öz, M., 1980, Nevşehir Ürgüp, Kaymaklı Çevrelerinin Pomza Prospeksiyon Raporu, MTA, Ankara

Alduaij, J., Alshaleh, K., Haque, M. N., Ellaithy, K., 1999, *Lightweight concrete in hot coastal areas*, Cem. Concr. Compos. 21, 453–458.

Altun, F., Haktanir, T., 2001, *Flexural behavior of composite reinforced concrete elements*, J. Mater. Civ. Eng. ASCE., 13, 255–259.

Atış, C. D., vd, 2000, *Su-Çimento Oranının Beton Dayanımına Etkisi*, Ç.Ü. Müh. Mim. Fak. Dergisi, S.91-98

Atış, C.D., vd. 2000, *Agrega Tane Boyutu Dağılımının Çimento Miktarına Etkisi*, Ç.Ü. Müh. Mim. Fak. Dergisi, S.117-123

Batum, İ., 1978, Nevşehir'in Güneybatısındaki Güllüdağ, Acıgöl Yöresi Volkanitlerinin Jeoloji ve Petrografisi, Yer Bilimleri C:4 No:1, 2, 50-69

Erdoğan, M., 1997, Nevşehir-Ürgüp Dolayı Sünger taşı yatakları ve özellikleri. 1. Isparta Pomza Sempz. 213-218.

Gündüz, L., 1998. *Pomza Teknolojisi*, Cilt I, Isparta.

Gündüz, L., 1998. *Pomza Teknolojisi*, Cilt II, Isparta

Holm, T.A., 1994, *Lightweight concrete and aggregates*, ASTM Stand. Tech. Publ. 169C.

Ketin, İ., 1963, 1/500.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası Kayseri Paftası, MTA Yayınlarından.

Popovics, S., 1992, "Concrete Materials, Properties, Specifications and Testing", Noyes Publications, New Jersey, US.

TS 706, 1980, *Beton Agregaları*, Ankara, Turkey.

Yaşar, E., Erdoğan, Y., 2001, *Toprakkaile Bazaltının Doğal Taş Endüstrisindeki Yeri*, 4. Endüstriyel Hammaddeler Semp. İzmir.

Yaşar E., Erdoğan Y., Kılıç, A., 2004, *Effect of limestone aggregate type and water-cement ratio on concrete strength*, Materials Letters, Volume 58, Issue 5, Pages 772-777.

Cevher Hazırlama Tesisleri Artıklarının Değerlendirilmesi

E. Kaya

Dokuz Eylül Üniversitesi, Müh. Fak., Maden Müh. Bölümü, İzmir

ÖZET: Bu makale konsantre artıklarının değerlendirilmesi ve artıklardan endüstriyel hammaddeler üretilmesi için yapılmış bir çalışmanın sonuçlarını sunuyor. Artıklardan kazanılacak yeni yan ürünler bu artıkların olduğu çevrenin cinsine ve zenginleştirme işlemine bağlı olarak değişim göstereceği açıktır. Bu çalışmada beş ayrı cevher hazırlama tesisi artıkları incelenmiş ve analiz sonuçları ayrıntılı şekilde sunulmuştur. Artıkların tane boyut dağılımları, artıklarda bulunan elementlerin ve minerallerin miktarları, değerli minerallerin varlığı ve miktarları, değerli minerallerin flotasyon yapmak için tane serbestleşme durumları incelenmiştir. Bu çalışmanın ana amacı konsantre artıklarını değerlendirmek için yapılacak işlemleri belirlemek ve izlenecek bir akım şemasının oluşturulmasıdır.

ABSTRACT: The potential to recover by-products from mining tailings was evaluated. Variations in potential by-product minerals can be expected for different operations. The primary objective of the present investigation was to establish a streamlined characterization procedure to recover the potential minerals to be used as raw materials for other industries. This paper presents the results of characterization work performed for five different samples collected from different mineral processing operations. The work includes: determination of particle size distributions, elemental and mineralogical analysis, liberation and locking characteristics of sulfides, determination of the presence and quantities of potential by-product minerals. Although identification of the mill tailings would be desirable, the official policies of some companies forbid publication of such data and, therefore, no tailing samples were identified as to source.

1. GİRİŞ

Cevher hazırlama tesislerinde her yıl milyonlarca ton artık üretilmekte ve bu miktar yıldan yıla giderek artmaktadır. Cevher hazırlama tesisleri genellikle cevher içinde değerli metal miktarı % 1 gibi bir tenörle çalışmakta ve artık olarak atılan gang kısım % 90 gibi büyük miktarlarda olabilmektedir. Birçok cevher hazırlama tesisi artık havuzlarında günümüze kadar çok büyük miktarlarda artığı zaten biriktirmiştir (White and Rule, 1971). Gelecekte maden yataklarının tenörlerin düşmesi ile bu artıkların cevher kaynağı olarak kullanılmasının önemi artacaktır (Çiçek et al, 1998; Cristovici, 1986). Ayrıca bu artıklar endüstride hammadde olabilecek birçok değerli maddeleri içermektedir (Llewellyn and Sullivan, 1980; Sekulic et al., 2001).

Maden işletmelerindeki biriken bu artıklar çok büyük miktarlarda olmasına karşın, bunların tenörü oldukça düşüktür. Fakat maden kazısı ve cevher hazırlamada en pahalı işlem olan boyut küçültme işlemleri daha önceden uygulandığı için, basit cevher zenginleştirme işlemleri ile artıklarda bulunan bazı mineraller ekonomik olarak kazanılabilir (Göktepe ve Pooley, 1998; Figueroa, 1976; Holmes et al., 1976; Gomez and Solar, 1995; Lewis, 1998; McWaters, 1990) ve endüstride hammadde olarak kullanılabilir (Sekulic et al., 2001). Bu çalışmada cevher hazırlama tesisi artıklarından yan ürün elde etme potansiyeli araştırılmıştır.

Bu çalışmada kullanılan artık numunelerin nereden alındığı veya geldiği arzu edilen bir durum olsada, şirketler bu gibi bilgilerin yayınlanmasına karşı

çıkmaktadır, dolayısıyla numunelerin nereden geldiği gizli tutulmuştur.

2. NUMUNE ALMA VE ANALİZ METODLARI

Beş ayrı cevher hazırlama tesisi artık havuzlarından 100kg miktarında numuneler alınmıştır. Numuneler şöyle isimlendirilmiştir: Numune1 (N1), Numune2 (N2), Numune3 (N3), Numune4 (N4) ve Numune5 (N5). Artıkların tane boyutları zaten küçük olduğundan ayrıca boyut küçültme işlemine tabii tutulmamıştır. Numuneler aşağıdaki gibi çeşitli işlemlere tabii tutulmuştur:

- Özgül ağırlık ve bulk yoğunluk (yığın yoğunluğu) ölçümleri,
- Tane boyut dağılımlarını bulmak için elek analizi,
- Hidrosiklon ile şlam kısmının (500 mesh) ayırımı,
- Kimyasal element analizi: AA (atom adsorpsiyonu), XRF (x-ray fluorescence) ve ICP (inductively coupled plasma) ile yapılmıştır,
- XRD (x-ray diffraction) ile mineroloji analizleri,
- Sarsıntılı masa ve ağır ortam ayırımı,
- Sülfürlü fraksiyonun flotasyon ile zenginleştirilmesi,
- Sülfürsüz fraksiyonlar manyetik ayırmaya tabii tutulmuştur.

Numunelerin karakterizasyonunda izlenecek işlemler için genel bir akım şeması Şekil 1'de olduğu gibi geliştirilmiştir. Bu araştırmada artıkları

değerlendirmek için bu geliştirilen akım şeması izlenmiştir. Artıklar ilk olarak hidrosiklon ile iki boyuta (500 μm) ayrılmış, 500 mesh üzeri malzeme sarsıntılı masalarda zenginleştirilmiş ve ağır ve hafif mineraller adı altında iki tür ürün alınmıştır. Ağır mineraller flotasyon işlemine tabii tutulmuştur. Flotasyon artıkları sülfürlü (yüzen) ve sülfürsüz (artık) diye iki kısma ayrılmış ve sülfürsüz kısım ayrıca manyetik ayırmaya tabii tutulmuştur.

3. SONUÇLARIN TARTIŞILMASI

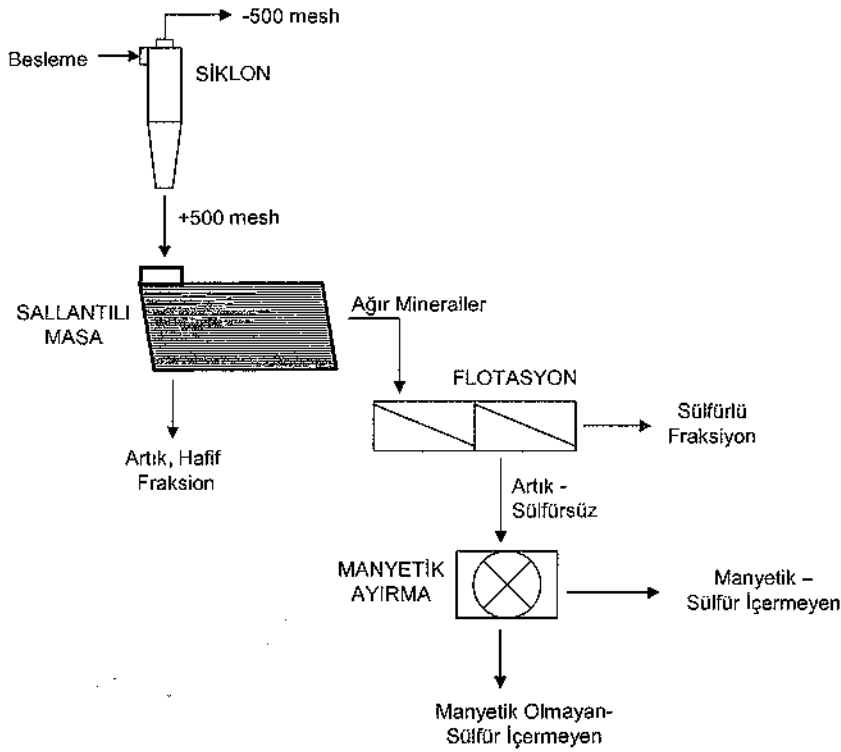
Numuneler Şekil 1 deki akım şemasına göre eşitli işlemlere tabii tutulmuş ve sonuçlar dört grupta aşağıdaki başlıklar altında incelenmiştir.

3.1. Boyut Analizi, Özgül Ağırlık ve Bulk Yoğunlukları

Artıklar Çizelge 1'de gösterildiği gibi üç boyut dağılımına ayrıldı: çakıl (+53 μm), kum (-53 μm + 2 μm) ve kil (-2 μm) fraksiyonları. Numune5 (N5) çakıl ve kil boyutlarında en düşük orana sahiptir. N3 numunesinin çakıl kısmı ise en yüksek oranı içermektedir. N2 numunesinin kil oranı (% 6,7) diğer artıklardan biraz daha yüksektir.

Numunelerin özgül ağırlıklar (Çizelge 2) 2,63 ve 2,98 arasında değişiyor. N4 ve N5 artıkları en yüksek özgül ağırlığa ve ayrıca en yüksek demir içeriğine sahiptir.

Tane boyut dağılımları yaş elek analizi ile bulundu ve Şekil 2'de gösterilmektedir. Bütün artıklar 1000 μm 'nin altındadır. N3 numunesi en fazla iri (P80 = 279 μm) ve N5 numunesi en fazla ince (P80 = 128 μm) tanelere sahiptir. N2 numunesi ise en geniş boyut dağılımına sahiptir.



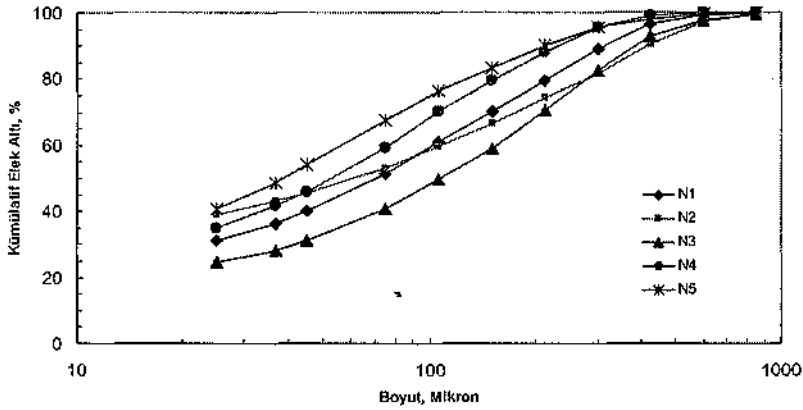
Şekil 1. Artıkları değerlendirmek için uygulanan akım şeması

Çizelge 1. Numunelerin (N1-N5) üç boyut dağılımına ayrılması (% Ağırlık)

Tane Boyutu, mikron	N1	N2	N3	N4	N5
+53 (Çakıl)	57,3	54,2	67,3	55,2	41,2
-53+2 (kum)	32,0	39,1	28,5	40,2	55,2
-2 (şlam)	5,7	6,7	4,2	4,6	3,6

Çizelge 2. Numunelerin (N1-N5) özgül ağırlık ve bulk (yığın) yoğunlukları

	N1	N2	N3	N4	N5
Özgül Ağırlık, g/cm ³	2,63	2,70	2,67	2,84	2,98
Bulk (yığın) Yoğunluk, kg/m ³	1271	1319	1246	1193	1600



Şekil 1. Numunelerin (N1-N5) araziden alındıkları şekilde tane boyut dağılımları

3.2. Kimyasal Analiz Sonuçları

Kimyasal analiz sonuçları Çizelge 3'de gösterilmiştir. N2 ve N4 numuneleri en yüksek bakır oranı içermektedir (N2: %0,243 ve N4: %0,235). N4 (% 7,78) ve N5 (% 5,03) numuneleri en fazla ve N3 numunesi ise en az demir oranlarını içermektedir.

N5 numunesi en yüksek TiO_2 (% 0,57) içermektedir. N5 numunesi öteki artıklarla karşılaştırıldığında daha fazla Ce (Cerium) (348 ppm), La (Lanthanum) (224 ppm) ve Nd (Neodymium) (110 ppm) içermektedir. N5 numunesi ayrıca en yüksek As (arsenik) (52 ppm) içeriğine sahiptir. Diğer numunelerin arsenik içeriği 20 ppm'den azdır. N2 numunesi en yüksek Pb (kurşun) oranına (203 ppm) sahiptir.

3.3. Mineraloji ve Tane Serbestleşmesi Analiz Sonuçları

Mineraloji analiz sonuçları Çizelge 4'de ve serbestleşme analizleri Çizelge 5'de verildi. N2 numunesi en fazla kuvars oranı içermektedir (%46).

N3 numunesi en fazla K-feldspat (% 37,4) ve plagioklas (% 28,6) içermektedir. Mika içeren maddeler (serisit ve muskovit) en fazla N2 numunesinde bulunmaktadır. Numunelerden N4 ve N5 en yüksek manyetik konsantrasyonuna sahiptir. N4 numunesi dikkati çekecek kadar garnet içermektedir.

Mikroskop ile yapılan serbestleşme analiz sonuçlarına göre serbest haldeki pirit oranı genel olarak 4,7 ile 7,7 (% hacim) arasındadır. N4 numunesindeki serbest haldeki pirit oranı ise 16,3'tür (% hacim). Serbestleşmiş sülfür konsantrasyonu N3 numunesinde çok düşük (% hacim 0,3) bulunmuştur. Serbestleşmiş kalkopirit konsantrasyonu ise genel olarak % 0,1'in altındadır. N2 numunesi en fazla kalkozin (Cu_2S) ve kovelin (CuS) içermektedir.

Miktar olarak, % 30 sülfürlü bakır, pirit ile bulunmaktadır. N5 numunesinde sülfürlü demirin aşağı yukarı % 10-15'i markasit (FeS_2) olarak bulunmaktadır. Gangdaki serbestleşmemiş sülfür miktarı çok azdır (%1,3 ile %4,7 arasında).

Çizelge 3. Numunelerin kimyasal analiz sonuçları (artık havuzlarından alındığı gibi)

Elementler	N1	N2	N3	N4	N5
Ana Elementler					
Cu, %	0,066	0,243	0,050	0,235	0,042
Mo, %	0,005	0,011	0,005	0,008	0,001
Fe, %	1,06	1,20	0,96	5,03	7,78
S hepsi, %	0,93	1,16	1,26	3,62	1,68
Zn, %	0,006	0,027	0,005	0,012	0,039
LOI, %	2,36	3,44	2,80	6,64	2,06
SiO ₂ , %	67,77	69,99	67,56	55,89	49,03
Al ₂ O ₃	14,68	15,37	14,06	12,38	11,34
TiO ₂ , %	0,39	0,25	0,33	0,38	0,57
Na ₂ O, %	2,15	0,32	2,43	0,23	0,78
K ₂ O, %	4,80	5,55	5,26	3,85	4,93
CaO, %	2,05	0,28	2,47	3,12	2,48
P ₂ O ₃ , %	0,15	0,10	0,12	0,17	0,22
Mn, %	0,02	0,02	0,03	0,09	0,16
Mg, %	0,88	0,3	0,46	0,84	2,93
Zr, ppm	138	133	130	116	125
Sn, ppm	<4	<4	<4	<4	<4
W, ppm	25	9	17	6	<4
As, ppm	<20	<20	<20	<20	52
Cd, ppm	<0,2	0,7	<0,2	<0,2	<0,2
Hg, ppm	0,030	0,055	0,032	0,036	0,058
Pp, ppm	13	203	16	12	48
Az Bulunan Elementler					
Ce, ppm	68	47	53	77	346
La, ppm	35	23	29	46	219
Nd, ppm	30	28	25	35	110
Th, ppm	12,0	3,8	13,0	7,2	4,6
Sc, ppm	5,6	2,6	3,7	8,3	14,7
Sm, ppm	4,4	4,4	3,3	5,1	11,8
Hf, ppm	4,0	3,5	4,0	3,4	3,5
Cs, ppm	2,9	2,5	4,8	0,8	4,2
U, ppm	4	2	6	5	2
Eu, ppm	1,1	0,9	0,8	1,3	2,2
Yb, ppm	1	1	<1	2	2
Tb, ppm	<1	<1	<1	<1	<1
Ta, ppm	1	<1	<1	<1	<1
Lu, ppm	0,2	0,2	<0,2	0,3	0,3

3.4. Mineral Zenginleştirme

Artıklar genel olarak Şekil 1'dede görüldüğü gibi ayrıştırma işlemlere tabii tutulmuştur (Şlaman hidrosiklon ile uzaklaştırılması, sarsıntılı masa ile zenginleştirme, flotasyon).

Genel olarak ağır mineral fraksiyonları (>3.3 spesifik gravite) çok az olarak bulunmuştur (% ağırlık %0,37 – %2,0). Fakat N4 ve N5 numuneleri yüksek oranlarda manyetik ve başka ağır mineraller içermektedir. Sonuç olarak, sadece N4 ve N5 artıklarından ağır mineraller kazanılabilir. N5 artıkları demir cevheri manyetik üretimi için elverişlidir.

Yan ürün olarak kuvars ve feldspat üretimi N1, N2 ve N3 artıklarından mümkün olabilir. N1, N2 ve N3 artıklarının feldspat analiz sonuçları piyasada satılan feldspata çok yakın olduğu bulunmuştur. Feldspat, kuvars ve manyetik ürünlerinin kimyasal özellikleri ve satış fiyatları Çizelge 6 ve 7'de verilmiştir. Çizelge 7'de görüldüğü gibi, N1, N2 ve N3 numunelerindeki feldspat oranları piyasadaki satışı yapılan feldspat ürünlerine yakındır.

Endüstriye bağlı olarak feldspat tane boyut dağılımları değişmektedir. Cam üretimi için feldspat genellikle 850 ve 425 mikrona kırılır ve kimyasal analizi şöyledir: %4 - 6 K_2O , %5 - 7 Na_2O , %19 civarında Al_2O_3 ve %0,08 Fe_2O_3 . Çömlekçilikte kullanılan feldspat içindeki oranlar: beyaz porselen ve aynı tür seramikler için %4-14 K_2O ve tane boyutu 75 mikron'un altında demir miktarı %0,07'tür. Genel olarak, kuvars için istenilen 850 ile 106 micron arasındaki tane boyutu

miktarı %95'tür. Cam sanayinde kullanılacak kuvars için istenilen kimyasal özellikler ve tane boyut dağılımları Çizelge 8'de verilmiştir.

Sarsıntılı masa (gravite) ve flotasyon işlemleri ile ayrılan ürünler için ağırlık dağılım dengesi Çizelge 9'da verilmiştir. Şlam miktarı en az olan ürün N3 numunesidir. Sarsıntılı masadan kazanılan sülfürlü mineraller genel olarak pirit'tir (%79 - %87). N2 numunesindeki pirit'in % 22'si genel olarak kalkozin ve kovelin ile kaplıdır. N2 ve N4'den elde edilen sülfürlü konsantrelerde serbestleşmiş kalkozin oranı %4,6 ve %2,0 gibi en yüksektir. Besleme malı ve gravite artıklarının kimyasal analiz sonuçları Çizelge 10'da verilmiştir. Gravite artıklarındaki demir oranı en fazla olan ürünler N4 ve N5'tir. Sarsıntılı masa sülfürsüz ürün için mineraloji analizleri miktar olarak Çizelge 11 ve 12'de özetlenmiştir. Serbest haldeki kalkopirit oranı N1 numunesinde en fazladır.

Çizelge 4. Numunelerin mineraloji analizleri (artık havuzlarından çıkarıldığı gibi)*

Mineralier	N1 (% Ağırlık)	N2 (% Ağırlık)	N3 (% Ağırlık)	N4 (% Ağırlık)	N5 (% Ağırlık)
Kuvars	32,1	45,7	24,3	27,5	18,1
K-Feldspat	25,8	18,9	37,4	16,9	21,3
Plagioklas	22,8	1,4	28,6	1,1	5,1
Muskovit	6,1	22,5	1,5	7,5	0,0
Biotit	2,9	2,5	2,1	7,1	9,8
Klorit	3,5	1,0	3,6	0,0	5,7
Pirit	0,6	0,7	0,2	3,0	1,8
Kaolenit	0,0	5,0	0,0	5,7	1,6
I/S Karışık Ara Kil	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0
Smektit	1,9	1,0	0,0	0,0	9,4
Geotit	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0
Karbonatlar	1,4	0,0	1,7	0,0	0,0
Epidot	0,0	0,0	0,4	0,0	4,0
Manyetit	0,0	0,0	0,0	2,0	4,5
Aktinolit	0,0	0,0	0,0	3,3	4,6
Garnet	0,0	0,0	0,0	20,0	0,0
Diğer	2,9	1,3	0,2	3,5	4,1
Toplam	100%	100%	100%	100%	100%

* XRD analizleri. Miktarların istatistiksel standard dağılımı ± 1

Çizelge 5. Numunelerin Tane serbestleşme analizleri (artık havuzlarından çıkarıldığı gibi)

Mineraller	N1 (%Hacim)	N2 (%Hacim)	N3 (%Hacim)	N4 (%Hacim)	N5 (%Hacim)
Serbest pirit	4,7	6,0	0,3	16,3	7,7
Serbest kalkopirit	<0,1	0,3	0,3	0,3	<0,1
Sülfür içermeyen gang	92,3	89,0	94,7	75,3	76,6
Kısmi-serbest sülfür içeren gang	3,0	4,7	4,7	1,4	4,7
Serbest/kısmi-serbest manyetik mineral	---	---	---	6,7	11,0
Toplam	100	100	100	100	100

Çizelge 6. Artıklardan elde edilebilecek ürünler ve satış fiyatları*

Endüstri	Piyasa Kullanım Miktarı, %	\$/ton
Feldspat		
Seramik derecesi	32	113
Cam derecesi	68	97
Kuvars		
Cam üretme	38	16,7
Demir-döküm	22	13,9
Aşındırıcı ve patlatma kumu	4,8	24,5
Hidrolik kırma kumu	5	32,3
Seramik	0,8	56,5
Kimyasal maddeler	2,6	20,2
Lastik ve plastik dolgu	0,4	76,7
Golf sahası malzemesi	4,1	15,7
Filtre malzemesi	0,5	17,7
Ortalama fiyat	---	18,6
Manyetik		
Manyetik, ağır ortam ayırma	---	100
Düşük kalite demir peletler	---	25

* Bu değerler *Mining Engineering* dergisinden (June 2000) alınmıştır.

Çizelge 7. Artıklardan elde edilen ürünlerdeki özellikler ile istenilen özellikler (% Ağırlık)*

Feldspat Ürünü			Kuvars Ürünü		
Kimyasal	Konsantrasyon,%	İstenilen,%	Kimyasal	Konsantrasyon,%	İstenilen,%
SiO ₂	67,04-79,20	~ 70	SiO ₂	98,61-99,93	99,5
Al ₂ O ₃	12,1-19,25	16-18	Al ₂ O ₃	0,05-1,72	<0,15
Fe ₂ O ₃	0,03-0,09	0,05	Fe ₂ O ₃	0,01-0,38	<0,1
CaO	0,38-1,94	<1	CaO	0,01-0,08	<0,1
MgO	Çok az	Çok az	MgO	0,01-0,09	
K ₂ O	Çok az	Çok az	Na ₂ O+K ₂ O	0,01-0,54	<0,2
Na ₂ O	2,62-12,1	Yüksek	LOI	0,15-0,5	
Li ₂ O	2,12-6,96	Düşük	Fuzyon	0,07-0,35	
TiO ₂	0,35		kayıp		
LOI	0,1-0,2				
	0,08-0,09	0,8			

* Değerlerin alındığı kitap: *Industrial Minerals and Rock*, 1994.

Çizelge 8. Cam sanayisinde kullanılacak kuvars için istenilen şartlar*

Kimyasal Özellikler	Tane Boyut Dağılımı
SiO ₂ , over %90	+20 mesh, %0
Fe ₂ O ₃ , %0.03 maksimum	+30 mesh, %1 maksimum
Cr ₂ O ₃ , 0.0003% maksimum	-100 mesh, %15 maksimum

* Değerlerin alındığı kitap: *Industrial Minerals and Rock*, 1994.

Çizelge 9. Sarsıntılı masa ve flotasyon zenginleştirme ürünlerinin ağırlık dağılım yüzdeleri (%) [bu çalışma sonuçları]

İşlemler	N1	N2	N3	N4 ³	N5 ⁴
Gravite Ürünü	4.55	3.12	3.54	16.50	31.02
• Sülfürsüz ¹	3.67	2.75	3.07	12.40	4.04
▪ Manyetik	---	---	---	4.20	13.53
▪ Manyetik değil	---	---	---	8.21	17.48
• Sülfürlü ²	0.88	0.38	0.47	4.09	1.18
Gravite artıklar, hafif fraksiyon	65.08	68.74	78.14	55.79	42.57
Hidrosiklon üst ürün (şlam)	30.37	28.14	18.32	27.72	26.42
Toplam	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

^{1,2} Sülfürlü ve sülfürsüz fraksiyonlar flotasyon ile elde edildi.³ Sarsıntılı masa ürününe flotasyon işlemi uygulandı ve manyetik ayırma sülfürsüz fraksiyona uygulandı.⁴ Manyetik ayırma uygulandı, sonra flotasyon manyetik olmayanlara uygulandı.

Çizelge 10. Besleme malı ve gravite artıkların kimyasal analiz sonuçları [bu çalışma sonuçları]

	N1		N2		N3		N4		N5	
	Giren	Grav. Artık	Giren	Grav. Artık	Giren	Grav. Artık	Giren	Grav. Artık	Giren	Grav. Artık
SiO ₂	70.86	77.55	67.31	70.15	68.28	70.95	55.78	66.32	48.99	61.63
Al ₂ O ₃	15.25	11.58	14.55	12.53	14.33	13.74	12.50	12.74	11.35	12.72
CaO	0.19	0.10	2.03	1.84	2.17	1.82	0.02	0.02	2.37	2.47
Na ₂ O	0.27	0.26	2.22	2.33	2.56	2.68	0.24	0.25	0.74	0.74
K ₂ O	5.54	5.03	4.75	4.77	5.24	5.38	3.89	4.60	4.93	5.54
TiO ₂	0.25	0.23	0.40	0.36	0.34	0.29	0.40	0.38	0.58	0.47
Fe	0.93	0.64	0.99	0.84	0.92	0.72	4.86	1.97	7.64	4.17
Toplam	93.11	95.39	92.25	93.82	93.84	95.56	80.75	88.32	76.62	88.07

¹ Hafif Fraksiyon

Çizelge 11. Sarsıntılı masa ürünlerin (sülfürsüz fraksiyon) mineraloji analizi (miktar olarak) [bu çalışma sonuçları]

Mineraller	N1	N2	N3	N4	N5
Kuars	Fazla	Fazla	Fazla	Fazla	Fazla
K-Feldspat	Fazla	Biraz	Fazla	Biraz	Biraz
Muskovit	Biraz	Biraz	Biraz	Çok az	Fazla
Klorit	Çok az		Çok az	Çok az	Biraz
Plagioklas	Biraz		Biraz		Biraz
Demir oksitler	Çok az	Çok az	Çok az		
Kalsit	Çok az		Çok az		
Pirit		Çok az			
Kil		Çok az			Çok az
Garnet				Fazla	
Epidot				Biraz	Çok az
Hornblent				Çok az	
Siderit				Çok az	
Florit					
Olivin					
Biotit					Fazla
Payrofillit					Çok az
Amfibol					Fazla

Çizelge 12. Sarsıntılı masada kazanılan sülfürlü ürünün mineraloji ve serbestleşme analizi (% hacim) [bu çalışma sonuçları]

Tanımı	N1	N2	N3	N4	N5
Serbest pirit	85,00	67,33	87,00	86,33	84,33
Serbest kalkopirit	5,67	0,67	1,00	2,00	0,04
Kısmi serbest sülfür içeren gang	3,33	7,00	5,00	3,00	14,00
Kalkozin ve kovelin içeren pirit	4,33	20,00	5,00	4,33	0,33
Serbest kalkozin	0,01	4,67	0,01	2,00	0,00
Serbest sfelarit	0,67	0,00	0,33	0,67	1,00
Diğer sülfürler ¹	1,33	0,00	1,33	1,67	0,00
Demir oksitler ²	0,00	0,33	0,00	0,00	0,33

¹ Galena, bornit, molibdenit, tetraedrit

² Hematit, manyetik, hidro demir oksitler

4. SONUÇLAR

Yapılan bu araştırma çalışmasında beş ayrı artık numunesi üzerinde yapılan analiz ve zenginleştirme işlemleri sonucu elde edilen bulgulara göre aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir:

1. Artıklardan yan ürün kazanma potansiyeli tesisden tesise değişmektedir.

2. Araştırma sonuçları ağır minerallerin artıklardan kazanılmasının genel olarak zor olacağını göstermektedir. Fakat N4 ve N5 artıklarından manyetik kazanılması ayrıca incelenebilir ve kazanılan manyetik ürün özelliklerinin kömür işletmelerinde ağır ortam zenginleştirme ve düşük tenörlü demir cevheri

- peletleri endüstrisi için istenilen özelliklere uygunluğu araştırılmalıdır.
3. Yan ürün üretimi için en çok potensiyelin kuvars ve feldspat üretimi olacağı görülmüştür. Üretilen kuvars ve feldspatın endüstride kullanımı aşağıdaki alanlarda olabilir:
- Kuvars: Cam hammaddesi, seramik, kimya sanayii, filtreleme, demir-döküm sanayii.
- Feldspat: Seramik sanayisi derecesinde, cam sanayisi derecesinde.
4. Artıklardan bakır üretilmesi için tenörün düşük kaldığı ve üretim maliyetlerinin daha yüksek olacağı bulunmuştur. Yapılan fizibilite hesapları maliyetlerin bakır için \$1/lb ve üzerinde olacağını göstermiştir.
5. Cevher hazırlama artıkları çimento hammeddesi olabilecek ana maddeleri (Kalsiyum karbonatlar, alüminyum oksit, silika, demir, etc.) içermektedir. Artıkların çimento hammeddesine katkı malzemesi olabilirliği araştırıldı ve sorun olabilecek maddelerin alkaliler (Na, K) ve sülfür olacağı belirlendi. Artıkların katkı malzemesi olarak kullanılmasını için en büyük sorun bunların üretilmesi için maliyetin yüksek olacağıdır. Mesela, demir (demir cevheri, ve çelik slag), silika, ve alüminyum oksitler'in doğrudan hammadde olarak satın alımı çimento sanayisine daha ucuza mal olmaktadır.

KAYNAKLAR

- Çicek, T., Cocen, I. and Samanlı, S., Sep. 1998, "Gravimetric Concentration of Fine Chromite Tailings," Proceedings of the 7th International Mineral Processing Symposium, Innovations in Mineral and Coal Processing, Ed. S. Atak, G. Önal, and M. S. Çelik, İstanbul, Turkey, A. A. Balkema, Rotterdam, Brookfield, 731-736.
- Cristovici, M. A., Nov 1986, "Recovery of Gold from Old Tailing Ponds," CIM Bulletin, Vol. 79, No. 895, 27-33.
- Figueroa, C. K., June 1976, "Morenci Tailings Leaching Plant," Transactions of AIME, Vol. 260, 170-173.
- Holmes, J. A., Deuchar, A. D., Stewart, L. N. And Parker, J. D., 1976, "Design, Construction and Commissioning of the Nchanga Tailings Leach Plant," Extractive Metallurgy of Copper, 907-925.
- Gomez, L. and Solar, R. D., 1995, "Tailings Retreatment Plant in Codelco, El Teniente Division," proceedings of Copper 95, Vol. II - Mineral Processing and Environment, Ed. A. Casali, G. S. Dobby, M. Molina and W. J. Thoburn, 67-76.
- Göktepe, F. and Pooley, F. D., Sep. 1998, "Recovery of Copper from a Sulphide Tailings by Bacterial Leaching," Proceedings of the 7th International Mineral Processing Symposium, Innovations in Mineral and Coal Processing, Ed. S. Atak, G. Önal, and M. S. Çelik, İstanbul, Turkey, A. A. Balkema, Rotterdam, Brookfield, 483-488.
- Industrial Minerals and Rocks, 1994, Ed. Donalds D. Carr, 473-481.
- Lewis, W. M., 1998, "Simplified Tailings Recovery Utilizing a Lewis Econosizer," Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Littleton, CO, Preprint No 98-128.
- Llewellyn, T. O. And Sullivan, G. V., 1980, "Recovery of Rutile from Porphyry Copper Tailings Sample," Bureau of Mines Report of Investigations, RI 8462.
- McWaters, T., September 1990, "Magma's Tailings Leach Operation," Mining Engineering, 1075-1080.
- Mining Engineering, June 2001.
- Sekulic, Z., Ignjatovic, M., and Jovanovic, V., Sep. 2001, "The Use of Flotation Tails from Copper Mine in the Cement Industry," Proceedings of the 9th Balkan Mineral Processing Congress, New Developments in Mineral Processing, Ed. G. Önal, S. Atak, A. Güney, M. S. Çelik, and A. E. Yüce, İstanbul, Turkey, Beril Ofset, 603-607.
- White, J. C. And Rule, A. R., 1971, "Distribution of Sulfide and Oxide Copper in Copper Mill Tailings," Bureau of Mines, Report of Investigations 7498

Demirci-Gördes Feldspatlarının Flotasyon Yöntemiyle Zenginleştirme Çalışmaları

A. İ. Şahin

Kalemeden End. Hanı. San. ve Tic. A.Ş., Balıkesir

ÖZET: Bu çalışmada Demirci-Gördes yöresi feldspatlarının Flotasyon sistemiyle Zenginleştirilmesi sağlanmıştır. Bu sahalar Devlet Karayollarına ve limana en yakın potasyum feldspat içerikli rezervlerin olduğu bir bölgedir. Bu bölge uzun yıllar Türkiye'nin ve Seramik Sektörünün çeşitli kalitelerdeki ihtiyaçlarını karşılamış ve karşılamaktadır. Tabii uzun zamandır rezervler kullanıldığından Seramik Sektöründe potasyum kalitesi sorunları başlamıştır. Bunun üzerine bölge önemini zaman geçtikçe yitirmeye başlamış ve Seramik Sektöründe Potasyum değeri yüksek K_2O %11-13 arasında değişen TiO_2 ve Fe_2O_3 değeri çok düşük potasyum feldspatı çeşitli ülkelerden getirmeye başlamıştır. Bu ülkelerin başında da HİNDİSTAN gelmektedir. Bu hammaddeden Türkiye'ye toplam yıllık olarak ortalama yüksek potasyumlu feldspattan yılda 18.000 t/yıl hammadde girdisi olmakta. Bu hammaddenin de ortalama birim maliyeti 60 \$/ton civarındadır.

ABSTRACT: In this study, Demirci-Gördes region K-Feldspars are enriched through flotation process. The potassium feldspar reserves in the region are the closest to the public transportation roads and ports. Thus, for years they have been meeting the requirements of the ceramic sector and several industries in Turkey. Since the deposits had been employed for a long time, the ceramic industry has already begun suffering from quality problems. Therefore, the mentioned region has lost its importance in time and the ceramic industry started importing K-Feldspars with low $TiO_2-Fe_2O_3$ and 11-13 % K_2O content. Among the import countries, India comes first. Now , Turkey imports 18.000 tons/year high potassium containing K-Feldspars. The average cost of the material is around 60 \$ / ton

1. GİRİŞ

Seramik Sektörü Yurtdışından getirtilen feldspatlara çok ciddi ödemeleri yapmaktadır. Yurt dışındaki bu kaynakların son 8 yılı incelenecek olursa TiO_2 , Fe_2O_3 yönünden değişiklikler görülmekte ve en önemli K_2O değerleri de %14 değerlerinden %10,5-11,5 değerlerine inmeye başlamıştır. Buda Doğa'daki bu kaynakların ocaklarda tükenmeye başladığının ilk işaretleridir. Bu hammaddeler yurt dışından parça halinde 0-10-15 cm aralığında çeşitli boyutlarda getirtilmektedir.

Zenginleştirme çalışmalarında ilk önce renk verici mafik minerallerin uzaklaştırılması düşünülmüş ve

II. Olarakta K_2O tenörünün yükseltilmesi hedefi planlanmıştır.

Cevherin minerolojisini şöyle açıklayabiliriz. Yapılan XRD çalışmalarında ve minerolojik ince kesit çalışmalarında ortoz, kuvars, muskovit, plajiyoklaz, turmalin, biotit, hematit, apatit, limonit mineralleri tesbit edilmiştir.

Tüvenan cevherlerde ise Fe_2O_3 %0,90 değerine hatta bazı numunelerde %1,05 değerine kadar yükselmektedir..

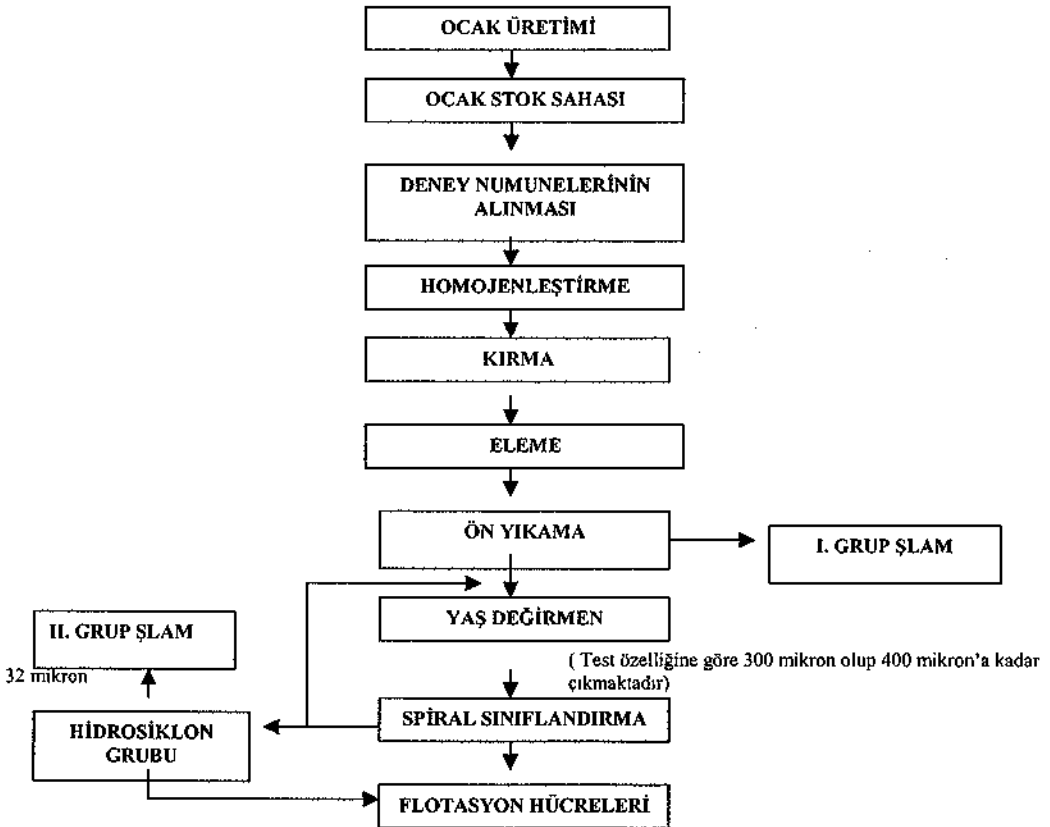
Cevherde TiO_2 değeri %0,16'ya kadar çıktığı tavan değeri bulunmuştur. SiO_2 ise %73-75 arasında, Al_2O_3 değerleri ise çeşitli numunelerde %15-18,5 arasında değişmektedir. Toprak alkalilerden MgO

değeri en yüksek %0,45 olarak tespit edilmiş olup, CaO ise çeşitli yörelerde değişme göstermekte ve bazı numunelerde %1 CaO tenörlü tespit edilmiştir. CaO'nun minimum aldığı değer ise %0,55 olarak tespit edilmiştir.

Yapılan bu çalışmada Na₂O değerleri incelenen bazı nokta numunelerinde %2,5 değerlerini vermesi yanında Na₂O'nun ortalama değeri bu çalışmalarda %3 alınmış ve maksimum değer olarakta %4,75 alınmıştır. K₂O ise %3,15 ile %6 arasında değişmektedir.

Bu konuyla ilgili yapılan çalışmalar şu anda kalite olarak tamamlanmıştır. İlk uygun çalışmaya başlama yılı 1994 olup günümüze kadar getirilmiştir. Yine de en uygun yöntemin bulunması için şu anda bölgenin çeşitli noktalarında 5 adet çalışma tamamlanmıştır.

Demirci Gördes Bölgesinde 2500 'ün üzerinde kimyasal analiz yapılmış, 100'un üzerinde XRD, 40 civarında ince kesit ve 480'nin üzerinde Flotasyon testleri yapılmıştır. Yapılan renk testleri ise binleri aşmıştır. 190'nun üzerinde 1450 °C 'ye kadarda ısı mikroskobu testleri yapılmıştır. Yapılan çalışmaları içeren akım şeması Şekil 1'de verilmektedir.



Şekil 1. Sistem akım şeması

2. DENEYDEKİ HAMMADDENİN TEKNİK ŞARTLARI

Flotasyon hücrelerine girişte tane boyutu 400 mikron'a kadar çıkmakta olup deneye alınan numunenin tüvenanında kuvarslar 5 mm boyutuna kadar çıkmakta muskovit taneleri 0,2-3,5 mm arasında değişmekte ve plejiyoklazlar ise 0,3 ile 18 mm arasındaki boyutlara sahiptir.

Teste alınan bütün numuneler 1180, 1250, 1350 ve 1400 °C'de pişirilmiştir.

Pişme sıcaklıklarına göre Tüvenan hammaddede renkler koyu kahve, siyah, koyu yeşil ve volkanik görünümde kabarcıklar şeklinde görülmüştür.

Testlerde kullanılan cevherin kimyasal analizi çizelge 1 'de verilmiştir.

Bu tabloda yüzlerce numune arasında bir istifleme yapılmış Genel düzenlemede Na_2O ve K_2O değerlerine göre gruplandırma yapılırken, Fe_2O_3 değerleride düşünülmüş, bunun yanında bazı gruplandırmada da Toprak alkali değerleri alınmıştır.

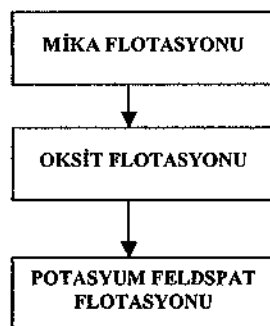
Buradaki en önemli konu Na_2O ve K_2O 'da minimum değerlere kadar inilmiştir.

Çizelge 1. Tüvenan hammaddenin kimyasal analiz değerleri (%)

Num. no	K.K.	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	MgO	CaO	Na_2O	K_2O
I. Grup	0,30-0,60	73-75	15,50-17,20	0,70-0,90	0,10-0,12	0,20-0,40	0,55-0,80	2,5-3,5	3-4
II. Grup	0,40-0,70	72,5-75,5	16-17,50	0,80-1,05	0,09-0,10	0,25-0,42	0,80-0,95	2,7-3,20	3,5-4,80
III. Grup	0,50-0,60	73-75	16-18	0,78-1	0,09-0,12	0,37-0,40	0,62-0,82	2,2-3,5	5-6
IV. Grup	0,50-0,60	73-75	16-18	0,65-0,75	0,09-0,10	0,35-0,42	0,40-0,60	3-3,5	4,5-5
V. Grup	0,50-0,60	73-75	16-18	0,55-0,81	0,09-0,11	0,20-0,35	0,40-0,60	3-3,5	3-3,5
VI. Grup	0,50-0,60	75-78	17-18	0,55-0,81	0,09-0,11	0,20-0,35	0,40-0,60	2,5-3,5	2,5-3,5

3. DENEY ŞARTLARI

Bu çalışmalarda yapılan deneyler, mika flotasyonu, oksit flotasyonu ve feldspat flotasyonu aşamalarını içermektedir (Şekil 2). Flotasyon için deney koşulları Çizelge 2'de özetlenmiştir.



Şekil 2. Flotasyon aşamaları

Çizelge 2. Deney şartları

SIRA NO	DENEY ŞARTLARI	MAKS (%)	MİN (%)
1	Pulp Yoğunluğu	50	20
2	Deney Süresi	10 dakika	2 dakika
3	PH	2	3
4	HF (g/t)	300	700
5	NaCl (g/t)	10	50
6	Köpürtücü (g/t)	20	40
7	Oleat (g/t)	1500	3000
8	Amin (g/t)	100	400
9	Deney hücresi	1 lt	
10	Numune miktarı (gr)	600	400

Çizelge 3. Yapılan flotasyon neticelerinde alınan genel sonuç tablosu (%)

Num. no	K.K.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
I. Grup	0,3-0,4	62-63	20-21	0,04-0,05	E- 0,02	0,07	0,51	3-4	11-12
II. Grup	0,3-0,4	62-63	20,5-21	0,05	E	0,05	0,3-0,4	3-3,5	12-13
III. Grup	0,3-0,4	62-63	20-21	0,03	E	0,05	0,3	6-7	7-8
IV. Grup	0,3-0,4	63-65	19-21	0,03	E	0,05	0,03	3-4	10-11
V. Grup	0,3-0,4	63-65	19-21	0,03	E	0,04	0,03	5-6	8-9

4. SONUÇLAR

Sonuçları sırasıyla şu şekilde açıklayabiliriz.

1. Deney imkanlarına göre deneye alınan hammaddelerden 5 Grup ta da seramikte kullanılan ürün elde edilmektedir.
2. Demirci-Gördes feldspatları deney koşullarına göre olumlu cevap vermektedir.
3. Hindistan feldspatının K₂O içeriğini içeren değerleri bu testte geçmekteyiz. Deneye giriş koşullarındaki Na₂O içeriği deney şartlarını etkilemektedir. Bu değer deneye girişe göre 2,5 değerini geçmektedir.
4. Renk testlerinde hiçbir sorun olmayan süt beyazlığı konsantride kazanılmaktadır.
5. Her türlü mafik mineralden uzaklaşma sağlanmaktadır.
6. Öğütme dahil yerli feldspatın maliyeti Hindistan feldspatına nazaran 30-40 \$/ton arasında bir ucuzluğa sahiptir.
7. Türkiye'nin bu konudaki yıllık ihtiyacı en aşağı 25.000 tondur. Akdeniz'in ihtiyacı 50.000 t/yıl civarındadır.

8. Yurt dışından getirilen K₂O içeriği hammadde mikroklin'dir. Buna karşılık Demirci-Gördes feldspatları ortoklastır.

TEŞEKKÜR

Bu geniş zaman aralığında yıllar içinde 10 yıl boyunca yapılan çalışmalarda çok öğrenci, öğretim görevlisi, doktor, doçent, Profesör arkadaşlarımızın birikimleri olmuştur. Her yıl bir adım atılmış ve en uygun yola girilmiş halada bu çalışmalar devam etmektedir. Bunun için İTÜ, Hacettepe ve Dokuz Eylül'deki bu meslektaşlarıma TEŞEKKÜR eder. Bu çalışmanın da bir gün Türk Seramik Sektöründe hizmet vereceğini dilerim.

KAYNAKLAR

- Sistem çalışmaları için çeşitli üniversiteler
- Ders kitapları
- Bölge ile ilgili MTA yayınları
- TMMOB 'nın çeşitli yayınları

Öztüre Kimtaş A.Ş. Kireç Fırınlarnının Modernizasyonu

T. Çiçek

Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir

A. Akyarlı, V. Gülgü & N. Öztüre

Öztüre Holding A.Ş., İzmir

ÖZET: Bu çalışma, Öztüre şirketler grubuna ait Urla/İzmir Kimtaş A.Ş. kireç fabrikasındaki iki eski tip kireç fırının modernizasyon çalışmalarını ve bu çalışmaların fırın kapasitesi, kireç kalitesi, üretim maliyeti ve fırın emisyon değerleri üzerine olan etkisini ele almaktadır.

ABSTRACT: This paper gives a brief summary about the modernization works done on two old type mixed-feed lime kilns. The lime kilns are in operation at Kimtaş A.Ş./Urla which belongs to Öztüre Holding/İzmir. The improvements on the kiln capacity, lime quality, production costs, kiln emissions etc as a results of the modifications are presented.

1. GİRİŞ

Kalsiyum karbonat içeren kireçtaşlarının 900-1000 °C de kalsinasyonu ile kireç (CaO) elde edilir. Kirece sönmemiş kireç de denir. Sönmüş kireç sönmemiş kirecin su ile reaksiyonu neticesinde oluşan kalsiyum hidroksittir (Ca(OH)₂). Yüksek kalsiyumlu kirecin yanısıra magnezyum ihtiva eden dolomitik kireç ve sönmüş dolomitik kireç te elde edilmektedir.

Kirecin kullanım alanları sayılamıyacak kadar çoktur. Kireç direkt veya dolaylı olarak hemen hemen her endüstri ürününde katkısı olan bir kimyasaldır. Endüstride, kullanım alanlarının sayısı açısından 1. ve tüketim miktarı açısından ise 5. sıradadır. Türkiye’de yılda 4 milyon ton civarında kireç üretilmektedir. En fazla kireç 2 milyon ton ile inşaat sektöründe kullanılmakta olup bunu metallurji ve kimya sektörleri takip etmektedir. Çevre sektöründe kireç kullanımı çok azdır (Çiçek, 1999).

Kireç ülkemizde pirimitif çalı ve yamaç ocaklarından başlayıp modern bilgisayar kontrollü fırınlara kadar uzanan bir teknoloji çeşitliliğinde üretilmektedir. Bu fırınlarda, yakıt olarak odun,

kömür, petrokok, doğal gaz, fuel oil ve artık yanıcı maddeler kullanılmaktadır.

Kimtaş A.Ş 1970 yılından beri Urla Zeytinalanı yöresinde kireç üreten bir firmadır. Kimtaş A.Ş. kireç üretimine Fiedler tipi 2 adet 90 t/gün kapasiteli fırınla başlamıştır. Başlangıçta yakıt olarak fuel oil kullanan fırınlarda kullanılan yakıtın pahalı olması sebebiyle bazı modifikasyonlar neticesinde 1987 yılında katı yakıt kullanımına geçilmiştir. Katı yakıt olarak kullanılan taş kömürü kokunun veya antrasitin kireç taşı ile belli bir oranda karıştırılıp fırına üstten beslendiği ve yakma havasının fırın altından verildiği bu fırınlarda ulaşılan kapasite 90 t/gün.fırın civarında olup üretilen kireç sert pişmiş kireç tipindedir. Fırınlardan çıkan atık gazlar sulu siklonlardan geçirildikten sonra atmosfere verilmekteydi. Kaliteli kirece olan talep artışı, maliyetlerin yüksek oluşu ve çevresel sorunlar nedeni ile 1997 yılında Kimtaş’ın her iki fırınının modernizasyonuna karar verilmiştir. Modernizasyon çalışmalarının ana amaçları şunlardır.

- Fırın üretim kapasitesinin artırılması

- Fırınlarda her türlü mikronize katı yakıt kullanılmasının sağlanması ve özgül yakıt sarfiyatının düşürülmesi
- Kireç kalitesinin iyileştirilmesi ve sürekliliğinin sağlanması
- Fırınlarda proses otomasyonunun sağlanması ve proses kontrolünde insan faktörünün en az seviyeye indirilmesi
- Fırınlardan çıkan zararlı emisyonların en düşük seviyeye indirilmesi

Modernizasyon çalışmaları 1 nolu fırında Nisan 1998 tarihinde 2 nolu fırında ise Mart 1999 tarihinde bitirilmiştir.

Bu çalışma yukarıdaki hedeflere ulaşmak için fırınlarda yapılan modifikasyonları ve fırınlara eklenen yeni ekipmanları ve sağladıkları faydaları ana hatları ile vermektedir.

2. FIRIN TAŞI VE TAŞ BESLEME ÜNİTESİ

Kimtaş fırınlarında kullanılan kalker 80 /120 mm ebadında olup şu kimyasal özelliklere sahiptir.

CaCO ₃	% 97-98,	SiO ₂	% 0.5 –1.0,
Al ₂ O ₃	% 0.2-0.5,	Fe ₂ O ₃	% 0.1-0.3

Fırın taşı Kimtaş A.Ş. nin mıcır tesisinde bulunan fırın taşı eleğinden alınıp altında bir besleme tüneli olan bir stok sahasına bant ile nakledilmektedir. Daha önceleri kömür ile belli oranlarda karıştırılıp fırına beslenen taş bu bölgede yapılan modifikasyonlar ile tozundan ve üstüne yapışmış kilerden arındırılmak üzere üzerinde basınçlı su spreylere sahip bir elekten elenmekte ve yıkanmış taş fırınlara tartılarak verilmektedir. Taşı fırınların besleme bölgesine taşıma işini tek bir skip (Şekil 1) üstlenmiştir. Taşın stoktan alınması tartılması ve skip ile taş talebinde bulunan fırına yönlendirilmesi fırınlardaki taş seviyesini devamlı olarak ölçen mekanik seviye ölçerler vasıtasıyla otomatik yapılmaktadır. Skip kapasitesi hızı artırılarak % 50 oranında yükseltilmiş ve her iki fırına yetecek kadar taşın transportu sağlanmıştır. Fırınlara taş besleme çan kapağı tabir edilen çift kapaklı bir besleme kamerası (Şekil 2) ile yapılmaktadır. Bu kamaranın

amacı vakum altında bulunan fırında besleme esnasında basınç değişimlerini önlemektir.



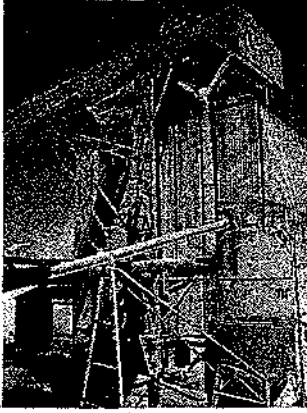
Şekil 1. Skip



Şekil 2. Çan Kapağı

2.1. Fırınlarda

Fırınlarda genel görünümü Şekil 3 te verilmektedir. Fırın kesiti 4.5 m² olup yüksekliği 18 m dir. Refrakter kalınlığı 500 mm dir. Fırında kullanılan refrakter tuğla tipleri şunlardır:



Şekil 3. Fırınlara genel görünüm

Ömürlü bölge : Alumina tuğla
Kalsinasyon bölgesi : Manyezit/krom tuğla
Soğutma bölgesi : Alumina tuğla

Fırında yapılan değişiklikler aşağıda verilmiştir.

Fırının gövdesinde toz yakıt yakmaya elverişli brülörlerin gireceği özel döküm refrakter tuğlalar ile donatılmış delikler açılmıştır.

Fırının deşarj bölgesindeki kireç deşarj vibratörleri yerine hidrolik tahrikli üç adet vargel takılmıştır. Bu vargeller fırın kapasitesine uygun olarak belirlenen bir zamana göre otomatik olarak çalışıp kireci fırından dışarı deşarj edecek şekilde dizayn edilmişlerdir.

Fırınlara soğutma havası girişi tek bir borudan sağlamıştır. Bu boru üzerine takılmış bir akış ölçer (Anubar, pitot tübü) ve motorlu klap ile fırına giren havanın debisi devamlı olarak ölçülür ve otomatik olarak ayarlanabilir hale getirilmiştir.

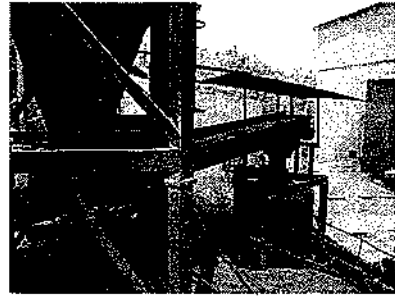
Fırının üst ve brülör bölgesine basınç ölçerler yerleştirilmiştir.

Fırında her brülörün üst bölgelerine refrakter arkasına 10 adet termo-element yerleştirilmiştir.

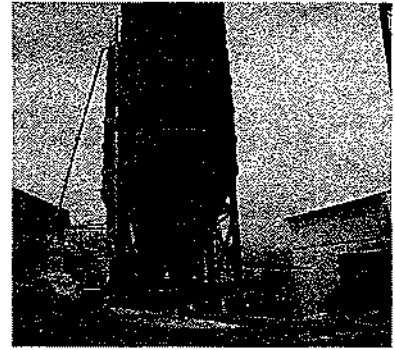
2.2. Yakıt Stoklama Ve Besleme

Fırınlarda, mikronize petrokok, linyit ve bazı alternatif yakıtların problemsiz bir şekilde kullanımına olanak sağlayan bir yakıt sistemi kurulmuştur (Şekil 4 ve 5).

Fırınlara yakıt özel bir şekilde dizayn edilmiş brülörler vasıtasıyla yapılmaktadır. Brülörlerden verilen kömür miktarı her brülör için ayrı ayrı tanımlanan değer civarında otomatik olarak tutulmaktadır.



Şekil 4. Pnömatik yakıt gönderici



Şekil 5. Yakıt siloları

2.3. Atık Gaz Sistemi

Atık gaz sisteminde şu ekipmanlar bulunmaktadır (Şekil 6):

- 400 m² soğutma alanlı otomatik borulu cebri soğutucu

- 360 m² alanlı 25 000 Nm³/saat kapasiteli 120 °C ye dayanıklı torbalarla donatılmış jet-pulse torbalı filtre
- 25 000 Nm³/saat kapasiteli 800 mm SS toplam basınçlı atık gaz fanı

Atık gaz fanı klapesi motorla tahrik edilmekte ve bu klape fırın orta bölge basıncını veya fırın üst bölge basıncını tanımlanan değerde tutmak üzere otomatik olarak çalışmaktadır. Filtre giriş sıcaklığı devamlı olarak ölçülmekte, gaz sıcaklığı 120 °C nin üzerine çıktığında cebri soğutucuda bulunan fanların hızları otomatik olarak artırılmaktadır. Atık gaz sistemi acil durumlarda filtreye soğuk hava girişi sağlayan bir klape ile de donatılmıştır.

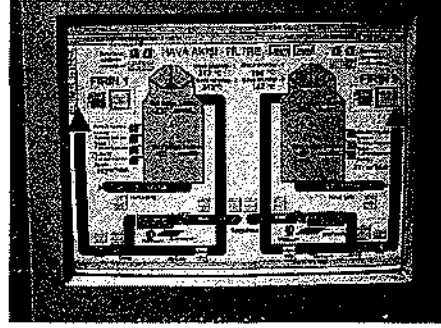


Şekil 6. Filtre gurubu

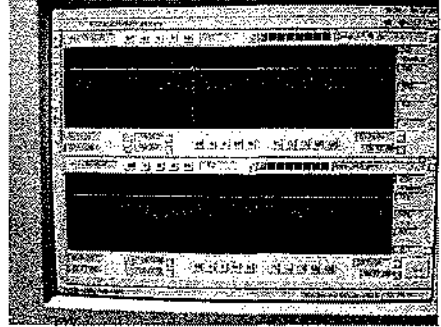
2.4. Proses Kontrol

Fırınlarda proses kontrolü tamamiyle PLC/PC kontrol ile yapılmaktadır. PLC/PC kontrolde operatörün fırındaki ölçülebilir her türlü parametreyi görmesi ve ekipmanlara ve proses parametreleri değişikliklerine bilgisayar ekranı üzerinden hakimiyeti sağlanmıştır (Şekil7). Ayrıca ölçülen proses parametreleri devamlı olarak veri bankasına yüklenmekte ve istenildiğinde her parametrenin zamana bağlı grafiği istenilen diğer bir parametre (ler) ile beraber çizdirilebilmektedir

(Şekil 8). Arızalar zaman ve yer gösterilerek bildirilmekte ve veri bankasına daha sonra değerlendirilmek üzere depolanmaktadır. Fırınlara istenildiğinde bir modem vasıtasıyla uzaktan kumanda etme ve izleme olanağı da sağlanmıştır.



Şekil 7. Fırında proses kontrol



Şekil 8. Proses parametreleri grafiği (hava akış ve filtre sayfası)

3. SONUÇ

Eski tip kireç üretim teknolojisi ile fırın modernizasyonu çalışmaları neticesinde ortaya çıkan oldukça modern yeni üretim teknolojisinin teknik ve ekonomik açıdan karşılaştırılması aşağıdaki tabloda verilmiştir

Çizelge 1. Eski ve yeni tip fırınların karşılaştırılması

		Eski tip fırın	Yeni tip fırın	Artış/azalma %
Yakıt tipi		Parça yakıt	Mikronize yakıt	
Fırın kapasitesi	t/gün	90	130	+ 45
Yakıt sarfiyatı	kcal/kg kireç	1300	970	- 25
Elektrik sarfiyatı	kWh/t kireç	30	30	-
İşçilik	saat/t kireç	0.7	0.5	- 29
Refrakter	g/t kireç	1240	<500	- 60
Atık gaz	toz mg/Nm ³	< 200	<50	- 75
Atık gaz	CO mg/Nm ³	1500-4500	300-350	- 90
Atık gaz	SO ₂ mg/Nm ³	100-200	0	-100
Atık gaz	NOx (NO ₂) mg/Nm ³	-	600-700	-
Atık gaz	O ₂ %	6-8	5-7	- 14
Kireç CO ₂	%	2-3	2-3	0
Kireç reaktivite	t ₆₀ (dak.)	> 15	1-3	70
Kireç aktif CaO	%	89-90	92-93	+ 3-4 puan
Kireç maliyet	birim	100	75	- 25

Tablodan görüldüğü üzere yapılan modernizasyon çalışmaları ile istenilen amaca ulaşılmıştır.

Ülkemiz kireç sektörü artan rekabetin ve çevre baskısının etkisi altında çevre dostu modern kireç üretim teknolojilerine yatırım yapmak veya mevcut fırınlarını modernize etmek durumundadır. Kimtaş A.Ş. 'nin fırınlarında yaptığı bu modernizasyon çalışması bu konuya bir örnek teşkil etmesi bakımından önemlidir.

Bu çalışma tamamıyla ülkemiz mühendis, teknisyen ve işçisinin ürünü olup, istenildiğinde yerli kaynaklar kullanarak bu sektörde neler yapılabileceğini ve bu tip yatırımların üreticiye,

tüketiciye ve çevreye ne büyük avantajlar getirdiğini göstermesi açısından ayrı bir önem taşımaktadır.

Avrupa birliğinin eşliğinde olan bir ülke için çevreye saygılı modern üretim teknolojilerinin desteklenmesi ve yatırımcının teşvik edilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

T. Çiçek, 1999. *Kireç ve Kullanımı*, 3. Endüstriyel hammaddeler sempozyumu 14-15 Ekim 1999, İzmir

Değişik Kökenli Agregaların Beton Kalitesi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi

Ş.A. Akpınar
Maden Yük. Müh., İzmir

G. Konak & Ç. Pamukçu
Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir

ÖZET: Sağlıklı agrega üretimi, ülkemizin depremselliği göz önüne alınacak olursa giderek daha da önem kazanan bir endüstriyel hammadde girdisi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmada ilk adım olarak agreganın tanımı yapılmış, sahip olması gereken genel özellikler belirtilmiş ve yapı sağlamlığı açısından agregaların betonda sağladığı işlevler anlatılmıştır. Beton agregalarının seçiminde dikkat edilecek unsurlar detaylı şekilde verildikten sonra ülkemizde bulunan 3 farklı bölgeden (İzmir-Turgutlu, Bursa-Iğdır, Bursa-Gemlik) alınan 4 farklı agregaya TSE tarafından belirlenen ilgili kurallara bağlı kalınarak fiziksel, kimyasal ve mekanik uygunluk testleri yapılmıştır. Daha sonra ise, söz konusu agregalardan beton üretilerek, bunların tek eksenli basınç dayanımları ve bünyelerindeki su/çimento oranlarının etkileri, agregaların kökenlerine göre karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

ABSTRACT: Proper aggregate extraction has gained more importance than before as an industrial mineral input due to the high earthquake potential of our country. In this study first of all, a brief description of aggregate has been made, the global properties of aggregates have been emphasized and the functions of aggregates within concrete blocks have been stated. After the criteria that would be considered in the selection concrete aggregates had been denoted profoundly, in the episode of case study, physical, chemical and mechanical tests have been conducted subject to TSE over 4 different types of aggregates compiled from 3 different regions of Turkey such as İzmir-Turgutlu, Bursa-Iğdır and Bursa-Gemlik. Later on, the uniaxial compressive strength of the concrete blocks made up of these aggregates have been determined and the water/cement ratios within their bodies have been given comparatively depending upon the diverse origins of aggregates.

1. GİRİŞ

Agregalar, bilindiği üzere mineral kökenli, genellikle 100 mm'ye kadar çeşitli boyutlarda tanelerden oluşan, beton yapımında çimento ve su karışımından oluşan bağlayıcı madde yardımıyla biraraya getirilen, organik olmayan; çakıl, kırmataş gibi doğal kaynaklı olan malzemeler olarak tanımlanmaktadır.

Agrega malzemesi, beton hacminin % 60-80'ini, ağırlığının ise yaklaşık % 80'ini oluşturduğu için betonun bileşimini tayin eden en büyük faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Betonun istenen mukavemet değerlerine sahip olması ise 1. derece deprem kuşağında bulunan bölgemizdeki yapı

sağlamlığını direkt olarak etkilemektedir. Bu nedenle, uygun bir agreganın sahip olması gereken özellikleri ve agreganın betonda sağladığı işlevleri incelemekte fayda bulunmaktadır.

2. AGREGANIN GENEL ÖZELLİKLERİ

Agrega, birinci şart olarak dayanıklı olmalıdır. Rutubet ve sıcaklık değişiminden dolayı hacim değişikliği göstermemelidir ve dona karşı dayanıklı olmalıdır. Ayrıca agregalar kolay aşınmamalıdır. Eni, boyunun 1/5'inden daha fazla olan ince, uzun agregalar daha kolay kırılacakları için beton dayanımını düşürmektedir. Bu yüzden, beton

agregasında ağırlıkça % 15'den fazla ince, uzun kısım bulunması istenmeyen bir durumdur.

Bunun dışında, agregalar, silt, mika, kömür, talaş parçaları, kimyasal tuzlar, killi topraklar ve organik maddeler gibi yabancı maddeler içermemelidir. Bu elemanlar, agreganın mukavemetini düşürecek için çimento ile agreganın iyi bağlanabilmesini engelleyecektir.

3. AGREGANIN BETONDA SAĞLADIĞI İŞLEVLER

Agreganın, beton kapsamında üstlendiği görevler şu şekilde sıralanabilir:

√ Betonun dış etkilere karşı direncini sağlayacak iskeleti oluşturur.

√ Kuruma büzülmesini (çimento hamurunda kapiler boşluklardaki kimyasal olarak bağlanmamış suyun zamanla buharlaşmasıyla hamurun hacimsel deformasyonu) önemli ölçüde azaltır.

√ Tane dağılımı (granülometrik eğrisi), tane geometrisi ve yüzey pürüzlülüğü gibi üstünlükleri ile betonun doluluk oranını yükseltir.

√ Betonun aşınmaya karşı direnç göstermesini sağlar.

4. BETON AGREGALARININ SEÇİMİNDE DİKKATE ALINACAK KRİTERLER

Dere yataklarından temin edilen doğal kökenli agregalar çoğunlukla yuvarlak şekilli olup, özellikle aktif şekilde akan derelerden çıkarılan çakıl ve kumlar, beton üretiminde daha çok tercih edilmektedir. Derelerden çıkarılan karışık agregaların yüzey nemleri kesinlikle hassas biçimde belirlenmeli ve beton tasarımı için karışıma girecek su miktarında bu nicelik göz önünde tutularak gerekli düzeltmeler yapılmalıdır. Agregalardan beton için istenen petrografik özellikler incelenecek olursa; global olarak yassı ve uzun tanelerin karışım içindeki payı ne kadar az ise tane şekli açısından agrega o kadar iyidir. Yassı ve uzun agregaların kompasitesi düşük olduğundan ötürü arzu edilen işlenebilirlik için gerekli su miktarı fazla olmaktadır. Köşeli ve yüzeyi pürüzlü agregaların kullanımı durumunda ise agrega ile çimento arasındaki yapışma çok sağlam olmaktadır. Ancak, bu tür agregalarla üretilen betonların işlenebilirliği,

yuvarlak agregalı karışımlara nazaran daha zor olmaktadır. Yine de, yüzey özelliği düzgün olan çakılın çimento hamuruna adheransı en düşük olacağı için özellikle çekme gerilmesine maruz kalacak betonlarda bu durum dezavantaj yaratmaktadır.

Agrega yüzeyi fiziksel olarak sert bir cisim yardımıyla (çakı, çivi gibi) çizilemiyorsa, agrega yüzey aşınma derecesi avantajlı olarak adlandırılabilir. Buna ek olarak, mukavemet yönünden beton yapımında düşünülen agrega hemen uflanmamalı ve üzerine çekiç ile vurulduğunda kof bir ses vermemelidir. Agregaların aynı zamanda homojen bir renk sergilemesi ve farklı aliterasyon zonları içermemesi de betonlarda talep edilen bir başka özellik olarak karşımıza çıkmaktadır. Agregaların beton yapımında rahatlıkla kullanılabilmesi için özgül ağırlıkları $\geq 2,6$ olmalıdır. Su ile temas ettiğinde yüzeylerde bir çözünme ve dağılma gözlemlenmemelidir. Hafif yapı elemanları dışındaki normal ağırlıklı beton karışımlarında agreganın su emme kapasitesi daima % 1,5-2'den küçük olmak zorundadır (Erdoğan, 1995).

5. MATERYAL VE YÖNTEM

Agreganın beton üretimine sağladığı katkılar ve beton agregalarının seçiminde dikkate alınacak kriterler incelendikten sonra sıra farklı orijinli agregaların beton kalitesi üzerindeki etkilerini araştırabilmek için deneysel çalışmaların yapılmasına gelmiştir.

Söz konusu amaç için kullanılmak üzere 3 ayrı bölgeden toplamda 4 farklı karakterde agrega numunesi temin edilmiştir. Bu numunelerden ilk 2'si Turgutlu bölgesi akarsu kökenli bir ocaktan alınan yıkanmış ve tüvanan haldeki agregalardır. Sonraki 2 numune ise Bursa-Iğdır köyü kireçtaşı ocağından alınmış yıkanmış agrega ve yine Bursa-Armutlu köyünden alınmış volkanik kökenli bazalt agregasıdır. Çalışmanın bundan sonraki kısmında Turgutlu'dan alınan tüvanan ve yıkanmış numuneler için sırasıyla "numune 1" ve "numune 2", Iğdır köyü yıkanmış ocak agregası için "numune 3", Gemlik kökenli bazalt agregası için ise "numune 4" isimlendirmeleri kullanılacaktır.

5.1. Agregaya Uygulanan Testler

Burada betonun bileşimine girecek olan agregaların uygunluğunu saptamak üzere TSE tarafından belirlenen standartlar çerçevesinde öncelikle laboratuarda aşağıdaki deneyler yapılmıştır.

- Elek analizi deneyi
- Su emme deneyi
- Özgül ağırlık tayini deneyi
- Yüzey nemi oranının tayini deneyi
- 0,074 mm'lik elekten geçen malzeme miktarı tayini
- İnce madde oranı tayini
- Hafif madde oranı tayini
- Dona dayanıklılık deneyi
- Aşınmaya dayanıklılık deneyi
- Organik kökenli madde tayini
- Yeterlilik deneyi

Elek Analizi Deneyi: Her 4 numune için elek analizi yapılmış ve agrega numuneleri +25 ile -0,25 mm arasındaki fraksiyonlara bölünerek ağırlıkça sınıflandırılmışlardır. Buna göre 4,75 mm'lik eleğin kümülatif elek altı baz alınarak granülometrik eğriler çizilmiştir. Sonuçta, Numune 1 için bu fraksiyonun altında kalan malzeme miktarı ağırlıkça % 34,51; Numune 2 için % 32,00; Numune 3 için % 33,72 ve Numune 4 için % 29,85 olarak hesaplanmıştır. Bu verilerin ışığında çizilen granülometrik eğrilerinin TS 706'ya göre belirlenen sınırlar içinde kaldığı tespit edilmiştir.

Su Emme Deneyi: Bu deney, beton karışımında yer alacak olan su ve agrega miktarının hesaplanması için yapılmıştır. Beton karışımında en önemli parametre bilindiği gibi su/çimento oranıdır. Bu bağlamda numuneler önce suya doygun hale getirilerek tartılmıştır. Daha sonra ise 105^o C lik etüvde kurutularak bünyedeki tüm nemin uçması ve kütlenin sabit bir değere düşmesi sağlanmıştır. Bu

çalışmaların sonucunda iri ve ince tane fraksiyonlarındaki su emme oranlarındaki değişim Çizelge 1'de izlenmektedir.

Her ne kadar Numune 3 yüksek değerler arz etse de, bu değerler, bir önceki bölümde verilen sınırların içinde kalmaktadır.

Özgül Ağırlık Tayini: Piknometre deneyleri, öğütülmüş (-200 mm) ve etüvde kurutulmuş numune parçaları üzerinde uygulanmıştır. Numune 1'in özgül ağırlığı 2,62; Numune 2'nin özgül ağırlığı 2,65; Numune 3'ün özgül ağırlığı 2,63; ve Numune 4'ün özgül ağırlığı ise 2,9 olarak bulunmuştur. Özgül ağırlıkları 2,60 dan büyük agregalar beton üretimi için uygun olarak görülmekte olup, optimal aralık TS 35262'ye göre 2,6-2,9'dur. Tüm bu bulunan değerler belirtilen sınırlar içinde kalmaktadır.

Yüzey Nemi Oranının Tayini: Burada bulunacak olan yüzey nem miktarı, karma suyu miktarından çıkarılarak net su miktarının ortaya konması açısından önem arz etmektedir. Yüzey nemi oranları tane iriliği ile ters orantılı bir ilişki içinde olup, Numune 1 için % 0,10-0,35; Numune 2 için % 0,08-0,26; Numune 3 için % 0,08-0,27; Numune 4 için % 0,06-0,20 aralıklarında yüzey nemi oranları bulunmuştur.

0,074 mm'lik Elekten Geçen Malzeme Miktarı Tayini: Bu deney, numunenin yıkılarak içindeki kil ve silt yüzdelerinin ortaya konması açısından önemlidir. TS 3530'a göre söz konusu elekten geçen malzeme için sınır değerler ince agregalarda % 3, iri agregalarda % 10 olarak belirtilmektedir. Çizelge 2 incelenecek olursa, Numune 1 dışındaki örnekler sınırlar içinde kalırken, 1 no'lu numune ile yapılması olası betonda karma suyu miktarının artırılması gerekecektir.

Çizelge 1. Agrega Numunelerinin Su Emme Oranları (%)

Tane iriliği (mm)	Numune 1	Numune 2	Numune 3	Numune 4
31,5-25	0,70	0,17	0,60	0,17
25-12,5	0,75	0,27	0,95	0,24
12,5-4,75	0,99	0,29	1,01	0,17
-4,75	0,97	0,37	1,51	0,23

Çizelge 2. 0,074 mm' lik Elekten Geçen Malzeme Miktarı

Tür	% Ağırlık
Numune 1	10,11
Numune 2	9,19
Numune 3	8,52
Numune 4	7,01

İnce Madde Oranı Tayini: İnce maddeler, agregatanelerine yapışık olarak bulunan yıkanabilir maddelerdir. Bir başka deyişle 0,063 mm'lik elekten geçen malzeme olarak da tanımlanır. Elimizdeki örnekler için TS 1114'e göre izin verilen ağırlıkça maksimum ince madde limiti % 3'tür. Bu tayinler sonucunda 1 no'lu Numune standartların oldukça üstünde sonuçlar vermiştir (~ % 5). Bu numune ile yapılabilecek betonda yapışmış ince maddeler yüzünden, adherans, dolayısıyla direnç azalacaktır.

Hafif Madde Oranı Tayini: Betonun dayanımını olumsuz etkileyen ve betonda renk değişikliklerine sebep olan, yoğunluğu 2,0 gr/cm³'ten küçük olan maddelerin tayininde ortalama özgül ağırlığı 2,0 olan deney sıvısı (NaCl_{aq}) kullanılmıştır ve Çizelge 3'teki sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 3. Numunelerin Hafif Madde Oranları (% Ağırlık)

Tane iriliği (mm)	Numune 1	Numune 2	Numune 3	Numune 4
4-9,51	0,39	0,01	0,04	0,04
2-4	0,47	0,01	0,06	0,04
1-2	0,55	0,06	0,31	0,11
0,5-1	0,69	0,11	0,31	0,13
0,25-0,5	0,74	0,19	0,40	0,15

Çizelge 4, agregadaki hafif madde sınırdeğerlerini veren referans tablo olarak ele alınırsa, 2,3 ve 4 no'lu numuneler hafif madde açısından sınırlara dahil olsalar da, Numune 1'in ince fraksiyonları standartları sağlayamamaktadır.

Çizelge 4. Agregada Hafif Madde Limitleri (Yılmaz et al., 1999)

Agrega Sınıfı	%
İnce agregat için beton yüzey görünümünün önemli olduğu haller	0,5
Diğer bütün betonlarda	1,0
İri agregat için	0,5-1,0

Dona Dayanıklılık Tayini: Na₂SO₄ tuzunun % 20'lik sulu çözeltisinin hazırlanmasıyla numunelerin dona karşı dayanımları ölçülmeye çalışılmıştır. Buna göre numunelerin don kayıpları yüzde cinsinden Çizelge 5'teki gibi bulunmuştur.

Çizelge 5. Don Kayıpları Verileri (%)

Tane iriliği (mm)	Numune 1	Numune 2	Numune 3	Numune 4
9,51-12,5	4,11	3,06	1,7	1,5
4-9,51	6,92	5,16	2,2	2,1

Don kaybı oranlarının tümü TS 706'da verilen dona dayanıklılık sınır değerlerinin çok altında seyretmektedir (max. % 15,0).

Aşınma Oranı Tayini: Numunelerden 2,5 kg lık temsili alt numune ayrılarak, bunlar, içinde 12 bilçe bulunan tamburun içine konmuş ve 500 devir yapmaları beklenmiştir. Bunun sonucunda aşınma oranları Numune 1 için % 24,0; Numune 2 için % 22,0; Numune 3 için % 21,50; Numune 4 için % 17,6 olarak kaydedilmiştir. Standartlara göre malzeme aşınma oranının 100 devir sonunda ağırlıkça % 10'unun, 500 devir ve 1000 devir sonunda % 50'den fazlası olması istenmez. Dolayısıyla, tüm ürünler aşınmaya karşı dirençli olarak gruplandırılabilir.

Organik Kökenli Madde Tayini: Tüm numuneler üzerinde yapılan deneyler sonucunda numunelerin % 3'lük sodyum hidroksit çözeltisinde 24 saat bekletilmesinden sonra standarttaki referans rengiyle yapılan kıyaslamada çözeltinin, 1 no'lu referans renginde olduğu gözlenmiştir. Bu durumda, numuneler herhangi bir zararlı madde içermektedir.

Çizelge 6. Numuneler İçin Yeterlilik Oranları (% n)

Yüklemeye Türü	Referans Beton	Numune 1	Numune 2	Numune 3	Numune 4
Kırılma Yüğü (kg)	56700	46097	50038	50956	51977
Tek Eksenli Basınç Dayanımı (kg/cm ²)	252,00	204,88	222,39	226,47	231,51
Yeterlilik Oranı	100	81,30	88,25	89,87	91,67

Yeterlilik Deneyi: Bu deney, tane dayanımı, zararlı maddeler, ince maddeler ve zararlı organik maddelerin varlığından kuşkulu durumlarda uygulanmaktadır. Deneyde kullanılmış olan beton numuneleri, daha önce TS 706'ya uygun agregalardan aynı reçete ile yapılmış bir referans beton ile karşılaştırılmaktadır. Burada kullanılan beton numuneleri 15 cm'lik kübik numuneler olup, kategori olarak BS 20 beton sınıfına girmektedir. Testlerde yükleme hızı 680 kg/s olarak alınmıştır. TS 706 uyarınca; yeterliliği belirlenecek olan betonun tek eksenli basınç dayanımı, referans betonun basınç dayanımının % 85'inden daha yüksek olmak zorundadır. Burada sadece, tüvanan halde olan akarsu kökenli Numune 1 yetersiz kalmaktadır (Çizelge 6).

5.2. Beton İle Yapılan Deneyler

Farklı özellikteki agregaların beton içerisindeki davranışlarını belirlemek ve betonların mukavemetini yorumlayabilmek için söz konusu 4 farklı örnek ile üretilen beton numuneleri 9 ayrı koşul altında tek eksenli basınç dayanımı testine tabi tutulmuştur. Bu deneyler için BS 25 sınıfında 15 cm boyutunda ve küp şeklinde beton numuneler hazırlanmıştır. Araştırmış olduğumuz değişkenlerin uygun bileşimini bulmak için deneylerin ilk 5 tanesinde su/çimento oranları değiştirilip beton mukavemet değerleri incelenmiştir. Diğer 4 deney ise sabit bir su/çimento oranında beton içeriğindeki agrega tane boyutlarının bileşim miktarlarının önemini anlamaya yönelik olarak yürütülmüştür. Dökülen beton 1 gün sonra kalıplardan çıkarılarak su içinde bekletilmiş ve anılan deneyler 7 gün ve 28 gün sonunda olmak üzere 2 kez tekrar edilmiştir. Tek eksenli basınç dayanımı testlerinde kullanılmış olan deney değişkenleri Çizelge 7'de özetlenmiştir.

Çizelge 7. Deney Değişkenleri (Akpınar, 2002)

Deney No	Değişken Parametre	Su/Çimento Oranı (%)
1	Referans Deney	69,05
2	Çimento miktarı % 10 artırıldı	62,77
3	Çimento miktarı % 20 artırıldı	57,54
4	Çimento miktarı % 10 azaltıldı	76,72
5	Çimento miktarı % 20 azaltıldı	86,31
6	(0-4,75 mm) % 10 azaltıldı, (4,75-9,51 mm) % 5 artırıldı, (9,51-19 mm) % 5 artırıldı.	69,05
7	(0-4,75 mm) % 10 artırıldı, (4,75-9,51 mm) % 5 azaltıldı, (9,51-19 mm) % 5 azaltıldı.	69,05
8	(0-4,75 mm) sabit, (4,75-9,51 mm) % 10 azaltıldı, (9,51-19 mm) % 10 artırıldı.	69,05
9	(0-4,75 mm) sabit, (4,75-9,51 mm) % 10 artırıldı, (9,51-19 mm) % 10 azaltıldı.	69,05

Çizelge 8. 7 Gün Sonundaki Tek Eksenli Basınç Dayanımları (kg/cm²)

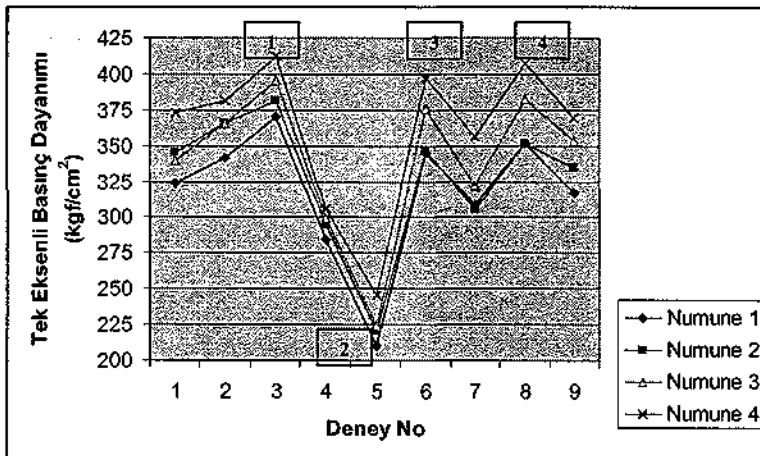
Deney No	Numune 1	Numune 2	Numune 3	Numune 4
1	234,21	246,65	251,7	264,21
2	245,33	255,68	256,75	278,13
3	262,70	274,65	284,56	287,29
4	198,80	209,47	218,20	219,08
5	151,96	157,40	159,12	178,54
6	253,49	262,16	274,8	396,7
7	222,64	237,21	237,16	243,48
8	265,51	274,75	283,20	286,10
9	225,51	231,40	246,20	256,95

Çizelge 9. 28 Gün Sonundaki Tek Eksenli Basınç Dayanımları (kg/cm²)

Deney No	Numune 1	Numune 2	Numune 3	Numune 4
1	323,21	345,31	339,8	372,54
2	341,00	365,26	365,60	381,40
3	370,10	381,46	395,22	411,69
4	284,34	295,01	299,16	305,75
5	210,41	220,27	224,17	245,68
6	345,21	346,84	376,14	396,70
7	309,10	305,38	321,80	356,19
8	351,4	351,46	381,92	407,79
9	316,76	334,8	353,8	369,11

7 gün sonunda ve 28 gün sonunda elde edilen dayanım sonuçları Çizelge 8 ve 9'da verilmektedir. Yukarıdaki deney sonuçlarına ve Yılmaz et al, (1999) tarafından hazırlanan Beton Hedef Mukavemeti Değeri çizelgesine göre, B25 sınıfındaki bir beton için dayanım değeri en az 310 kg/cm² olmak zorundadır. Bu nedenle, betonun belli

bir süre bekletilip 28 gün sonunda basınç deneylerine maruz kalması mukavemet açısından daha sağlıklı sonuçlar verecektir. 28 gün sonunda yürütülen tek eksenli basınç dayanımı deneylerinin sonuçları tüm numuneler ve deney koşulları için birleştirilmiş halde Şekil 1'e yansıtılmıştır.



Şekil 1. Tek Eksenli Basınç Dayanımlarının Değişimi

Bu grafiklerde en dikkat çekici nokta, her deney koşulu altında 4 no'lu bazalt numunesinin en yüksek dayanıma sahip olduğudur. Yukarıdaki grafik ekstremum değerler gösterdiği yerlerde 4 ayrı zona bölünerek incelenebilmektedir.

1 no'lu zon, çimento miktarının % 20 artırıldığı, dolayısıyla, su/çimento oranının % 57,54'e çekildiği 3. deneye karşılık gelmektedir. Doğal olarak betondaki çimento malzemesi arttığı için betonun dayanımı da pik değerlere ulaşmış gözükmektedir.

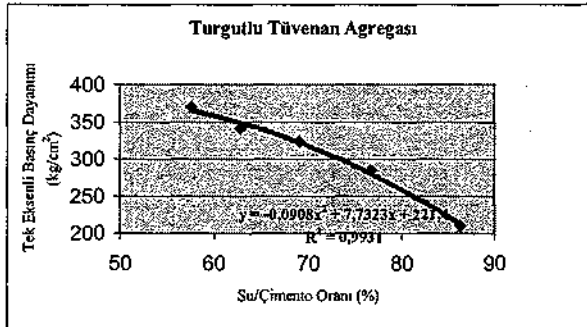
2 no'lu zon ise tüm numunelerin hemen hemen aynı davranışı gösterdiği bir bölgedir. Bu zonda çimento miktarı % 20 azaltılarak, su/çimento oranı % 86,31 seviyelerine çıkmıştır. Her bir numunenin dayanım miktarları referans deneye göre % 34,05-36,21 arasında büyük düşüşler göstermiştir.

3 no'lu zon 6. deneye karşılık gelmekte olup, burada ince malzeme fraksiyonu (0-4,75 mm)

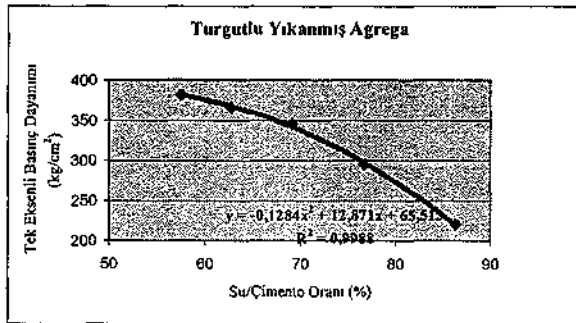
azaltılarak bunun beton mukavemetine etkisi araştırılmaya çalışılmıştır. Beton içindeki ince ve veya hafif maddelerin uzaklaştırılmasıyla, tek eksenli basınç dayanımının arttığı gözlenmiştir.

4 no'lu zon ise Deney 8'e karşılık gelip, bu bölgede ikinci en yüksek dayanım değerleri elde edilmiştir. Burada ince malzeme miktarı sabit tutulurken, ara malzeme (4,75-9,51 mm) azaltılmış, aynı anda iri malzeme de (9,51-19 mm) artırılmıştır. Mukavemet açısından Deney 3'e yakın olmasından ve aynı zamanda çimento ilavesi gerektirmemesinden ötürü beton üretiminde daha ekonomik bir çözüm vermektedir.

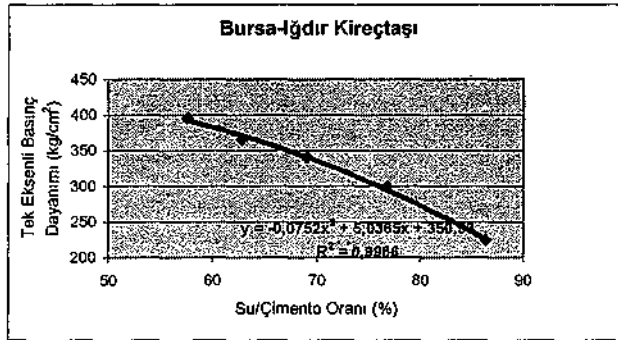
Bunun yanında, tek eksenli basınç dayanımı ile su/çimento arasındaki ilişkiyi veren grafikler ise her numune için ilk 5 deney göz önüne alınarak ortaya konmuş ve her bir numune için sırasıyla korelasyon oranları Şekil 2-5'de sunulmuştur.



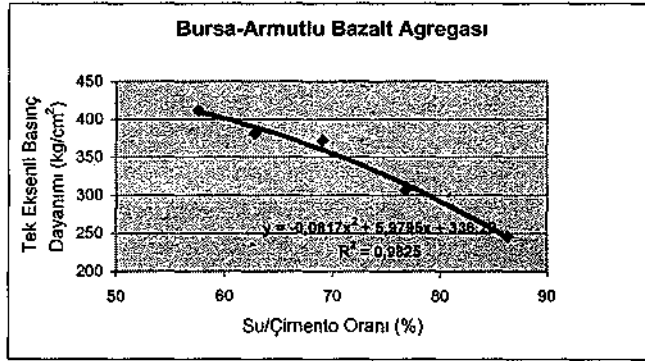
Şekil 2. Numune 1 İçin Su/Çimento Oranı-Dayanım İlişkisi



Şekil 3. Numune 2 İçin Su/Çimento Oranı-Dayanım İlişkisi



Şekil 4. Numune 3 İçin Su/Çimento Oranı-Dayanım İlişkisi



Şekil 5. Numune 4 İçin Su/Çimento Oranı-Dayanım İlişkisi

Şekiller 2-5 incelenecek olursa çimento miktarının azalmasıyla betonun mukavemeti arasında çok güçlü bir korelasyon mevcuttur ($R^2 \approx 1$). Bunun nedeni doğal olarak bağlayıcı madde olan çimentonun taneler arasındaki boşluğu tamamen doldurması ve taneleri birbirine yapıştırarak dayanımı artırmasıdır.

6. SONUÇLAR

Bilindiği üzere Türkiye, çok ciddi depremlerin meydana geldiği ve gelebileceği kuşak içinde yer almaktadır. Bu durum da, inşaat mühendislerini ve müteahhitleri yapılarda daha sağlam malzeme kullanmaya yöneltmektedir. Bu bağlamda yürütülen çalışmamız kapsamında ülkemizde 3 ayrı bölgeden alınan 4 tür agrega numunesi üzerinde agrega için standartlara uygunluk ve yeterlilik, beton için ise

mukavemet deneyleri gerçekleştirilmiştir. Tüm numuneler 28 gün sonundaki tek eksenli basınç deneylerinde tatmin edici sonuçlar verseler de en dayanımlı beton, bazalt agregasından yapılan üretim sonucunda karşımıza çıkmaktadır. En düşük dayanım ise akarsu kökenli ve tüvanan haldeki Turgutlu agregası için elde edilmiştir. Oysa, sadece basit bir yıkama ile oluşturulan 2 no'lu Numune ile de oldukça iyi dayanım değerleri elde etmek mümkün olmaktadır. Birleştirilmiş mukavemet grafikleri incelendiğinde maksimum dayanım zonlarının, çimentonun artırıldığı veya agrega içindeki ince malzeme miktarının azaltılırken nispeten iri malzeme miktarının fazlaştığı deneylere karşılık geldiği görülmektedir. Her ne kadar çizilmiş olan korelasyon grafikleri, çimentonun artırılması ile doğru orantılı şekilde dayanım miktarının da artış gösterdiğini gözler önüne serse de, bu durum aynı zamanda beton

dökme maliyetini yükseltecektir. Optimal amaç makul bir maliyette en dayanımlı betonu elde etmek olduğuna göre, salt çimento eklemekten ziyade agreganın bileşimindeki malzeme fraksiyonları ile oynanarak da sonuçta dayanıklı ve maliyeti yüksek olmayan bir beton üretilmiş olacaktır.

KAYNAKLAR

- Akpınar, A.Ş., 2002. *Değişik Kaynaklı Agregaların Beton Kalitesi Üzerindeki Etkisinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, DEÜ Fen Bil. Enst., İzmir, 43-98.
- Albayrak, H.F., 1988. *Beton Cep Kitabı*, Hazır Beton Birliği Yayınları, Ankara.
- Erdoğan, T.Y., 1995. *Betonu Oluşturan Malzemeler-Agregalar*, Hazır Beton Birliği Yayınları, Ankara.
- Yılmaz, A.O., Arnoğlu, E., & Arnoğlu, N. 1999. *Çözümlü Beton-Agrega Problemleri*, İstanbul.
- Türk Standartları Enstitüsü Kurumu, 1980. *Beton Agregaları-TS 706*, Ankara.
- Türk Standartları Enstitüsü Kurumu, 1980. *Beton Agregalarının Yüzey Nemi Oranı Tayini-TS 3523*, Ankara.
- Türk Standartları Enstitüsü Kurumu, 1980. *Beton Agregalarında Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini-TS 3526*, Ankara.
- Türk Standartları Enstitüsü Kurumu, 1980. *Beton Agregalarında İnce Madde Oranı Tayini-TS 3527*, Ankara.
- Türk Standartları Enstitüsü Kurumu, 1980. *Beton Agregalarında Hafif Madde Oranı Tayini-TS 3528*, Ankara.
- Türk Standartları Enstitüsü Kurumu, 1980. *0,074 mm'lik Elekten Geçen Malzeme Tayini-TS 3530*, Ankara.
- Türk Standartları Enstitüsü Kurumu, 1981. *Beton Agregalarında Dona Dayanıklılık Tayini-TS 3655*, Ankara.
- Türk Standartları Enstitüsü Kurumu, 1973. *Beton Agregalarında Organik Kökenli Madde Tayini-TS 3673*, Ankara.
- Türk Standartları Enstitüsü Kurumu, 1981. *Beton Agregalarında Aşınmaya Dayanıklılık ve Aşınma Oranı Tayini-TS 3694*, Ankara.
- Türk Standartları Enstitüsü Kurumu, 1983. *Beton Agregalarında Yeterlilik Deneyi-TS 3821*, Ankara.

Bayer- $\text{Al}(\text{OH})_3$ 'in Kalsiyum Alüminat Çimentosu Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması

T. Çiçek

Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir

A. Altun

Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Böl., İzmir

İ. Cöcen

Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir

ÖZET: Bu çalışmada reaktif alumina-kalsit karışımından üretilmiş kalsiyum alüminat (CA) çimento örnekleri, $\text{Al}(\text{OH})_3$ -kalsit karışımlarından elde edilmiş olanlar ile karşılaştırılmıştır. Hammadde karışımları alçak basınçta silindirik numuneler şeklinde preslenmiş ve 1350, 1400, 1450 ve 1500 °C sıcaklıklarda sinterlenmiştir. Pişirilmiş numuneler 3300- 4400 cm^2/g (BLAINE) inceliğine porselen bir laboratuvar değirmeninde öğütülmüştür. Çimento örneklerinin fiziksel ve mekanik özellikleri tespit edilmiştir. Bu çalışmada Bayer- $\text{Al}(\text{OH})_3$ ve kalsit kullanarak % 71 Al_2O_3 içeren CA çimentosunun yapılabilirliği kanıtlanmıştır.

ABSTRACT: In this study, samples of Calcium Aluminate (CA) cements produced from reactive alumina and calcite were compared with those samples produced from Bayer - $\text{Al}(\text{OH})_3$ and calcite. The raw material mixtures were formed under light pressure into cylinders and sintered at 1350, 1400, 1450 and 1500 °C. The fired samples were ground to 3300-4400 cm^2/g Blaine in a laboratory ceramic mill. The physical and mechanical properties of the cement samples were determined. The results of this study suggest that the production of CA - cements containing 71 % Al_2O_3 was possible using Bayer- $\text{Al}(\text{OH})_3$ and calcite as raw materials.

1. GİRİŞ

Günümüzde, yüksek alumina içerikli çimentoların refrakterbeton üretiminde bağlayıcı olarak kullanılmaları oldukça önem kazanmıştır. Refrakter beton üretimindeki trend yüksek yoğunlukta, kararlı ve uzun ömürlü malzemeleri daha az bağlayıcı ile üretmektir.

CA çimentolarının üretiminde kullanılan boksitin yüksek oranda Alumina içermesi, demir ve silis oranlarının da çok düşük olması istenir. Eğer SiO_2 oranı % 2 nin üzerinde olursa elde edilen çimentoda Gehlenit oluşur ve çimentonun refrakterlik özelliğinde azalma olur. Bu sebepten çok düşük oranda silis ve demir içeren boksitler CA çimentosu üretimi için en uygun hammaddelerdir. Aynı kalite şartları üretimde kullanılacak kalker için de geçerlidir. Ayrıca, sinterlemede kullanılan yakıtın külünde bulunan silis ve demire de dikkat etmek gerekir (SCRIVENER,2001; ROBSON, 1961; SAWKOW 1993; MOHMEL ve ark. 1999).

Bayer prosesinde boksitten basınçlı sıcak NaOH liçi ile çok miktarda saf alumina elde edilmektedir. Bu proseste çözelmiş silis sodyum alumina silikat olarak çökeltilir. Çözünmeyenler (kırmızı çamur) sodyum alüminat çözeltisinden filtre edilerek uzaklaştırılır. Sodyum alüminat çözeltisi soğutularak $\text{Al}(\text{OH})_3$ çökeltilir. Daha sonra $\text{Al}(\text{OH})_3$ fırınlarda kalsine edilerek saflaştırılmış Al_2O_3 elde edilir. Bayer- $\text{Al}(\text{OH})_3$ oldukça saf bir ara ürün olup eser miktarda Fe_2O_3 , TiO_2 ve SiO_2 gibi safsızlıklar içerir.

Bu özelliklerinden dolayı Bayer- $\text{Al}(\text{OH})_3$ nispeten ucuz bir ara ürün olarak, yüksek kalitede CA çimentosu üretiminde kullanılabilir. CA çimentolarında bulunan başlıca fazlar CA, C_{12}A_7 ve CA_2 dir. Bu çimentoların hidrolik aktivitesi öncelikle CA/ CA_2 ve CA/ C_{12}A_7 oranlarına bağlıdır (SAWKOW 1993; GALTIER ve GUILHOT 1984; FOURNIER ve ark. 1985). Sawkow, yüksek alüminalı CA çimentolarında CA/ CA_2 oranı 20/80 civarında olduğunda çimento dayanımında 1 günde

% 200 bir artış olduğunu tespit etmiştir. Çimentodaki bu basma dayanımı artışı, CA ya nazaran daha aktif olan CA_2 nin çimentonun hidrolik aktivitesine olan olumlu katkısı olarak açıklanmaktadır.

Hidrolik aktivite ayrıca çimentonun inceliğinden ve hidratasyonu etkileyen katkı maddelerinden de etkilenebilir. (SAWKOW 1990; MIDGLEY 1990; BIER ve PARR 1996; PARR ve ark. 1998)

Bu çalışmada reaktif alumina (ALCAO) ve kalsit karışımından üretilmiş kalsiyum aluminat (CA) çimento örnekleri, Seydişehir alüminyum fabrikasından temin edilmiş Bayer- $Al(OH)_3$ ve kalsit karışımlarından elde edilmiş olanlar ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada % 71 Al_2O_3 içeren yüksek kaliteli CA çimentosu eldesi hedeflenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Kullanılan hammaddelerin kimyasal analizleri Çizelge 1'de verilmiştir. Bütün hammaddeler bir porselen değirmende %100'ü 45 mikron altına

geçecek incelikte öğütülmüştür. Hammadde karışımları porselen döner bir mikserde hazırlanmıştır. Karışımların homojenliği hazırlanan malzemeden alınan en az 3 örnek üzerine yapılan kızdırma kaybı analizi ile kontrol edilmiştir.

Hammadde karışımları düşük basınçta (<5 MPa) silindirik bir kalıpta şekillendirilmiş ve laboratuvar fırınında 4 °C/dak ısıtma hızında sinterleme sıcaklığına ısıtılmışlardır. Örnekler sinterleme sıcaklığında 2 saat bekletilip, kapalı fırında soğumaya bırakılmışlardır.

Elde edilen sinterlenmiş örnekler (klinker) kırılıp 3300-4400 cm^2/g Blaine inceliğe kadar belirli sürede porselen bir değirmende öğütülmüştür. Çimentoda oluşan fazlar XRD analiz yöntemi ile belirlenmiştir. Çimento örneklerinin priz başlangıç ve sona erme süreleri, basınç dayanımları ASTM standartlarına göre tespit edilmiştir.

Çizelge 1. Hammaddelerin kimyasal analizleri

Kimyasal kompozisyon	Bayer - $Al(OH)_3$ (Seydişehir/Konya) [%]	Reaktif Alumina (ALCAO) [%]	Kalsit, $CaCO_3$ (Muğla) [%]
Al_2O_3	64.65	99.8	0.08
SiO_2	0.015	0.03	0.35
Fe_2O_3	0.015	0.03	0.10
Na_2O	0.3	< 0.1	-
CaO	-	0.03	55.1
MgO	-	0.1	0.35
LOI (1100 °C)	34.4	-	42.7

3. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Çimento örneklerinin hazırlanma şartları, fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir. İlk priz alma zamanı ölçümlerine göre aktif alumina ve kalsitten üretilmiş olan çimento örneği A yüksek bir reaksiyon hızı göstermektedir. Bu kısa priz süresi kısmen bu çimentonun yüksek orandaki inceliğinden kaynaklanıyor olabilir. A örneğinin priz başlangıç süresi 30 dakika ile ticari CA çimentolarında olması gereken zamandan (en az

160 dak.) kısadır ve bu bakımdan standartlara uymamaktadır. Çimento örneklerinden D ve E nin priz başlangıç süreleri standartlara uygundur.

B ve C kodlu çimento örneklerinin priz alma sürelerinin tespitine düşük basınç dayanımı gösterdiklerinden dolayı gerek duyulmamıştır. A kodlu çimentodan yapılmış olan harcın 6 saat sonraki basma dayanımı B ve C çimentolarından yapılmış olanından daha yüksektir. Aradaki fark D ve E çimentoları ile kıyaslandığında daha az

olarak görülmektedir. Aynı trend 24 saatlik basma dayanım değerleri içinde gözlenmektedir.

1500 ve 1450 °C de sinterlenmiş bu örneklerin basınç dayanımlarının düşük çıkması kısmen bu örneklerin özgül yüzey alanlarının diğerlerine oranla düşük olmasına bağlanabilir.

B ve C örneklerinde oluşan yüksek orandaki sıvı faz çok sert yapıda klinker oluşumuna yol açmış ve her örnek için sabit bir sürede yapılan öğütmeyi olumsuz yönde etkilemiştir. Sıvı fazın bu sıcaklıklarda oluşumu muhtemelen Bayer-Al(OH)₃

in içerdiği % 0.3 oranındaki Na₂O ten kaynaklanmış olabilir. 1350 °C de sinterlenmiş örneğin daha yumuşak ve kolay öğütülebilir yapıda olduğu tespit edilmiştir. Bu çimento örneğinin 6 ve 24 saat basınç dayanım değerleri 17.4 MPa ve 38.0 MPa ile istenilen seviyededir.

XRD analizi ile bütün çimento örneklerinde CA ve CA2 fazlarının oluştuğu tespit edilmiştir. B,C,D ve E örneklerinde bu fazların XRD diyagramında gözlenen piklerinin yüksekliği eşit olduğundan fazların oluşumunun 1350 °C de tamamlandığı sonucuna varılabilir.

Çizelge 2. CA- Çimento örneklerinin özellikleri

Çimento örnekleri	A	B	C	D	E	Ticari CA-Çimento
Ham madde karışımı	Reaktif Al ₂ O ₃ + Kalsit	Al(OH) ₃ + Kalsit	Al(OH) ₃ + Kalsit	Al(OH) ₃ + Kalsit	Al(OH) ₃ + Kalsit	-
Al ₂ O ₃ /CaO oranı	71/29	71/29	71/29	71/29	71/29	71 % Al ₂ O ₃
Sinterleme sıcaklığı [°C]	1450	1500	1450	1400	1350	-
Özgül ağırlık [g/cm ³]	3.16	2.97	2.97	2.96	2.98	2.9 – 3.05
Özgül yüzey alanı [cm ² /g] (BLAINE)	4490	3340	3230	3840	4440	3800 - 4400
Priz süresi (vicat iğnesi) [dakika]						
Başlangıç	30	-	-	185	159	160 – 240
Son	165	-	-	230	171	180 – 280
Basınç dayanımı						
6 Saat [MPa]	14.5	4.5	9.4	16.1	17.4	15 – 30
24 Saat [MPa]	54.0	24.8	27.2	38.8	38.0	40 – 55

Bu çalışmanın temel sonuçları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Yüksek kalitede (% 71 Al₂O₃) CA-Çimento üretiminde nispeten ucuz olan ve ülkemizde kolaylıkla temin edilebilen Bayer- Al(OH)₃ ve kalsit kullanılabilir.
- Seydişehir Alüminyum fabrikasının ara ürünü olan Al(OH)₃ CA- Çimento üretimi için uygun bir malzemedir. Bu malzemenin içerdiği Na₂O 1450 °C den daha yüksek sinterleme sıcaklıklarında sıvı faz oluşumunu arttırmaktadır.

- CA - çimento üretiminde Al(OH)₃ – Kalsit karışımları için optimum sinterleme sıcaklığı 1350-1450 °C dir.

KAYNAKLAR

Bier, T. A., Parr, C., *Admixtures with Calcium Aluminate Cements and CAC based Castables*, 28 th Annual South Africa Ceramic Society Symposium, Johannesburg, (1996)

- Fournier, A.A., Lecompte, J.P., Guilhot, B., Soustelle, M., Murat, M., Bachiorrini, A., Negro, A., *Hydratation de l'aluminate monocalcique. I - Influence des écarts de composition*, *Cement and Concrete Research*, Volume 15, Issue 1, p 151-158, (1985)
- Galtier, P.; and Guilhot B., *Conductimétrie, hydratation, réactivité de l'aluminate monocalcique*, *Cement and Concrete Research*, Volume 14, Issue 5, pp. 679-685, (1984)
- Midgley, H. G. *Calcium aluminate cements*, University Press, Cambridge, (1990)
- Mohmel, S., Gessner, W., Mueller D. and T. Bier, *The Influence of Aluminas on the Behavior of CA/CA2 Cements During Hydration and Thermal Treatment*, *Proceedings of 6 th UNITECR*, Berlin, pp.86-89, (1999)
- Parr, C., Revais, C., Bier, A.T., *Calcium Aluminate Cements for Refractory Gunning Applications*, Lafarge, Technical paper, (1998)
- Robson, T.D., *High alumina cements and concretes*, FRIC, M. Ins., France. (1962)
- Sawkow, J., *Investigation of the phase constituents and service properties of high alumina refractory cements*, ZKG Int., Edition B v.66, n 5, (1993) p. 275
- Sawkow, J., *High Aluminate Cements Based on Calcium Aluminate Clinker with Different Phase Compositions and Sintering Degrees*, in H.G. Midgley's papers on calcium aluminate cements, University Press, Cambridge, (1990)
- Scrivener, K.L., *Historical and Present Day Applications of Calcium Aluminate Cements*, proceedings of Int. Conf. on Calcium Aluminate Cements, Edinburgh, UK (2001), pp 3-23

İnşaat Atıklarının Değerlendirilmesi

E. Erdin, A. Alten & T. Tunalı

Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir

ÖZET: İnşaat ve moloz atıkları geri kazanılabilir ve ikincil hammadde olarak kullanılabilir. Bu atıkların geri kazanımı mobil, yarı mobil ve sabit tesisler ile gerçekleştirilebilmektedir. Elde edilen materyaller yol ve bina inşaatlarında kullanılabilir. Bu bildiride, inşaat ve moloz atıklarının geri kazanımı ve AB ülkelerindeki bazı tesisler hakkında bazı bilgiler verilmektedir.

ABSTRACT: Construction and demolition wastes can be recycled and used as secondary raw material. Recovery of construction and demolition wastes can be accomplished by mobile, semi mobile and stabil systems. These secondary raw materials are used for construction of new roads and buildings. In this paper, some information is given about recycling of construction and demolition wastes and some facilities from EU countries.

1. GİRİŞ

Yüksek binalar, yollar, köprüler veya tüneller, metrolar, kanallar gibi her türlü inşaat faaliyetleri ekosistemi belli oranda etkilemektedir. Bu yapıların inşaatı ve sonrasında toprak, su ve hava ortamlarının özellikleri etkilenmekte ve değişmektedir. Bu nedenle, büyük ölçekli bir inşaat projesi ele alındığında tatbikata geçirilmeden önce tümsele etkileri kapsayan Çevresel Etki Değerlendirme raporlarının hazırlanması gerekmektedir.

Büyük ölçekli bir inşaat projesinde madde bilançosunun çıkarılması, çevreyi olumsuz etkileyecek ve bertaraf edilmesi gereken unsurların da belirlenmiş olması anlamına gelecektir. İlk kazma (kepçe) vurulması ile beraber hafriyat toprağı, inşaat molozu gibi bertarafı gereken atıklar oluşacaktır. Oluşan inşaat atıklarının ve molozlarının bertarafında, geri kazanım çok yararlı bir işlem olarak ortaya çıkmaktadır (Eiswirth, M. et al, 1999).

Oluşan diğer atıkların fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenerek, bulundukları ortamda

verebilecekleri reaksiyonlar tahmin edilmelidir. Böylece atıkların bekletildiği, geçici ve nihai depolandığı yerlerde, içindeki maddelerin yüzeysel ve yeraltı sularına olası etkileri öngörülebilir ve alınması gereken önlemler, yapılması gereken işlemler, denetleyici kuruluşlar tarafından işletme prosedürü olarak ortaya konulabilir. Böylelikle su ortamlarının (yüzeysel ve yeraltı suları), atmosferin ve toprağın kirlenmesi, dolayısıyla canlıların sağlıklarının tehdidinin önüne geçilecektir.

Frankfurt yakınlarındaki Lahn-Dill Kreises bölgesinde 140.000 nüfusu olan bir bölgesinde 220.000 ton/yıl ; 100.000 nüfusu olan diğer bir bölgesinde de 85.000 ton/yıl inşaat atığı oluşmaktadır. Ara depolama ve işleme tabi tutup inşaat ürünlerinin hazırlanmasından sonra kalan atıklar hafriyat atığı deponisinde ya da inşaat atığı deponisinde depolanmaktadır. Böylece evsel atık deponilerinin kullanım ömürleri uzatılmaktadır (Ferber, K.).

Uygulanan işlemler sırasında;

1. Dolgu maddesi olabilecekler
2. Seramik atıkları
3. Sıva atıkları
4. Doğal taş malzemeler
5. İnşaat katkı maddeleri
6. Demir
7. Çelik
8. Demir türü olmayan metaller
9. İnşaat kalıbı ahşaplar
10. Doğrama ağaçları
11. Elyafli maddeler
12. Kağıt/karton
13. İnşaat tekstili

ve benzeri madde grupları geri kazanılmaktadır.

Düsseldorf mevcut olan inşaat atıkları geri kazanma tesisinde, inert madde ağırlıklı karışımlar (inşaat atıkları, beton atıkları, asfalt atıkları, taş-tuğla atıkları) işlenmekte ve tekrar inşaatlarda ve diğer alanlarda kullanılmaktadır.

Bu tesise gelen atıklar önce ağır ve büyük madde eleğinde elenmektedir. İri kısımlar parçalayıcıya gitmekte, kum hâline gelenler elekten alınmakta ve elekler, ara miktatılar ve yaş ayırma yoluyla (0-45; 0-5; 0-15; 15-45) fraksiyonlarına ayrılıp kullanıma hazır bulundurulmaktadır.

Maddeyi, malzemeyi, enerjiyi koruma, ürün çevrimini sağlama, ekolojik ve ekonomik döngüyü gerçekleştirme felsefesi ve yaklaşımı moloz atıklarının da değerlendirilmesini zorlamaktadır. Enerji ve hammadde korunması çok önemlidir. Sürdürülebilir kalkınma içinde katı atık yasaları ve yönetmelikleri bunu hedeflemektedir. İnşaat atıkları, inşaat molozları bu bağlamda madde akışı yönetmeliği ile tekrar inşaat malzemesi olarak geri kazanılabilir.

İnşaat atıklarının geri kazanımı aşamasında içindeki plastik, ahşap ve tahta gibi malzemelerin ayrılması gerekmektedir. Bu yaş veya kuru ayıklama-ayırma yöntemleri ile sağlanmaktadır. Mümkünse kuru sistem ve yöntemlerle yabancı maddeleri ayırmak ve yüksek kaliteli inşaat malzemesi elde etmek, en uygun ve ekonomik yol olacaktır. Mobil, sermi mobil ve stabil tesisler için bu nedenle kuru sistemi kullanmak çok yerindedir.

2. İNŞAAT ATIKLARININ HAMMADDE OLARAK HAZIRLANMASI TEKNİĞİ

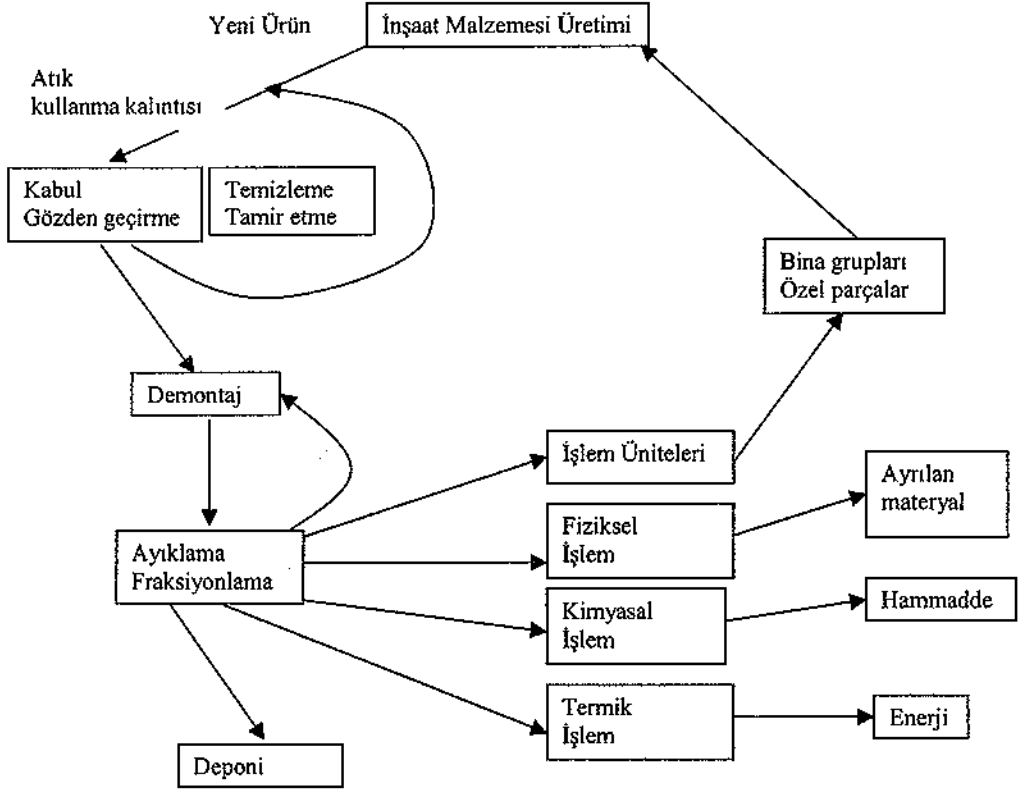
İnşaat faaliyetleri atıklarını, her türlü inşaatı ve faaliyetlerde kullanılan malzeme ve hammaddeleri dikkate alarak sınıflandırmak mümkündür. Çizelge 1'de Almanya'da gerçekleştirilen faaliyetlere göre oluşan atık türleri görülmektedir.

Çizelge 1. 1996 yılı verilerine göre Almanya'da gerçekleştirilen faaliyetlere göre oluşan atık türleri ve miktarları (Hanisch, J., 2000)

Yol bozumu	Moloz	İnşaat yeri atıkları	Hafriyat atıkları	İnşaat ve yıkım ahşabı
% 8	% 26,4	% 2,9	% 62,2	% 0,5
17,6 milyon ton	58,1 milyon ton	6,5 milyon ton	136,0 milyon ton	0,5 milyon ton
Bitümlü maddeler	Toprak	Plastik	Ana toprak	Ahşap
Zifli maddeler	Beton	Kağıt, karton	Kum, çakıl	
Kaldırım taşları	Fayans,	Metel	Tın, kil	
Kum, çakıl	Tuğla	Kablo	Taş, kaya	
Micir	Kiremit	Boyalar		
	Sıva	Yapıştırıcılar		
	Cam yünü			
	Kireç taşı, v.b.			

Şekil 1'de inşaat malzemesi üretim atıklarına uygulanacak işlemler ve sonuçları görülmektedir. Bu şekilden anlaşılacağı gibi inşaat malzemesi üretimi sırasında oluşan atıkların bir kısmı tekrar

üretimde hammadde olarak döndürülebilir. Diğer kısımlarında ikincil hammadde, geri kazanılan maddeler ve enerji elde etmek mümkündür. Değerlendirilemeyen kısımlar ise depolanmaktadır.



Şekil 1. İnşaat malzemesi üretim atıklarına uygulanacak işlemler ve sonuçları (Gesselschaft, F., 1998)

Ülkemizde de son yıllarda eski küçük yapıların, yolların yıkılarak veya bozularak yenilerinin yapılması yaygınlaşmıştır. Bu sırada oluşan molozlar "Moloz-İşleme Merkezlerinde" yeniden işlenerek geri kazanılabilir ve yine inşaat sektöründe kullanılabilir. Bu konudaki teknoloji geliştirme çalışmaları Almanya ve diğer batı ülkelerinde yürütülmektedir.

İnşaat artık kütlesini genelde;

- Hafriyat toprağı
- Yıkım molozları
- Yol bozumu, yenilenme artıkları
- Demiryolu yenilemesinde oluşan çakıllaşları

şeklinde sınıflara ayırabiliriz.

Hafriyat toprağı, yerine göre kum, çakıl, taş, mil, kil, kaya parçaları gibi değişik özelliklerdeki malzemeleri içinde bulundurabilir. İçerdiği malzemelere göre bahçe hazırlanmasında, seddelerde, gürtültü önleme duvarları inşaatlarında, depolama yerleri örtülmesinde kullanılabilir.

Köprü, fabrika, üst yapı, alt yapı inşaatları sırasında inşaat molozları oluşmaktadır. Bunlar içinde toprak, beton, fayans, seramik, sıva, alçı blokları, şişkin kil, odun, kum, plastikler, metal, kağıt, bitüm, zift, boya, yapıştırıcı ve tuğla benzeri malzemeler bulunması

mümkündür. Yol bozumundan oluşan artıklar, yol yapımında kullanılmış olan malzemeye göre değişmektedir. Ayrıca kullanılmış taşıyıcı zemin malzemeleri, bağlayıcı ve örtü maddelerinin türleri de bunu etkilemektedir.

Dünyada sözü edilen maddeleri geri kazanmak, hazırlamak için kullanılan yöntemlerden, teknolojiyen ve ekonomisinden sık sık söz edilmekte bu konudaki teknoloji geliştirilmektedir. Ayrıca işlemin başlangıcından tamamlandığı ana kadar geçen aşamalarındaki faaliyetlerin çevresel etkileri de incelenmekte ve değerlendirilmektedir. Bu geri kazanım tesislerinin bile ÇED (Çevresel Etki Değerlendirmesi) raporlarının olması istenmektedir.

Her türlü inşaat artıklarının geri kazanılması, kaynakları azalan ve mevcut kaynaklarını ekonomik kullanmak, doğayı korumak isteyen gelişmiş ülkelerde yaygın bir şekilde gerçekleştirilmektedir.

3. PENCERE ATIKLARI VE GERİ KAZANILMASI

1994 yılı verilerine göre o yıl içinde Almanya'da 14 milyon eski pencere ($1,69 \text{ m}^2 = \text{pencere birimi}$) yenilenmiştir. %80'i ahşap olan bu eski pencerelerin geri kalanı cam, plastik, lastik, Fermetali ve alüminyumdan oluşmaktadır.

Toplama lojistiği ve değerlendirmede ilk yapılacak iş, oluşacak atık miktarının tahmin edilmesidir. Hesaplanan atığın tamamının geri toplanabilmesi için bir "geri alma lojistiğinin" oluşturulması gerekir. Sonuç olarak oluşan atığın içindeki maddeler geri kazanılır.

4. TEMİZ VE KİRLİ PLASTİK ATIKLAR

PE, PP'den oluşan folyeler, elyaflar, polietilen artıklar SB, ABS polistrol artıkları, PVC artıklarının içindeki metaller ayrıldıktan sonra ince parçalara bölünür. Yıkanan bu parçalar bir ara depolamadan sonra gerektiğinde eritilir ve şok işlemi uygulanır. Otomatik olarak granül haline getirilen bu atıklar kurutulduktan sonra ambalajlanır ve satışa sunulur.

5. AB ÜLKELERİNDE İNŞAAT ATIKLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

1980'li yılların başlarından beri Almanya, Hollanda, Avusturya, İsveç, Macaristan gibi ülkelerde inşaat malzemesi atıkları, çeşitli tesislerde işleme tabi tutularak geri kazanılmakta ve değerli malzeme olarak yeniden kullanıma sokulmaktadır. Aşağıda, işletmede olan bazı tesisler hakkında bilgi verilecektir.

Heilbronner Baustoff – Recycling GmbH:

1984 yılından beri inşaat atıklarından yeni inşaat malzemeleri hazırlamakta ve değerlendirmektedir. 11 Kasım 1984 tarihinden beri Heilbronn'daki tesise aşağıdaki atık türleri gemekte ve işlem görmektedir.

- Asfalt atıkları
- Asfalt – stabilize yol çalışmaları karışımı
- Kırılmış, yıkılmış beton yapılar ve atıkları
- Tuğla, kiremit, siva, taş, çakıl, taşlı moloz, taşlı hafriyat atıkları

Tesise gelen bu atıklardan temiz tekrar kullanılabilir inşaat malzemesi hazırlamak için teslim edilen atıkların temiz olmasına dikkat etmek gerekmektedir. Temiz asfalt atıklar bu tesise ücretsiz olarak kabul edilmektedir. Temiz atıklardan temiz ve maddi değeri yüksek malzeme üretilen bu tesiste, diğer atıklar için bir ton atık başına 1 ila 2 euro arasında değişen ücretler alınmaktadır. Bu atıkların deponide bertaraf edilmesi durumunda ödenmesi gereken ücret daha fazla olmaktadır.

İnşaat atıkları işlem merkezine gelen atıklardan;

- 0 – 16/22 mm recycling asfaltı
- 0 – 56 mm recycling mineral betonu
- 0 – 56 mm recycling dona karşı koruma malzemesi
- Hendek ve kanal dolguları için mıcır
- Dolgu malzemesi
- Geçiş tabakaları malzemesi
- Sedde inşaatı malzemesi
- Kanal dolgu malzemesi
- Zemin stabilizasyonu malzemesi
- Park yerleri malzemesi

- Tarla ve orman yollarında yük taşıyıcı tabaka oluşturulmasında kullanılan malzeme vb. üretilmektedir.

İs Makineleri:

Bu tesiste atıkların hazırlanması amacı ile Çarpmalı Kırıcı Böhlinger RC14 kullanılmaktadır. Bu ekipmanın teknik özellikleri aşağıdaki gibidir;

Rotor : Ø 1250 mm; eni 1420 mm
Besleme konisi : Eni 1140 mm yüksekliği 900 mm
Randımanı : 140 – 200 ton / saat
Enerji / Güç ihtiyacı : 132 – 200 kW
Ağırlığı : 18900 kg

Bunun dışında paletli araçlar, keppeler ve ön elek filtreleri kullanılmaktadır. Dane boyutu 100 mm den büyük olan atıklar parçalayıcıya geri gönderilmektedir. Parçalanmış atıklar elekler yardımı ile 0 – 25 mm ve 25 – 100 mm'lik fraksiyonlara ayrılmaktadır.

Stuttgart – Bad Cannstatt İAİM:

Aralık 1982'den beri inşaat atıkları işlemekte olan bu tesise

- Yol bozumundan gelen atıklar
- Parçalanmış beton yapılar, bloklar
- Border taşları, betonları
- Parçalı kayaçlar, taşlar v.s.
- Çatı malzemesi atıkları
- Alçısız sıva atıkları, yıkılmış duvar atıkları vb. gelmektedir.

Tesise gelen inşaat atıklarının içinde bulunan metal, tahta, ahşap vb. inşaat malzemeleri ayıklanmaktadır. Geri kalan atıklar arka arkaya devreye giren kırıcılar tarafından parçalanmaktadır. Parçalanmış olan atıklar ise elekten geçirilip fraksiyonlarına ayrılarak dane boyutlarına göre depolanmaktadır.

Atık getiren araçlar tesisteki uzman ustalar tarafından ekspertiz edilmekte ve buna göre birim atık ücreti belirlenmektedir. Günde 800 ton dolayında atık işlenebilmektedir.

İAİM'de aşağıdaki malzemeler geri kazanılmaktadır;

- Ön eleme ürünü (0 – 25 mm)

- Don koruma malzeme ürünü (0 – 32 mm)
- Asfalt katkı maddesi (0 – 16 mm)
- Dolgu malzemesi (0 – 100 mm)

Geri kazanılmış inşaat malzemesinin tonu yaklaşık 5 – 8 euro arasında bir fiyatla satılmaktadır.

İs makineleri:

Kleemann + Reiner SHB 12 çarpmalı kırıcısı:

Besleme konisi : 1270 * 850 mm (eni * yüksekliği)
Rotor çapı : 1300 mm
Güç ihtiyacı : 110 – 132 kW
Ağırlığı : 17200 kg

Kleemann + Reiner SPH 8 kırıcısı (Nihai kırıcı) :

Besleme konisi : 820 * 400 mm
Rotor çapı : 1100 mm
Güç ihtiyacı : 75 – 110 kW
Ağırlığı : 8800 kg

Wesermündung Mobil İnşaat Malzemeleri İşleme, Hazırlama Ünitesi:

Kuzey Almanya'da Wesermündung'da mobil çalışan tesis günde 200 ton inşaat malzemesi işlemektedir.

Atığın olduğu yerde işlem yapılması maliyeti düşürmektedir.

"Mobil İnşaat Malzemeleri İşleme, Hazırlama Ünitesi" aşağıdaki ekipmanlardan oluşmaktadır;

- Darbeli vals kırıcılar, (System Klöckner Becaft), taşıyıcı band, keppçe, ön kırıcı, v.b.
- Dizel jeneratörü, 400 kVA enerji temini için (konteyner içinde)
- Demir türü metalleri ayıklamak için mıknatıs ayırıcı
- Tahta, ahşap, plastik v.s. ayıklama amaçlı 100 cm eninde yavaş hareket eden band
- İçindeki organik maddeleri ayırmak için ön eleme ünitesi
- 8 / 150 mm boyutundaki malzemenin taşınması için taşıyıcı
- Esas eleme ünitesi(kaba boyutlarda nihai ürünlerin ayrılması)

- Kaba boyutlu malzemelerin parçalandığı çarpmalı değirmenler
- Değirmende parçalanmış ürünü depoya taşıyan sistem
- İçindeki ahşap parçacıkların ayrılması için elek
- Nihai depolamaya iletim hattı

Bu ünitelerden oluşan sistem mobil olarak her yerde şebeke enerjisine ihtiyaç duymadan çalışabilmektedir. Atık su üretmeden, kuru sistemle çalışmakta ve nitelikli inşaat malzemesi üretmektedir.

Üretilen malzemeler ise;

- 0/8 mm düşük kaliteli dolgu malzemesi
- 0/32; 0/65 mm taşıyıcı tabaka malzemesi
- 32/65 mm demiryolu macını
- Karışık ürünlerdir.

Bu elde edilen malzemeler dolgulama, yataklama, temel dolgu, ara dolgu, zemin iyileştirme, altyapı inşaatı ve yol inşaatlarında stabilizasyon malzemesi olarak kullanılabilir.

İs makineleri:

Klöckner – Becorit Kırıcı Agregatı SB (m) 1265 :

Boy * En * Yükseklik : 11600 * 3000 * 3300 mm

Verim : (Güç): 160 – 250 kW

Yükleme – Besleme konisi genişliği : 1265 mm

Ağırlığı : 37 ton

Atıkların maksimum boyutları : 1200 * 800 * "X" mm

Tır : 3 akslı, 80 km/h

Aks yükü : 26 ton

Berlin Mobil Mobil Moloz İşlem Ünitesi:

Ünite 120 – 180 ton / saat kırma randımanına sahip bir ünite. Ünitenin bağlı olduğu tır 3 akslıdır ve 40 km/h ile hareket edebilmektedir.

Tüm mobil ünitelerde olması gereken ekipmanlar gibi bu mobil ünite de;

- Taşıyıcı bandlar
- Ön eleme
- Darbeli kırıcı
- Aktarıcı, taşıyıcı band

- Güç istasyonu (dizel motoru)
 - 3 akslı tır
- mevcuttur.

Kırıcı Ünitenin Özelliği :

Çarpmalı kırıcı Typ SBM 12 / 12 / 4RH

Rotor : çapı 1280 mm, eni 1220mm

Giriş ağızı : (en * yükseklik) 1260 * 810 mm

Verim : 180 – 200 ton / saat

Berlin'de mobil sistemlerde hazırlanan malzemeler yakın çevrede yol inşaatlarında, alt yapı inşaatlarında, sanayi sahasında, v.b. alanlarda kullanılmakta, pazarlanması sorun olmamaktadır.

Asfalt yolların bozulması, kazılması ve yenilenmesi sonucu oluşan katı atıklarda bu tesislerde işlenip hazırlanarak yeni inşaat malzemesi üretilmekte ve ihtiyaç alanlarında kullanılmaktadır.

Üretilen Ürünün Kontrolü:

İnşaat atıkları ve molozların geri kazanım yoluyla tekrar inşaat alanlarında malzeme olarak kullanımından önce "İşletme İçi Kontrol" ve "Yabancı kontrol" mekanizmalarından geçmesi gerekmektedir. "Yabancı kontrol" mekanizması, ancak yeminli, kabul görmüş, tanınmış kuruluşlar tarafından gerçekleştirilir.

Yabancı kontrol kanunu;

- İşletme öz kontrolünü – Depo – Etiketlerini
- Hazırlama işlemlerini – Depoyu
- Öz kontrolün uygulama şeklini

kontrol eder ve inceler.

Sülfat ve klorür değerleri ölçülür. Sülfat değeri; 50 – 14000 mg/kg, klorür değeri de; 100 – 5000 mg/kg arasında olmalıdır.

İnşaat molozları işlemlerle yeniden kullanılmak için hazırlandığında, geri kazanım malzemesi olarak kullanılmadan önce su kaynaklarına olan etkileri tahmin edilmeli ve gerekli önlemler alınmalıdır.

Mineral maddelerin de malzeme olarak yol inşaatlarında kullanılması sırasında gözden geçirilmesi gerekmektedir. Analiz değerleri ekosistemlerin hassasiyetlerine ters düşmemelidir.

Geri kazanılmış inşaat malzemesi üreten firmalar yılda dört kere kontrol edilmektedir. Çıplak gözle temizmiş gibi görünen molozlar dahi işleme tabi tutulmaktadır.

6. SONUÇLAR

İnşaat ve yıkımlar sırasında geri kazanılabilecek birçok inşaat malzemesi atık olarak çıkmaktadır. Bu atıkların mobil, yarı mobil ve sabit sistemlerle geri kazanımı mümkündür. Geri kazanılan bu maddeleri tekrar inşaatlarda kullanılarak hem çevreci bir yaklaşım göstermek hem de ekonomik açıdan olumlu bir davranış sergilemek mümkündür.

AB ülkelerinde bu amaçla birçok tesis kurulmuştur ve son derece kaliteli malzeme elde edilmektedir. Ülkemizde de bu tip tesislerin kurulması hem ekonomimiz hem de çevremiz açısından son derece olumlu bir yaklaşım olacaktır.

KAYNAKLAR

Drinkgern, G. 1998: *Freundübswachung von Baustoff-Recycling-Anlagen in NRW*. Baustoff-Recycling + Deponietechnik BR. Haft 3, S. 24 – 27. Iffezheim.

Eiswirth, M., et al 1999: *Untersuchungen zur umweltver träglichkeit von Baustoffen um grundwasser*. Wasser Abwasser Proxis Haft 2, S.32 – 38 Wiesbaden. Friedrich – Viewege – Sahn Verlag.

Erdir, E. 1998: Düsseldorf da Firma Westdeutsche baustoff-Recycling GmbH yerinde inceleme ve görüşmeler.

Ferber, K. 1998: *Kreisausschuss des Lahn-Dill* (Kreises İnşaat hafriyatları ve atıkları konsepti: Yerinde inceleme ve görüşmeler)

Gesselschaft, F. 1998: *Systemanalyse und Organisation – der Kreislauf wird geplant*. Industrielle Kreislaufwirtschaft.

Hanisch, J. 2000: *Aktueller Stand der Bauabfallsortierung*. Entsorgungspraxis, EP, Heft 3, S. 11-15.

Tappert, A. 1986: *Wiederver Wendung von Asphalt*. Baustoff-Recycling. Münster.

Horsching, V. 1986: *BR-Bosucht recycling-Anlagen*. Heilbronner Baustoff-Recycling.Baustoff-Recycling Steim-Verlay gmbH-Offenbach

Thomas, J. et al 1999: *Abtrenner von Wertstoffen aus Baunschutt*. EntsorgungPraxis. Heft 12, S. 16 – 20, Wiesbaden.

Kil Tabanlı Seramik Üretiminde Mineralojinin Yeri ve Önemi

A. Aras

M.T.A MAT Dairesi Mineraloji Koordinatörlüğü, Ankara

ÖZET: Kil tabanlı seramik üretiminde mineralojik bileşimin önemini ve yerini, üretilmiş örnek bir kil tabanlı seramik bünayedden ölçülebilen özelliklerle açıklamak bu çalışmanın amacıdır. Bu tür bir bünayenin üretiminde kullanılan üç temel hammadde; killeri, kuvars ve feldispatların "mineral türü ve bağli miktarları" (mineralojik bileşim) massenin hazırlanması, biçimlendirilmesi ve pişirilmesi gibi aşamalarda üretilen son ürünlerin bütün fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlemektedir. Bu temel hammaddeleden olan killerin plastik özelliği "biçimlendirmeyi", feldispatların erime sıcaklığını düşürmeleri "sinterleşmeyi" sağlar iken dolgu hammaddeleri olan kuvars kumu, kalsit ve dolomit ise "iskelet ve gözenekliliğin" oluşmasını sağlamaktadır. Seramik üretme süreçleri; homojen hammaddeyi temini, uygun oranlarda karışımı (reçete) ve hazırlanan karışımın (massenin) biçimlendirilip pişirilmesinden (bünaye) ibarettir. Pişmiş bünayedden ölçülen yoğunluk gözeneklilik, dayanım, renk, pişme ve kuruma çekmesi gibi temel fiziksel özelliklerin mineralojik bileşim ve kendi aralarındaki bağıntılar ölçülen ve hesaplanan değerler ile gösterilmiştir. Bir kaolinitik(HB), bir illitit(KW) kil (kuvars bu kil içinde) ve feldispatların karıştırılarak(HB4, HB3+KW, HB2+KW2, KW+KW3, KW4) pişirilmesinden elde edilen seramik bünyelerde; illitit zengin bünayedde görünür yoğunluklar azalırken maksimum değer HB2+KW2 bünayedde ölçülmüştür kaolinit zengin bünyelerde gerçek yoğunluk ve iskelet yoğunlukları arasındaki fark artmıştır. Yoğunluk farklarından giderek hesaplanan açık gözeneklilik illitit zengin bünyelerde artmış, ancak maksimum HB2+KW2 karışım bünyesinde gözlenmiştir, kaolinit zengin bünyelerde ise kapalı gözeneklilik artmıştır. Ölçülen ve hesaplanan bu değişimler bünye içinde tane boyutu ve dağılımı, topaklanma ve kuvarsın polimorf değişimleri ile açıklanabilir. Bünyelerde açık gözeneklilik hem çok ince tane boyulu kaolinitin topaklanmasından ve kuvarsın polimorf değişimi sonucunda kuvars taneleri içinde, matrix ile sınırlarında ve matrix içinde de olan mikroçatlaklardan oluşmaktadır. Kaolinit zengin bünyelerin kuvars içeriği ancak kapalı gözeneklilik boyutunda bir gözenekliliğin oluşmasına neden olmaktadır. Kaolinit zengin bünyelerde, yüksek elastik modüllerin ölçümünde, gözeneklilik yapısı yanında maksimum müllit oluşumunda etkili olmuştur.

ABSTRACT: The aim of this study is to explain the "role of mineralogical content" by measured properties of raw materials and fired bodies in ceramic production. The mineral species and relative quantity of clays, feldspar and quartz which are the three basic raw materials used in clay based ceramic production are determinative in physical and chemical properties of the end products of three steps. First basic raw materials is clays, and their plastic properties clays provide shaping, second basic raw materials is feldspar and it decreases melting temperature and provides sintering third basic raw materials is quartz. Quartz and the other filler such as calcite and dolomite provide skeletal cage and porosity. Production processes consist of supplying of homogeneous raw materials, mixing of these raw materials and firing. The relationship between the basic physical properties measured from firing bodies and original mineralogical content of bodies is presented and explained in this study. The ceramic bodies, which are produced from mixtures (HB4, HB3+KW, HB2+KW2, HB+KW3, KW4) kaolinitic (HB) and an illitic(KW) clay are fired and their main physical properties are measured. As the illitic clay content increases, apparent density also increases in fired bodies, but the maximum values is measured in intermediate HB2+KW2 bodies, on the other hand

the difference between real and skeletal densities increases with increasing kaolinite content .All these change is explained by grain size, and grain size distribution and aggregation of kaolinite and inversion-conversion change of quartz minerals in green and fired body. Open porosity originated from fracture through the quartz grains, fracture at the grain -matrix interface and fracture extending into the glassy phase. Higher values of closed porosity are observed in kaolinite rich body as result of the low quartz content and high amount of glassy phase and bubbling and blistering within it.

1. GİRİŞ

"Seramik" insanlığın ürettiği en eski yapay malzeme olan "yapay taş" dır. Eski yunanlılar göre toprak su ateş ve havadan oluşmuş ve bu malzemeye yunanca pişmiş madde anlamına gelen "keramos" kelimesinden türemiş "seramik" denmiştir. Temel olarak seramik üretim süreçlerini minerallerin su, ateş ve hava ile olan etkileşimleri ve davranışları belirlemektedir. Eski çağlardan günümüze kadar bu malzemenin üretiminde büyük gelişmeler olmuştur ve bugün seramik hammaddesi olarak doğal minerallerin dışında çok çeşitli ametaler kullanılmaktadır. Bu çalışmanın konusu ise sadece doğal hammaddelerden üretilen ve biçimlendirme kolaylığı sağlayan killerin içinde bulunduğu kil tabanlı seramik üretimi ve bu üretimde mineralojinin yeridir. İlk önce üretilen ve tarih çağları boyunca devam eden bu tür seramik üretimi, endüstri devriminden sonra diğer hammaddeler kullanılarak çok çeşitli kullanım özellikleri olan seramik üretimine evrilerek gelişmiştir. Kil tabanlı seramiklerin üretim süreçlerinde kullanılan doğal hammaddenin aranarak bulunmasından ve temininden son ürünün elde edilmesine kadar her aşamada hammaddelerin mineralojik özellikleri belirleyicidir. Diğer yandan, doğal hammaddelerden üretilen kil tabanlı bünyelerin ısıtma işlemiyle oluşturulan son ürünlerinin, yani pişmiş bünyelerin mikroyapıları; kayaçların özellikle hızlı soğumuş volkanik kayaçların mikroyapılarına çok benzemektedir. Kil tabanlı seramikler amorf camı bir matrix içinde dağılmış, çok az bir kısmı erimiş, iskeleti oluşturan kuvars ve yüksek sıcaklık fazları olarak oluşmuş ikincil mineraller ve gözeneklilikten oluşan bünyelerdir. Bu nedenle bu bünyelerin mikroyapıları hepsi birer seramik ürün sayılabilecek kayaçları inceleyen petrografi ve mineraloji bilimi yöntemleri ile incelenmekte ve belirlenmektedir özet olarak:

- Hammaddenin temini (üretimin en önemli gereksinimi), (mineraloji minerallerin oluşum koşullarını da ortaya koyduğu için aramanın ve işletme yöntemlerin belirlenmesinde en önemli unsurdur)
- Hammadde (mineral özelliklerinin) karakteristiklerinin belirlenmesi,
- Üretim süreci ve kontrolü (yaş-kuru öğütme, granülleşme, biçimlendirme, pişme) (mineral karışımlarının su ve ısıtma işlemleriyle etkileşimini mineral özellikleri belirlemektedir),
- Son ürün; pişmiş bünye mikroyapısının bir sonucu olarak ortaya çıkan fiziksel özelliklerin incelendiği ve geliştirildiği AR-GE çalışmalarında mineraloji temeli oluşturmaktadır.

2. DENEYSEL VE BULGULAR

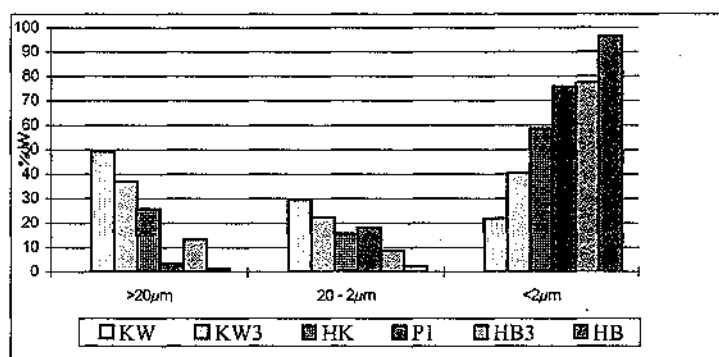
Kaolinitik ve illitik bir kilden hazırlanan bünyelerde:

- Mineralojik Bileşim (Mineral türü ve bağlı miktarı),
 - Kimyasal Bileşim (Alkali element, Safsızlıklar, Organik madde, miktarları),
 - Fiziksel Bileşim (Tane boyu, dağılımı ve şekli),
- aşağıda Çizelge 1, 2 ve Şekil 1 de verilmiştir.

Masse hazırlama: Kaolinit(HB) ve illit(KW) zengin iki kil hammaddesinden HB4, HB3+KW, HB2+KW2, HB+KW3, KW4 oranlarında karıştırılarak hazırlanan karışımlara ayrıca %20 oranında feldispat karıştırılmıştır. P1 bünyesi ise doğal bir illit ve kaolinit karışımından üretilmiştir. Hazırlanan bu bünyelerin mineralojik ve kimyasal ve fiziksel bileşimleri aşağıdaki gibidir.

Çizelge 1. Hazırlanan masselerin kimyasal bileşimleri

Samp Ident.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	T FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	L . O . I	Total
HB(HB4)	45.60	37.76	1,66	0,01	0,49	0,56	0,18	0,91	2,48	0,04	12,59	99,28
HB3(HB3+HB)	52.40	32.35	1,45	0,01	0,46	0,50	0,28	1,3	2,10	0,04	10,3	99,26
HK(HB2+KW2)	59.30	26.30	1,26	0,01	0,40	0,40	0,40	2,02	1,72	0,05	7,95	99,25
KW3(KW3+HB)	66.20	21.49	1,06	0,01	0,40	0,38	0,50	2,53	1,34	0,05	5,90	99,54
KW(KW4)	73.07	16.12	0,87	0,01	0,43	0,33	0,62	3,61	0,97	0,06	3,66	99,22
PI	56,8	28,8	0,93	0,01	0,61	0,28	0,13	3,58	1,1	0,04	7,96	99,26



Şekil -1 Hazırlanan masselerin tane boyu dağılımları

Çizelge -2 Hazırlanan pişmemiş ve pişmiş bünyelerin mineralojik bileşimleri

Örnek Kod	Kaolinit	İlit	K felds	Ca-Na Felds	Quartz	Fe-Ti Min	Mullite	Crist	Cam
HB	72	13	1	..	8	2	20(15)	50(15)	20(60)
HB3	58	17	..	2	18	1	17(10)	15(10)	50(62)
HK	40	20	..	4	31	1	14(10)	5(-)	49(61)
KW3	24	22	..	6	42	..	10(10)	..	48
KW	7	24	..	8	55	..	5(5)	..	40
PI	41	32	2	1	20	1	25(20)	..	54

Yukarıda kimyasal, fiziksel ve mineralojik bileşimleri verilen pişmiş bünyelerden ölçülen;

-Yoğunluk

-Gözeneklilik

-Pişme çekmesi

-Elastik modülü

gibi özellikler aşağıda Çizelge 3'de yer almaktadır.

Çizelge 3. Pişmiş bünye fiziksel özellikleri.

Numune kodu	Pişme Sıc. °C	Pişme Çekim	Gör Yoğ.	Ger Yoğ.	İsk Yoğ.	Açık Göz.	Toplam Göz.	Kapalı Göz.	Elas Mod
HB(4)	1200	12,60	2,45	2,67	2,55	3,92	8,24	4,32	83,10
HB(3)+KW (1)	1200	8,20	2,25	2,66	2,54	11,42	15,41	4,00	43,20
HB(2)+KW(2)	1200	6,30	2,20	2,64	2,53	13,04	16,67	3,62	35,30
HB(1)+KW(3)	1200	5,40	2,21	2,59	2,53	12,65	14,67	2,02	36,50
KW(4)	1200	5,40	2,22	2,56	2,48	10,48	13,28	2,80	39,90

Yukarıda ölçülen görünür, iskelet ve gerçek yoğunluklar dan açık, kapalı ve toplam gözeneklilikler hesaplanmıştır (Aras 2001).

3. SONUÇ

Mineral hammaddelerin mineralojik bileşimleri buna bağlı kimyasal bileşimleri, tane boyu dağılımlarının hazırlama süreçlerinde ve ısıtılma işlemdeki işlevi, pişmiş bir örnek bünyeden ölçülen fiziksel özellikler ile ortaya konmuştur. Örnek bünynin kil mineralleri bileşimi illit ve kaolinit olması nedeni ile kuruma ve pişme sürecinde smektitik killerde kristal suya bağlı sorunlar yaşanmazken, pişmiş bünyede illitik killerin ve feldispat minerallerinin içerdiği alkaliler bünyede oluşan müllit, kristobalit ve cam oluşumlarını etkilemiştir (Aras, 1997-1). Killerin kristal yapılarında ve diğer minerallerde bulunan yapısal su seramik üretim süreçlerinde özellikle bünye hazırlamada önemli olmaktadır (Aras, 2002). Diğer yandan mineralojik bileşim ve buna bağlı olarak karışımların tane boyu dağılımı ise pişmemiş ve pişmiş bünye yoğunlukları üzerinde etkili olmuştur (Aras, 2001). Killerin demir içeriğinin pişme rengine olan etkisi ise demirin bulunuş şekline ve dağılımına bağlıdır, örnek bünyede oluşan pembe rengin illitik kilin kristal yapısında yer alan demirden kaynaklanmıştır (Aras, 1999). Pişme ve kuru çekmeler, preslenme basıncından etkilense de, esas olarak tane boyu dağılımları ve mineralojik bileşim ve buna bağlı alkali element miktarları ile bağlantılı olduğu gözlenmiştir (max pişme çekmesi, tane boyutu ve kuvars içeriği minimum olan HB de gözlenmiştir) (ancak %50 HB+%50 KW bünyede küçük tane boyu kuru karışımların hazırlanmasında ters işlemiş topraklanma nedeni ile max açık porozite bu bünyede gözlenmiştir) (Aras 2001). Açık gözenekliliği kuvars taneleri ve cam arasında termal

genişleme katsayıları farklılığından dolayı genellikle kuvars taneleri-matrix sınırlarında matrix içinde ve kuvars taneleri içinde oluşan mikroçatlaklar oluşturmaktadır (Aras, 1997-2). Örnek bünyede su emme ve dayanım pişme gözenekliliği ile bağlantılıdır. Gözeneklilik, ilk gözeneklilik, preslenme basıncı ve pişme rejimi gibi direkt mineralojik olmayan etkenler yanında bir evvelki cümlede olduğu gibi esas olarak alkali element miktarı ve tane boyu gibi direkt mineralojik bileşimin belirlediği özelliklerdir (KW yüksek kuvars içeriği ile max mikro çatlaklar ile max açık gözenekliliğe sahip iken, HB daha çok mikron mertebesinde max kapalı gözenekliliğe sahip). Dayanımın ise bünyede, kristalen ve camsı faz miktarı yanında en önemli parametre olan gözenekliliğin boyutu ve dağılımı ile direkt bağlantılı olduğu gözlenmiştir (HB minimum açık gözeneklilik yanında maksimum müllit içeriği ile maksimum eğilme dayanımına sahip) (Aras, 2002). Bütün bu bağıntılar ve ilgili son ürünün özelliklerini temel olarak hammaddelerin en önemli mineralojik özellikleri olan mineral türü ve tane boyu dağılımının belirlediğini göstermektedir. Sonuç olarak vurgulanması gereken mineral özelliklerini mineralleri oluşturan elementlerin ne ve ne kadar olduklarından daha çok, kristal yapılarının yani uzaysal konum (kafes) ve bağlarının yani türünün ve dağılımının belirlediğidir. Bu nedenle tüm bünye kimyasal analiz sonuçlarının ne de bu sonuçlardan hesaplanan rasyonel analizlerin, bünyedeki ısıtılma işlemler sonucu oluşan fizikokimyasal süreçlerin yorumlanmasında mineralojik bileşim kadar etken değildir. Element olarak her ikisinde saf silisyum olan amorf silika ve kuvars bir seramik bünyede

çok farklı davranışlara sahiptir (Aras, 2002). Bu davranışı silisin mineral türü yanında bünye içinde dağılım tane boyu da etkilemektedir.

Sonuç olarak vurgulanması gereken bünye içinde mineral özelliklerini ve davranışlarını, onu oluşturan elementlerin ne ve ne kadar olduklarından daha fazla, kristal yapısının yani elementlerin uzaysal konum, bağlarının ve kristal boyutunun dağılımının belirlediğidir. Bu nedenle ne reçetenin toplam kimyasal sonuçlarının ne de bu sonuçlardan hesaplanan rasyonel analizlerin, bünyedeki ısıt işlemler sonucu oluşan fizikokimyasal süreçlerin yorumlanmasında "orijinal mineralojik bileşim" kadar değeri yoktur. Kil tabanlı seramiklerin maksimum pişme sıcaklıkları toplam "kimyasal bileşimi nihai dengeye ulaştıracak" sıcaklıkların altında dır, özellikle iri taneli mineraller ve kuvars "inert" olarak kalmaktadır ve reaksiyonlar mineral sınırlarında olmaktadır.

KAYNAKLAR

- Aras,A.,1997-1. *İllitçe ve kaolince zengin Westerwald Kilitlerinin sinterleşme davranışları ve feldispat etkisinin incelenmesi*. 8. Kil Kongresi Bildiriler kitabı 24-27 Eylül Kütahya Sayfa 181-186
- Aras, A., 1997-2. *Kaolinit-illit -kuvars bünye mikroyapılarının taramalı mikroskopta incelenmesi*, 13 Uluslararası Elektron Mikroskopi Kongresi Bildiriler kitabı 1-4 Eylül METU, Ankara, sayfa 535-543
- Aras, A. 1999. *Kaolinit -İllit -Kuvars bünyelerde pişme renkleri*, 5. Kil Kongresi Bildiriler Kitabı 15-18 Eylül İstanbul, Sayfa 197-201
- Aras, A., 2001. *Kaolinit-illit-kuvars seramik bünyelerde ölçülen yoğunluk, elastik modul ve hesaplanan gözeneklilik parametreleri arasındaki ilişkiler*. 10 Kil Kongresi Bildiriler kitabı, Konya 19 -22, Eylül Sayfa 469-474
- Aras, A. 2002. *The usage of zeolitic tuff in ceramic bodies*. Third Mediterranean clay meeting Jerusalem, Israel Applied Clay Science (in printing)
- Aras, A., 2002. *The change of phase composition in kaolinite- and illite- rich clay based ceramic bodies*. Third Mediterranean clay meeting Jerusalem, Israel Applied Clay science (in printing)

Alunit Cevherinden Potasyum ve Alüminyum Sülfat Hammaddelerinin Kazanımı

E. Kılınç Aksay, A. Ünal, İ. Cöcen, E. Kaya & A. Akar

Dokuz Eylül Üniversitesi, Bornova, İzmir

ÖZET: Alunit cevheri $[KAl_3(SO_4)_2(OH)_6]$, bilhassa içerdiği potasyum sülfat $[K_2SO_4]$ ve alüminyum sülfat $[Al_2(SO_4)_3]$ bileşikleriyle, önemli bir endüstriyel hammaddedir. Alunitler bünyelerinde $Al_2(SO_4)_3$ ve K_2SO_4 gibi suda kolay çözünen iki bileşim içermesine rağmen, suda kolay çözünmezler, ancak kalsine edildiği zaman sudaki çözünürlükleri artar. Bu çalışmada, Kütahya Şaphane yöresine ait alunit cevherinden potasyum ve alüminyum sülfatın kalsinasyon yöntemiyle su ve %2 sülfürik asitli $[H_2SO_4]$ ortamlarda çözünürlüğünün artırılarak kazanılması araştırılmıştır. Bu çalışmadan elde edilen verilere göre, alunit cevherinin 550 °C'den sonra yapısal olarak bozunmaya başladığı, potasyum ve alüminyum sülfat çözünürlüğünün sülfürik asitli ortamda daha fazla olduğu gözlenmiştir.

ABSTRACT: Alunite $[KAl_3(SO_4)_2(OH)_6]$ as a source of potassium sulfate $[K_2SO_4]$ and aluminum sulfate $[Al_2(SO_4)_3]$ is an important commercial raw material for many industrial applications, despite its low solubility in water. The solubility of the alunite ore increases in water after calcination process at relatively high temperatures. In this study, the solubility of the alunite ore, provided from a deposit in Kütahya Şaphane, was investigated by a calcination method (thermal decomposition) and subsequent solubilization in water and in diluted sulfuric acid $[H_2SO_4]$. The results show that the structure of the ore break down after about 550°C and the solubility of the potassium and aluminum sulfates increases in diluted sulfuric acid compared to water.

1. GİRİŞ

Alunit önemli bir şap minerali olup kimyasal bileşimi sulu potasyum alüminyum silikattır. Alunit, $KAl_3(SO_4)_2(OH)_6$ veya $K_2O \cdot 3Al_2O_3 \cdot 4SO_3 \cdot 6H_2O$ formülü ile ifade edilir. Saf alunit mineralinin kimyasal bileşiminde %37 Al_2O_3 , %11,4 K_2O , %38,6 SO_3 , ve %13 H_2O bulunur. Alunitler bünyelerinde $Al_2(SO_4)_3$ ve K_2SO_4 gibi suda kolay çözünen iki bileşim içermesine rağmen yapılarından dolayı suda kolay çözünmezler. Ancak kalsine edildiği zaman sudaki çözünürlükleri artar (DPT, 2001; Gülsensoy, H., 1968).

Alunit genel olarak riolit, dasit, andazit türü anti-intermediyer volkanik kayaların hidrotermal alterasyonu sonucu oluşmaktadır. Kayalar içinde tanecikler halinde, bazen de cep ve damar şeklinde

yer almaktadır. Kristal şekli romboedral olmasına rağmen bu şekilde yaygın olarak görülmez. Çoğunlukla kütleli, taneli, lifsi ve zaman zaman da beyaz-kırmızımsı yada toprak renklidir. Kristal yapısında olanlar ise parlak ve camı görünümündedir (DPT, 2001).

Eski devirlerde, yapılı kuvarsın sertliğinden dolayı değirmen taşı imali için kullanılan alunit cevherleri, 13. yüzyılda dünyada ilk defa İzmir-Foça'da şap üretimi için üretilmiştir. Günümüzde ise alüminyum sülfat $Al_2(SO_4)_3$ şapa tercih edilmektedir. Diğer taraftan alunit cevheri değerli bir potasyum gübresi kaynağı (K_2SO_4) olarak kullanılmaktadır (DPT, 2001). Bugün yurdumuzda kullanılan potasyumlu gübre genellikle potasyum sülfattır (DPT, 2000). Alunit ve alüminyum sülfat, alüminyum üretiminde, kimya, gübre, çimento ve seramik sanayiinde, refrakter malzeme yapımında ayrıca

tekstil, deri, kağıt, arıtma sanayii ile eczacılık ve tıp alanında, kozmetik, şeker sanayii, yangın söndürme aletleri, boya ve vernik yapımında kullanılmaktadır (Gülensoy, H., 1968, Özer, E., 2002). Potasyum sülfat gübre olarak en çok patates, tütün, sebze, meyve, turunçgiller, baklagiller, mısır, pamuk, şekerpancarı ve seralarda kullanılır (MTA, 2004; Toros Gübre, 2004). Halen yurdumuzda potasyumlu gübrelerin tamamı ithalatla karşılanmaktadır (DPT, 2000).

Dünyada bilinen bir çok alunit yatağı vardır. En büyük alunit yataklarından iki tanesi Amerika'dadır. Bunların dışında bilinen en önemli alunit yataklarının Kafkasya, Özbekistan, Azerbeycan, Kazakistan, Fransa, Macaristan, İtalya, Çin, Japonya, İspanya, Avustralya ve Türkiye'dedir. Türkiye'de bilinen en büyük alunit yatakları ise Giresun-Şebinkarahisar, Kütahya-Şaphane ve İzmir-Foça yöresinde bulunmaktadır (Gülensoy, H., 1968).

Bu çalışmada, Kütahya-Gediz-Şaphane yöresi alunit cevherinin öncelikle yapısal özellikleri tespit edilmiş, ardından kalsinasyon sıcaklığına bağlı olarak alunit cevherinden kimyasal yöntemlerle potasyum sülfatın $[K_2SO_4]$ ve alüminyum sülfatın $[Al_2(SO_4)_3]$ kazanılması araştırılmıştır.

2. MALZEME VE YÖNTEM

2.1. Malzeme

Çalışmada kullanılan alunit cevheri Kütahya ili Gediz ilçesi Şaphane yöresinden elde edilmiştir. Saha petrografik yönden genel olarak riyolit tüflerden oluşmuştur. Yer yer trakit ve trakit-andezitik kayalara rastlanır. Alunit yatağında silileşme ve alunitleşmenin yanı sıra kil mineralleşmesi (kaolenleşme) de gözlenmektedir. Silis ve alunit, kriptokristalin yapıda birbiri içerisinde (DPT, 2001). Çalışmalarda kullanılan ham alunit cevherinin kimyasal bileşimi Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Kütahya-Gediz-Şaphane yöresi alunit cevherinin kimyasal bileşimi

Bileşen	%
SiO ₂	66,44
Al ₂ O ₃	22,02
K ₂ O	5,52
Na ₂ O	0,19
Fe ₂ O ₃	0,44
SO ₃	4,06
CaO	-
MgO	-
K.K.	0,84

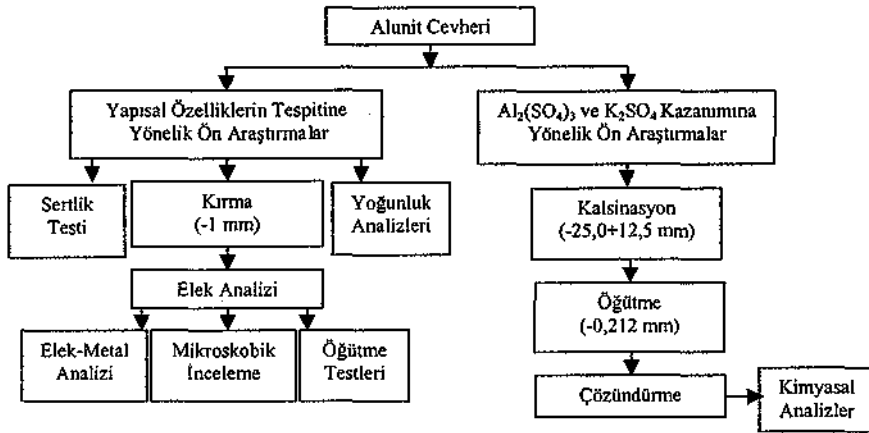
2.2. Yöntem

Kütahya-Gediz-Şaphane yöresinden getirilen alunit cevherine, Şekil 1'de verilen akım şemasında gösterildiği gibi, alüminyum sülfat ve potasyum sülfat'ın yapısal özelliklerinin saptanması ve kazanımı yönünden ön araştırmalar yapılmıştır.

Alunit cevherinin yapısal özelliklerini belirlemek amacıyla, çeneli kırıcı ile iki kademede kırılan (-1 mm) cevher, elek analizine tabii tutulmuştur. Cevherin serbestleşme tane boyutu elek fraksiyonlarının binoküler mikroskopta incelenmesi ile saptanmıştır. Kimyasal analizler Perkin-Elmer Atomik Adsorpsiyon Spektrofotometre (AAS) cihazı ile yapılmıştır. Cevherin saptanan serbestleşme tane iriliğine kadar öğütülebilmesi için öğütme testleri yapılmıştır. Öğütme, -1 mm tane boyutlu 1 kg alunit numunesi için 7 kg seramik bilya kullanılarak seramik değirmende süreye bağlı olarak gerçekleştirilmiştir.

Alüminyum ve potasyum sülfatın kazanılmasına yönelik yapılan kalsinasyon işleminde -25,0 + 12,5 mm tane boyutuna sınıflandırılmış alunit numunesi 1 saat süre ile farklı sıcaklıklarda kalsine edilmiştir. Kalsinasyon işlemleri 500 gr alunit numunesi ile yapılmıştır.

Kalsinasyon + öğütme işleminden sonra yapılan çözündürme işlemi 2 saat süre ile 80 °C'de, suda ve sülfürik asitli ortamda (% 2 H₂SO₄) ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Çözündürme işlemleri 20 gr kalsine alunit numunesi ile yapılmıştır.



Şekil 1. Alunit cevherine uygulanan işlemlerin akım şeması

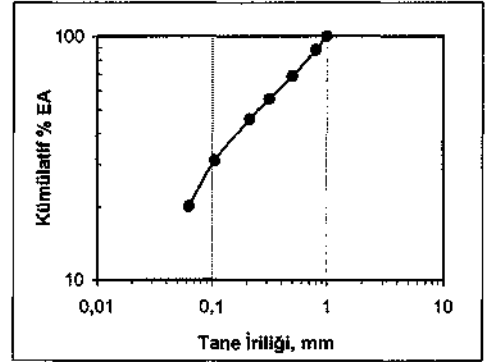
3. DEĞERLENDİRMELER

3.1. Alunit Cevherinin Yapısal Özelliklerinin Araştırılması

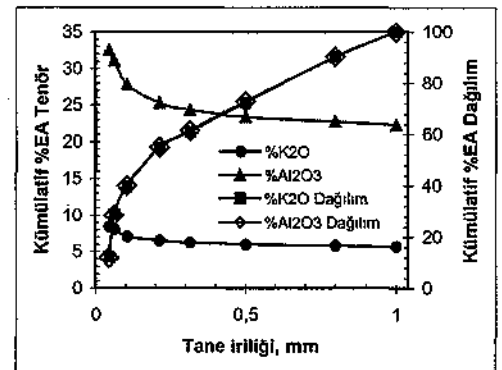
Alunit cevherinin yapısal özelliklerini tespit etmek için cevher, -1 mm tane boyutunun altına kırılmış ve kırılmış cevherin tane boyut dağılımı Şekil 2'de verilmiştir.

Kırma işleminden sonra sınıflandırılan alunit cevherinin her bir fraksiyonu binoküler mikroskopta incelenmiş, cevherin alunit, demir oksit, kil ve kuvars minerallerini içerdiği saptanmıştır. Tane boyut fraksiyonu (-0,212 +0,106 mm) de alunitin %80'inin, demir oksit ve kil minerallerinin ise %15 oranında serbest durumda olduğu, geri kalanını ise serbest kuvars (%2) ve noktasal bağimli yada kenetli tanelerden (%3) oluştuğu tespit edilmiştir. Bu nedenle alunit cevherinin optimum serbestleşme tane boyutunun -0,212 mm olduğu saptanmıştır.

Sınıflandırılmış alunit numunesine elek-metal analizleri uygulanmış ve sonuçlar % K₂O ve % Al₂O₃ yönünden Şekil 3'de eğrisel olarak sunulmuştur.



Şekil 2. -1 mm tane boyutunun altına kırılmış ham alunit cevherinin elek analizi grafiği

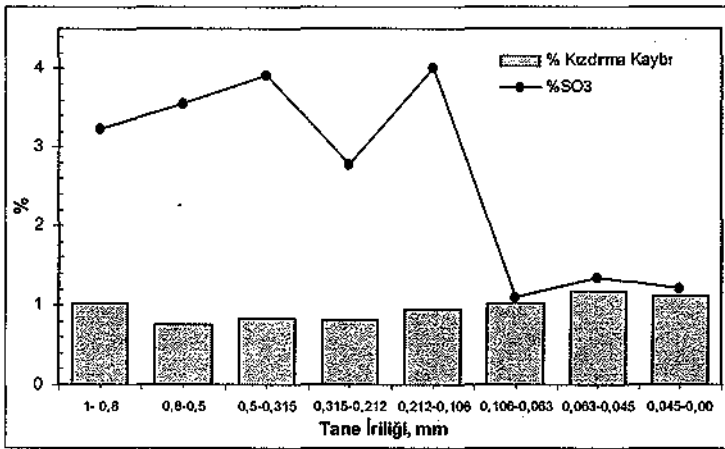


Şekil 3. Alunit cevherinin Al₂O₃ ve K₂O yönünden tenör-dağılım grafiği

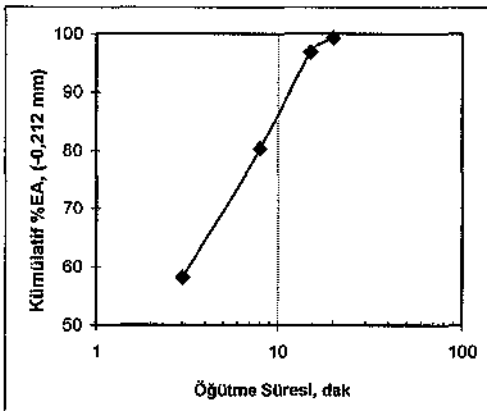
Şekil 3'de, % K_2O ve % Al_2O_3 tenörlerinin, tane iriliğinin azalması ile arttığı, her iki bileşenin ise cevherdeki dağılımlarının aynı ve ince taneye bağlı olarak azaldığı gözlenmiştir. Bu nedenle tane boyutuna bağlı olarak, kırma ve sınıflandırma yoluyla zenginleştirmenin mümkün olmayacağı anlaşılmıştır.

Şekil 4'de ise, fraksiyonel olarak sınıflandırılan alunit ham cevheri, % Kızdırma Kayıpları ve % SO_3 miktarları yönünden değerlendirilmiştir

Şekil 4'de sınıflandırılmış alunit cevherinin her bir fraksiyonu % kızdırma kaybı (kütlesel kayıp)



Şekil 4. Alunit cevherinin fraksiyonel olarak sınıflandırılmış ürünlerinin % kızdırma kaybı ve % SO_3 miktarı grafiği



Şekil 5. Alunit cevherinin, -0,212 mm tane boyutu altına süreye bağlı olarak öğütme testi grafiği

yönünden değerlendirildiğinde birbirine yakın değerler (%0,82-%1,17 arasında) elde edilirken, %4,01 oranıyla en fazla % SO_3 miktarının -0,212+0,106 mm tane aralığında olduğu tespit edilmiştir.

-1 mm tane boyutunun altına kırılan numuneye süreye bağlı öğütme testi uygulanmıştır. Şekil 5'de, en uygun serbestlik derecesinin sağlandığı -0,212 mm tane boyutuna öğütülen numunelerin öğütme sürelerine göre ağırlıkça % değerleri gösterilmektedir.

Şekil 5'de de görüldüğü gibi, tane serbestliği dikkate alındığında optimal çözündürmenin gerçekleştirilebileceği en uygun tane iriliği olarak tespit edilen -0,212 mm tane boyutunun altındaki alunit numunesi için gerekli olan öğütme süresi 10 dakika (% 85'i -0,212 mm) olarak saptanmıştır.

Ayrıca, Kütahya-Gediz-Şaphane yöresi ham alunit cevherinin yoğunluğunun % 2,55 gr/cm^3 olduğu, sertliğinin ise 77 Vickers $\approx$ 80 Brienel = 2-3 Mohs olduğu testlerle saptanmıştır.

3.2. Alüminyum ve Potasyum Tuzlarının Kazanılmasına Yönelik Ön Araştırmalar

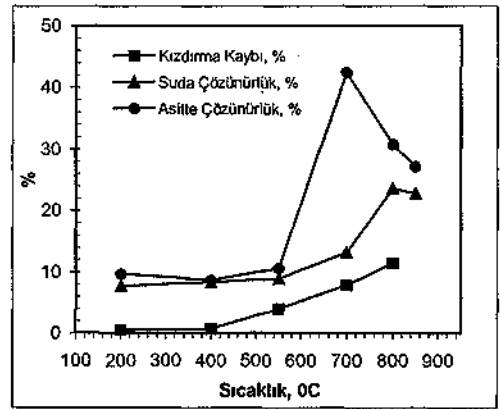
Alunit cevherinin potasyum ve alüminyum oksit dağılımı yönünden homojen bir yapı göstermiş olması, cevheri kimyasal yöntemlerle

zenginleştirmenin gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Dolayısıyla alunit cevherine kalsinasyon + öğütme + çözüme + kristalizasyon işlemlerinin sırasıyla uygulanmasının yerinde olacağı düşünülmektedir. Cevherin homojen bir yapı göstermesi ve ince tanelerin kalsinasyon işleminde ısı difüzyonunu engellemesi nedeniyle alunit cevheri $-25,0 + 12,5$ mm tane boyutuna sınıflandırılmış ve farklı sıcaklıklarda kalsine edilmiştir. Değişik sıcaklık parametrelerinde kalsine edilen alunit numunelerinde gerçekleşen ağırlıksal kayıplar (%) tespit edildikten sonra numuneler serbestleşme tane boyutuna ($-0,212$ mm) kadar öğütülmüş ve hem sudaki hem de sülfat asidindeki çözünürlük miktarları (%) deneysel olarak bulunmuştur. Çözündürülen kalsine alunit numunelerinde alüminyum ve potasyum sülfat ağırlıksal (%) olarak tayin edilebilmiştir. Kalsinasyon işlemi 850°C sıcaklığa kadar yapılmış, yüksek SO_3 gazı çıkışı nedeniyle daha yüksek sıcaklıklarda çalışılmamıştır.

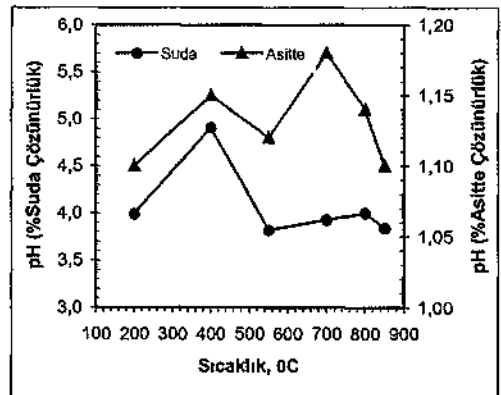
Şekil 6'de de görüldüğü gibi kalsinasyon işlemine tabii tutulan alunit numunesinde kütsel (%) azalma, 400°C 'den sonra hızlı bir şekilde artmaya başlamış ve bu azalma 800°C ye kadar devam etmiştir. Kalsine edilen alunit numuneleri suda ve sülfat asidinde (H_2SO_4) çözündürüldüğünde, çözünmenin 550°C 'den itibaren başladığı görülmektedir. $400-550^{\circ}\text{C}$ arasında bünyedeki suyun tamamen dehidratize olduğu görülmektedir. Sülfat asidinde (H_2SO_4) yapılan çözündürme ile maksimum çözünme 700°C kalsine sıcaklığında elde edilirken, kalsine alunit cevherinin aşağı yukarı % 42 çözünmektedir. Suda yapılan çözündürmede ise maksimum çözünme 800°C kalsinasyon sıcaklığında gerçekleşirken, kalsine alunit cevherinin aşağı yukarı %24'ü çözünmektedir.

Şekil 7'de ise, sıcaklığa bağlı olarak kalsine edilen alunit cevherinin, su ve sülfürik asit ortamında çözündürülmesi ile elde edilen çözeltinin pH değerlerindeki değişimler eğrisel olarak gösterilmiştir. Kalsine alunit cevherinin her iki çözündürme ortamındaki pH değişimlerinin oldukça küçük değerlerde olmasına rağmen; elde edilen pH eğrileri, kalsine alunit cevherinin her iki ortamdaki çözünme eğrileri (Şekil 6) ile benzerdir. Şekil 7'de görüldüğü gibi, 400°C sıcaklıkta kalsine edilen alunit cevheri suda ve sülfürik asit ortamında çözündürülmesi ile elde edilen

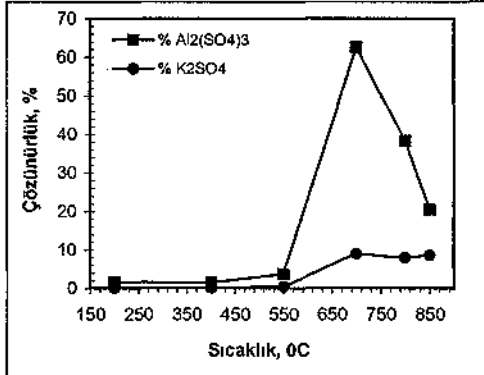
çözeltilerin pH değerleri sırasıyla 4,91 ve 1,15 olarak tespit edilmiştir. 550°C sıcaklıkta ise çözeltilerin pH değerleri düşmüş ve sırasıyla 3,82 ve 1,12 değerleri saptanmıştır. 700°C sıcaklıkta kalsine edilen alunit cevherinin asidik ortamda çözündürüldüğünde çözeltinin pH değeri 1,18'e yükselirken, bu sıcaklıkta kalsine edilen alunit cevherinin su ortamında çözündürülmesi ile elde edilen pH değeri 3,93 olduğu saptanmıştır. 800°C sıcaklıkta kalsine edilen alunit cevherinin su ortamında çözündürülmesi ile pH değeri 4,0 olduğu, bu sıcaklıkta kalsine edilen alunit cevherinin asidik ortamda çözündürüldüğünde ise çözeltinin pH değerinin 1,14 olduğu belirlenmiştir.



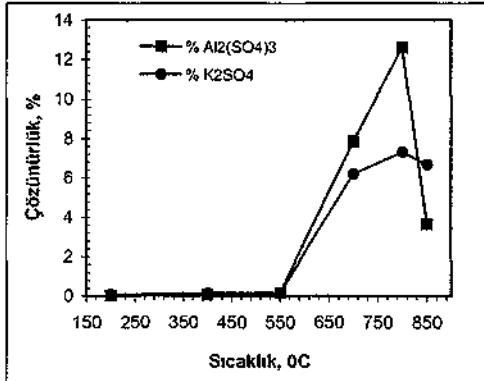
Şekil 6. Kalsinasyon sonrası % kütsel azalma (% kızdırma kaybı), suda ve sülfürik asitte çözünürlük grafiği



Şekil 7. Kalsine alunit cevherinin çözündürme ortamına bağlı pH değişimleri



Şekil 8. Alunit Cevherinin Kalsinasyonu Sonrası Sülfürik Asit Ortamında Çözünme Grafiği



Şekil 9. Alunit cevherinin kalsinasyon sonrası suda çözünme grafiği

Şekil 8'de görüldüğü gibi kalsine alunit cevherinin sülfürik asitte (% 2 H_2SO_4) çözündürülmesi ile yapısında 400 °C'den itibaren 550 °C'ye kadar bir değişiklik olduğu, 400 °C'de %1,49 $Al_2(SO_4)_3$ ve % 0,17 K_2SO_4 tenör değerlerinde olan çözelti bileşenleri, 550 °C'de %3,73 $Al_2(SO_4)_3$ ve % 0,49 K_2SO_4 tenör değerlerine yükseldiği görülmektedir. Ancak bu sıcaklık aralığında çözelti bileşenlerinin çözünme miktarlarının çok düşük olması, alunitin sadece bünye suyunu kaybetmiş olduğunu göstermektedir. Ancak bu sıcaklık aralığında çözelti bileşenlerinin sudaki çözünürlükleri Şekil 8'da görüldüğü gibi, farkedilebilir değişimler göstermemektedir.

Şekil 8 ve 9'dan da görüldüğü gibi, 550 °C'den itibaren alunit cevherinin yapısında bir bozunma olduğu görülmektedir. Şekil 8'de, kalsine alunit cevherinin sülfürik asitte (H_2SO_4) çözündürülmesi ile 700 °C'de % 62,48 $Al_2(SO_4)_3$, % 8,96 K_2SO_4 tenör değerlerinde çözünme elde edilmiştir. Bu sıcaklık aralığında özellikle $Al_2(SO_4)_3$ 'ün çözünürlüğü maksimum seviyeye ulaşmış ancak $Al_2(SO_4)_3$ yanında K_2SO_4 'da bir miktar çözünmüştür. Kalsinasyon sıcaklığı 800 °C'ye yükseldiğinde ise, çözelti bileşenlerinin tenör değerlerinde bir düşme olduğu görülmekte ve % 38,24 $Al_2(SO_4)_3$, % 7,94 K_2SO_4 tenör değerleri elde edilmektedir. Kalsinasyon sıcaklığı 850 °C'ye yükseltildiğinde çözelti bileşenlerinden $Al_2(SO_4)_3$ tenörünün daha da düşmeye başladığı, K_2SO_4 tenörünün ise tekrar yükselmeye başladığı görülmektedir. Kalsine alunit cevheri suda çözündürüldüğünde ise (Şekil 9) çözelti bileşenlerinin maksimum çözündüğü sıcaklık 800 °C olarak görülmektedir. Ancak bu sıcaklık aralığında kalsine alunit cevherinin çözünebilir bileşenlerinin sudaki çözünürlüğü sülfürik asit ortamındaki çözünürlüklerinden daha düşük tenör değerlerinde olmuştur. Bu sıcaklık aralığında % 12,61 $Al_2(SO_4)_3$, % 7,33 K_2SO_4 tenör değerleri elde edilmektedir.

800 °C'de kalsine edilmiş alunit cevherinin sülfürik asitle (% 2 H_2SO_4) muamele edilmesiyle çözelti bileşenlerinin tenör değerlerinin bu sıcaklıkta düştüğü görülmektedir. Kalsinasyon sıcaklığı 850 °C'ye yükseltildiğinde ise K_2SO_4 tenörünün tekrar yükselmeye başladığı görülmektedir. 850 °C'de kalsine edilmiş alunit cevherinin suda çözündürülmesi ile çözelti bileşenlerinin tenör değerlerinin düştüğü görülmektedir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Kütahya-Gediz-Şaphane yöresinden alınan alunit cevherinin fiziksel, kimyasal ve yapısal özellikleri saptanmış ve ardışık olarak kimyasal yöntemlerle $Al_2(SO_4)_3$ ve K_2SO_4 'ün kazanımına yönelik ön araştırmalar yapılmıştır. Elde edilen bulgular doğrultusunda sonuçlar ve değerlendirmeler aşağıda irdelenmiştir.

- Ham alunit cevherinin yoğunluğunun % 2,55 gr/cm³ olduğu, sertliğinin ise 77 Vickers ($\approx$ 80

Brienele = 2-3 Mohs) değerlerinde olduğu saptanmıştır.

▪ Mikroskobik incelemeler sonucunda, cevherin alunit, demir oksit, kil ve kuvars minerallerini içerdiği tespit edilmiştir. Ayrıca alunit cevherinin optimum serbestleşme tane boyutunun - 0,212 mm olduğu mikroskobik olarak ölçülmüştür. Ham alunit cevheri tane aralığı olarak % Kızdırma Kaybı ve %SO₃ miktarı yönünden değerlendirildiğinde, kütle kayıplarının (%) birbirine yakın değerlerde olduğu ancak %SO₃ miktarının -0,212+0,106 mm tane boyutunda en fazla olduğu saptanmıştır. Bu nedenle cevhere öğütme testleri yapılmış ve cevherin %85'inin -0,212 mm tane boyutunun altında olduğu ve optimum öğütme sürenin 10 dakika olduğu tespit edilmiştir.

▪ Ham alunit cevherinin elek-metal analizleri sonucunda %K₂O ve %Al₂O₃ tenörlerinin, tane iriliğinin azalması ile arttığı, her iki mineralin de cevherdeki dağılımlarının aynı ve homojen olduğu saptanmıştır. Bu sebeple alunit cevherini, tane boyutuna bağlı olarak, kırma ve sınıflandırma gibi yöntemlerle zenginleştirmenin mümkün olamayacağı dolayısıyla ham alunit cevherini kimyasal yöntemlerle zenginleştirmenin ve özellikle kalsinasyon + öğütme + çözme + kristalizasyon yöntem kombinasyonunun sırasıyla uygulanmasının yerinde olacağı öngörülmüştür.

▪ Kalsinasyon işlemine tabii tutulan alunit numunesinde, 400 °C'den sonra hızlı bir şekilde kütsel azalma (%) görülmektedir. Kalsine edilen alunit numuneleri suda ve sülfat asidinde (H₂SO₄) çözündürüldüğünde, çözünmenin 550 °C'den itibaren başladığı görülmektedir. Bu sonuca göre alunit cevherinin 400-550 °C sıcaklık aralığında kalsine edilmesiyle yapısındaki bünye suyunun tamamen dehidratize olduğu ve 550 °C'den itibaren alunit cevherinin yapısında bir bozunma olacağı beklenmektedir.

▪ 700 °C kalsinasyon sıcaklığında kalsine edilen alunit cevherinin sülfürik asitte (% 2 H₂SO₄) çözündürülmesi ile % 42,44 oranında çözünme sağlanmış ve çözelti bileşenleri % 62,48 Al₂(SO₄)₃ ve % 8,96 K₂SO₄ tenör değerlerinde sağlanmıştır. 800 °C kalsinasyon sıcaklığında kalsine edilen alunit cevherinin ise suda çözündürülmesi ile % 23,59 oranında çözünme sağlanmış ve çözelti

bileşenleri % 12,61 Al₂(SO₄)₃ ve % 7,33 K₂SO₄ tenör değerlerinde sağlanmıştır.

Kalsinasyon sıcaklığının 850 °C'ye yükseltildiğinde K₂SO₄ çözünürlüğünün tekrar yükselmeye başladığı görülmekte, kalsinasyon sıcaklığının daha da yükseltilmesi ile K₂SO₄ çözünürlüğünün de yükseleceği beklenebilir. Bu nedenle, daha yüksek kalsinasyon sıcaklıklarında alunit cevherinin fiziksel, kimyasal ve yapısal özelliklerinin belirlenmesi hususunda araştırmalar yapılmalıdır.

Ayrıca kalsinasyon sıcaklığı yanında kalsinasyon tane boyutu, kalsinasyon süresi gibi parametrelerin de araştırılıp, optimum çözündürme ve kristalizasyon koşullarının araştırılması da yerinde olacaktır. Bu doğrultudaki araştırmalar DEÜ Maden Mühendisliği Bölümünde halen devam etmektedir.

KAYNAKLAR

- DPT, 2001, 2607-ÖİK:618, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu, Kimya Sanayii Hammaddeleri, Cilt 1, Ankara
- DPT, 2000, 2514-ÖİK:531, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Gübre Sanayii Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Ankara
- Gülensoy, H., 1968, "Türk Alunitlerinin Termogravimetrik ve Mikrokaleorimetrik Metotlarla Etüdü ve Proliz Ürünlerinin Suda ve Sülfat Asidindeki Çözünürlüklerinin Tespiti", MTA Enstitüsü Dergisi, 71. Sayı, sf 93-125
- Küçük A., Gülaboğlu, Ş., "Thermal Decomposition Of Şaphane Alunit Ore", Ind. Eng. Chem. Res., Vol 41, No.24, p 6028-6032, 2002
- Searls, J.P., "Potash", U.S. Geological Survey Minerals Yearbook, 2000
- Özer, E., 2002, "Endüstriyel Anorganik Kimya", E.Ü. Fen Fak. Kitaplar Serisi Yayın No:182, İzmir
- <http://www.mta.gov.tr/madenler/turmaden/alan.asp>, March, 2004.
- http://www.toros.com.tr/turkce/ug_potasyum_sulfat.asp, March 2004.

Killerin Susuzlandırılmasında Ultrasonik Titreşimin Etkisi

G. Önal, M. Özer & F. Arslan

İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Cevher-Kömür Hazırlama ve Değerlendirme Anabilim Dalı, 344689, Maslak-İstanbul

ÖZET: Kil Zenginleştirme tesislerinde, susuzlandırma işlemi, elde edilecek kil konsantrelerinin seramik sanayiinde kullanılabilmesi için, en önemli adımlardan birini oluşturmaktadır. Genellikle, zenginleştirilmiş killerin, küçük boyutlu olmalarından dolayı, susuzlandırma amaçlı çöktürülmesi zor olmakta, fazla zaman almakta ve uygun katı konsantrasyonlarına ulaşamamaktadır. Çökme işlemlerinde, çökme hızını arttırmak amacıyla değişik karakterli flokülantlar kullanılabilir. Seramiğin kalitesini etkilemesinden dolayı, kil çöktürmede flokülant tercih edilmemektedir. Bundan dolayı bu araştırmada, seramik endüstrisi ile ilgili bu sorunu çözmek amacıyla, kil çöktürme işlemlerinde ultrasonik titreşim ilk defa kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre de, ultrasonik titreşim uygulaması ile çöktürme hızı ve verimliliğinin arttığı ortaya konulmuştur.

ABSTRACT: Dewatering is the most important unit operation during the preparation of clay concentrates to use for the ceramic industry. In general, processed clay is difficult to dewater because of their very fine particle sizes, the length of settling time and difficulty for the concentrates to reach high solid concentrates. Flocculant can be used to accelerate the clay settling rate, but, they may affect the quality of the ceramic materials. In this investigation, to solve this settling problem for the ceramic industry, an ultrasonic vibration method was applied, for the first time. The results show that the ultrasonic method accelerates the clay settling rate and increases the recovery.

1.GİRİŞ

Seramik üretiminde, hammadde olarak kullanılan killerin, seramik sanayinin teknolojik şartlarını sağlayabilmeleri için zenginleştirilmeleri, elde edilecek ürünlerin kalitesi yönünden son derece önemlidir. Zenginleştirme yöntemi, kilin özelliklerine göre belirlenmekle birlikte, çok yaygın olarak zenginleştirme işlemlerinde su kullanılmaktadır. Bunun sonucu olarak, elde edilen konsantreler pülp halinde elde edilmektedir. Konsantrelerin seramik sanayiinde kullanıma hazır olması için su-katı karışımının (pülpün) susuzlandırılması en önemli işlemlerden birini oluşturmaktadır.

Kil zenginleştirme tesislerinde, konsantrelerin susuzlandırılması genellikle tikiner adı verilen tanklarda yapılmaktadır. Belli oranda koyulaştırılan

ürünler, daha sonra filtrasyon işlemine tabii tutularak ürünün su içeriği istenilen düzeylere indirilmektedir. Özellikle tikinerlerde çöktürme ile yapılan koyulaştırma işlemi killerin doğal özelliklerinden ve boyutlarından dolayı çok uzun süreler almakta, tesis üretim kapasitesi buna bağlı olarak düşük olmaktadır. Kil-su karışımının karakteristik yapılarının ve özelliklerinin değiştirilmesi susuzlandırma işlemlerinde verimi doğrudan etkilemektedir. Bu özelliklerin değiştirilmesi, kil taneleri ile su arasında bağ kuvvetlerinin azalmasına neden olarak, suyun daha kolay uzaklaşmasına yardımcı olur. Bu etkiyi sağlayarak, susuzlandırma verimini arttırmak amacıyla değişik fiziksel ve kimyasal yöntemler kullanılmaktadır. Bunlardan mekanizması bilinen ve en yaygın olarak kullanılan, kimyasal reaktifler ile flokülasyon sağlama işlemidir. Killerin susuzlandırılmasında, seramik ürünlerinin kalitesini

etkilemesinden dolayı, kimyasal reaktiflerin kullanımı tercih edilmemektedir. Bu sorun araştırmacıları, tükenerlerde çökme hızını ve susuzlandırma verimini arttıracak alternatif yöntem arayışlarına itmektedir[1].

Özellikle malzemelerin fiziksel özelliklerini karakterize etmek amacıyla kullanılan ultrasonik titreşim, metal yüzeylerinin temizlenmesi, tıbbi tasarımlarda, emisyonlarda partikül dispersiyonun stabilitesini sağlamak amacıyla bir çok alanda kullanılmaktadır. Ultrasonik titreşimin, madencilik söktöründe özellikle cevher hazırlama ve zenginleştirme işlemlerinde de kullanılabileceği araştırmalarla saptanmıştır[1,2,3].

Bu çalışmada, kil zenginleştirme tesislerindeki çöktürme işlemlerinde, çökme hızını ve susuzlandırma verimini arttırmak amacıyla ultrasonik titreşimin, kullanılabilirliği, ilk kez araştırılmıştır.

2. MALZEME VE YÖNTEM

Çizelge 1'de kimyasal özellikleri verilen Söğüt yöresine ait zenginleştirilmiş kil numunesinin değişik koşullarda çöktürme deneyleri yapılarak, ultrasonik titreşimin çöktürmede etkisi araştırılmıştır. Araştırma, flokülant ilavesi olmaksızın, doğal ortamda ve ultrasonik titreşim etkisinde çöktürme deneylerini ve flokülant ilavesi ile doğal ortamda ve ultrasonik titreşim etkisinde yapılan deneyleri kapsamaktadır. Ayrıca, laboratuvar ölçekli çöktürme deneyleri sonuçları ışığında, pilot ölçekte 75,5 cm çapında tükenerde, 25 KHz frekansında titreşim yaratabilen transduser'lar kullanılarak, çöktürme deneyleri yapılmıştır.

Pülöp halinde bidonlarla İ.T.Ü Cevher Hazırlama laboratuvarına getirilen kil numunesi, çöktürme

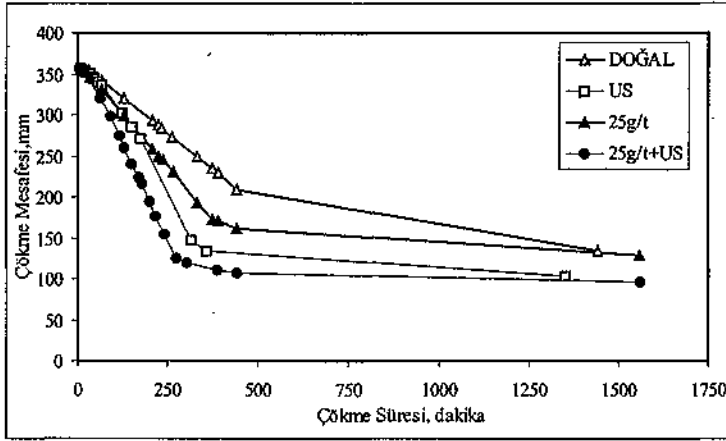
deneyleri öncesi bir karıştırıcı ile karıştırılmıştır. Ölçeklendirilmiş 2 litre hacimli mezür ve 25 KHz frekans yaratabilen 0.5 kW gücünde bir ultrasonik banyo kullanılarak çöktürme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca flokülant ilavesi ile yapılan deneylerde, %0.1 konsantrasyonunda Superfloc A120 flokülantı kullanılmıştır. Çöktürme deneyleri boyunca, süreye bağlı olarak çökme sırasındaki katı taneleri içeren kısmın çökme mesafeleri kaydedilerek, çökme eğrileri çizilmiştir. Bununla birlikte her deney sonunda elde edilen çökeleğin pülpte katı oranı tespit edilerek değerlendirilmesi yapılmıştır.

Çizelge 1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Kil Numunesinin Kimyasal Özellikleri

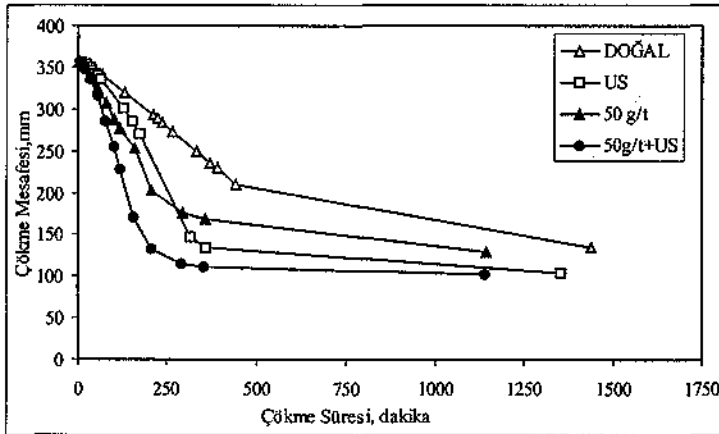
BİLEŞİM	İÇERİK (%)
SiO ₂	51.08
Al ₂ O ₃	32.97
TiO ₂	0.85
Fe ₂ O ₃	1.78
CaO	0.50
MgO	0.36
Na ₂ O	0.34
K ₂ O	0.59
SO ₄	0.11
Kızdırma Kaybı	12.04

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

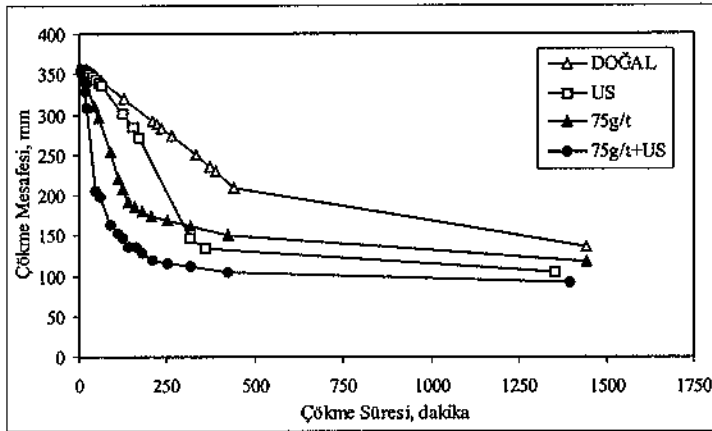
Aynı pülpte katı oranlarında (%9) hazırlanmış kil numuneleri ile, flokülant ilavesi olmaksızın doğal ve ultrasonik ortamda ve 25-50-75 g/t flokülant ilave edilerek doğal ve ultrasonik ortamda çöktürme deneyleri yapılmıştır. Yapılan çöktürme deneyi sonuçları Şekil 1, 2, 3' de, çökme öncesi ve sonrası pülpte katı oranı değerleri Çizelge 2'de verilmektedir.



Şekil 1. Ultrasonik Titreşim etkisinde ve doğal ortamda 25 g/t Flokülant İlavesi ile Gerçekleştirilen Çöktürme Deneyi Sonuçları



Şekil 2. Ultrasonik Titreşim etkisinde ve doğal ortamda 50 g/t Flokülant İlavesi ile Gerçekleştirilen Çöktürme Deneyi Sonuçları



Şekil 3. Ultrasonik Titreşim etkisinde ve doğal ortamda 75 g/t Flokülan İlavesi ile Gerçekleştirilen Çöktürme Deneyi Sonuçları

Çizelge 2. Yapılan Çöktürme deneylerinin Başlangıç ve Deney sonu koşulları

Viskozite (cP)	Başlangıç pH	Deney Şartları	Başlangıç PKO (%)	Çökme Sonu PKO (%)
20.10	8.30	Doğal Çökme	8.8	21.3
		Ultrasonik Çökme(US)	8.7	23.5
		Doğal Ortamda 25g/t Flokülan	8.9	22.1
		25g/t Flokülan+US	9.0	24.6
		Doğal Ortamda 50g/t Flokülan	9.2	22.9
		50g/t Flokülan+US	9.2	27.6
		Doğal Ortamda 75g/t Flokülan	9.2	24.7
		75g/t Flokülan+US	9.2	30.3

Deney sonuçları incelendiğinde; ultrasonik titreşimin çöktürmede, çökme hızını olumlu yönde etkilediği görülmektedir. Çökme sonu pülpte katı oranı değeri, ultrasonik titreşim etkisinde %23.5 olmakla birlikte, doğal ortamda bu değer %21.3'dür. Ultrasonik titreşim etkisinde flokülan ilave edilmesi durumunda ise; çökme daha da hızlanmaktadır. Çizelge 2 incelenirse, çökme sonu pülpte katı oranları, 25 g/t flokülan ilavesinde, %24.6, 50 g/t flokülan ilavesinde %27.6 ve 75 g/t flokülan ilavesinde %30.3 olmaktadır. Özet olarak, tek başına veya flokülan ilavesi ile birlikte

ultrasonik titreşim çöktürme işlemlerini olumlu yönde etkilemektedir.

Yapılan laboratuvar ölçekli deney sonuçları ışığında, pilot ölçekte tikiner üzerinde ultrasonik transducer'larla yapılan çöktürme deneyi sonuçları, laboratuvar ölçekte elde edilen sonuçlarla uyum göstermektedir.

4. SONUÇLAR

- Yapılan laboratuvar çaplı çöktürme deneyleri sonucunda, ultrasonik titreşim etkisinde çöktürme işleminin, doğal ortamda yapılan çöktürme işlemine göre daha verimli olduğu görülmektedir.
- Ultrasonik titreşim etkisinde flokülant ilave edilmesi, çökme hızını arttırmaktadır.
- Laboratuvar deneyleri sonunda elde edilen sonuçlara, pilot ölçekli çöktürme deneyleri sonunda da ulaşılmış, ultrasonik titreşimin çöktürme işlemini olumlu yönde etkilemektedir.
- Ultrasonik titreşimin çöktürme işlemlerinde kullanılması durumunda, daha kısa sürelerde daha yüksek pülpte katı oranlarına ulaşılmaktadır.
- Çökme hızının artması ve süresinin kısalması ile tükener kapasitesi artacaktır.
- Bu sonuçlar ışığında, ultrasonik titreşimin kil çöktürmesinde endüstriyel uygulamasının yapılması daha sağlıklı verileri ortaya koyacaktır.

KAYNAKLAR

Önal G., Özer M., Arslan F., 2003. "Sedimentation of Clay in Ultrasonic Medium" Minerals Engineering, 16, 129-134.

Aldrich A., Feng D., 1999. Technical Note; *Effect of Ultrasonic Preconditioning of Pulp on the Flotation of Sulphide Ores*. Minerals Engineering, Vol.12, 6, pp.701-707.

Celik M.S., 1988. *Effect of Ultrasonic Treatment on the Floatability of Coal and Galena*. Proceedings of the II. International Mineral Processing Symposium, İzmir-Turkey, pp. 117-127.

Farmer A.D., Collings A.F., Jameson G.J., 2000. *Effect of Ultrasound on Surface Cleaning of Silica Particles*. Int. J. Mineral Processing, 60, 101-102.

Gallego-Juarez, E., 1994. *New technologies in high power ultrasonic industrial applications*. Proceedings IEEE Ultrasonics Symposium, Cannes, France, Vol.3, pp. 1343-1352.

Ozer M., Kungal M.O., Benkli Y.E., Arslan F., Önal G., 2001. *Effect of Ultrasonic treatment on the sedimentation of clays*, New Developments in Mineral Processing (Proceedings of the 9th Balkan Mineral Processing Symposium), Eds. G. Önal, S. Atak, A. Güney, M.S. Celik, A.E. Yüce, Istanbul-Türkiye, 11-13 Sept. 2001, pp 63-68.

Riera-Franco de Sarabia, E., Gallego-Juarez, E., Rodriguez-Corral, G., Elvira-Segura, L., Gonzales-Gomez, I., 2000. *Application of high-power ultrasound to enhance fluid/solid particle separation Processes*. Ultrasonics, 38, 642-646

Smythe, M.C., Wakeman, R.J., 2000. *The use of ultrasonic fields as a filtration and dewatering aid*. Ultrasonics, 38, 657-661

İzmir-Menderes Yöresi Asidik Pomzanın Tuğla Olarak Değerlendirilmesi

E. Kılınç Aksay, A. Akar, E. Kaya & E. Yaşar

Dokuz Eylül Üniversitesi, Bornova, İzmir

ÖZET: Türkiye, pomza rezervleri yönünden oldukça önemli bir potansiyele sahiptir. Genel olarak pomza cevheri, volkanik kökenli çok poroz olan, gözenekli fakat gözenekler arası bağlantısız boşluklu ve camı bir madendir. Bu yüzden permeabilitesi düşük, ısı ve ses yalıtımı oldukça yüksek, hafif bir madendir. Son yıllarda inşaat sektöründe hafif yapı malzemelerine verilen önemin giderek artmasına paralel olarak, hammadde tüketiminde pomza cevherinin kullanımı da giderek yaygınlaşmıştır. Fakat, pomza'nın gerek inşaat sektöründe yapı malzemesi olarak kullanımı ve gerekse diğer endüstri dallarındaki kullanımı üzerine ülkemizde henüz yeterli düzeyde araştırma geliştirme çalışmaları yapılmamıştır. Bu çalışmada, İzmir-Menderes yöresi pomza cevherinin tuğla üretiminde tuğla hammaddeleri ile birlikte kullanılabilirliği araştırılmış, elde edilen ürünler tuğlanın yapısal özellikleri gözönüne alınarak değerlendirilmiştir. Pomza cevheri tuğla hammadde olan iki tip kil cevheri ile değişik oranlarda karıştırılmış ve 250 kg/cm²'lik basınç altında preslenmiştir. Preslenen numuneler açık havada kurutulup fırında yüksek sıcaklıklarda pişirildikten sonra mukavemetleri (basınç dayanımı), su emme miktarları, ağırlık kayıpları ve hacim ağırlıkları ölçülmüştür. Elde edilen bulgulara göre, pomza karışım oranı arttıkça elde edilen tuğla modelinin mukavemeti düşmekte ve su emme miktarı artmaktadır.

ABSTRACT: Turkey possesses an important potential for pumice reserves. In general, pumice ore is a volcanic glassy rock, has high porosity which are generally not connected one to another. Thus, it possesses low permeability, good heat and acoustic insulation and low weight. In recent years, the consumption of pumice in construction industry has increased substantially because of its low weight. For pumice, however, the amount of R&D activities to find new uses is inadequate in Turkey. In this study, the pumice ore from İzmir-Menderes area was investigated to utilize it as a raw material for building bricks. The pumice rock was mixed at different ratios with two types of kil material that is already used in bricks industry. The product containing pumice was first dried and fired at high temperatures and its properties were measured in terms of comprehensive strength, water absorption, loss in weight and bulk density. The results show that at high pumice additions, the model product loses its comprehensive strength and absorbs more water.

1. GİRİŞ

Ülkemiz zengin pomza rezervlerine sahiptir. TS standartlarına göre pomza, sünger görünümlü, birbirine bağlantısız boşluklu, silikat esaslı, birim hacim ağırlığı genellikle 1 gr/cm³ ten küçük, camı doku gösteren volkanik bir madde olarak tanımlanmıştır. Oluşumu sırasında, bünyedeki gazların ani olarak büneyi terk etmesi ve ani soğuma nedeni ile, küçüklü-büyükü sayısız gözenek içerir. Pomzada gözenek hacimleri %80-

85'e kadar çıkabilir, bu yüzden düşük özgül ağırlığa sahiptir. Ayrıca, pomzanın permeabilitesi düşük, ısı ve ses yalıtımı oldukça yüksektir (Gündüz, vd 1998; TS 3234; <http://www.mta.gov.tr>, March, 2003).

Ülkemizde bol miktarda bulunan pomza rezervlerinin en iyi şekilde değerlendirilmesi, nasıl ve hangi alanlarda kullanılabilirliğinin araştırılması gerekliliği, ülkemiz ekonomisi ve hammadde kaynaklarımızın değerlendirilmesi açısından son

derece önem taşımaktadır. Pomza ülkemizde ve dünyada geniş anlamda inşaat sanayiinde kullanılmaktadır. Son yıllarda inşaat sektöründe hafif yapı malzemelerine verilen önemin giderek artmasına paralel olarak, hammadde tüketiminde pomza cevherinin tüketiminde giderek yaygınlaşmıştır. Ülkemizde üretilen pomzanın büyük bir kısmı iç piyasada inşaat endüstrisinde hafif beton agregası olarak tüketilmektedir (D.P.T. 1996 ve 2001; Dökmen, 1989; Demir, vd 2001).

Pomza'nın asidik (kimyasal bileşimi: %70 SiO₂, %14 Al₂O₃, %3.5 Fe₂O₃, %0.9 CaO, %0.6 MgO) ve bazik (kimyasal bileşimi: %45 SiO₂, %21 Al₂O₃, %7 Fe₂O₃, %11 CaO, %7 MgO) olmak üzere iki türü vardır. Asidik pomza en yaygın ve kullanılan türüdür. Asidik pomzalar daha fazla silisyum ve alüminyum içerirler ve bu yüzden daha açık görünümüdür. Asidik pomzanın silis oranı daha yüksek olduğu için inşaat sektöründe kullanımı daha yaygındır (Gündüz, vd 1998).

Tuğla üretiminde kullanılan ana elementler toprak (kil), su ve katkı maddeleridir. Tuğla-kiremit toprakları düşük sıcaklıklarda eriyen, diğer seramik ürünlerinin yapımında kullanılan killere göre daha az saf olan ve genellikle pişme rengi kırmızı olan killerdir (Üzer ve Tola, 1997). Tuğla toprağı olarak genellikle illit, az montmorillan, kaolinit, kuvars, demir mineralleri (limonit, hematit, vb.), ve az miktarda organik maddeler ve suda çözülebilen tuzlar kullanılır (Köktürk, 1997). Pişirildiklerinde (800 ile 1200 °C arasında) açık sarıdan koyu kahverengiye kadar değişen çeşitli renkler alırlar ve tuğla için gerekli mukavemete ulaşırlar. Isıtılmadan önce kurutma işlemi gereklidir. Tuğlanın en önemli özellikleri yüksek basınç dayanımı ve düşük su çekmeleridir.

Pomza cevherinin gerek inşaat sektöründe yapı malzemesi olarak kullanımı ve gerekse diğer endüstri dallarındaki kullanımı ile ilgili ülkemizde henüz yeterli düzeyde araştırma-geliştirme çalışmaları yapılmamıştır. Bu amaçla, bu çalışmada, İzmir-Menderes yöresi pomza cevherinin tuğla üretiminde tuğla hammaddeleri ile birlikte kullanılabilirliği araştırılmış, elde edilen ürünler tuğlanın yapısal özellikleri gözönüne alınarak değerlendirilmiştir. Tuğla kiline ağırlıkça değişik oranlarda pomza katılmış ve yapı tuğlasına göre birim hacim ağırlığı daha düşük ve mukavemeti daha yüksek yapı tuğlası üretimi

amaçlanmıştır. Pomza' nın tuğla endüstrisinde kullanılabilirliğinin araştırılmasında aşağıdaki kriterler değerlendirilmiştir; çeşitli karışım oranlarının uygulanışı, numunelerin basınç dayanımlarının tespiti, karışım oranlarına göre ağırlıklarının incelenmesi ve ağırlık kaybının tespiti, küçülme değerlerinin bulunması, su emme değerlerinin tespiti, ve birim hacim ağırlıklarının tespiti.

2. MALZEME ve YÖNTEM

2.1. Malzeme

Bu çalışmada, Manisa-Turgutlu yöresine ait iki tip kil cevherleri (Kil I ve Kil II) ve İzmir Menderes yöresine ait asidik özellikli pomza cevheri kullanılmıştır. Kullanılan kil ve pomza cevherlerine XRD analizleri yapılmış ve Kil I olarak tanımlanan kil cevherinin illit, kuvars, ortoklas, klorit, kalsit ve dolomit içerdiği, Kil II olarak tanımlanan kil cevherinin ise Kil I cevheri ile aynı bileşime sahip olduğu ancak bileşiminde daha fazla miktarda kuvars içerdiği saptanmıştır. Ayrıca pomza cevherinde kuvars, montmorillonit ve feldspat minerallerine sahip olduğu saptanmıştır. Kil I, Kil II ve pomza cevherlerinin kimyasal bileşimleri Çizelge 1'de verilmiştir.

2.2. Yöntem

Manisa Turgutlu yöresinden temin edilen iki tip kil cevheri (Kil I ve Kil II) merdaneli kırıcıda, pomza cevheri ise çekiçli kırıcıda kırılmıştır. Elde edilen numunelerin yaş elek analizi boyut dağılımı Şekil 1'de gösterilmiştir. Pomza'nın boyut dağılımı diğerlerine göre daha iridir.

Kil I ve Kil II numuneleri 3:1 oranında karıştırılmıştır. Hazırlanan pomza numunesi değişik oranlarda (10%'den 90%'e kadar) bu karışıma ilave edilmiştir. Ayrıca, pomza numunesi Kil I ve Kil II cevherlerine ayrı ayrı değişik oranlarda (10%'den 90%'e kadar) ilave edilmiştir. Çizelge 2 bu hazırlanan numunelerin (Kil I + Kil II + pomza karışımı, Kil I + pomza karışımı ve Kil II + pomza karışımı) oranlarını göstermektedir.

Hazırlanan numuneler %10 su ile nemlendirilmiş, silindirik kalıpta şekillendirilmiş ve 250 kg/cm² lik

basınç altında preslenmiştir. Preslenen numuneler havada kurutulduktan sonra 900 °C sıcaklıkta bir fırında 5 saat süre ile pişirilmiştir. Şekil 2'de

numune kalıplarının görüntüleri ve pişirildikten sonraki görüntüleri gösterilmiştir.

Çizelge 1. Kullanılan killerin (I ve II) ve pomzanın kimyasal bileşimi

	Kil I	Kil II	Pomza
SiO ₂	67,28	66,98	73,03
Al ₂ O ₃	13,38	12,52	12,53
Fe ₂ O ₃	5,24	4,16	1,44
MgO	1,93	2,26	0,31
CaO	2,21	3,98	0,61
Na ₂ O	0,46	0,39	2,19
TiO ₂	0,89	0,78	--
MnO	0,086	0,09	--
K ₂ O	2,02	0,01	4,36
K.K	5,81	7,33	5,53

Çizelge 2. Kil I, Kil II ve pomzanın karışım oranları

%Karışım + % Pomza	%Kil I + % Pomza	%Kil II + % Pomza
%90 K + %10 P	%90 Kil I + %10 P	%90 Kil II + %10 P
%80 K + %20 P	%80 Kil I + %20 P	%80 Kil II + %20 P
%70 K + %30 P	%70 Kil I + %30 P	%70 Kil II + %30 P
%60 K + %40 P	%60 Kil I + %40 P	%60 Kil II + %40 P
%50 K + %50 P	%50 Kil I + %50 P	%50 Kil II + %50 P
%30 K + %70 P	%30 Kil I + %70 P	%30 Kil II + %70 P
%10 K + %90 P	%10 Kil I + %90 P	%10 Kil II + %90 P

Karışım (3:1 oranında Kil I / Kil II)

3. DEĞERLENDİRMELER

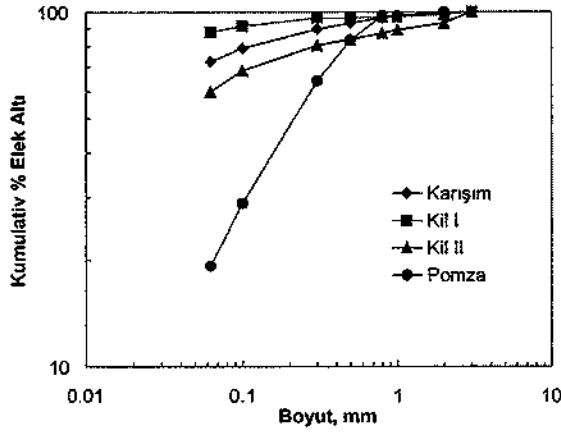
Tuğla yapımında kullanılan ve Manisa-Turgutlu yöresinden temin edilen iki tip kil cevherleri (Kil I ve Kil II) ile İzmir- Menderes yöresinden temin edilen pomza cevheri kırılmış ve tane boyut dağılımları eğrisel olarak Şekil 1 de gösterilmiştir. Kil I, Kil II ve her iki kil cevherinin 3:1 oranındaki karışımına miktarsal olarak pomza cevheri ilave edildikten sonra 900 °C de pişirilen tuğla numunelerindeki ağırlıksal kayıplar Şekil 3'de eğrisel olarak gösterilmiştir.

Şekil 3'den de görüldüğü gibi, Kil I cevherine %10 pomzanın ilavesi ile tuğla numunesindeki ağırlıksal kayıp % 6,5 miktarında olmaktadır. Pomza miktarının daha da artırılması ile ağırlıksal kayıp miktarı birbirine yakın değerler göstermekle birlikte düzenli olarak azalmakta ve %100 pomza

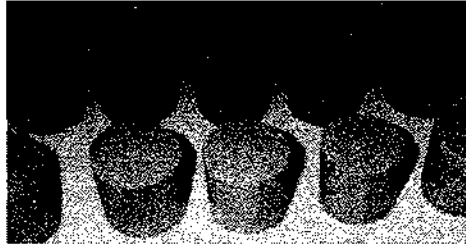
kullanıldığında ağırlıksal kayıp miktarı %5,3 değerinde olmaktadır.

Pomzanın, Kil II cevherine %10 ilave edilmesi durumunda tuğladaki ağırlıksal kayıp %9,2 olmaktadır. Pomza katkısının %30 ve %70 olduğu tuğla örneklerinde ağırlıksal kayıp maksimum olmakta ve sırasıyla ağırlığının % 9,2 ve % 8,8 oranında azaldığı saptanmıştır. Diğer yandan, Kil II numunesi için, bu zig-zag'lı değerler numune hazırlanmasındaki bir problemide gösterebilir.

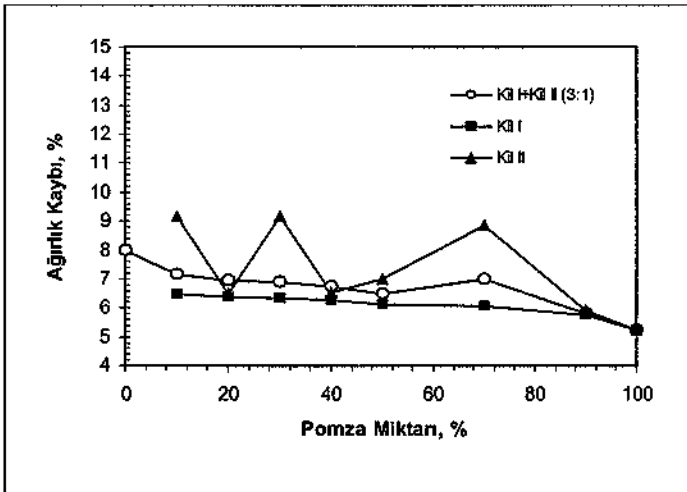
Kil I ile Kil II cevherlerinin (3:1) oranındaki karışımına pomzanın ilave edilmeksizin ağırlıksal kaybı %8.0 iken %10 pomza ilave edildiğinde %7,2 oranına ağırlıksal olarak azalmış ve pomza katkısının %90 oranına kadar artırılması halinde tuğla örneklerinin ağırlıksal kayıp değerlerinde genel olarak düzenli bir azalma gözlenmiştir.



Şekil 1. Numunelerin yaş elek analizi boyut dağılımları (Karışım: 3:1 oranında Kil I ve Kil II)



Şekil 2. Preslenen örnek numunelerin pişirildikten sonraki görüntüleri



Şekil 3. Pomza ilave edildikten sonra örnek tuğla numunelerindeki ağırlıksal kayıplar

Kil I ile Kil II cevherlerinin (3:1) oranındaki karışımına pomzanın ilave edilmeksizin ağırlıksal kaybı %8.0 iken %10 pomza ilave edildiğinde %7,2 oranına ağırlıksal olarak azalmış ve pomza katkısının %90 oranına kadar artırılması halinde tuğla örneklerinin ağırlıksal kayıp değerlerinde genel olarak düzenli bir azalma gözlenmiştir.

Şekil 4'de tuğla örneklerinin, pomza cevherinin katkı oranına göre, birim hacim ağırlıklarındaki değişimler grafiksel olarak gösterilmiştir. Şekil 4' de gösterildiği gibi, Kil I cevherine pomza cevheri %10 oranında ilave edildiğinde $1,93 \text{ gr/cm}^3$ olan birim hacim ağırlığının, artan pomza katkısı ile tuğla örneklerinin birim hacim ağırlığında azalma olduğu saptanmıştır.

Kil II numunesine %10 pomza ilavesi ile $1,78 \text{ gr/cm}^3$ birim hacim ağırlık değerindedir. Genel olarak birim hacim ağırlığı pomza ilavesi ile azalmakta, fakat, zig-zag'lı değerler numune hazırlanmasındaki bir problemi işaret edebilir.

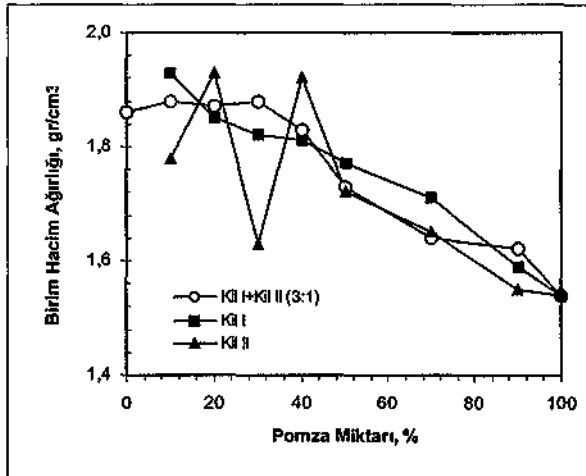
Kil I ve Kil II cevherlerinin (3:1) oranında karıştırılması ile hazırlanan tuğla örneğinin birim hacim ağırlığı $1,86 \text{ gr/cm}^3$ iken, pomza katkısının %10, %20, %30 ve %40 olduğu değerlerde birbirine çok yakın hacimsel ağırlıklar gösterirken, %50 pomza katkısında birim hacim ağırlığı $1,73 \text{ gr/cm}^3$ değerine düşmekte ve pomza

katkısının daha da artması ile birim hacim ağırlığında daha da azalma olmaktadır. %100 pomzadan yapılan tuğla örneğinin birim hacim ağırlığı $1,54 \text{ gr/cm}^3$ olarak ölçülmüştür.

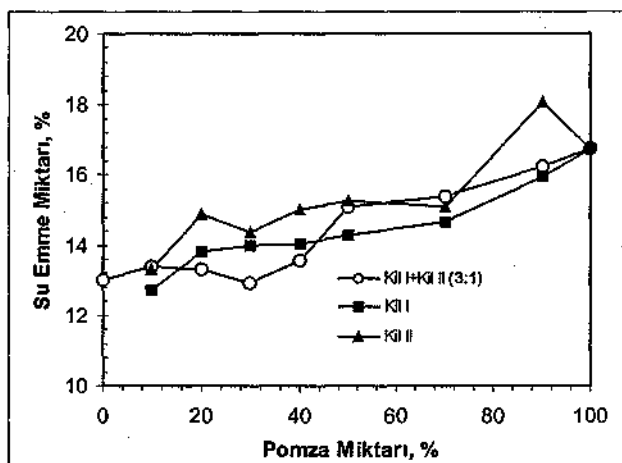
Şekil 5'de pişirilmiş pomza katkılı kil numunelerinin su emme miktarları (%) eğrisel olarak gösterilmiştir. Şekil'dende görüldüğü gibi, genel olarak üç tip numune örneğinde su emme miktarları pomza ilavesi ile artmakta ve %12.7 ile %16.7 arasında değişmektedir.

Şekil 6'da, pomza katkılı tuğla örneklerinin pomza cevherinin katkı oranına göre basınç dayanımı değerlerindeki değişimler eğrisel olarak gösterilmiştir. Şekil 6'da, tek eksenli basınç dayanımı testlerine tabii tutulan tuğla örneklerinden Kil I cevheri ile hazırlanan örneğin basınç dayanımının $95,57 \text{ kgf/cm}^2$, Kil II cevheri ile hazırlanan örneğin basınç dayanımının $120,72 \text{ kgf/cm}^2$ olduğu saptanmıştır. Kil I ile Kil II cevherlerinin (3:1) oranında karıştırılması ile hazırlanan tuğla örneğinin basınç dayanımı ise $153,7 \text{ kgf/cm}^2$ olduğu saptanmıştır. %100 Pomza ile hazırlanan tuğla örneğinin basınç dayanımı ise $39,09 \text{ kgf/cm}^2$ olduğu belirlenmiştir.

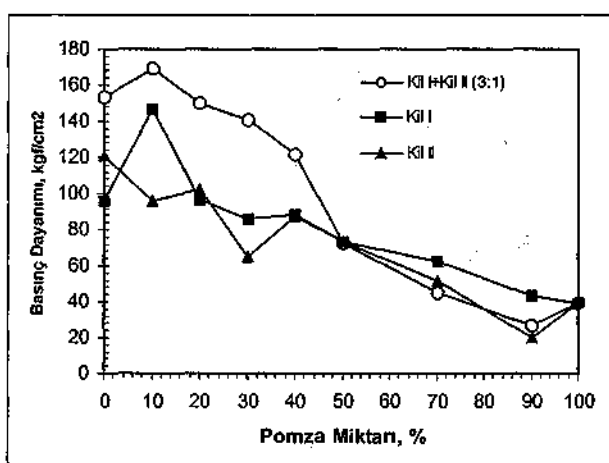
Genel olarak pomza katkısının artması ile tuğla örneklerinin basınç dayanımlarının azaldığı saptanmıştır.



Şekil 4. Pomza ilave edildikten sonra örnek tuğla numunelerinin birim hacim ağırlıkları



Şekil 5. Pomza ilave edildikten sonra örnek tuğla numunelerinin su emme miktarları



Şekil 6. Pomza ilave edildikten sonra örnek tuğla numunelerinin basınç dayanımları

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Pomza'nın tuğla endüstrisinde kullanılabilirliği araştırılmış ve çalışma sonuçlarına göre aşağıdaki bulgular bulunmuştur:

Elde edilen örnek numunelerde, normal tuğlaya nazaran önemli bir ağırlık kaybının olmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca, küçülme değerleri sınırlar dahilindedir.

Örnek numunelerin su emme değerleri, normal tuğlanın su emme değerine oldukça yakındır. Örnek numuneler içindeki pomza'dan ötürü, normal tuğlaya göre %2-3 oranında daha fazla su bünyelerine almışlardır. Bütün değerler %18 in altında kalmıştır.

Örnek numunelerin, birim hacim ağırlıkları normal tuğlaya göre fazla olmasına karşın tuğla standartlarına ($1,8-1,6 \text{ gr/cm}^3$) göre kabul edilebilir değerdedir. Örnek numunelerin basınç dayanımları, normal tuğlanın basınç dayanımına göre oldukça

düşük çıkmıştır. Ayrıca, örnek numunelerin içindeki pomza miktarı arttıkça, tuğlaların mukavemetlerinde önemli ölçüde düşüş gözlenmiştir.

Bu çalışmanın sonuçlarına dayanarak, pomzalı tuğlaların basınç dayanımlarının artırılmasında şu kriterler önerilebilir; pomza numunesinin tane iriliğinin küçültülmesi, numunelerin pişme sıcaklıklarının değiştirilmesi (1000–1100 °C), Kil I ve Kil II cevherlerin karışım oranının değiştirilmesi.

KAYNAKLAR

- Gündüz, L., Sarıışık, A., Tozaçan, B., ve Çankıran, O., 1998, "Pomza Teknolojisi", Cilt 1, Isparta.
- Dökmen, L., 1998, *Salihli ve Turgutlu'dan alınan Tuğla-Kiremit Hammaddelerine Uygulanan Analizler ve sonuçları*, Dokuz Eylül Üniversitesi Yayını, İzmir, 4-21.
- Köse, H., Arslan, V., Tanrıverdi, M., 2001, "4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu", İzmir.
- D.P.T, 2001, "Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu, Yapı Malzemeleri III", Ankara.
- D.P.T, 1996, "Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu, Çimento Hammaddeleri ve Yapı Malzemeleri", Cilt 2, Ankara.
- Demir, İ., Kibici, Y., ve Ünal, O., 18-19 Ekim, 2001, *Pomzanın İnşaat Sektöründe Yapı uğlası Üretiminde Kullanılmasının Araştırılması*, 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, Türkiye.
- Köktürk, U., 1997, *Endüstriyel Hammaddeler*, Dokuz Eylül Üniversitesi Yayını, Yayın No 205.
- Üzer, M. ve Tola, Ç., 1987, *Tuğla kiremit topraklarında kuruma problemleri ve elektrolit ilavesinin kurumaya etkisi*, Saydam Matbaacılık, Ankara.
- TS standartları, No 3234.

<http://www.mta.gov.tr>, March, 2003.

Curalar Köyü (Buldan - Denizli) Meta-Aplit Oluşumları ve Feldspat Hammaddesi Olarak Değerlendirme Olanakları

U. Malayoğlu, E. Koralay, A. Seyrankaya & H. Yenice

Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İzmir

ÖZET: Feldspatlar hem yeryüzündeki miktar yönünden büyüklüğü hem de kullanım alanlarının çeşitliliği ve çokluğu açısından en önemli endüstriyel hammadde gruplarından biridir. Yeryüzünde bol bulunmalarına rağmen, feldspat oluşumlarının çoğunun ince-orta taneli kayaların bileşeni olarak bulunması ve içerdikleri empüriteleri nedeni ile ekonomik değer taşınamaması, endüstriyel hammadde olarak değerlendirilebilmesine imkân vermemektedir. Son yıllarda feldspat kullanan sektörlerdeki gelişmelere paralel olarak artan arz ekonomik değer taşıyan feldspat minerallerinin çıkarılıp değerlendirilmesinde yeni değerlendirme olgularını ön plana çıkarmaktadır. Bu çalışmada feldspat minerallerinin özellikleri dikkate alınarak, potansiyel konumdaki rezervlerin değerlendirme olanaklarına örnek olacak Denizli-Buldan-Curalar Köyü yakınlarındaki Na-Feldspat oluşumlarının hammadde kaynağı olarak kullanılabilirliği irdelenmiştir.

ABSTRACT: Feldspars are one of the most important industrial raw materials because of their large reserves and versatile usage. Although feldspar reserves are large, most of the reserves contains fine-medium particle sizes of rocks and impurities, they are not considered economic as industrial raw material. In recent years, because of the increased demand and the new technological developments in the usage of feldspar minerals, the feldspar reserves need to be evaluated economically again. In this paper, Na-Feldspar reserves near Demirci-Buldan-Curalar Village were evaluated to use as a raw material using the properties of feldspar minerals.

1. GİRİŞ

Feldspatlar ilk defa Amerikalı jeolog Hunt (1871) tarafından granitik damar kayaları adı altında tanımlanmıştır. Fresmann (1931) dünyada çeşitli türde feldspatları incelemiş, sınıflandırma ve oluşum teorilerini ortaya atmıştır. Daha sonra, Varlamoff (1954) çalışmaları geliştirerek yeni bir sınıflandırma ve oluşum hipotezi ortaya atmış, feldspatlar arasındaki geçişe özel olarak dikkat edilmesi gerektiğini vurgulamıştır.

Feldspatlar, potasyum, sodyum, alüminyum, silikatların bileşimlerini ile yeryüzündeki magmatik kayaların %60'ını kapsar ve bileşiminde bulundukları kayaların sınıflandırılması ve isimlendirilmesinde önemli rol oynarlar (Bates ve Jackson 1980). Potasyumlu feldspatlar olarak

adlandırılan ortoklas ve mikroklin, granitler ve siyenitler ile bunların ince taneli dokulu karşılıkları olan riyoit ve trakit bu adlandırmalara iyi bir örnek oluşturmaktadırlar. Ayrıca, feldspatlara gabro, nörir, bazalt ve diğer bazik kayalarda olağan olarak rastlanır. Albit-anortit arasında değişim gösteren Na feldspatlar ise pegmatitlerde çeşitli şekil ve oranlarda bulunmaktadır.

Feldspat, yer kabuğunun bir çok magmatik, metamorfik ve sedimanter kayacın bileşiminde büyük ölçüde bulunması dolayısıyla ticari olarak çeşitli kayaklardan üretimi veya feldspat oranı yeterli olduğu takdirde bu kayaların doğrudan sanayide kullanımı mümkün olmaktadır. Ticari feldspat kaynağı olarak halen kullanılan kayac türleri;

A. Pegmatitler

- Asit Pegmatitler
- Siyenitik Pegmatitler
- Basit Pegmatitler
- Granitik Pegmatitler
- Bazik Pegmatitler
- Karmaşık Pegmatitler

B. Aplitler

- C. Feldspat Filonları
- D. Nefelinli Siyenitler
- E. Alaskit
- F. Granit
- G. Pertit
- H. Feldspatik Kumlar
- I. Altere Granitler olarak verilebilir.

Feldspatların ekonomik değeri kimyasal bileşimine ve içerisinde bulunan kuvars, biotit, muskovit, turmalin minerallerinin varlığına bağlıdır. Bu nedenle bir oluşumun endüstriyel hammadde olarak değerlendirme olanağı, kullanım alanının bu safsızlıkları kabullenme derecesine bağlı olarak değişmektedir. Ancak dünyada genel olarak granitler, pegmatitler, nefelinli siyenitler, feldspatik kumlar feldspat hammadde kaynakları olarak işletilmektedir.

Türkiye'deki hammadde olarak değerlendirilebilecek feldspat oluşumları ağırlıklı olarak Menderes Masifi güneyinde Gökbek Dağı (Çine - Aydın) eteklerinden başlayıp, kuzeyde Dağardı'ya (Simav - Kütahya) kadar uzanan bir alanın değişik kesimlerinde bulunan gnays ve az da olsa mikaşistler içinde gözlenmektedir (Hızal, 1997). Bu çalışmada, Curalar Köyü çevresinde gnayslar içerisinde gözlenen meta-aplitlerin feldspat hammaddesi olarak değerlendirmesine yönelik çalışmanın yapılması amaçlanmıştır.

2. ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİSİ

Çalışma alanı Buldan'ın (Denizli) 12 km kuzeyinde Curalar Köyü'nün çevresinde yer almaktadır (Şekil 1). Yaklaşık 4 km² lik alanı kapsayan inceleme alanının kuzey kesimlerinde Menderes Masifi'nin Pan-Afrikan temel serileri içerisinde yer alan gözlü/granitik yapıdaki gnayslar gözlenmektedir. İnceleme alanının güneyinde ise Neojen yaşlı, kumtaşı ve çakıllardan oluşan tortul kayalar, uyumsuz bir dokanak ile gnaysları

üzерlemektedirler (Şekil 2 a). Gnayslar, Menderes Masifi'nin genelinde çok geniş alanlarda gözlenen ortalama 550 milyon yıl yaşlı (Hetzl ve Reischmann, 1996; Gessner ve diğ., 2004; Koralay ve diğ., 2004) gnayslarla aynı özelliklere sahiptir. Gnaysların deformasyondan etkilenmeyen kesimlerinde ilksel dokusu korunmuş granitik gnays yapısındadırlar. Deformasyonun arttığı kesimlerde ise gözlü gnaystan bantlı gnaysa kadar değişen litolojilerde gözlenmektedirler. Gnaysların Prekambriyen yaşlı şistlerle olan dokanak ilişkisi inceleme alanında gözlenememesine karşın, 6 km kuzeybatıda yer alan Baharlar Köyü çevresinde korunmuş intrüzif dokanak ilişkisi gözlenebilmektedir.

Gnayslar içerisinde kalınlıkları 1-2 m'den 15-20 m'ye kadar ulaşan meta-aplit düzeyleri gnaysların foliasyonuna paralel şekilde yer almaktadır (Şekil 2 b). Meta-aplitler beyazımsı renkli olup oldukça iri feldspat ve kuvars mineralleri içermektedirler. Ayrıca boyları 0,5 cm. ye kadar ulaşan sfenler ve kalınlıkları 3-4 cm'ye ulaşan turmalin düzeyleri meta-aplitler içerisinde yer almaktadır. İkincil rutil iğnecikleri ise çatlak ve eklem takımları arasında gelişmişlerdir.

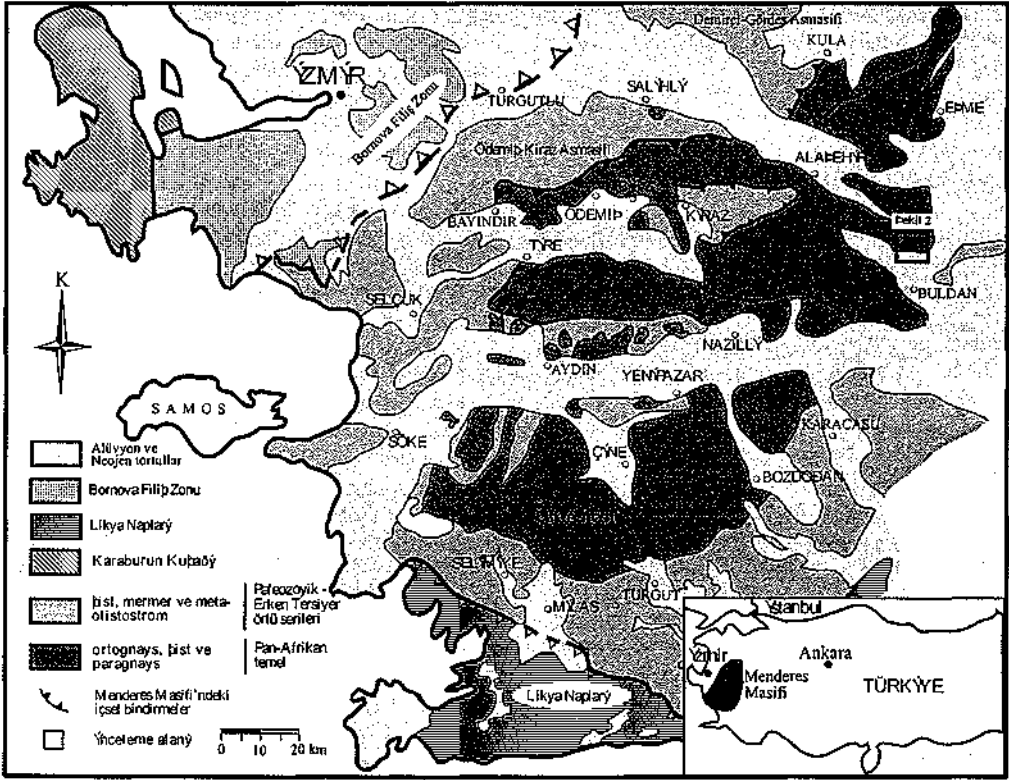
3. BİRİMLERİN MİNERALOGİSİ, PETROGRAFİSİ VE JEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Yapılan petrografik çalışmalarda, gnaysların genel mineral bileşimleri kuvars + plajiolklas + ortoklas ± mikroklin + muskovit + biyotit ± granat ± zirkon ± turmalin ± sfen ± zoisit ± opak olarak saptanmıştır. Gnayslara ait karakteristik örneklerin modal mineralojik analiz değerleri Çizelge 1'de verilmektedir.

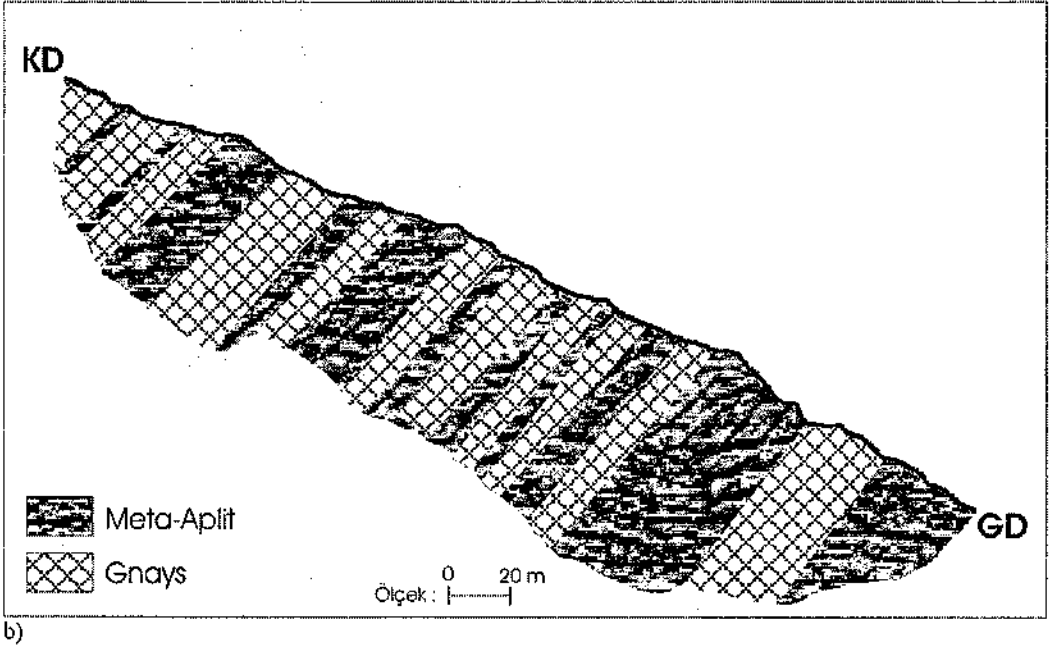
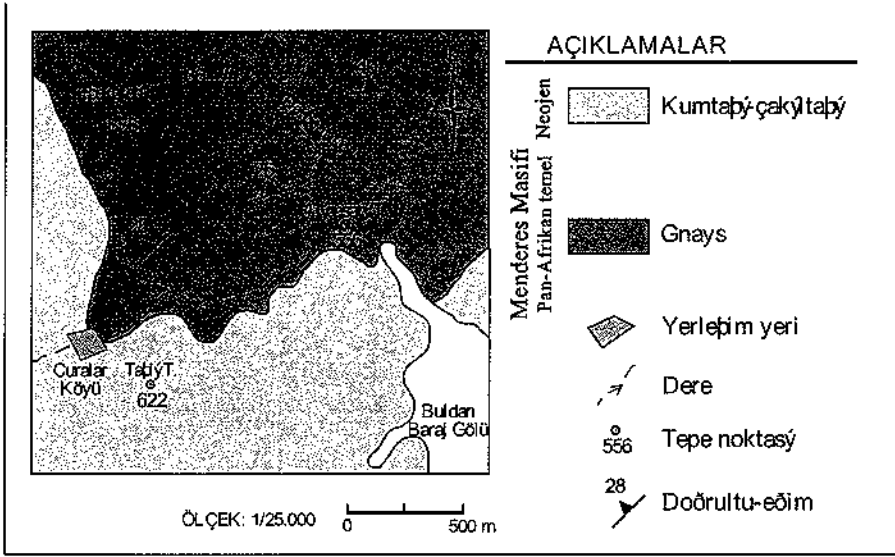
Kuvars, plajiolklas ve ortoklas gnaysların ana bileşenlerini oluşturmaktadır. Ortoklaslar genellikle pertitik yapılar içermekte ve tipik polisentetik ikizlenmeli plajiolklaslarla beraber porfiroblastlar şeklinde gözlenmektedirler. Pertitik ortoklaslarda bir çok çalışmada deformasyon ürünü olduğu kabul edilen mikrokline dönüşümler yaygın olarak gözlenmektedir. Polisentetik ikizlenme sunan plajiolklaslarda deformasyon ürünü ikincil ikizlenmeler ve kırıklanmalar gözlenmektedir. Muskovit ve biyotitler kayataki deformasyona bağlı olarak belirgin yönlenme sunabilmektedir.

Gnaysların sınırlı deformasyondan etkilenmemiş kesimlerinde yönlenmesiz granoblastik doku gözlenirken deforme kısımlarda milonitik dokunun çeşitli aşamalarına ilişkin kristal boyutu küçülmesi, rekristalizasyon ve düzlemsel ayrılma yapısı kazanmasıyla bağlantılı dokusal veriler gözlenmektedir.

Meta-aplitlerden yapılan petrografik çalışmalarda bu kayaların genel mineral bileşimleri kuvars + plajioloklas + ortoklas + muskovit + zoisit + sfen + rutil olarak saptanmıştır. Bu kayalara ait örneklerin ince kesit incelemelerinde saptanan mineral yüzde değerleri Çizelge 1'de verilmektedir.



Şekil 1. Menderes Masifi'nin basitleştirilmiş jeoloji haritası ve çalışma alanının yeri (Koralay ve diğ., 2004'den değiştirilerek).



Şekil 2. (a) Buldan'ın kuzeyinde yer alan çalışma alanının jeoloji haritası (b) Curalar Köyü Kuzey-Doğu çevresinde gnayslar içerisinde gözlenen meta-aplitler.

Çizelge 1. Gnayslar ve aplitlere ait karakteristik örneklerin mineral yüzde değerleri, E: eser.

Örnek No	Meta-aplit			Gnays		
	6	7	8	9	10	11
Kuvars	48	58	64	31	36	38
Plajiolklas	45	35	30	19	22	20
Ortoklas	2	E	1	23	12	25
Mikroclin	--	--	--	6	--	--
Muskovit	3	2	1	9	9	6
Biyotit	--	--	--	12	15	11
Granat	--	--	--	--	1	--
Zirkon	E	--	E	--	E	--
Turmalin	--	--	--	3	--	--
Sfen	1	1	E	1	--	--
Zoisit	1	3	3	E	--	--
Rutil	E	1	E	--	--	--
Opak	--	--	--	--	E	--

Meta-aplitlerde kuvars ve plajiolklaslar kayacın ana bileşenini oluşturmaktadır. Kuvarslar 50-500 mikron boyutlarında olup iri plajiolklas ve ortoklaslar arasında yer almaktadırlar. Polisentetik ikizlenme sunan plajiolklaslar 10-5000 mikron boyutlarındadır ve sünümlü koşullarda gelişen kırıklanmalar boyunca ufak boyutlu yeni kristallenmeler göstermektedirler. Az oranda bulunan ortoklaslarda yaygın perititik yapı gözlenmektedir. Çok fazla deformasyon sunmayan kayada korunmuş ilksel magmatik dokuyu yansıtan ve iri plajiolklas ve ortoklaslardan kaynaklanan porfiritik doku gözlenmektedir. Yoğun kuvarsların gözleendiği kesimlerde ise kaya poligonal doku sunmaktadır.

Meta-aplitleri temsilen sekiz örneğin ana element analizleri yapılmıştır. Analizlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 2'de verilmektedir. Magmatik kayaların kimyasal analizleri göz önüne alındığında, meta-aplitlerin SiO_2 ve Al_2O_3

bakımından orta değerlerde olduğu görülmektedir. Menderes Masifi'nin genelinde, gnayslardan yapılan kimya analizleriyle meta-aplitlerin analiz sonuçları karşılaştırıldığında SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 ve MgO değerlerince her iki kayacın yaklaşık aynı oranlara sahip oldukları görülmektedir (Bozkurt ve diğ., 1995; Koralay ve diğ., 2004). Fe_2O_3 ve K_2O değerlerinin ise gnayslarda daha yüksek (Fe_2O_3 : % 0,5-5,0 – K_2O : % 2,0-5,5) olmasına karşın meta-aplitlerde oldukça düşük değerlerdedirler (Çizelge 2). Bu oranların, gnayslarda yüksekliği, iri feldspat gözleri ve bol biyotit içermesinden, meta-aplitlerde düşük olması ise çok az oranda ortoklasın varlığı ve hiç biyotit içermemesinden kaynaklanmaktadır. Aynı şekilde, Na_2O ve CaO değerlerinin gnayslarda daha düşük (Na_2O : % 2,5-5,0 – CaO : % 0,3-2,0) olmasına karşın meta-aplitlerde ise bu değerlerin yüksek olduğu görülmektedir (Çizelge 2). Bunu nedeninin, meta-aplitlerin daha yüksek oranda plajiolklas minerallerine sahip olmasından kaynaklandığı söylenebilir.

Çizelge 2. Meta-aplitlere ait ana element analiz sonuçları.

Element	Örnek No:1	Örnek No:2	Örnek No:3	Örnek No:4	Örnek No:5	Örnek No:6	Örnek No:7	Örnek No:8	Ortalama Temsili
SiO ₂	72,28	75,78	78,82	75,56	74,14	75,25	76,71	76,56	77,36
Al ₂ O ₃	12,36	12,89	10,77	12,88	12,81	11,38	13,73	14,05	10,98
Fe ₂ O ₃	0,14	0,16	0,09	0,10	0,04	0,26	0,19	0,11	0,10
TiO ₂	0,77	0,55	0,29	0,58	0,62	0,60	0,53	0,54	0,47
CaO	1,94	3,41	1,86	3,33	3,72	2,49	2,57	3,43	2,34
MgO	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Na ₂ O	6,75	5,61	5,99	5,94	5,09	6,12	6,39	5,83	6,00
K ₂ O	0,65	0,30	0,23	0,21	0,31	0,65	0,62	0,14	0,27
K.K	5,1	1,29	1,94	1,39	2,56	1,14	0,75	1,00	1,55

4. META-APLİTLERİN FELDSPAT CEVHERİ OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİNE YÖNELİK DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bölgedeki feldspat oluşumlarının, endüstriyel kullanıma uygunluğunun belirlenebilmesi için laboratuvarında gerçekleştirilen ön fiziksel testler Şekil 3'de akım şeması halinde verilmiştir. Sahadan alınan numuneler öncelikle çeneli kırıcıda kırıldıktan sonra elek analizi yapılmış, daha sonra

tane fraksiyonları 100 mikronun altına öğütülerek her tane fraksiyonunun kimyasal analizi yapılmış ve Çizelge 3 ve 4'de görülen sonuçlar elde edilmiştir

Sahadan alınan numunelerin çeneli kırıcıda kırılıp elek analizi yapıldıktan sonra kırılma davranışını saptamaya yönelik bu testlerde kırıcı çıkışı ürün elek metal çizelgesi çizelge 5'de verilmektedir.

Çizelge 3 – Besleme Malı Tane İriliği Dağılımı Elek-Metal Çizelgesi (Na₂O)

Tane İriliği	Ağırlık (%)	%Na ₂ O	Dağılım	Kümülatif Elek Altı			Kümülatif Elek Üstü		
				Ağ. (%)	%Na ₂ O	Dağılım	Ağ. (%)	%Na ₂ O	Dağılım
9,51 – 4,76	25,76	4,43	21,68	100	5,26	100	25,76	1,43	8,20
4,76 – 3	30,91	4,72	27,71	74,25	5,55	91,80	56,67	3,22	40,68
3 – 2	4,98	5,65	5,34	43,34	6,15	59,32	61,65	3,42	46,94
2 – 1	13,07	7,12	17,68	38,36	6,21	53,06	74,72	4,07	67,66
1 – 0,5	6,98	6,03	8,00	25,29	5,74	32,34	81,70	4,24	77,03
0,5 – 0,315	3,93	4,79	3,57	18,31	5,63	2,97	85,63	4,26	81,22
0,315 – 0,212	2,38	4,41	1,99	14,38	5,86	18,78	88,01	4,26	83,56
0,212 – 0,106	4,16	5,88	4,65	12,00	6,15	16,44	92,17	4,34	89,01
0,106 – 0,080	1,59	5,18	1,57	7,84	6,30	10,99	93,76	4,35	90,84
0,080 – 0	6,25	6,58	7,81	6,25	6,58	9,16	100	5,26	100
Toplam	100	5,26	100						

Çizelge. 4 – Besleme Malı Tane İriliği Dağılımı Elek-Metal Çizelgesi (SiO₂)

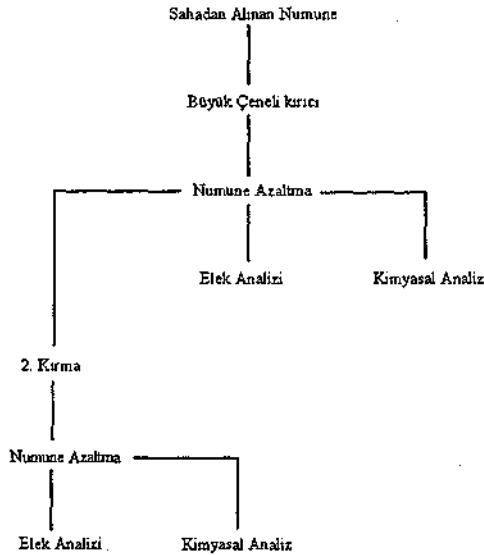
Tane İriliği	Ağırlık (%)	%SiO ₂	Dağılım	Kümülatif Elek Altı			Kümülatif Elek Üstü		
				Ağ. (%)	%SiO ₂	Dağılım	Ağ. (%)	%SiO ₂	Dağılım
9,51 – 4,76	25,76	54,43	23,45	100	59,80	100	25,76	54,43	23,45
4,76 – 3	30,91	54,43	28,14	74,25	61,65	76,56	56,67	54,43	51,59
3 – 2	4,98	65,71	5,47	43,34	66,80	48,42	61,65	55,34	57,06
2 – 1	13,07	63,03	13,78	38,36	66,94	42,95	74,72	56,69	70,84
1 – 0,5	6,98	59,13	6,90	25,29	68,96	29,17	81,70	56,89	77,74
0,5 – 0,315	3,93	67,97	4,47	18,31	72,70	22,27	85,63	57,40	82,21
0,315 – 0,212	2,38	79,35	3,16	14,38	73,99	17,80	88,01	57,99	85,37
0,212 – 0,106	4,16	72,76	5,06	12,00	72,93	14,64	92,17	58,66	90,43
0,106 – 0,080	1,59	77,94	2,07	7,84	73,03	9,58	93,76	58,99	92,50
0,080 – 0	6,25	71,82	7,51	6,25	71,82	7,51	100	59,80	100
Toplam	100	59,80	100						

Çizelge 5. Kıırma ürünü tane iriliği dağılımı elek-metal çizelgesi

Tane İriliği	Ağırlık (%)	%Na ₂ O	%SiO ₂	Dağılım	Kümülatif Elek Altı			Kümülatif Elek Üstü		
					Ağ. (%)	%Na ₂ O	Dağılım	Ağ. (%)	%SiO ₂	Dağılım
- 4,76	1,65	5,72	56,78	1,69	100	5,57	100	100	62,54	100
4,76 – 3	12,65	6,03	65,71	13,68	98,35	5,57	98,32	98,35	62,63	98,52
3 – 2	3,75	6,03	59,13	4,06	85,70	5,50	84,63	85,70	62,18	85,23
2 – 1	19,98	5,96	55,37	21,37	81,95	5,48	80,57	81,95	62,32	81,68
1 – 0,5	16,10	6,42	64,77	18,55	61,97	5,32	59,20	61,97	64,56	63,99
0,5 – 0,315	7,58	5,49	73,24	7,47	45,87	4,94	40,65	45,87	64,48	47,31
0,315 – 0,212	5,89	3,01	56,31	3,18	38,29	4,83	33,18	38,29	63,75	38,43
0,212 – 0,106	11,96	3,91	74,18	8,39	32,40	5,16	30,00	32,40	63,92	33,13
0,106 – 0,080	4,97	4,25	54,43	3,79	20,44	5,89	21,61	20,44	54,92	18,94
0,080 – 0	15,47	6,42	59,04	17,82	15,47	6,42	17,82	15,47	59,04	14,61
Toplam	100	5,57	62,54	100						

Yapılan kırma testlerinde cevherde bir ön zenginleştirme olabilmesi imkanları araştırılmıştır. Bu ön zenginleştirme çalışmaları sonucu tane iriliğine bağlı Na₂O ve K₂O ve SiO₂ deki değişimleri gözlemlenmiş ve ilk aşamada bu cevherin özellikle seramik sektöründe değerlendirilebileceği sonucuna varılmıştır. Bu

yapısal özelliğe bağlı zenginleştirme yöntemine ek olarak diğer yöntemlerin de uygulanması söz konusudur. Ancak bu çalışmalar halen devam etmektedir.



Şekil.3 – Sahadan alınan örneklere uygulanan fiziksel ön testler

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Curalar Köyü (Buldan-Denizli) meta-aplit oluşumlarının değerlendirilmesine yönelik irdelemeler yapılmıştır. Yapılan çalışmaların amacı, bu bölgedeki oluşumların endüstriyel hammadde olarak değerlendirilebilmesinin Na_2O , K_2O ve SiO_2 içeriğine bağlı olarak belirlenmesi ve cevherde yapısal özelliğe bağlı bir ön zenginleştirmenin olup olmadığının belirlenmesidir.

Ticari anlamda değerlendirilebilecek feldspat hammadde kaynaklarındaki yeni arayışlar; yeni sahaların bulunmasını veya mevcut sahalarındaki sorunların giderilerek değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu nedenle son yıllarda artan feldspat cevheri talebi de dikkate alınarak ülkemizdeki potansiyel kaynakların değerlendirmeye alınması gerçeği Denizli - Buldan örneğinde olduğu gibi diğer sahalar da teknolojik çalışmaların yapılması gerektiğini ön plana çıkarmaktadır.

Bu araştırma sonucu elde veriler Curalar Köyü (Buldan-Denizli) meta-aplit oluşumlarının potansiyel bir feldspat kaynağı olabileceğini göstermektedir.

TiO_2 ve Fe_2O_3 gibi renk verici bileşenlerin seramik ve cam endüstrisinde arzu edilen değerlerin üzerinde olması ve ham cevherin Na_2O tenörünün nispeten düşük olması bu tip cevherlerin doğrudan değerlendirilmesini mümkün kılmamaktadır. Bu nedenle zenginleştirme işlemlerinin (flotasyon, manyetik ayırma vb.) yapılarak teknik özelliklere sahip konsantre elde edilmesi olanaklarının ve koşullarının araştırılması, ayrıca maliyet analizlerinin yapılması yerinde olacaktır.

KAYNAKLAR

- Hetzl, R. & Reischmann, T. 1996. *Intrusion age of Pan-African augen gneiss in the southern Menderes Massif and the age of cooling after Alpine ductile extensional deformation. Geological Magazine* 133, 565-572.
- Gessner, K., Collins, A.S., Ring, U. & Güngör, T. 2004. *Structural and thermal history of poly-orogenic basement: U-Pb geochronology of granitoid rocks in the southern Menderes Massif, western Turkey. Journal of Geological Society, London* 161, 93-101.
- Bates, R.L., Jackson, J.A., 1980, *Glossary of Geology*, Virginia.
- Hızal, M., 1997, *Potasyum Feldspatların Düny, Bugünü ve Yarın*, 2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir,
- Bozkurt, E., Winchester, J.A. ve Park, R.G. 1995. *Geochemistry and tectonic significance of augen gneisses from the southern Menderes Massif (West Turkey). Geological Magazine* 132, 287-301.

Yumuşak Endüstriyel Dolgu Malzemesi Üretiminde Son Teknoloji (State of the Art Technology of Soft Industrial Mineral Filler Production)

D. Alber
Hosokawa Alpine, Augsburg Germany

ÖZET:

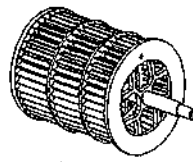
Günümüzde, araba parçaları, kağıt, boya, plastik ve conta gibi bir çok ürünlerin hepsi pazarda mücadele vermek amacıyla yüksek teknoloji ürünleridir.

Bu da demektir ki, geçmişte olumsuz bir izlenime sahip olan endüstriyel hammadde dolgu üreticileri, günümüzde „mühendislik dolguları“, „fonksiyonel dolgular“, „takviyeler“ veya „mineral katkıları“ gibi terimlerle anılır olmuşlardır. Aynı zamanda, bu dolguların düşük değerli standart dolgulara göre fiyatları da artmıştır. Genel olarak yumuşak endüstriyel dolgu madde üretiminde çok daha ince tane boyutlu ($d_{97} = 5 \mu\text{m}$ un altı) ürüne, dizayn edilmiş tane boyut dağılımına (çok dik eğrili), dolgu karışımlarına (GCC + PCC), stearik asit ya da silan ile kaplanmış dolgu maddelerine doğru rağbet vardır. Dolgu malzemesi endüstrisi için talep değiştikçe, dolgu maddesi üreticileri de değişik gereksinimlerle karşılaşmaktadır.

Genel olarak bu da yeni yatırımlar demektir ki bu da en azından $d_{97} = 2,5 \mu\text{m}$ 'a kadar üretim yapabilen yüksek teknoloji ve güncel dolgu üretim tesisleri veya mevcut tesislerin terfi ettirilmesi anlamına gelir. Ayrıca, hazır öğütülmüş mineral dolgusunun yüzey işlemi de gereklidir. $d_{97} = 10 \mu\text{m}$ üretimin macera olarak sayıldığı geçmiş yıllara göre, günümüzde kuru prosesinde modern makinalar mevcuttur. Örneğin, ALPINE son olarak zorlanmış girdap (forced vortex) seperatör çarkı teknolojisini geliştirmiştir. Bu teknoloji ATG/NG ya da Turbo Twin seperatör modellerinde görülmektedir.



Zorlanmış Girdap Teknolojisi
(Forced Vortec Technology)



ALPINE Turbo Twin Seperator Çarkı
(ALPINE Turbo Twin Classifler Wheel)

Bu tür seperatörlerin karıştırmalı inci değirmenleri ile kombinasyonları ultra ince $d_{97} = 2,5 \mu\text{m}$ 'a kadar mineral tozları üretimi için en uygun sistemlerdir ve düşük maliyetli bir üretim için ALPINE Tablalı Değirmen AWM şarttır.

Mineral üreticisine yüksek esneklik sağlayan bu tür makinalara ek olarak, tüm tesisler son teknoloji ürünün donanım ve kontrol sistemleri ile donatılmış olmalıdır. Günümüzde bilyalı değirmenler için load cell teknolojisi, seperatörler için hava akış ölçümü ve kontrol aletleri zorunludur.

Ultra ince dolgular için talep sürekli olarak arttığı için, 7 ton / saat kapasiteli $d_{97} = 10 \mu\text{m}$ üretimi için Turboplex 630/4 ATP/NG gibi çok büyük makinalar pazar tarafından talep edilir hale gelmiştir. Üretim güvenliği günümüzde çok ilerlemiş olup, "teleservis" denilen modemler aracılığı ile internet üzerinden bu teknoloji ile donanmış bir tesisi ALPINE elektrik departmanından kontrol ve terfi ettirmek mümkündür.

ABSTRACT:

Nowadays many common products, like car parts, paper, paint, plastic and sealant's are all together High Tec products with special properties, in order to compete in the market.

This means, for the industrial mineral filler producers, that the negative image in the past, is nowadays completely replaced by words like "engineered fillers", "functional fillers", "reinforcements" or "mineral additives". At the same time such fillers price increased, compared to standard fillers with lower value. Generally speaking for soft industrial mineral fillers, there are strong tendencies, for much finer products (below $d_{97} = 5 \mu\text{m}$), designed particle size distributions (very steep ones, missing the fine portion), filler mixtures (GCC + PCC), coated fillers, either with stearic acid or silanes. As the demand for the filler industry changed, also the filler producer is facing different requirements.

Generally speaking, this means new investments, at least in High Tec up to date production plants for fillers up to $d_{97} = 2,5 \mu\text{m}$, or an upgrading of existing systems. In addition, surface treatment of the ready ground mineral filler is a necessity. Compared to previous years, where production of mineral filler below $d_{97} = 10 \mu\text{m}$ was an adventure, nowadays modern machines for dry processing are available. For example by ALPINE latest developed Forced Vortex classifier wheel technology, which is realised in the ATP/NG version or in the TurboTwin version TTC.

A combination of such classifiers with the agitated pearl mills is the ultimative system for ultrafine minerals powders up to $d_{97} = 2,5 \mu\text{m}$ and for a low cost production unit the ALPINE Table Roller Mill AWM is a must.

In addition to such machines, which are allowing high flexibility for the mineral producer, all plants nowadays should be equipped with latest instrumentation and control systems. Nowadays load cell technology for the ball mill system, air flow measurement and control devises for the classifiers are a must.

As the demand of ultrafine fillers is increasing tremendously, very huge machines, e.g. like Turboplex 630/4 ATP/NG for 7 t/h $d_{97} = 10 \mu\text{m}$ for ultrafine fillers are required by the market and available nowadays. Production security nowadays is much improved and by the so called "teleservice" via modems or the Internet, each plant equipped with such a technology, can be upgraded or controlled by the ALPINE electrical department in Germany, on demand.

Seramik, Cam ve Refrakter Endüstrisi için Güncel Mineral Prosesi (Up to Date Hard Mineral Processing for Ceramic, Glass and Refractory Industry)

D. Alber
Hosokawa Alpine, Augsburg Germany

ÖZET:

1. **Felspat ve Kuvars'ın Demirsiz Üretimi:** Günümüzde seramik endüstrisi bünye ve sır bileşenleri için "tam ihtiyaca göre" ürünler talep etmeye başlamıştır. Seramik uygulamaları için istenen özellikler aşağıdaki gibidir.

Sır:

1 μm , maks. %13;
Üst sınır %99,8 20 μm ;

Bünye:

maks. %3 1 μm .
Üst sınır %99,8 < 80 μm .

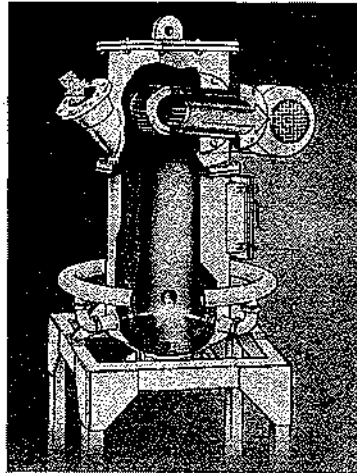
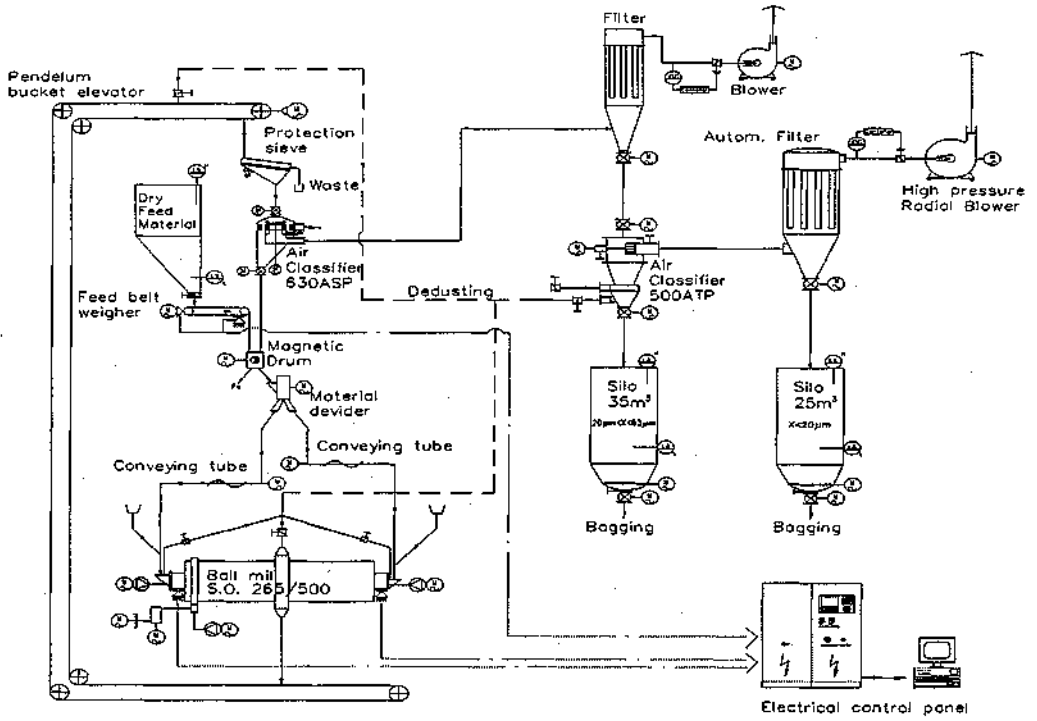
Bu tür ürünler seramik üretimi için daha uygundur çünkü seramik bünyenin üretiminde ince ürünlerde daha geniş sinterleme aralığı sağlarlar ve dolayısıyla daha az ıskarta ortaya çıkar. Sır için ise, daha az yapışmaya olanak sağlayan pigment ve sır dağılımı dahi mümkündür.

Günümüzde bu alanda neredeyse hiç bir üretici sert mineralleri yaş olarak üretmemektedir. Kuru işlem dahi doğru özellikleri sağlayamamaktadır. Bu yüzden "çifte seçim" olarak adlandırılan proses kullanılmaktadır. Bu prosede üst sınır, örneğin; $d_{97} = 75 \mu\text{m}$, bilyalı değirmen ve seperatör devresi ile elde edilir. Daha sonra, bu standart ürün, 20 μm ' un altını ayıran süper ince seperatörde ayrılır ve böylece dik bir tane boyut dağılımına sahip, az miktarda ince malzeme içeren bünye malzemesi elde edilmiş olur. Burada dağılım tam olarak, sektörde talep edildiği gibi, %20 - %80 oranında gerçekleşir. Bu alanda demirsiz üretim ve aşınma koruması için Al_2O_3 seramik bileşenler şarttır.

2. **Seramik Toz ve Pigmentlerin Üretimi:** Bu alana sık renk değişimleri ve istenen dik tane boyut dağılımı yüzünden ALPINE Akışkan Yataklı Hava Jeti Değirmeni hakimdir. Bu tür seramik tozları renkli dizaynlar, elektrik izolasyonu, diş ile ilgili uygulamalarda veya aşındırıcı ve korozif ürünlere karşı koruma için kullanılmaktadır.

ALPINE Akışkan Yatak Hava Jeti Değirmeni tamamen Al_2O_3 ya da SiC sinter parçalarla aşınmaya karşı kaplanabilir, genellikle vulkolan kombinasyonu ile berabere aşınmaya karşı koruma sağlanır. Sonuç, ileri seviyede proses kontrolüne bağlı olarak, çok dik bir tane boyut dağılım eğrisi, çok kesin bir üst sınır, demir içermeyen, ince kısmın içerisinde kaba taneler bulundurmayan ve istikrarlı bir tane boyut dağılımıdır.

3. **Ultra İnce Zirkon Sır Üretimi (Opacifier):** $d_{50} = 0,9 \mu\text{m}$ ' a kadar olan, üst sınır 3 μm olan süper ince zirkon sır malzemesi dahi kapalı bir bilyalı değirmen ve seperatör devresinde üretilebilir. Tüm bunlar demirsiz koşullarda, eski ve kurutma gerektiren yaş proseslere göre çok daha az enerji harcayarak elde edilir. Genel olarak 500 kWh/t' un altında enerji harcanabilir. Sonuç, yaş prosese oranla daha dar bir tane boyut dağılımı ve bu doğrultuda kaplama kabiliyeti daha yüksek ve yüzeyin daha pürüzsüz olmasıdır. Aynı proses ile Alüminyum oksit $d_{50} = 1 \mu\text{m}$ ' tane boyutuna kadar üretilebilmektedir.



ALPINE Akışkan Yatak Hava Jeti Değirmeni, AFG
(ALPINE Fluidized Bed Opposed Jet Mill, AFG)

ABSTRACT:

1. **Ironfree Production of Feldspar and Quartz:** Nowadays the Ceramic Industry is requiring so called "Tailor made products", for the body mass and glaze components, as well. Specifications for ceramic applications nowadays as follows:

Glaze:

1 μm , max. 13%;

Top cut 99,8% 20 μm ;

Body mass:

max. 3% at 1 μm

Top cut 99,8 < 80 μm .

Such products are more suitable for the ceramic industries, because for the ceramic body production, one can have wide sinter interval's thinner bodies and at the end less scrap. For Ceramic glaze smooth services, even pigment and glaze distribution with less cohesion is the result.

Today almost nobody in this field is producing the hard components by wet grinding, even the conventional dry process gives not the right specification. Therefore, so called "double selection" is used. In this process the top cut, e.g. $d_{97} = 75 \mu\text{m}$ is achieved in a conventional ball mill classifier circuit. Subsequently this standard product is given to a superfine classifier, which is separating glaze components below 20 μm and a very steep body mass product with less fines. This comes exactly in the ratio 20 - 80%, which is required in the field. Ironfree processing for this field and hardest possible wear protection with Al_2O_3 ceramic components are a must.

2. **Production of Ceramic Powders and Pigments:** This field is due to frequent colour changes and steep required particle size distributions, dominated by the ALPINE Fluidised-Bed Opposed Jet Mills. Such ceramic powders are nowadays used for colourful designs, electrical insulators, dental use or wear protection for very abrasive or corrosive products.

The ALPINE Fluidised-Bed Opposed Jet Mill AFG can be fully wear protected by Aluminiumoxide parts or SC sinter parts. Usually in a combination with Vulkollan. The result is a very steep particle size distribution, with a sharp top cut, no iron contamination, no cross contamination and a very constant particle size distribution due to the advanced process controls.

3. **Dry production of Ultrafine Zircon Glaze (Opacifier):** Superfine Opacifiers, even up to $d_{50} = 0,9 \mu\text{m}$, with a top cut below 3 μm can be produced in a closed ball mill classifier and circuit. All this, in ironfree condition, with much lower energy consumption compared to the old wet process with drying. Usually, an energy below 500 kWh/t can be obtained. Generally speaking, the result is a more narrow range particle size distribution, compared to the wet produced product and therefore the covering is higher and the surface is smoother. With the same process we can strength produce Aluminiumoxide, down to fineness of $d_{50} = 1 \mu\text{m}$.



DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ

MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ

MADEN MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ



DÖNER SERMAYE ÇERÇEVESİNDE YAPILAN İŞLER

MADEN ARAMA, ÖN İŞLETME ve İŞLETME PROJELERİ ARA RAPORLARI

ÖN İŞLETME ve İŞLETME PROJELERİ

FİZİBİLİTE PROJELERİ

CEVHER ve KÖMÜR HAZIRLAMAYA YÖNELİK TÜM TEMEL ARAŞTIRMALAR

CEVHER ve KÖMÜR HAZIRLAMA TESİS DİZAYNI

FİZİBİLİTEDE ve TEKNOLOJİK ÇALIŞMALAR İLE İLGİLİ;

Cevher Mikroskobisi

X Işımları (Difraksiyon, Spektrometre, Mikroprob)

Kimya

Maden İşletme

Kaya Mekaniği

Mermer Kalite Kontrol

Cevher Hazırlama

Cevher Zenginleştirme

Flotasyon

Kömür Teknolojisi

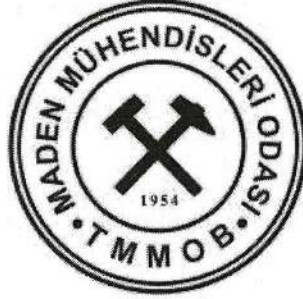
Seramik Teknolojisi

**LABORATUVARLARINDA HER TÜRLÜ MADEN ANALİZİ ve DENEYLERİ
EN İLERİ TEKNİKLER KULLANARAK YAPILMAKTADIR.**

D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 35100 Bornova/İZMİR

Tel: +90.232.373 82 90 · Faks: +90.232.373 82 89

www.deu.edu.tr/maden



TMMOB MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI

TMMOB MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI, 1954 yılında Anayasa'nın 135. Maddesinde tanımlanan 66 ve 85 sayılı KHK ve 7303 sayılı Yasa ile değişik 6235 sayılı Yasa'ya göre kurulmuş, kamu kurumu niteliğinde bir meslek kuruluşudur.

Düzenlediği Uluslararası Madencilik ve Kömür Kongreleri, birçok Sempozyum, Seminer, Panel ve Söyleşilerle madencilik sektörü ve Maden Mühendislerinin sorunlarına çağdaş bir yaklaşımla çözüm arayan Maden Mühendisleri Odası;

- 7455 Üye
- 4 Şube
- 20 İl Temsilciliği
- 28 İşyeri Temsilciliği ve
- Üniversite Öğrenci Temsilcilikleri ile madencilik sektörünün en önemli meslek örgütüdür.

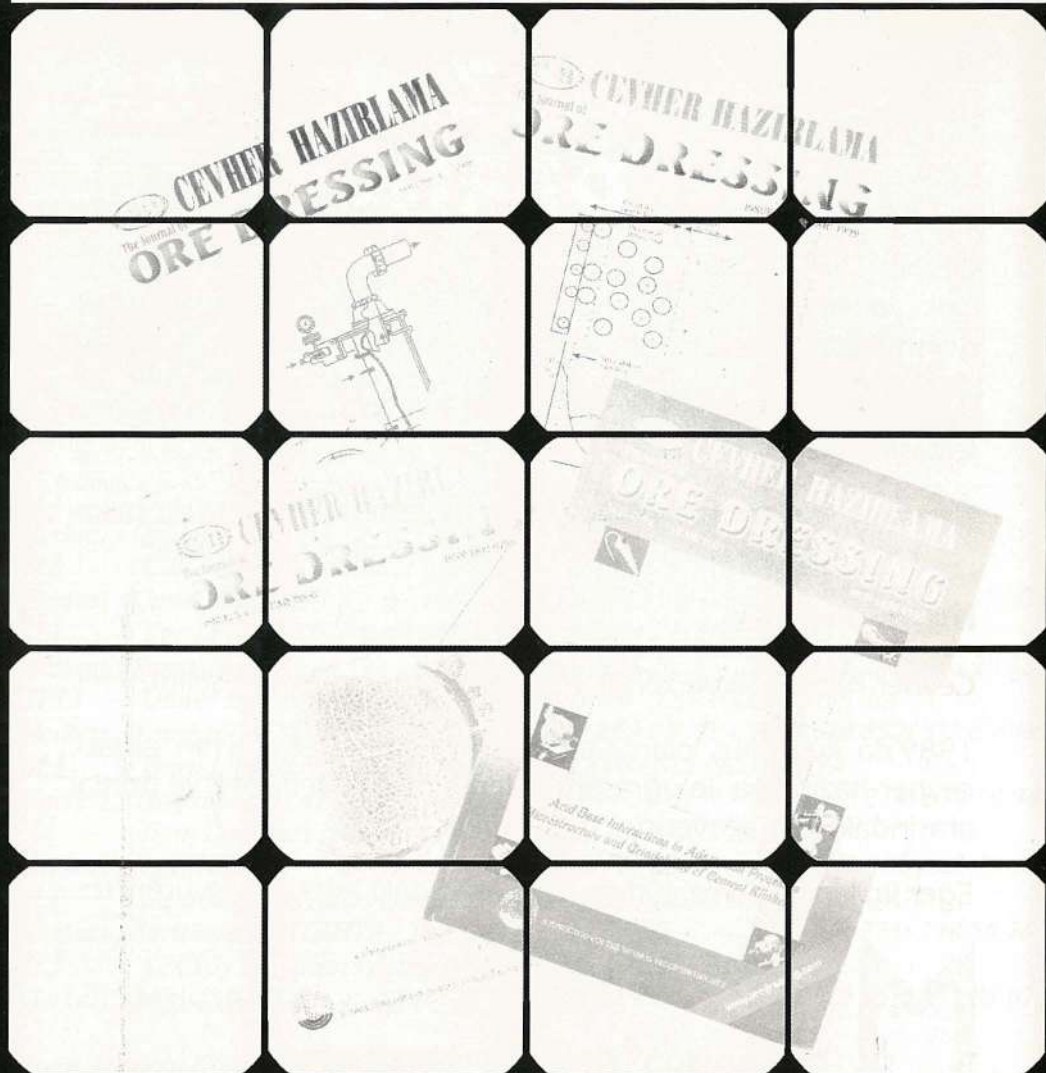
39.DÖNEM YÖNETİM KURULU ÜYELERİ

Başkan	: Mehmet TORUN
II.Başkan	: Mahmut YILMAZ
Genel Sekreter	: Nejat TAMZOK
Sayman	: Ali ÖNEMLİ
Üye	: Nahit ARI
Üye	: Yusuf Ziya AKGÖK
Üye	: A.Çağatay DİKMEN

Adres :

Selânik Cad. Yeşim Apt. No:19/3
06650 Kızılay / ANKARA
Tel : 0.312.425 10 80
: 0.312.418 36 57
Faks : 0.312.417 52 90
Web :www.maden.org.tr
E-Posta :maden@maden.org.tr

the journal of **ORE DRESSING**



www.oredressing.com



A PUBLICATION OF THE MINERAL PROCESSING SOCIETY





CEVHER HAZIRLAMA DERNEĞİ

Cevher hazırlama ve zenginleştirme alanında bilimsel ve teknolojik yeniliklere ulaşmak, ülkemizde ve dünyada bu alandaki gelişmeleri izlemek;

Cevher hazırlama ve zenginleştirme alanında çalışan tüm meslektaşlarımızın birlikteliğini oluşturmak;

Ülkemizin cevher hazırlama ve zenginleştirme alanındaki bilimsel, teknolojik ve ekonomik girişimlerine katkıda bulunmak;

istiyorsanız...

Cevher hazırlama ve zenginleştirme derneğinde birleşelim.

1989'da kurulmuş olan Cevher Hazırlama Derneği'nin amacı, cevher hazırlama ile uğraşan kişileri biraraya getirmek ve bunlar arasındaki bilgi alışverişini sağlamaktır.

Eğer ilgileniyorsanız, lütfen bize, aşağıdaki adrese başvurunuz:



Dernek Merkezi:

Atatürk Caddesi Pamuk Plaza Kat: 5 İZMİR

Dernek haberleşme adresi:

Prof. Dr. Mevlüt Kemal

D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi

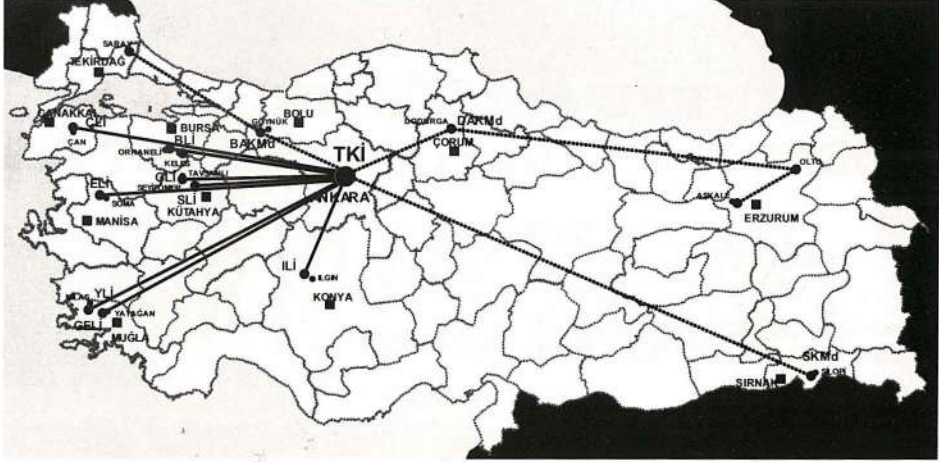
Maden Mühendisliği Bölümü

Bornova - İZMİR

Tel: 0232 388 78 70 - 388 31 39

Fax: 0232 373 82 89

TKİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ VE TAŞRA TEŞKİLATLARI



- BLİ** Bursa Linyitleri İşletmesi Müdürlüğü ORHANELİ / BURSA
 Merkezi : Orhaneli-BURSA Tel : (0 224) 827 64 71 Faks : (0 224) 827 64 79
- ÇLİ** Çan Linyitleri İşletmesi Müdürlüğü ÇAN / ÇANAKKALE
 Merkezi : Çan-ÇANAKKALE Tel : (0 286) 416 20 01 Faks : (0 286) 416 37 00
- ELİ** Ege Linyitleri İşletmesi Müdürlüğü SOMA / MANİSA
 Merkezi : Soma-MANİSA Tel : (0 236) 613 23 26 Faks : (0 236) 613 20 13
- GELİ** Güney Ege Linyitleri İşletmesi Müdürlüğü YATAĞAN / MUĞLA
 Merkezi : Yatağan-MUĞLA Tel : (0 252) 572 59 05 Faks : (0 252) 572 59 03
- GLİ** Garp Linyitleri İşletmesi Müdürlüğü TAVŞANLI / KÜTAHYA
 Merkezi : Tavşanlı-KÜTAHYA Tel : (0 274) 614 10 07 Faks : (0 274) 614 59 94
- İLİ** Ilgın Linyitleri İşletmesi Müdürlüğü ILGIN / KONYA
 Merkezi : Ilgın-KONYA Tel : (0 332) 882 71 28 Faks : (0 332) 882 71 00
- SLİ** Seyitömer Linyitleri İşletmesi Müdürlüğü SEYİTÖMER / KÜTAHYA
 Merkezi : Seyitömer-KÜTAHYA Tel : (0 274) 248 56 70 Faks : (0 274) 248 56 76
- YLİ** Yeniköy Linyitleri İşletmesi Müdürlüğü MİLAS / MUĞLA
 Merkezi : Milas-MUĞLA Tel : (0 252) 558 02 93 Faks : (0 252) 558 03 07

Doğu Anadolu Kontrol Müdürlüğü
 Batı Anadolu Kontrol Müdürlüğü
 Silopi Kontrol Müdürlüğü

DODURGA / ÇORUM
 GÖYNÜK / BOLU
 SİLOPİ / ŞIRNAK



SÜD-CHEMIE (TR) MADENCİLİK SANAYİ VE TİCARET A.Ş.

- Kalsiyum Bentonit Üretimi ve İhracatı,
Production and Export of Calcium Bentonite,
- Ağartma Toprağı (TONSIL) İthalatı ve Pazarlaması,
Import and Marketing of Bleaching Earth (TONSIL),
- Su ve Solvent Bazlı Reolojik Ürünler (OPTIGEL ve TIXOGEL) İthalatı ve Pazarlaması,
Import and Marketing of Water and Solvent Based Rheological Products (OPTIGEL and TIXOGEL),
- Nem Alıcı Maddeler (Desikant) ve Nem Gösterge Kartları İthalat ve Pazarlaması,
Import and Marketing of Desiccant and Moisture Indicator Cards,
- Deterjan Katkı Maddesi (LAUNDROSIL) İthalatı ve Pazarlaması.
Import and Marketing of Detergent Additive (LAUNDROSIL).

Adres: **SÜD-CHEMIE (TR) MADENCİLİK SANAYİ ve TİCARET A.Ş.**
SÜD-CHEMIE (TR) MINING IND. & TRADING INC.
İzmir Yolu 14. Km.
Kesirven Köyü Mevkii P.K. 195
10034 Balıkesir/TÜRKİYE

Tel: 0266 264 8757 (pbx)
Fax: 0266 264 8752
e-mail: info@sud-chemie.com.tr



MİR İÇ DİŞ TİCARET



MADEN SAN.TİC.LTD.ŞTİ.

TEL : 0232 483 33 86

FAKS : 0232 425 89 91

e-mail: mirmadencilik@superonline.com

ADRES: AKDENİZ CAD. NO: 5/308 PASAPORT / İZMİR

yurt madenciliğini geliştirme vakfı



Yurt madenlerinin ve yeraltı zenginliklerinin çağdaş teknolojilerle değerlendirilmesini sağlayarak, ülke ekonomisine katma değer kazandırmayı kendine ana amaç seçen Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı, madencilik faaliyetlerini geliştirici, üretim maliyetlerini düşürücü, yol gösterici hizmetlerini de madencilik sektörüne sunmaktadır.

GERÇEKLEŞEN FAALİYETLER

- 1. ve 2. Madencilik Şurası
- 3., 4., 5., 6. ve 7. Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu
- 1., 2., 3. ve 4. 5. Kömür Teknolojisi ve Kullanımı Semineri
- Mesleki Eğitim Seminerleri
- Çok sayıda öğrenciye eğitim bursu

GENEL KURUL ÜYELİĞİNE DAVET

YMGV'nin daha da güçlenmesi amacıyla tüm madencilik camiasını Genel Kurul üyeliğine çağırıyoruz. (Üyelik için 5.000.000 TL. ve üye kartı için 2 adet fotoğraf gönderilmesi gerekmektedir.

Cumhuriyet Cad. İtr Ap. No.: 295/10 Kat. 5 Harbiye, İSTANBUL
Tel: (0 212) 246 20 81 Fax: (0 212) 247 51 11
e-mail: ymgv@ymgv.org.tr <http://www.ymgv.org.tr>

YMGV'den İnsan Kaynakları Hizmeti

Nitelikli mühendis (maden, jeoloji, jeofizik) arayan şirketler
ve iş arayan mühendisler!

Sizleri sanal ortamda buluşturmak üzere başvurularınızı bekliyoruz...

HER YIL A.B.D.'DE 250 KİŞİ

*
SİLOKOZİS'DEN HAYATINI KAYBEDİYOR... !



SİLOKOZİS : mineral tozlarının solunmasına bağlı bir akciğer hastalığıdır.

ÇÖZÜM :



TOZ MASKESİ

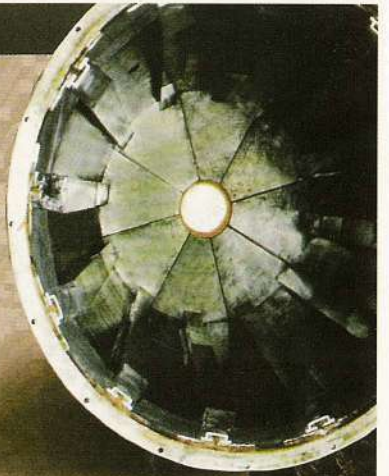
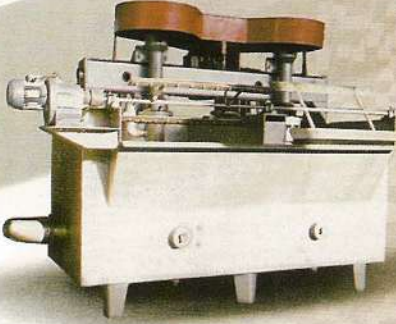
EZGİ & ÖZGÜ

TİCARET TAAHÜT LTD.ŞTİ

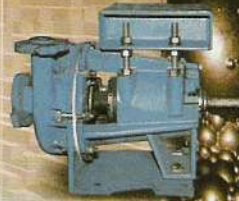
KADİFE SOKAK NO : 13 / 2 KADIKÖY / İSTANBUL

TEL : 0216 418 22 60 FAX : 0216 346 11 60

info@ezgiozgu.com www.ezgiozgu.com



- DEĞİRMEN ASTARLARI
- ÇAMUR POMPALARI
- FLOTASYON MAKİNELERİ
- HİDROSİKLONLAR
- KONDİSYONER TANKLARI
- KİL AÇMA TANKLARI
- VANA
- KAÇUK KASIS
- ÖZEL İMALAT HORTUMLARI
- SİRAL KLASİFİYER LASTİKLERİ
- TAMBUR KAPLAMASI
- BUNKER KAZAN KAPLAMA
- ELEK
- KONVEYÖR BANT TEMİZLEME
- FIRÇALARI
- DİYAFRAM VE JİG LASTİĞİ



Avar Caddesi No:6 Organize Sanayi Bölgesi

06935 Sincan / ANKARA / TÜRKİYE

Tel : (+90 312) 267 10 90 Fax : (+90 312) 267 10 94

Web: www.tk.com.tr e-posta: info@tk.com.tr

TÜFEKÇİOĞLU



KAÇUK SANAYİ VE TİCARET LİMİTED ŞİRKETİ

CEVHER ZENGİNLEŞTİRME MAKİNELERİ VE
KAÇUK YEDEK PARÇA ÜRETİMİ



MİKROMAN MADENCİLİK

Tüvenan Kuvarsta Kalite



CAM ÜRETİCİLERİ

METALÜRJİ SEKTÖRÜ

SERAMİK ÜRETİCİLERİ

KOMPOZE TAŞ ÜRETİCİLERİ



Mikroman Madencilik Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi

Ofis : 1460 Sokak No: 75 Kat: 3 Alsancak İzmir - TÜRKİYE

Tel: + 90 232 421 59 00 Faks: + 90 232 463 84 96

Maden : Yava Köyü Yatağan Muğla - TÜRKİYE

Tel: + 90 252 579 23 05 - 579 23 99 Faks: + 90 252 549 23 06

www.mikromanmadencilik.com

mikroman@mikromanmadencilik.com



MADEN TETKİK VE ARAMA GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

MTA, 06520 ANKARA

Tel : + 90(312) 287 34 30
Fax : + 90(312) 287 91 88

E-mail : mta@mta.gov.tr
Web : www.mta.gov.tr

**“BİR MİLLETİN TEALİSİ, YERALTI ZENGİNLİKLERİNİN
İŞLEM VE DEĞERLENDİRİLMESİNE BAĞLIDIR.”**

K. Atatürk



DOĞAL KAYNAKLARIMIZI

DOĞAYI İNCİTMEYEN

İŞLETEN

ÖNCÜ

YATIRIMCI

KURULUŞ



ETİ HOLDİNG A.Ş.

BOR ÜRÜNLERİ

KOLEMANİT, ÜLEKSİT, HAM BOR, TINKAL KONSANTRE, BORAKS DH, BORAKS
PH, BORİK ASİT, SUSUZ BORAKS, SÜLFÜRİK ASİT, SODYUM PERBORAT

GENEL MÜDÜRLÜK

Cihan Sokak No : 2 Sıhhiye-ANKARA

Tel : (312) 231 70 20 (40 hat) Fax : (312) 231 07 58-51

Http/www.etiholding.gov.tr



Atlas Copco Maden ve İnşaat Bölümü Ürünleri

- Yeraltı (BOOMER, SİMBA, BOLTEC) ve yerüstü (ROC) delici makinaları
- Delici sarf malzemeleri (SECOROC)
- Tünel yükleyici ve kamyonları (WAGNER)
- Kuyu açma ekipmanları (RAISE BORING)
- Enjeksiyonlu ve sürtünmeli kaya bulonları ve pompaları ; (SWELLEX, ATLAS COPCO MAI)
- Her tonajda ekskavatör için hidrolik kırıcılar (KRUPP - ATLAS COPCO)
- Pnömatik ve benzin motorlu kırıcı ve delici tabancalar

ATLAS COPCO MAKİNALARI İMALAT A.Ş.
İstasyon Arkası 34940 Tuzla İSTANBUL
Tel : (0216) 395 2460
Fax : (0216) 395 4224
www.atlascopco.com

Atlas Copco



DERE

MADENCİLİK A.Ş.



► **AGREGA**

► **BAZALT**

► **ASFALT**



MERKEZ

Ankara Cad. No: 197/10
Bornova - İZMİR
Tel: (0.232) 342 14 42 (pbx)
Fax: (0.232) 342 80 02

EGE ASFALT

Tel: (0.232) 478 19 19 (pbx)
Fax: (0.232) 479 50 77

İŞLETME

Çakırağılı Mevkii Ambarlar Arkası
Belkahve - Bornova - İZMİR
Tel: (0.232) 479 92 92 (pbx)
Fax: (0.232) 479 30 91

İLKLER BİZİM İŞİMİZ

Üçüncü nesil patlayıcılar olarak anılan daha güvenli ve esnek kullanım imkanları sağlayan emülsiyon patlayıcıları ve ANFO'yu ürettik.

Geleneksel elektrikli kapsüllere oranla çok daha güvenli ve uygulama sahası geniş olan Elektriksiz Ateşleme sistemi (NONEL)'i kullanıma sunduk.

Alt yapı projelerinde patlatmaların daha bilinçli, güvenli, kontrollü ve ekonomik yapılmasını sağlamak üzere bünyemizde Patlatma Hizmetleri bölümünü müşterilerimizin hizmetine sunduk.



EMULITE®

New Generation Explosives...



Nitro Mak

MAKİNA KİMYA - NİTRO NOBEL KİMYA SANAYİ A.Ş.

Cinnah Caddesi Pilot Sokak No: 17 06690 Çankaya - ANKARA
Tel: (0.312) 440 53 17 (pbx) Faks: (0.312) 440 61 59
e-mail: nitromak@nitromak.com web site: www.nitromak.com

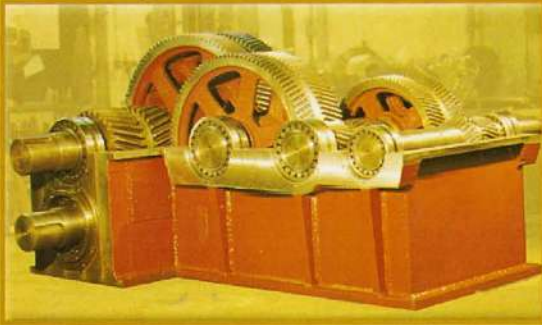
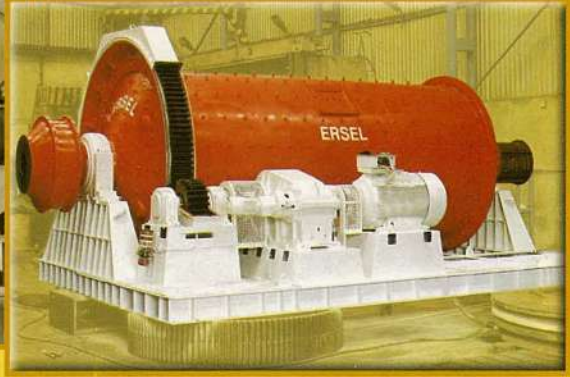


06690 ÇANKAYA 440 53 17



ERSEL

- DEĞİRMEN
- SEPERATÖR
- ELEK
- MAKİNE-EKİPMAN
- KOMPLE TESİS



ERSEL

AĞIR MAKİNA SAN. ve TİC. A.Ş.

TOSB Organize Sanayi Bölgesi 73. Parsel 41490
Şekerpınar GEBZE / KOCAELİ
Tel : +90(262) 658 85 85 +90(262) 658 05 30
Fax: +90(262) 658 05 27
E-mail: ersel@ersel.com + <http://www.ersel.com>



POMZAEXPORT

MADENCİLİK SANAYİİ ve TİC.A.Ş.

Ankara Ofis.
Çukurca Birlik Mah. 85. Sokak No:3/5
Çankaya - ANKARA
Tel: 0.312.495 64 90 (3 hat)
Fax: 0.312.495 64 93

İzmir Menderes Ofis
Nusret Sokak No:2/4
Menderes - İZMİR
Tel: 0.232.782 14 46 - 782 33 69
Fax: 0.232.782 15 98

KALEMADEN



**Seramik Sektörü
Hammadde Üretiminde
47 Yıllık Tecrübe...**

HAMMADELER

- » KİL
- » KAOLEN
- » NA-FELDSPAT
- » K-FELDSPAT
- » KUVARS
- » FLİNT TAŞI
- » SİLEKS
- » DOLOMIT
- » KALSİT
- » WOLLASTONİT
- » ŞİLİS KUMU
- » İŞLENMİŞ KİL
VE KAOLENLER
- » ÖĞÜTÜLMÜŞ
HAMMADELER
- » SERAMİK ÇAMURU
- » SİHHİ TESİSAT ÇAMURU

KALEMADEN ENDÜSTRİYEL HAMMADELER SANAYİ ve TİCARET A.Ş.

GENEL MÜDÜRLÜK

Semedeli Köyü, 17403 Çan / ÇANAKKALE TEL: 90 286 437 13 30 FAX: 90 286 437 13 40
e-mail: can@kalemaden.com.tr

İHRACAT & PAZARLAMA

Eski Üsküdar Yolu, Bodur İş Merkezi No:8 Kat:6 Daire:23 İçerenköy/İSTANBUL
TEL: 90 216 573 83 57 FAX: 90 216 574 38 61
e-mail: ist@kalemaden.com.tr



www.kalemaden.com.tr



MATEL

MATEL HAMMADDE SANAYİ VE TİCARET A.Ş.

SERAMİK HAMMADDELERİNDE

KALİTE & GÜVEN

NEFELİN SİYENİT

Seramik Kalitesi

SODYUM FELDSPAT (Na₂O)

Tüvenan & Mikronize Öğütülmüş

POTASYUM FELDSPAT (K₂O)

Mikronize Öğütülmüş

KİL

Tüvenan & Rafine edilmiş

KAOLİN

Seramik & Çimento Sanayii Kalitesi

KUVAR

Mikronize Öğütülmüş

SİLİS KUMU & RAFİNE SİLİS,

Tüvenan & Mikronize
Frit, Seramik, Cam, Sıhhi Tesisat
Çimento Sanayii Kalitesi

LABORATUVAR ANALİZLERİ

Fiziksel, Kimyasal, Mineralojik
& Tane Dağılımı Analizleri



İSTANBUL
SANAYİ ODASI
2000 ÇEVRE
ÖZENDİRME ÖDÜLÜ

Merkez

Dragos Cayırlar Mevkii

No: 5 81540 Maltepe
İstanbul

Tel : 0 216 441 22 84

Faks : 0 216 441 22 87

matel@matel.com.tr

www.matel.com.tr

Fabrika

Organize Sanayi Bölgesi

11100 Bilecik

Tel : 0 228 216 05 65

Faks : 0 228 216 05 69

fabrika@matel.com.tr

www.matel.com.tr

MATEL A.Ş. bir ELCİNKAN HOLDİNG kuruluşudur.

İş sağlığı ve güvenliği



BARİT MADEN TÜRK A.Ş.



Omya Madencilik A.Ş.



Omya, İsviçre'nin Oftrigen kasabasında 120 yıl önce endüstriyel mineraller konusunda faaliyete geçmiştir. Bugün Omya bir ölçüde sanayisi olan her ülkede toplam 160'ı aşkın üretim tesisiyle endüstriyel mineral alanında faaliyettedir.

Omya ürünleri, Türkiye'de 60 yıldır sanayinin kullanımına sunulmaktadır. Omya, 1989 yılında Türkiye'de üretim yatırımı kararını alarak hemen uygulamaya geçmiştir. Türkiye'de üretilen Omya ürünleri Ocak 1993'ten beri gelişerek sunulmaktadır.

Türkiye'de Gebze - Kocaeli, Kemalpaşa - İzmir ve Biga - Çanakkale'de olmak üzere üç üretim tesisimiz mevcuttur. Hammadde ihtiyacımız Çanakkale, Balıkesir, Bursa, Kütahya, Muğla ve Sivas'taki madencilik faaliyetlerinden karşılanmaktadır.

120
Yıl

● Merkez : İstanbul
● Fabrika : Çanakkale - Karabiga,
İzmir - Kemalpaşa,
Kocaeli - Gebze

Omya Madencilik A.Ş.

Mithat Uluönlü Sokak 9/4 Zincirlikuyu İstanbul 34394

Tel. (0212) 337 46 00 Faks (212) 337 46 01

www.omya.com.tr



BSE ISO 9001 : 2000



GÜRBÜZ MADENCİLİK
San. ve Tic. A.Ş.

- KAOLİN -

Seramik & Beyaz Çimento

- SODYUM FELDSPAT -

Standart & Medium & Beyaz Kalite

- SODYUM & POTASYUM FELDSPAT -

Doğal Karışım

- KUVARS -

MERKEZ

Gurbuz Madencilik San. ve Tic. A.Ş.

E. Kuyumcular Mh. Mekik Sk.

Mekik Han No:13/10 BALIKESİR

TELEFON

0 266 249 11 81 - 0 266 249 11 82

FAX

0 266 243 54 48

WEB SAYFASI

www.gurbuzmadencilik.com

ŞUBE

Gurbuz Madencilik San. ve Tic. A.Ş.

Çöllük Stok Sahası

Çöllük/Milas/MUĞLA

TELEFON

0 252 522 34 90 - 0 252 522 34 91

FAX

0 252 522 34 89

EMAIL

gurbuz@gurbuzmadencilik.com

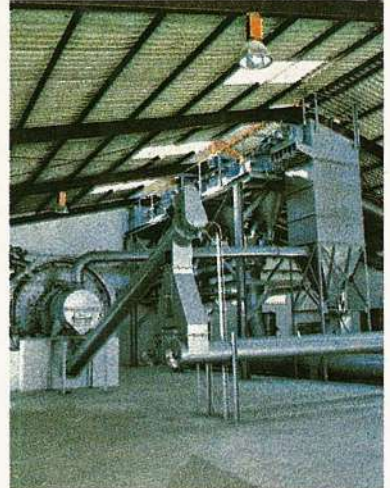
info@gurbuzmadencilik.com



GÜR MADEN®

Mikronize Endüstriyel Hammaddeler
Tic. ve San. A.Ş.

MIKRONİZE KALSİT KAPLANMIŞ KALSİT GRANÜLE DOĞALTAŞ



Fabrika: E-90 Karayolu Üzeri
Hamidiye Mevkii / AKSARAY

Telefon: 0382 266 24 00 Pbx

Fax: 0382 266 24 03

Yazışma Adresi: PK. 98 68100 / AKSARAY

Kalitemizi

ISO 9002

ile belgeledik

PROFESYONELLER CAT'E GÜVENİR.



Genel Müdürlük
Tel: 0212 292 79 50
Faks: 0212 293 88 82-83

Ankara Bölge Müdürlüğü
Yedek Parça-Servis
Tel: 0312 385 03 90
Faks: 0312 385 03 89

İstanbul Bölge Müdürlüğü
Tel: 0262 653 80 70
Faks: 0262 653 80 75

İzmir Bölge Müdürlüğü
Tel: 0232 478 22 00
Faks: 0232 478 22 12

Ankara Bölge Müdürlüğü
Tel: 0312 472 46 46
Faks: 0312 472 46 26

Adana Bölge Müdürlüğü
Tel: 0322 441 03 35-36
Faks: 0322 441 09 72

 **BORUSAN
MAKİNA**

CAT



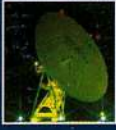
İSTANBUL MADEN İHRACATÇILARI
BİRLİĞİ



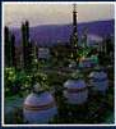
İSTANBUL DEMİR VE DEMİR DIŞI
METALLER İHRACATÇILARI BİRLİĞİ



İSTANBUL ELEKTRİK ELEKTRONİK
VE MAKİNA SANAYİ MAMÜLLERİ
İHRACATÇILARI BİRLİĞİ



İSTANBUL KİMYEVİ MADDELER
VE MAMÜLLERİ İHRACATÇILARI
BİRLİĞİ



İSTANBUL
DEĞERLİ MADEN VE MÜCEVHERAT
İHRACATÇILARI BİRLİĞİ



İSTANBUL MADEN VE METALLER İHRACATÇI BİRLİKLERİ GENEL SEKRETERLİĞİ

- MADEN
- DEMİR VE DEMİR DIŞI METALLER
- ELEKTRİK - ELEKTRONİK ve MAKİNA SANAYİ MAMÜLLERİ
- KİMYEVİ MADDELER ve MAMÜLLERİ
- DEĞERLİ MADEN ve MÜCEVHERAT

İLE İLGİLİ HER TÜRLÜ SORULARINIZ İÇİN



BİRLİĞİN AMACI:

İstanbul Maden ve Metaller İhracatçı Birlikleri, konusuyla ilgili ihracatçıları bünyesinde toplayan Başbakanlık Dış Ticaret Müsteşarlığı'nın bağlı bir kuruluşudur. Temel amaçları:

- İhracatçıların ihracat faaliyetlerini düzenlemek
- İhracatın artırılması, ihracat ürünlerinin çeşitlendirilmesi ve ürünlere rekabet gücü kazandırılması için çalışmalarda bulunmak
- İhracatçıların mesleki faaliyetlerini ve ilişkilerini tanzim etmek
- Üyelerinin menfaatlerini korumak olarak özetlenebilir.

BİRLİĞİN FAALİYETLERİ:

- Üyelerinin ihracat işlemlerini gerçekleştirmek
- Fuar sergi ve diğer tanıtım çalışmalarına ihracatçılarımızın katılımını sağlamak
- Ülkemize ithalatçı ülkelere gelecek alım heyeti organizasyonu ile potansiyel pazar niteliğine sahip ülkelere gidecek ticaret heyeti organizasyonlarını yapmak
- Serbest Ticaret Anlaşması ve Karma Ekonomik Komisyonu toplantıları öncesi hazırlık çalışmaları yapmak
- Ülkemizin taraf olduğu uluslararası anlaşmalar gereği üstlendiği yükümlülüklerin ihracat açısından denetim ve koordinasyon çalışmalarını yapmak

olarak sıralanabilir.

İSTANBUL MADEN VE METALLER İHRACATÇI BİRLİKLERİ GENEL SEKRETERLİĞİ

Dış Ticaret Kompleksi A-Blok, Çobançeşme Mevkii Sanayi Cad.
Yenibosna, Bahçelievler - İstanbul / TÜRKİYE

Tel.: (0 212) 454 00 00 pbx • Faks: (0 212) 454 00 01

e-mail: immib@immib.org.tr • web site: http://www.immib.org.tr