

*Endüstriyel Hammaddeler ve Yapı Malzemeleri*



## Amorf Silika ve Endüstriye Katkısı

M. Davraz

*JSBAŞ Bims Yapı Elemanları San. ve Tic. A.Ş., İsparta*

L. Gündüz

*Süleyman Demirel Üniversitesi, Pomza Araştırma ve Uygulama Merkezi, İsparta*

**ÖZET:** Amorf silika kayacının farklı endüstri alanlarında kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Bu hammadde, genellikle inşaat sektöründe hafif agrega ve beton performansını iyileştiren mineral katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Ancak, kimyasal bileşimi ve yapısal özellikleri itibarıyla, farklı kullanım alanları da genişlemektedir. Bu bildiride, İsparta Keçiborlu ve civarındaki amorf silika oluşumlarının ülkemiz endüstrisine katkısı bakımından tanıtımı amaçlanmıştır. Amorf silika örnekleri üzerinde yapılan kapsamlı bir çalışmadan yola çıkılarak, bu kayacın ülkemiz inşaat sektöründe hammadde olarak değerlendirilip ilirliğini konu alan bu araştırmanın özet değerlendirmesi verilmektedir.

**ABSTRACT:** The usage of amorphous silica rock shows a gradually rising trend in different industrial areas. In majority, they are used as a lightweight building material and as a mineral admixture material to produce the high performance of concrete in the civil structuring sector. However, its usage areas are getting world wide based on its chemical components and also structural formation status. In this paper, amorphous silica formations formed in İsparta Keçiborlu region was introduced for contribution to industry. According to the research findings carried out on the amorphous silica material, a brief technical evaluation of its usage as an industrial raw material was presented for our country's civil industrial development.

### 1 GİRİŞ

Beton inşaat sektöründe en yaygın kullanım alanına sahip malzemedir. Bilimsel araştırma ve teknolojik gelişimlere paralel olarak modern beton, çimento, agrega ve su karışımından ibaret bir yığın olmaktan çıkmış, mineral-kimyasal katkı karışımları ve lifler içeren daha kompleks bir ürün olmuştur.

Daha kaliteli beton elde etmek için yapılması gereken tek şey daha düşük su/çimento oranı veya su/bağlayıcı oranına sahip karışımın hazırlanmasıdır. Beton basınç dayanımı, çimento dozajının olduğu kadar çimento partiküllerinin sıklığına da bir fonksiyonudur.

Dünya inşaat sektöründe beton kalitesini artırmak için farklı tür ve bileşimde katkı maddeleri kullanıldığı bilinmektedir. Genel olarak bu katkı maddeleri kimyasal yöntemler, endüstriyel atıklar

(yan ürün olarak) ya da doğal kaynaklardan elde edilmektedir.

Kimyasal yöntemler ile elde edilen katkı maddeleri, farklı kimyevi madde bileşenlerinden oluşan sıvı veya toz polimer grubu maddeleri kapsamaktadır. Dünya inşaat endüstrisinde önemli bir pazar payına sahiptir,

Uçucu küller ve silis dumanı endüstriyel atık veya yan ürün olarak adlandırılacak diğer grup katkı maddelerini oluşturur. Pek çok ülkede olduğu gibi, Türkiye'de de beton üretiminde en fazla tüketilen katkı maddesi, termik santrallerden elde edilen uçucu küllerdir. Ucuz ve bol miktarda bulunması nedeniyle, hazır beton üreten kuruluşlarca (beton maliyetlerini düşürmek için) çimento yerine dolgu maddesi olarak yaygın biçimde kullanılmaktadır. Ancak uçucu küllerin nispeten düşük reaktif silis içeriğinden dolayı-beton yapısını

oluşturan çimemo-katki maddesi-agrega reaksiyonlarında silis dumanı kadar etkin olmadığı bilinmektedir. Mikronize toz silikatlar veya yaygın adı ile silis dumanı ise silikon, ferrosilikon, silikoferrokrom üretim tesislerinden yan ürün olarak elde edilmektedir. Silis dumanı uçucu küle göre, yüksek reaktif silis içeriği ve süper ince partikül yapısıyla beton kalitesini artırmada çok daha etkindir. Ancak silis dumanının bir yan ürün olarak elde edildiği tesisler termik santraller kadar yaygın değildir. Buna rağmen dünya 1 milyon tona ulaşan tüketim miktarı, çimento ve beton katkı maddesi olarak yaygın biçimde kullanılmasının bir göstergesidir (Yeğinobah, 2001).

Beton kalitesini yükseltmede kullanılan son grup katkıları ise doğal mineral ve kayalardır. Diğer gruplar kadar yaygın olmamakla birlikte beton katkı maddesi olarak volkanik küller, taş unu, diyalomit ve kalsine edilmiş killerin de kullanıldığı bilinmektedir. Son on yılda bu doğal malzemelere amorf silika (jeosilika) kayacı da dahil olmuştur. Beton kalitesini silis dumanı kadar etkin ve ekonomik olarak artıran amorf silikanın işletilebilir rezervlerin çok sınırlı olması nedeniyle, pazardaki payı da kısıtlıdır.

Dünyada ekonomiklik arz eden ve halen işletilmekte olan, resmi kayıtlara geçmiş tek doğal amorf silika yatağı, Yeni Zelanda'nın Rotorua bölgesinde bulunmaktadır (Anonim, 1999). Ülkemizde ise inşaat sektöründe mineral katkı maddesi olarak kullanılabilir özelliklere sahip amorf silika oluşumlarını kapsayan bilimsel anlamda bir araştırmaya rastlanmamıştır.

Bu makalede, İsparta Keçiözümlü bölgesinde oluşumu bulunan amorf silika kayacının endüstriyel alanlarda ve özellikle inşaat endüstrisinde kullanılabilirliği üzerine yapılan teknik bir araştırmanın bulguları özetle sunulmaktadır.

## 2 AMORF SİLİKA VE KULLANIM ALANLARI

Amorf silika; volkanik-hidrotermal sistemler içinde belirli sıcaklığa sahip ve çözünürlüğü dengeye ulaşmış kolloidal silis partikülleri içeren akışkanların yeryüzüne çıkarak soğuması ve aşırı doygunluğa erişmesi sonucunda yüzeyde süika tortuları, ayrıca pH'ı nötr alkali kloritli sular yakınında ise yeraltı damarları biçiminde oluşan tortul bir kayaktır. Silika sinter veya jeosilika olarak da adlandırılmaktadır. Amorf silika kayacı genellikle beyaz olmasına rağmen gri, siyahımsı gri, krem, yeşil, portakal, kahverengi ve hatta kırmızı renklerde bile bulunabilir. Genellikle sert ve yoğun olmasına

karşılık, süngerimsi dokulu çok poroz türleri de yaygındır.

Kavram olarak amorf silika (silika sinter), silika kalıntısı (gayzerit) ve amorf silis terimleri ile sıkça karıştırılmaktadır. Silika kalıntısı; jeotermal sistemlerin (CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>S içeren) buhar zonunda oluşan kuvvetli asitlerin civardaki silisli yüzey kayalarını altere etmesiyle birkaç cm kalınlığında oluşan tortu çökelleri, tabakalar ve damla tepecikleridir. Amorf silikaya göre daha yüksek oranda kükürt, kristobalit ve kaolen içerir.

Amorf silis ise sürekli kavram karmaşasına yol açan bir terimdir. Türkçe de silis, bir ametal olan silisyum elementine karşılık kullanılabilirliği gibi, silisyum elementinin oksijen ile muhtelif bağ yapıları oluşturduğu silikat grubu mineraller veya camsı materyaller için de kullanılmaktadır.

Doğada olağan koşullarda saf olarak bulunmayan ancak yerkabuğunun oksijenden sonra en bol elementi (kayaçların yaklaşık %27'si) olan silisyumdan günümüz teknolojisinde nabit silisyum kristalleri elde edilebilmektedir. Yani saf silisyum elementinden oluşan materyal amorf yapı göstermez.

Silisyum oksijenle bağ yapılarak (ki yer kabuğunun yaklaşık %55'ini oluşturur) en yaygın mineraller grubunu oluşturur ve silikatlar olarak adlandırılır. Kuvars, feldspatlar), olivin, mika(lar), talk, ojit ve eptdol gibi minerallerin tamamı silikatlardır. Silika ise daha dar çerçeveli bir kavram olup "Silisyum + Oksijen" birliğini ifade eder. Örneğin mineral kuvars silikadır. Yine silika formunda mineraller olan tridimit, kohesit ve kristobalit yüksek sıcaklık ve basınç altında kararlı olan minerallerdir. Bütün bu mineraller aynı zamanda silikatlardır. Bir başka deyişle kuvars saf silikadan oluşan bir silikattır. Fakat feldspat silisyum ve oksijene ilave olarak sodyum, alüminyum, potasyum ve kalsiyum içerir. Bu yüzden feldspatlar silikatlardır ancak saf silika değildir.

Genelde açık maden ocağından üretilen tüvenan amorf silika, kırma, eleme, kurutma ve öğütme işlemlerine tabi tutulduktan sonra dökme veya torbalanmış olarak inşaat sektörünün kullanımına sunulmaktadır. Amorf silikadan Üretilen beton katkı maddesi, kimyasal ve/veya yan ürün olarak elde edilen alternatif katkı maddelerine göre daha düşük maliyetlerle piyasaya arz edilebilmektedir (Anonim, 2000). Buna karşın dünya üzerinde ekonomik olarak işletilebilecek rezervleri hayli kısıtlıdır.

Halen Golden Bay Cement grubunda yer alan Microsilica New Zealand Ltd. Şti, günümüzde Yeni Zelanda'da Rolarua-Tikitere de amorf silika içeren bir maden ocağını işletmektedir. Amorf silika yerel ve ihraç pa2arlarında beton ve sıva katkı maddesi

olarak yaygın biçimde kullanılmaktadır (Anonim, 2000).

Bilinen en yaygın kullanım alanı inşaat sektörüdür. Beton dayanımını arttırma ve priz hızlandırıcı poli mer esaslı kimyasal maddeler, uçucu küller, zeolit grubu mineraller ile endüstriyel yan ürün/atık olarak elde edilen silis dumanı gibi, doğal amorf silika da Yeni Zelanda ve civar ülkelerinde beton katkı maddesi olarak yaygın biçimde kullanılmaktadır. Amorf silika temizlik malzemelerinin üretiminden kâğıt, boya, cam gibi birçok kimyasal ve özel amaçlı endüstriyel alanlarda kullanımı görülmektedir.

Dünyada baraj gövdesi, viyadük, köprü taşıyıcı sistemleri, çok katlı yapılar, atık baraj ve depoları, hava alanı pistleri, endüstriyel döşemeler, depreme dayanıklı olması istenen özel yapılar vs. gibi yer üstü yapıları; tünel metro, korunaklar, yeraltı depoları vs. gibi yeraltı yapıları ile deniz ve sualtı yapılarında yüksek performanslı beton kullanımında amorf silika mineral bir katkı malzemesi olarak yer tutabilecek özellikte bir kayacıdır. Ayrıca endüstriyel zemin ve döşemelerde, tünel kaplamalarında ve püskürtme sıva uygulamalarında yüksek performanslı beton, harç ve sıva kullanımı gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır. Genelde açık maden ocağından üretilen tüvenan amorf silika, kırma, eleme, kurutma ve öğütme işlemlerine tabi tutulduktan sonra dökme veya torbalanmış olarak farklı sektörlerin hizmetine sunulmaktadır.

Yeni Zelanda inşaat endüstrisinde mineral katkı maddesi olarak amorf (mikro) silika, yüksek dayanımlı beton, endüstriyel zemin-döşeme betonu, su geçirimsiz beton, püskürtme beton, kimyasallara dirençli beton ve marina betonu gibi farklı tür ve işleve sahip betonların üretiminde yaygın biçimde kullanılmaktadır.

Bugün amorf silika kullanıcısı hazır beton firmalarınca, 100 MPa'lık dayanım değerlerine ulaşan ve hatta aşan yüksek dayanımlı beton üretimleri gerçekleştirilmektedir (Golden Bay Cement, 2002).

Amorf silika katkılı beton, endüstriyel döşemelerin yüksek performans ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik sert-dayanıklı beton talebini karşılamakta, plastik çatlama sınırı için optimum beton akışını, plastik yerleşme ve rötreyi sağlamaktadır.

Amorf silika, mikro tanecikli homojen yapısı ve yüksek puzolanik aktivitesiyle çimento hamuru gözenek yapışım inceltirerek beton geçirimsizliğini azaltmaktadır. Geleneksel betona oranla çok daha düşük perméabilite I i amorf silika betonu zemin altındaki yapılarda membran kullanımını da en aza indirmektedir.

Püskürtme betonda amorf silika kullanımı, pahalı kalıp kullanımını sona erdirerek uygulama süresini azaltmaktadır. Amorf silikanın yüksek aderansı, uygulama başarısını artırırken püskürtme esnasında geri sıçramayı azaltarak önemli oranda malzeme tasarrufu da sağlamaktadır.

Amorf silika betonu pek çok endüstriyel kimyasallara karşı dirençlidir. Geleneksel betona göre daha fazla sülfat direncine sahiptir. Ayrıca amorf silika partikülleri alkali agrega reaksiyonunun (AAR) etkisini de en aza indirebilmektedir.

Amorf silika ile hayli düşük klorit difüzyon katsayısına ve yüksek mukavemete sahip marina betonu da üretilmektedir. Bu beton deniz çevresindeki yapılar için idealdir.

Amorf silika betonuyla daha ince kesitli yapı elemanları üretilebilmektedir. Bu şekilde hem malzeme maliyeti hem de eleman ağırlığı azalırken, efektif yapı hacmi artmaktadır. Ayrıca beton performansındaki iyileşmeler, azalan sünmeye bağlı olarak taşıyıcı eleman özellikleri de geliştirmektedir. Taşıyıcı eleman boyutlandırma ve açıklık tasarımlarında daha az kısıtlamalar sayesinde daha ferah mekanlar ve daha zarif yapı tasarımları yapılabilmektedir.

Yüksek performanslı betonda amorf silika kullanımı, ekonomiklik ve hızlı imalat için başrol oynamaktadır. Beton özelliklerinin gelişimine bağlı olarak imalat hızlanırken, yapı güçlendirme maliyetleri azalmaktadır. Daha az donatı gereksinimi dolayısıyla donatı kalabalığı ortadan kalkmakla, beton yerleşimi ve kompozisyonu düzeltmekte, malzeme ve işçilik maliyetleri azalmaktadır.

İlave olarak, önemli uygulama alanlarından sağlanan dolaylı maliyet tasarrufları da vardır. Tünel inşaatı için projelendirilen yüksek dayanımlı (püskürtme) beton, kaplama kalınlıklarında belirli bir oranda azalma sağlayacaktır. Bu azalma beraberinde önemli miktarda kazı, hafriyat, malzeme ve işçilik tasarrufuna yol açar.

Geleneksel betona göre amorf silika betonu, daha fazla yerleşim avantajı sunar. Daha fazla yapışır ve ayrışmaya daha az eğilimlidir. Yine de yeterli viskozite ve iyi pompaj özelliklerine sahiptir. Amorf silika, beton pompajına yardım eder. Pompalama basıncını muhtemel olarak azaltır. Ancak amorf silika kullanımı, pompalanan beton karışımları için izlenmesi gereken standart tasarım uygulamalarındaki olası karışım eksikliklerini halletmez.

Amorf silika betonun aderansı geleneksel betondan daha fazladır. Genellikle benzer uygulanabilirlikte yerleştirme vibrasyonu kullanıldığında, amorf silika betonunun çökmesi geleneksel betondan 25 - 50 mm daha az olabilir.

ilave edilen süper akışkanlaştırıcı dozajları veya ilave su sayesinde uygulanabilirlik artışı öncesi bu husus dikkate alınmalıdır. Çökme değeri, kohezyon kontrolü ve özellikle segregasyonu önlemek açısından önemlidir. Amorf silika bizzat beton kompaksiyonu için uygun bir denge sağlayıcıdır.

Amorf silika betonunun yüksek kohezyonu onu segregasyona daha az eğilimli yapar. Karışımlar, serbest akışlı beton temin etmek için tasarlanabilir. Yüksek kohezyon, yığılma içinde segregasyonsuz veya gözeneksiz (peleksiz) beton vibrasyonuna yardım eder (Golden Bay Cement, 2002).

Beton karışımına amorf silika ilavesi, betonun plastiktik ve sertlik özelliklerinin her ikisine de etki eder. Beton yapısı, ısı oluşumu, sıcaklık farklılığı, beton karakteristikleri günümüz beton uygulayıcılarının karşılaştığı en önemli konular olarak göz önünde bulundurulmalıdır

Yüksek yüzey sertliği ve aşınma direncinin gelişmesinde önemli rol oynayan sızdırma, geleneksel betona göre amorf silika betonunda daha azdır. Geleneksel betonda yüksek sızdırma, takviye barları üzerinde plastik yerleşim çatlakları ve yüksek su içeriği / düşük yüzey sağlamlığına etki eder. Silis dumanlı betonlarda geçerli olduğu gibi çok düşük sızdırtıda plastik rotte çatlağının tersine, yetersiz su sızıntısının varlığında buharlaşma şeklinde su yer değişimi oluşur. Amorf silika, doğru bir akışla plastik çatlama riski en aza indirilen yüksek sağlamlık ve dayanımda beton çözümünü sağlayan uygun bir katkı maddesidir (Branz, 1999)

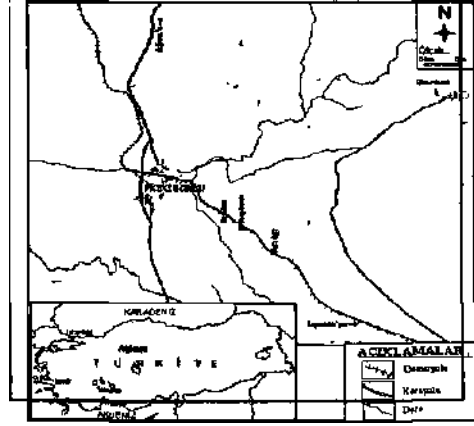
İnşaat sektörünün haricinde amorf silikanın;

- Sabun, deterjan, kağıt, boya, lastik, termo-plastik üretiminde katkı ve dolgu maddesi olarak,
- Plastik film üretiminde kaplayıcı ve katalizör olarak,
- Cam, seramik, ses ve ısısal yalıtımlar gerektiren malzeme üretiminde yüksek sıcaklık silikalari olarak,
- Elektronik, mücevhercilik, metal, cam sanayinde vb. alanlarda aşındırıcı ve parlatici madde olarak,
- Tıp, mikrobiyoloji, genetik, uzay sanayi gibi hassas ve saf madde kullanımı gerektiren ilen teknoloji alanlarında moleküler elek olarak.
- Muhtelif sanayi dallarında filtre ve absorban malzeme olarak kullanım alanları da mevcuttur.

### 3 İSPARTA KEÇİBORLU AMORF SİLİKA OLUŞUMLARI

İsparta-Keçiborlu yöresindeki amorf silika yalağı, uzun yıllar Etiholdmg A.Ş. (Etibank) tarafından

işletilen kükürt maden sahası içerisinde yer almaktadır (Şekil 1). Yöredeki rezervin bir kısmı (Kumludere bölgesi) önceleri kuvarsit ve daha sonra diyatomit olarak tanımlanarak işletilmiştir. Yörede yapılan on araştırmalardan elde edilen bulgular, Kumludere-Değirmenderesi amorf silika numunelerinin Yeni Zelanda kayacıyla benzer teknolojik özellikler gösterdiğini, İrepedere kayacının ise hafif agrega olarak araştırılmaya değer olduğunu ortaya koymuştur (Davraa, 2004).



Şekil 1. Amorf silika oluşumları yer buldu haritası.

Keçiborlu kükürt sahası içerisinde yer alan amorf silika oluşumları, Etibank Keçiborlu Kükürt işletmesinin faal olduğu dönemlerde "kuvarsit maden ocağı" olarak işletilmiştir. Kumludere maden ocağı güney bali bitişiğinde yer alan ve açık işletme yöntemiyle kuvarslı adı altında üretilen tuvenan amorf silika, yine açık işletmeye yakın bir alanda kurulu bulunan kuvarsit hazırlama tesisinde kurutulup öğütüldükten sonra geçmişte "zirai kükürt" hazırlanmasında nem tutucu ve topaklanmayı önleyici katkı maddesi olarak kullanılmıştır. Etibank Kükürt işletmesinin kapatılmasından sonra 1997 yılında, Eti Holding A.Ş.'nce "diyatomit" olarak nitelenen oluşum, yine aynı yıl içerisinde "diyatomit yerel alanı" olarak ihale edilmiş ve işletmesi Beril Madencilik Ltd. Şti.'ne verilmiştir. 2003 yılına kadar bu yerel alan diyatomit madeni olarak ISBAŞ A.Ş. bünyesindeki Beril Madencilik Ltd. Şti.'nce zaman zaman işletilmiştir. Üretilen hammadde hafif yapı elemanları üretiminde agrega olarak kullanılmıştır. Değirmenderesi, Asartepe ve İrepedere civarındaki rezervlerin diyatomit lokal alanının sınırları dışında kalması dolayısıyla işletmesi yapılmamıştır (Davraz, 2004).

Keçiborlu bölgesi amorf sülka oluşunları Kumludere Değirmenderesi Asartepe mevkileri (I lokasyon) arasında ve İrepdere (II lokasyon) mevkiinde yoğunlaşmıştır Her iki lokasyonda da amorf sülka rezervi topografyaya uygun adese şeklinedir Kumludere civarındaki amorf sülka yatağı yaklaşık 15m kalınlıkta, 150m uzunluğunda ve 80m genişliğinde bir zonda yayılım göstermektedir (Fotol) Saha içerisindeki önceden işletilmiş ocakta ortalama ayna yükkeliği 15,5m olarak belirlenmiştir Kumludere amorf sülka yatağına ait ekonomik rezerv alanının sınır değerlendirmesi şekil 2'de gösterilmiş olup, bu rezerv alanında amorf sülka oluşumunun 3 boyutlu modellemesi ise şekil 3'de verilmiştir

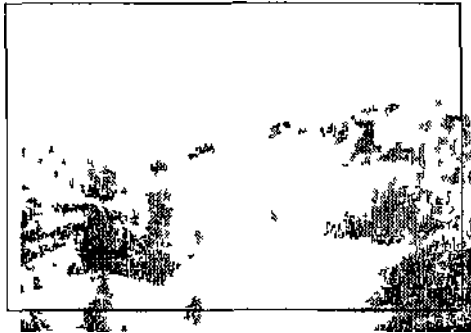
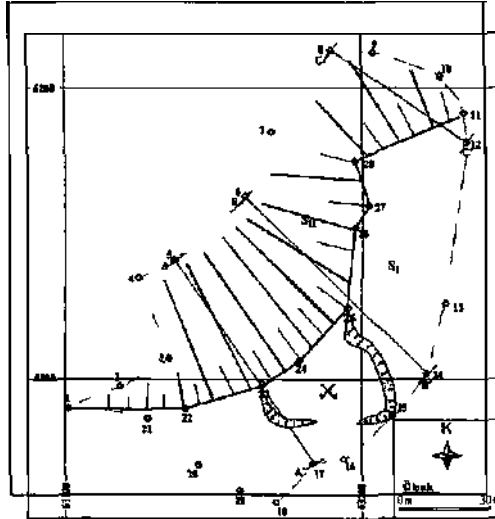


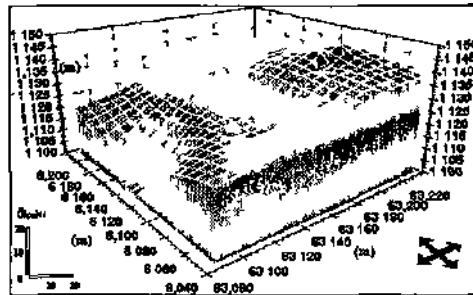
Foto I Kumludere amorf sülka yatağından görünüm

Kumludere amorf sülka yatağının görünür rezervi ortalama olarak 180 092 ton olarak hesaplanmıştır I lokasyona dahil olan Değirmenderesi Asartepe arasındaki rezerv eski Değirmenderesi açık ocağı civarından başlayarak bindirme hattının batı kanadı boyunca kuzey istikametine doğru, yaklaşık 1400m uzunluğa 6m kalınlığa 50m genişliğe sahip bir mostra olarak uzanmakla ve Asartepe civarında oldukça geniş bir alanda yayılım göstermektedir Ancak amorf sülka oluşumlarının Asartepe civarındaki kalınlığı, açık bir biçimde gözlenememektedir Ancak yatağın büyük bölümünün Asartepe civarındaki alanda yuzcylenmemesi ve bu alanda kalınlığa ilişkin belirgin bir gözlem ya da olcum yapılamaması nedeniyle yöredeki amorf sülka potansiyeli mümkün rezerv kategorisinde ele alınabilmektedir (şekil 4)

Değirmenderesi Asartepe civarındaki amorf sülka oluşumlarına ait mümkün rezerv 5 419 300 ton olarak hesaplanmıştır



şekil 2 Kumludere amorf sülka yatağına ait ekonomik rezerv alanı sınır haritası

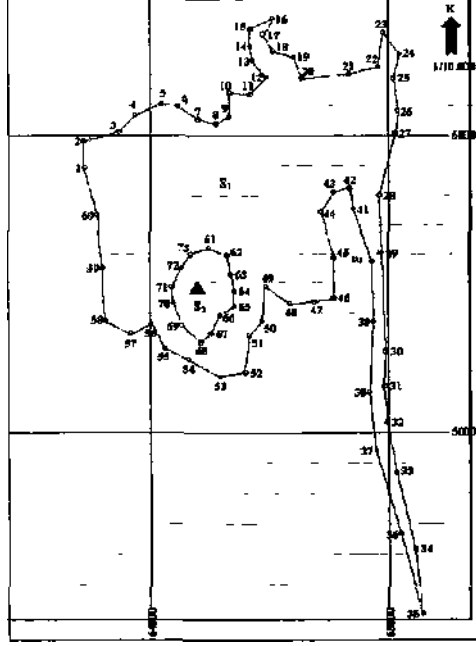


şekil 3 Kumludere amorf sülka oluşumu 3 boyutlu modellemesi

İrepdere Bebbēşderesi (II lokasyon) amorf sülka kayacı I lokasyon kayacından farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip olup amorf sülka oluşumları bindirme hattının güneyinde yer alan alanı kapsamaktadır Bölgede amorf sülka oluşumunun kalınlığının net bir biçimde ölçülebileceği yarma veya çukur yoktur Ancak İrepdere ve Bebbēşderesi içerisinde açığa çıkan amorf sülka mostrasının gözlemlenen kalınlığı yaklaşık 5m olarak belirlenmiştir İrepdere civarındaki amorf sülka oluşumlarına ait mümkün rezerv 2 181 256 ton olarak hesaplanmıştır

Bu rezerv verilerine göre Keçiborlu yöresi I lokasyon bölgesinde 180 092 tonu görünür ve 5 419 300 tonu mümkün re/erlvli olmak üzere yaklaşık 5 599 392 ton mineral katkı maddesi olarak

kullanılabilir amorf silika ve 2.181.256 ton mümkün rezervli hafif agrega olarak kullanılabilir amorf silika potansiyeli bulunmaktadır.



Şekil 4. Değirmentepe-Asartepe amorf silika yatağına ait mümkün rezerv alanı sınır haritası.

#### 4 AMORF SİLİKANIN DÜNYA VE ÜLKEMİZ İNŞAAT ENDÜSTRİSİNDEKİ YERİ

Yüksek performanslı beton üretiminde yaygın olarak kullanılan katkı maddelerinden silis dumanı ve doğal amorf silikanın tüketim miktarlarına ait kesin kayıtlara rastlanamamıştır. Ancak Silis Dumanı Üreticileri Birliği'nce (SFPA) A.B.D. ve Avrupa'da yılda üretilen yaklaşık bir milyon ton silis dumanının bu ülkelerdeki talebe ancak cevap verdiği bildirilmektedir. Ülkemizde ise yüksek performanslı beton üretimi ve atık/doğal mikro-silislerin betonda katkı maddesi olarak kullanımıyla ilgili açık bir bilgi mevcut değildir. Ülkemizde beton katkı maddelerinin üretim ve tüketim miktarını içeren herhangi bir resmi kayıt bulunmamakla birlikte; Antalya Eti Elektrometalurji A.Ş. tesislerden yan ürün olarak 800-1000 ton/yıl kapasiteyle elde edilen

silis dumanının, ülkemiz inşaat sektöründe tüketildiği bilinmektedir (Yeğinobalı, 2001). Türkiye'de üretilen ve tüketilen çimento üretimi dikkate alındığında, bu tesisten elde edilen silis dumanının sektörün talebine cevap veremeyeceği açıktır.

İnşaat ve beton sektörü, ekonomimiz içerisinde payı en yüksek sektörlerin başında gelmektedir. 2000 yılında gerçekleşen çimento üretimi 35.800.000 ton, iç tüketim 31.500.000 tondur. Çimento fabrikalarının kurulu kapasitesi ise toplam 60.000.000 ton civarındadır. 30 milyon tonluk çimento tüketimi ortalama 120 milyon m<sup>3</sup> betona eşdeğerdir. Tüketilen 120 milyon m<sup>3</sup>'e eşdeğer beton ve/veya betondan imal edilen ürünlerin %1'i yüksek performanslı beton sınıfına girdiği kabul edilirse, ülkemiz katkı maddesi ihtiyacının (kullanılan çimento oranının en az %10'u oranında ilave edildiği göz önünde bulundurularak) 30 bin ton civarında olduğu görülecektir. Asgari 30 bin tonluk iç tüketimin ülke ekonomisine yansımaları en az 5 milyon USD'dir. İsparta - Keçiborlu yöresindeki rezerv, bu talebe cevap verebilecek potansiyele sahiptir.

Sanayi-üniversite işbirliği kapsamında Süleyman Demirel Üniversitesi, Pomza Araştırma ve Uygulama Merkezi ile birlikte yürütülen bir ArGe çalışmasında, öncelikle ekonomik bir potansiyel niteliğinde olabilecek Keçiborlu amorf silika oluşumlarının inşaat-beton sektörüne yönelik kullanım imkanlarının araştırılarak, elde edilen bulgular ışığında ülkemiz inşaat ve beton sektörüne alternatif hammadde kaynaklarının sunulması, dolayısıyla yöre ve ülke ekonomisine katkıda bulunulması amaçlanmıştır. Bu Ar-Ge çalışması halen sürdürülmektedir.

#### 5 KEÇİBORLU AMORF SİLİKA KAYACININ TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİ

Keçiborlu kayacı yüksek oranda silika ( SiO<sub>2</sub> > % 90) içermektedir. Kayaç az miktarda anatas, jarosit, gotit ve kükürt vd. mineralleri içerse de, bütününde kristalize yapı göstermemektedir. Bir başka deyişle kayaç amorf yapıdadır. Amorf silika, açık rengi, hafifliği ( birim hacim ağırlığı < 1gr/cm<sup>3</sup>), mikro gözenekli yapısına bağlı yüksek porozitesi ve su emme kabiliyeti, gevrek ve kolay kırılabilir oluşu ile diğer silikalı kayalardan kolayca ayırt edilebilir.

Keçiborlu yöresi T. ve II. lokasyona ait amorf silika kayaları, açık renkleri ve hafiflikleri ile yöredeki diğer kayalardan hemen ayırt edilmektedir. Gözle ve lupla fark edilemeyen, mikro ölçekteki gözenekli yapısı, amorf silika kayacına



yüksek porozite özelliği ve su emme kabiliyeti kazandırmaktadır. Ayrıca mevcut gözenek yapısından dolayı kayacın ısı iletkenlik değeri oldukça düşüktür. Amorf silikanın bu Özelliği, ona ısı yalıtım malzemesi olarak kullanılabilirlik avantajı da sağlamaktadır.

Lokasyonlara göre Keçiborlu yöresi amorf silika kayacının genel fiziksel özellikleri Çizelge P de verilmiştir.

Çizelge I. I. ve II. lokasyon amorf silika kayacının genel fiziksel özellikleri

Kayaç Fiziksel Özellikleri	I. lokasyon	II. lokasyon
Renk	Açık krem, sarımsı beyaz.	Krem, açık
Senlik (Mohs)	5,5-6	5-5,5
Gerçek Özgül Ağırlık	2,39 gr/cm <sup>3</sup>	2,55 gr/cm <sup>3</sup>
Birim Hacim Ağırlığı (Orijinal kayaç) (% 100 kuru halde-on.)	1050-1190 kg/m <sup>3</sup>	1270 kg/m <sup>3</sup>
Görünür Porozite	% 45	% 34
Su Emme (ağırlıkça)	% 50	% 24
Isı iletkenlik Değeri	0,11-0,13 W/m.K.	0,13-0,15 W/m.K.

Keçiborlu Kumludere-Değirmenderesi ve İrepedere yöresini temsil eden amorf silika kayaç numunelerinin kimyasal analizleri Çizelge 2'de verilmiştir. Çizelge 2 incelendiğinde, I. lokasyona ait her iki amorf silika kayacının birbirine oldukça yakın kimyasal bileşenlere sahip ve SiO<sub>2</sub> içeriklerinin oldukça yüksek değerler arz ettiği görülmektedir. II. lokasyon amorf silika kayacının kimyasal bileşenleri İse I. lokasyon kayaçlarından farklılık göstermektedir. İrepedere kayacının Özellikle SiO<sub>2</sub> içeriği daha düşük Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO ve CaO içerikleri ise yüksektir.

Her iki lokasyona ait kayaçların Na<sub>2</sub>O ve K<sub>2</sub>O alkali metal oksit bileşenleri betonda alkali-agrega reaksiyonu ve SO<sub>3</sub>- içeriği de sülfat etkisi bakımından önem taşımaktadır. TS 1114 standardına göre hafif agregalarda sülfat içeriğinin ağırlıkça % 1'den çok olmaması istenmektedir. Sülfat içeriği bakımından her iki lokasyon kayacı TS 1114 standardına uygundur. Kayaçlar betonda mineral katkı maddesi olarak kullanılabilirlik kriterleri yönünden irdelendiğinde ise irepedere kayacının uygun niteliklere sahip olmadığı saptanmıştır (Çizelge 3).

Çizelge 2. I. ve II. lokasyon amorf silikalının kimyasal bileşenleri

Kimyasal Bileşenler	I. lokasyon		II. lokasyon
	Kumludere	D.deresi (%)	İrepedere (%)
SiO <sub>2</sub>	92,48	90,84	61,66
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,60	2,66	18,42
TiO <sub>2</sub>	1,34	1,24	1,03
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,09	0,15	5,16
MgO	0,00	0,00	0,93
CaO	0,31	0,18	1,39
N <sub>2</sub> O	1,08	1,12	2,70
K <sub>2</sub> O	0,04	0,09	0,95
SO <sub>3</sub>	0,09	0,06	0,01
Diğer	0,12	0,15	1,74
A.K.	1,85	3,51	6,01

Çizelge 3. Keçiborlu I. ve II. lokasyon amorf silikalın kimyasal bileşenlerinin silis dumanı / mikrosilika standardına göre değerlendirilmesi (ASTM C-1240-03, 2003).

Kayaç Kimyasal Bileşen ve Özellikleri	ASTM C 1240-03	I. Lokasyon		H. Lok.	
		K.dere	D. deresi	I.dere	
SiO <sub>2</sub> , En az	85	92,48	90,84	61,66	
Na <sub>2</sub> O Eşdeğeri Alkali (%)	En fazla	1,5	1,11	1,18	3,33
SO <sub>3</sub> (%)	En fazla	1,0	0,09	0,06	0,01
Kızılırm a Kaybı	En fazla	6,0	1,85	3,51	6,01

Yapılan deneyler sonucunda (öğütülmüş) amorf silika 7 günlük eğilme ve basınç dayanım değerlerinin, TS 25 standardına uygun olduğu belirlenmiştir. Ayrıca numunenin Özgül yüzey alanı, (Göltaş) portland çimemesi özgül yüzey alanı değeri ile karşılaştırıldığında, mikronize silikanın (ortalama parlaklık boyutu 18 µ) çimentoya göre 4 kat daha ince olduğu görülmektedir (Çizelge 4).

Amorf silika ve opal gibi kristal yapıya sahip olmayan veya düzensiz bağlar oluşturan SiO<sub>2</sub> molekülleri reaktif özelliğe sahiptir. X-Ray analizlerine göre amorf yapıya sahip (reaktif) silis içeriği ortalama ~ % 69 olarak saptanmıştır. Beton ve çimento da mineral katkı maddesi olarak kullanılacak silis dumanı ve benzeri malzemelerde aranılan reaktif SiO<sub>2</sub> (RS) oranı en az % 25'tir (TS EN 197-1,2002).

Çizelge 4. (I. Jokasyon) Mikronize si I ikanın puzolanik aktivite ve özgül yüzey deney sonuçları.

Puzolanik aktivite		
Blaine	12.124 cm <sup>2</sup> /g	
İnceciklik	200µ	1.8
	90µ	8.8
Özgül Ağırlık	2.32 g/cm <sup>3</sup>	
Dansite	920 g	
Beton Sonuçları		
7 gün sonunda eğilme dayanımı	1.6 N/mm <sup>2</sup>	
7 gün sonunda basınç dayanımı	11.9 N/mm <sup>2</sup>	
(TS 25'e göre 7 gün sonunda eğilme dayanımı minimum 1,0 N/mm <sup>2</sup> ; basınç dayanımı minimum 4,0 N/mm <sup>2</sup> olmalıdır.)		

## 6 AMORF SİLİKA KATKISININ BETON PERFORMANS ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Amorf silika yüksek derecede reaktif bir puzolandır. Puzolanlar kohezif, dış ortamlara dayanıklı, ekonomik ve yüksek performanslı beton üretmek için kullanılırlar. ASTM C 618-03'e göre puzolanlar kendi başına bağlayıcı Özelliği çok az olan veya hiç olmayan, fakat doğal yapıları gereği veya öğütülme sonucu çok ince taneli duruma getirildiklerinde ve rutubetli ortamlarda kireç (kalsiyum hidroksit) ile reaksiyona girerek bağlayıcı özellikteki bileşenlerin oluşmasını sağlayan silisli veya alüminli malzemelerdir (ASTM C-618-03, 2003). Betonda puzolanlar, çimentonun hidrasyonu sonucu ortaya çıkan sönmüş kireci kullanarak bağlayıcı ürünler oluştururlar. Portland çimentosuna ilave edildiği zaman, yüksek dayanım l1 betonlarda genellikle şu özelliklerin daha etkin kılındığı tecrübe edilmiştir:

- Kimyasal etkileşim direncinde artış, çiçeklenmede azalma,
- Basınç dayanımında artış, aşınma direncinde artış,
- Su geçirimsilikte azalma, jeotermal ortamdaki duraylılıkta artış,
- Çok düşük klorür iyon difüzyonu (Golden Bay Cement, 2002).

Amorf silikanın yüksek performanslı beton eldesinde kullanımı. 3 temel mekanizmayla sağlanabilmektedir:

- Amorf silikanın çok ince tanecikleri, çimento partikülleri arasındaki mikroskobik boşlukları doldurabildiği için beton mikro yapısında geçirgenliği azalır,
- Çimento hidrasyon prosesinde açığa çıkan serbest kalsiyum hidroksil, ilave kalsiyum silikat üretmek

için amorf silika ile tepkidiğinde puzolanik reaksiyon oluşur,

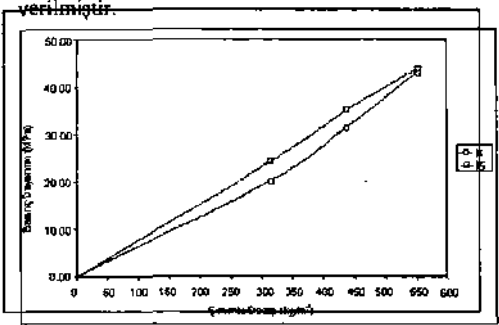
- İnce partikül boyutu beton sızdırmasını azaltır ve çimento pastasıyla agrega ara yüzeyinde bağ gelişimine yardımcı olur.

Amorf silikanın geleneksel betondaki dayanım etkinliğinin analizi amacıyla, numune karışımlarının hazırlanmasında iki temel karışım oranlama yöntemi uygulanmıştır. Bunlar:

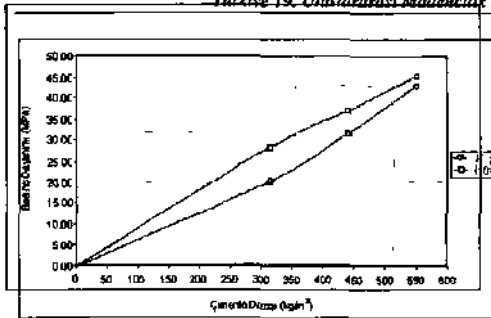
- Amorf silikanın ince agrega olarak kullanılması (İlave yöntemi),
- Çimentonun yerine kısmi olarak amorf silikanın kullanılması (basit ikame yöntemi) dir.

Amorf silikanın, ince agrega olarak kullanılması (İlave) yönteminde; karışımda kullanılacak çimento miktarında herhangi bir azaltma yapılmaksızın amorf silika, beton karışımına ilave edilmiştir. Böylece beton karışımındaki etkin bağlayıcı maddenin artışı amaçlanmıştır. Bu olgunun analizi için, 150 mm çapında ve 300 mm yüksekliğinde standart silindirik numune kalıpları kullanılmıştır. 314, 440 ve 550 kg/m<sup>3</sup> dozajlarında portland çimentosu içeren karışımlara, çimento ağırlığının % 5'i, % 10'u, % 15'i oranlarında mikronize amorf silika ilave edilmiş, ayrıca benzer çimento dozajlarına sahip, üç seri de (C20, C30 ve C40) katkısız kontrol beton örnekleri dökülmüştür. Tüm karışımlar eşit şartlarda kürlenmiştir. Elde edilen örneklerin 7, 14 ve 28 günlük kür sürelerinde basınç dayanım analizleri yapılmıştır.

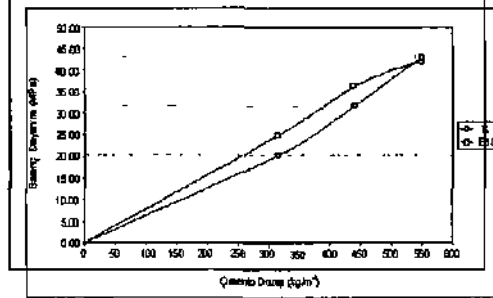
Amorf silikanın betonda verimlilik, bir diğer değişle etkinlik faktörü (k) tespit edilebilir. Bu amaçla, mikronize amorf silikanın ilave ve eksiltme yöntemlerine göre betonda katkı elemanı olarak kullanımında, beton performansını ne ölçülerde etkin kıldığının analizi için deney bulguları, farklı çimento doz kullanımı ve beton örneklerinin basınç dayanımı ilişkileri grafiksel olarak irdelenmiştir. Bu grafikler Şekil 5.a-b-c ve Şekil 5.a-b-c'de



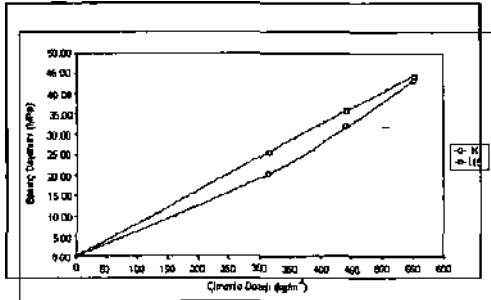
Şekil 5a. Amorf silikanın % 5 oranında ilavesinde beton dayanımı-çimento dozajı ilişkisi.



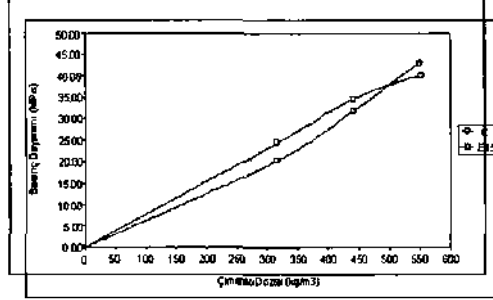
Şekil 5b. Amorf silikanın % 10 oranında ilavesinde beton dayanımı-çimento dozajı ilişkisi.



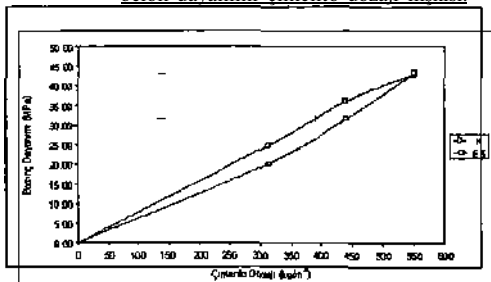
Şekil 6b. Amorf silikanın % 10 eksikliğinde beton dayanımı-çimento dozajı ilişkisi.



Şekil 5c. Amorf silikanın % 15 oranında ilavesinde beton dayanımı-çimento dozajı ilişkisi.



Şekil 6c. Amorf silikanın % 15 eksikliğinde beton dayanım ı-çimento dozajı ilişkisi.



Şekil 6a. Amorf silikanın % 5 eksikliğinde beton dayanım ı-çimento dozajı ilişkisi.

Araştırmalara göre elde edilen verimlilik faktörleri ise Çizelge 5 ve Çizelge 6'da verilmiştir. C20 ve C30 sınıfı beton numuneleri için bu değerler. Yeni Zelanda'dan Tikilere amorf silika kayacı için Branz (1999) tarafından verilen betonda mikrosilika kullanım değerlerine benzemektedir (Çizelge 7).

Çizelge 5. C20 beton örnekleri için amorf silikanın etkinlik faktörü hesabı.

C20	Ç <sub>i</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	Ç <sub>2</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	AS <math>kR/m^3</math>	Ç <sub>1</sub> -Ç <sub>2</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	k <sub>20</sub>
15	314	261	15,7	53	3,38
1 10	314	220	31,4	94	2,99
1 15	314	246	47,1	68	1,44
E 5	314	252,5	15,7	61,5	3,92
E 10	314	260	31,4	54	1,72
E 15	314	260	47,1	54	1,15
C20-I için etkinlik faktörü					2,60
C20-E için etkinlik faktörü					2,26

Çizelge 6. C30 beton örnekleri için amorf silikasinin etkinlik faktörü hesabı.

C30	$c_{1s}$ (kg/m <sup>3</sup> )	Ç2 (KR/m <sup>3</sup> )	AS (kg/m <sup>3</sup> )	Ç1-Ç2 (kg/m <sup>3</sup> )	k20
15	440	398	22	42	1,91
I 10	440	358	44	82	1,86
I 15	440	388	66	52	0,79
E 5	440	388	22	52	2,36
E 10	440	387,5	44	58,13	1,32
E 15	440	403	66	60,45	0,92
C30-I için etkinlik faktörü					1,52
C30-E için etkinlik faktörü					1,53

Çizelge 7. Tikitere amorf silikasının beton uygulamaları için etkinlik faktörü (Branz,1999)

Uygulama	Ortalama Dayanım (N/mm <sup>2</sup> )	Etkinlik Faktörü
Endüstriyel Döşemeler	55	2,5
Kopru inşaatı	53	2,8

## 7 SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında, İsparta Keçiörlü yöresi amorf silika oluşumlarının jeolojik açıdan oluşum özellikleri, yayılımı, rezerv durumu; kayaç mühendislik özellikleri ve betonda mineral katkı maddesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Yapılan inceleme ve analiz bulguları yorumlanarak sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Keçiörlü yöresi amorf silika oluşumları, ülkemizde şu ana kadar bilmen ve ekonomiklik arzeden tek amorf silika yatağıdır.
- Asidik karakterde ve koloidal silika partikülleri içeren hidrotermal çözeltilerin yüzeye ulaşması ile soğuması neticesinde silika partikülleri jel halinde, bindirme zonunun özellikle Kumluca-Degirmenderesi-Asartepç (I. lokasyon) ve İrepedere (II.lokasyon) mevkiilerinde tortulaşması neticesinde Keçiörlü amorf silika yataklarını oluşturmuştur.
- Keçiörlü yöresi I.lokasyon bölgesinde 180.092,6 tonu görünür ve 5 419.300 tonu mümkün rezervli olmak üzere yaklaşık 5 599.392 ton betonda mineral katkı maddesi olarak kullanılabilir amorf silika ve II. lokasyon bölgesinde 2.181.256 ton mümkün rezervli hafif agrega olarak kullanılabilir amorf silika potansiyeli bulunmaktadır
- Fiziksel, kimyasal ve diğer teknolojik özellikleri açısından Keçiörlü I. lokasyon kayacı, Yeni Zelanda'da halen işletilen amorf silika yatağındaki kayaç ile karşılaştırıldığında büyük benzerlikler taşımaktadır. Keçiörlü amorf silikasının daha

yüksek silisyum dioksit (Keçiörlü: % 90 - Y.Zelanda: % 88) ve çok daha düşük kızdırma kaybı oranı (Keçiörlü: % 0,88 - Y.Zelanda: % 5,1), önemli bir avantajdır.

• Keçiörlü I. lokasyon amorf silika kayacı oldukça kaliteli, doğal puzolan sınıfına dahil edilebilir. Kayacın fiziksel (birim hacim ağırlık, özgül yüzey alanı, puzolanik aktivite vs.) ve kimyasal (kimyasal bileşenler, kızdırma kaybı, amorf silika içeriği vs.) özellikleri, beton mineral katkı maddesi olarak kullanım amacına uygundur.

• Keçiörlü amorf silikasının etkinlik faktörü (k), C20 betonu için 2,43, C30 betonu için 1,52 olarak saptanmıştır. Bu değerler uçucu küllere göre oldukça (0,25 - 0,5) önemli bir avantaj sağlamaktadır.

• Mineral katkı maddesi olarak kullanımda, optimum öğütme tasarımı yapılarak, ürünün özgül yüzey alanını, dolayısıyla betondaki etkinliği artırmak mümkündür. Bu amaçla kayacın - üretim maliyet analizleri de dikkate alınarak - ekonomik öğütülebilirlik kriterlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Ekonomik olarak üretilebilecek optimum partikül tane boyutlarına göre, geleneksel betonda ilave ve basit ikame yöntemlerine göre amorf silika kullanım oranları ve etkinlik faktörü yeniden belirlenmelidir.

## KAYNAKLAR

- Anonim, 1999; Annual Books of Energy and Minerals. New Zealand's Official Statistical Agency, New Zealand.
- Anonim, 2000, Annual Book, New Zealand's Industrial Mineral Potential, Industrial minerals, N°r 394. p.66-77
- ASTM C 618-03, 2003. Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw Calcined Natural Pozzolan for Use As A Mineral Admixture in Concrete, American Society for Testing and Materials, USA
- ASTM C 1240-03a, 2003 Standart Specification for Use for Silica Fume for Use As A Mineral Admixture in Hydraulic-Cement Concrete, Mortar and Groul, American Society for Testing and Materials. USA.
- BRANZ, 1999 (Building Research Association of New Zealand) Test Reports on Micro silica 600. New Zealand
- Davran, M . 2004 İspana Keçiörlü Yöresi Doğal Amorf Silika Oluşumlarının Geleneksel ve Hafif Beton Endüstrilerinde Kullanılabilirliğinin Araştırılması. S D U Fen Bil East Doktora Tezi, (yayınlanmamış), İsparta
- Golden Bay Cement, 2002b. Microsilica New Zealand, About amorphous silica, ai URL [http://www.niicrosilica.co.nz/brochures/High Strength Concrete pdf](http://www.niicrosilica.co.nz/brochures/High%20Strength%20Concrete.pdf)
- TS EN 197-1. 2002 Genel çimentolar bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- Yeğmobaı, A , 2001 Silis dumanı ve çimento kullanımı, TÇMB AR-GE Y 01 01. İstanbul.

## Söğüt Seramik Sanayi A.Ş.'ye Hammaddede Sağlayan Ocaklarda Üretilen Ürünlerin İncelenmesi

A. E. Arıtan

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Afyon, Türkiye

A.M.Kılıç&Ö.Kılıç

Çukurova Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye

**ÖZET:** Seramik sektörü ülkemizde hızla gelişen sanayi kollarının en önemlilerinden biridir. Seramik hammaddelerinin bileşiminde bulunan safsızlıklar ve pişirme şartları seramik kalitesini etkileyen en önemli parametrelerdendir. Yapılan çalışma ile ülkemizin seramik sektöründe önemli bir yere sahip Söğüt Seramik A.Ş.'ye hammadde temin edilen kaolien sahaları incelenmiştir. Bu sahalar Düvertepe-Bağkiran kaolien. Tozman feldspat ve Çiğdemlik kil sahalarıdır. Düvertepe-Bağkiran kaolien ocağı Balıkesir-Sındırgı-Düvertepe yöresinde, Tozman feldspat ocağı Bilecik-İnhisar yöresinde ve Çiğdemlik kil sahası ise Bilecik-Söğüt yöresinde yer almaktadır. Üç ayrı sahadan alınan örnekler; Düvertepe-Bağkiran kaolien örnekleri ve Çiğdemlik kil örnekleri üzerinde XRF, XRD ve TG-DTA analizleri, Tozman Feldspat sahasından alınan örnekler üzerinde ise XRF analizleri yapılmıştır. Ayrıca, kaolien Örneklerinin beyazlık ölçümü yapılmıştır. Bulunan analiz değerlerine göre üç yörede yer alan hammadde kaynaklarının yapılacak seramik üretimi için standartlara uygun değerler taşıdığı sonucuna varılmıştır.

**ABSTRACT:** The ceramic sector is rapidly growth one of the most important industry, in Turkey. The ceramic raw materials contain impurities and firing conditions are affected ceramic quality, which are die most important parameters. In this study, the raw material open pits of Söğüt Ceramic Co. which is Düvertepe-Bağkiran kaolin in Balıkesir-Sındırgı-Düvertepe, Tozman feldspar in Bilecik-inhisar and Çiğdemlik Clay in Bilecik-Söğüt were investigated. The samples were taken from Uiree open pits, Düvertepe-Bağkiran kaolin and Çiğdemlik Clay were analyzed by XRF, XRD and TG-DTA. Only Tozman feldspar was analyzed by XRF. Also, die witness of kaolin samples was measured. At die end of the tests, the raw materials of open pits were determined to appropriate for ceramic production.

### 1 GİRİŞ

Seramik sektörü ülkemizin hızla gelişen sanayii kotlarının en önemlilerinden birisi olup son yıllarda önemli miktarlarda ihracatlar gerçekleştirilmiştir.

Teknolojik açıdan seramik, anorganik maddelerin dikkatlice hazırlanıp harmanlanması, biçimlendirilmesi ve kurutulup pişirilmesi yoluyla elde edilen ürünler şeklinde tanımlanabilmektedir. Üretilen seramik ürünlerin kullanım amacına bağlı olarak çeşitli spesifik özelliklere sahip olması gerekmektedir; bu da seramiklerin mamul ürün olarak kullanıma hazır hale getirilmesinden önce kullanılan hammadde özelliklerinin belirli bir standarda sahip olması ile sağlanabilmektedir. Seramik üretimi için kullanılan hammaddelerin büyük çoğunluğu kil ve kil grubu minerallerdir. Bunlar;

- \* Kil grubu hammaddeler,
- \* Feldspat türü hammaddeler,
- \* Kaolien grubu hammaddeler ve
- Kuvars grubu hammaddelerdir.

Bu hammaddelerin dışında; dolomit, manyezit, talk, boksit, şamot ve mermer gibi hammaddeler de seramik üretiminde kullanılmaktadır (Tanışan ve Mete, 1988).

#### 1.1 Kil grubu hammaddeler

Killer tane boyutu 0,02 mm'den küçük ince taneli sedimanlar olup; toprağımsı, belirli miktarda su katıldığında plastikliğı artan, alümina ve silis içeriğı yüksek minerallerdir. Killer genellikle belirli şartlar altında, feldspatların ayrışması veya volkanik

kayaçların çözünmesinden, değişmesinden meydana gelmiştir (Evans, 1993; Kurt, 1998).

Literatürde kil minerallerinin sınıflanmasında bir birliklilik mevcut değildir. Killer, sulu alüminyum silikat olup bu sınıflama içerisindeki tüm mineraller için partikül boyu 1/256 mm veya 4 u olarak verilmektedir. Daha büyük boyutlu mineraller kil kavramına dahil edilmemektedir. Kil terimi hem hidrotermal faaliyetin sebep olduğu bozuşma ürünleri için, hem de sedimantasyon yoluyla çökelmiş ianeler için geçerli bir kavram olarak sayılmakta olup, bu tür küçük parçacıkları oluşturan minerallere göre kimyasal sınıflamalar yapılmıştır (Çizelge 1) (DPT, 2001).

Karmaşık bir yapı ve mineral içeriğine sahip killer, genel olarak; seramik, döküm, gıda, petrol, sondaj, dolgu, kağıt, plastik, ilaç vb. pek çok endüstri kolunda kullanılmaktadır. Ticari killerin hangi endüstri kolu için en uygun olduğunu tespit edilmesi; kilin belirli özelliklerinin ıslahı için yapılan çalışmalar, endüstriyel uygulamalar için büyük önem taşımaktadır (Uz, 1990; önem, 1997).

Seramik sektöründe kullanılan killerde bölgesel standartlar geçerli olmaktadır; örneğin Şile kili, Söğüt kili vb. Söğüt bölgesi fayans-seramik ve döküm killerin kimyasal Özelliklerine ait standartlar Çizelge 2'de fayans-seramik killere ait mineralojik Özellikler ise Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 1. Çeşitli kil minerallerinin kimyasal bileşimleri (Tanışan ve Meire, 1988)

Mineral	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	Toplam
Kaolenil	6.90	37.40	0.66	0.27	0.29	0.84	0.44	0.18	12.95	99,92
Nakrii	4.75	39.48	0.53	0.19	0.13	0.34	0.22	-	14.40	100.94
Dikit	6.86	37.12	1.43	0.09	0.22	0.60	0.07	0.51	12.99	99.89
Halloysit	4.75	36.94	0.31	-	0.11	0.60	-	-	17.42	100.01
Anauxit	4.32	29.96	2.00	0.14	0.32	-	0.37	-	12.64	99.75
Nontronit	0.54	5.19	31.63	0.06	1.92	0.24	0.14	-	20.75	100.47
Klorit	1.44	17.62	-	37.64	-	-	-	-	13.19	99.89
Proklorit	3.69	21.26	26.52	17.60	3.22	-	-	-	7.63	99.92
Sepiyolit	2.50	0.60	2.99	21.31	0.47	-	-	-	21.27	99.14
Atapulgit	7.85	7.89	2.82	13.44	0.30	0.08	0.53	-	16.95	99.86

Çizelge 2. Söğüt bölgesi fayans-seramik ve döküm killere ait kimyasal özellikler (DPT, 2001)

Bileşim	Fayans-seramik Kili (%)			Döküm Kili (%)		
	Küre	Yakacık	İnhisar	Küre	Yakacık	İnhisar
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19-22	15-25	18-26	22-25	27-33	25-30
SiO <sub>2</sub>	63-67	57-67	56-65	60-70	48-58	50-60
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	M	1.0-5.5	1-3	1-2	1.2-1.4	1-2
CaO	0.7-1	1.0-1.5	0.1-1.1	0.4-0.6	0-0.9	1-2
TiO <sub>2</sub>	0.4-0.6	0.9-1.5	1.5-2.5	0.7-0.9	0-0.4	1.0-1.5
MgO	0.2-1.0	0-1	0.1-0.5	0.3-0.5	0-0.5	0.5-1.5
K <sub>2</sub> O	0.1-2.3	1.5-2.5	1.7-2.0	0.2-0.5	1.0-1.5	1-3
Na <sub>2</sub> O	0.4-1.7	0.7-2.0	1.6-2.1	0.2-0.5	0-1	0.2-1.7
Ateşte Zayıt	7.6-8.4	6-9	6-10	10-14	11-13	8.7-14

Çizelge 3. Söğüt Bölgesi fayans-seramik killere ait mineralojik analizler (%) (DPT, 2001)

	Küre	Yakacık	İnhisar
Dikit	51.1	-	-63.14
Kuvars	41.5	-	22-31
Muskovit	3.5	-	4.7-5.2
Anorit	2.1	-	-
Mikroklin	-	-	9.2-9.8
Kaolinil	-	-	-54.43
Bakiye	1.8	-	-

## 1.2 Feldspat grubu hammaddeler

Yeryüzünü oluşturan minerallerden en önemlilerinden biri olan feldspatlar, bir mineral grubunun genel adıdır. Feldspatlar, SiO<sub>4</sub> dört köşeli iskeletlerindeki 4 oksijenin paylaşılması ile oluşmuş üç boyutlu kafes yapısı gösteren silikatlardır. % 60 oranındaki dağılım frekansı ile magmatik kayaçların içinde en fazla rastlanan mineral grubunu oluşturmaktadır. Bu minerallerde silisin dörtte biri veya yarısı yerine alüminyum gelmiş olup,

elektriksel denge; sodyum, potasyum veya Feldspat hammaddesi için her sektörde farklı kalsiyumun ilavesi ile sağlanmıştır (Sarız ve hammadde özellikleri İşlenmektedir. Aranan hu özellikler Çizelge 4'de detaylı olarak verilmiştir (DPT, 2001).

Çizelge 4 Türkiye feldspat üretim standartları (DPT, 2001)

	Nefelinli siyenit	Massel ik stan-albit	Cam ve frit	Ekstra flote albit	Massel ik K-feldspat	Emaye potasyum-2	Sırlık potasyum-1	Pegmatit massei ik
SiO <sub>2</sub>	60-70	68-69	68-69	68-69	63-64	64-65	63-64	68-70
AhO <sub>2</sub>	16.50	18-20	18-20	19-20	18-20	18-20	20-21	15-16
FezO <sub>2</sub>	2.00	0.20	max 0.10	max 0.05	max 0.40	max 0.4	max 0.3	max 0.8
TiO <sub>2</sub>	0.30	0.20	max 0.15	max 0.12	max 0.30	max 0.3	max 0.10	max 0.50
CaO	0.70	0.2-0.24	0.2-0.4	0.5-1.0	1-1.5	1-1.5	1-1.5	0.7-0.8
MfiO	0.50	0.3-0.4	0.3-0.5	0.3-0.4	0.5-0.6	0.6-0.8	0.5-0.7	0.5-1.0
Na <sub>2</sub> O	5-6	min 8-8.5	min 9.0	min 9.5	3-4	2-3	2.5-3.5	3-3.5
K <sub>2</sub> O	6-6.5	max 0.3-0.4	0.3-0.4	max 0.2	7-7.5	min 0.8	max 8.5	2-2.5
A.Z.	0.20	0.2-0.3	0.2-0.3	0.2-0.3	0.2-0.3	0.2-0.3	0.2-0.3	0.2-0.3
Parça boyutu	Tüvenan	Tüvenan/-5 cm	-1 mm	-74p/-63u	Tüvenan/-10 cm	-64u/-63u	-74u/-63u	Tüvenan
Pişme testi	Krem/Pembe	Krem	Beyaz	Beyaz	Beyaz	Krem/Pembe	Beyaz	Pembe

### 1.3 Kaolen grubu hammaddeler

Kaolen, kil mineralleri içinde yer alan bir alüminyum hidrosilikat kil grubudur. Kaolen grubunun en önemli mineralleri; kaolenit, nakrit, dikit ve hallosittir. Bu minerallerin hepsinin kimyasal kompozisyonu aynı olup, kristal yapıları birbirlerine çok benzemektedir (Kurt, 1998).

Kaolenin pek çok endüstriyel uygulamaları olmasına rağmen halen yeni kullanım alanları keşfedilmektedir. Geniş pH aralığında kimyasal olarak inert olan tek endüstriyel mineraldir. Rengi beyazdır, yumuşaktır, düşük ısı ve elektrik iletkenliğine sahiptir (Malayoğlu ve Akar, 1995; Arık ve Kadir, 2000). Kaolen hammaddesini oluşturan en önemli mineral Kaolenit (Al<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>(OH)<sub>4</sub>) olup alüminyum hidrosilikat bileşimli bir kil mineralidir. İdeal kaolen bileşimi İse Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.2SiO<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O'dir. Kaolen terimi alünda çeşitli genetik modellerle oluşmuş kaolen türleri ve kaolenlik killer yer almaktadır. Oluşum itibariyle, feldspat içeren granitik veya volkanik kayaların feldspatlarının altere olarak kaolenit mineraline dönüşmesi sonucu kaolen ler oluşmaktadır. Ana kayaç içindeki alkali ve toprak alkali iyonların, çözünür tuzlar şeklinde ortamdan uzaklaşması sonucu Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içerikli sulu silikatça zenginleşen kayaç kaoleniti oluşturmaktadır (Seyhan, 1972; Klein ve Hurlbut, 1993; Önem, 1997; Temur, 1998).

Ülkemizde kaolen, birçok alanda hammadde olarak kullanılmaktadır. Üretilen kaolende kullanıcıların istediği ve üretici firmaların da umması gereken bazı standartlar mevcuttur. Bu standartların başında üretilen ve satışa sunulan kaolenin kimyasal

ve fiziksel özellikleri gelmektedir (Çizelge 5) (Ece ve ark, 1999).

### 1.4 Kuvars hammaddeleri

Kuvars SiO<sub>2</sub> bileşiminde sertliği 7, özgül ağırlığı 2.85 gr/cm<sup>3</sup>, ergime sıcaklığı 1785 °C olan, yerkabuğunda en yaygın minerallerden biridir. Saydam veya mat, renksiz veya beyaz, kırmızı, pembe, mavi, mor gibi çeşitli renklerde oluşabilmektedir. Seramik Sanayiinde kullanılan öğütülmüş kuvarsta istenilen kimyasal Özellikler; SiO<sub>2</sub> % 97-98, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> % 0.25-0.5, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> max % 0.25, CaO % 0.5-1.0, MgO % 0.5-1.0'dir. Porselen sanayiinde ise, minimum % 97 SiO<sub>2</sub> ve maksimum % 0.2 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kalitesinde kuvars kullanılmaktadır (Önem, 1997; DPT, 2001).

Söğüt Madencilik A.Ş., Söğüt Seramik A.Ş.'ye hammadde temin eden ve yurtdışına ihracat kalitesinde kaolen üretilen, Söğüt Seramik bünyesinde bir madencilik firmasıdır. 1991 yılında kurulan Söğüt Madencilik A.Ş., geniş kil, feldspat, kaolen sahalarına sahiptir. Seramik hammadde üretimi, ithalat ve ihracatı yapmakta olan firma, Türkiye'nin en büyük kaolen sahalarına sahiptir. Her türlü seramik malzemesi için hammadde ve sırlık kaolen üretimleri ile diğer sektörlerle de hitap edecek yapıya ulaşmıştır. Genelde Söğüt ve Balıkesir bölgesinde yoğunlaşan maden sahalarından Balıkesir bölgesinde kaolen; Söğüt bölgesinde ise kil ve feldspat; Aydın ve Simav bölgesinde de şirketin feldspat sahaları bulunmaktadır.

Çizelge 5. Türkiye kaolen ürün standardı (Ece ve ark., 1999)

	Fayans	Elektro	Porselen	Frit Kaolen	Kağıt		Çimento	
					Dolgu	Kanlama	1	2
SiO <sub>2</sub>	55-80	55-60	58-65	58-78	44-46	25-60	78-80	57-60
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13-25	28-30	24-32	15-28	30-35	30-35	13-28	26-28
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	max 1.0	max 0.6	max 0.6	max 0.3	max 0.4	max 0.4	max 0.4	max 0.4
TiO <sub>2</sub>	max 0.5	max 0.5	max 0.5		max 0.4	max 0.4	max 0.5	max 0.5
CaO	max 1.0						max 1	max 1
MgO	max 1.0						max 1	max 1
Na <sub>2</sub> O	max 1.0	max 0.10	max 0.2			max 1.0	max 1	max 1
K <sub>2</sub> O	max 1.0	max 0.10	max 0.2		max 2	max 1.0	max 1	max 1
SO <sub>3</sub>	max 0.5	max 0.30	max 0.1	max 0.2	1-5.0	1-5.0	max 1	max 1
A.Z.	5-10	7-9	8-12	5-12	10-14	10-14	5-7	9-11
Beyazlık		min %85	min %89		min %80	min %85		
Tane boyu 2-5 u					min%30-35	min%80 10 M		
Serbest silis					max %8	max 0.4	A.Z.	A.Z.
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>							max 90 Ppm	max 80 ppm
Aşındırma					max 30 mg	max 5mg		
Cins	Ham kaolen	Ham ve tesis	Ham ve tesis	Ham ve tesis	Tesis	Tesis	Ham	Ham

Yapılan çalışma kapsamında, Söğüt Madencilik A.Ş. tarafından, Söğüt Seramik Sanayi A.Ş.'ye hammadde sağlayan; Düvertepe-Bağkırın kaolen, Çiğdemlik kil ve Tozman feldispat sahaları incelenmiş; hammaddelere ait özellikler XRF, XRD ve TG-DTA analizleri ile belirlenmeye çalışılmıştır. Düvertepe-Bağkırın kaolen sahası ve Çiğdemlik kil sahasından alınan örnekler üzerinde XRF, XRD ve TG-DTA analizleri, Tozman feldispat sahasından alınan örnekler üzerinde ise XRF analizleri yapılmıştır. Kaolen örnekleri için ayrıca beyazlık analizleri yapılmıştır. Ayrıca, belirlenen özellikler ile hammaddeler için uygulanan standartlar karşılaştırılarak hammaddelerin kalitesi belirlenmeye çalışılmıştır.

## 2 MATERYAL VE METOT

### 2.1 Materyal

İncelenen Bağkırın kaolen sahası Balıkesir İli, Sındırgı ilçesi, Düvertepe sınırları içerisinde bulunmakta olup saha; 162.000 ton görünür, 987.048 ton muhtemel rezerve sahiptir. Tozman feldispat sahası Bilecik İli, İnhisar İlçesi sınırları içerisinde bulunmakta olup toplam rezervi 200.000 ton'dur. Yapılacak ayrıntılı çalışmalarla bu rezervin aratacağı düşünülmektedir (Arıtan, 2004). Çiğdemlik kil sahası Bilecik İli, Söğüt İlçesi, Yakacık Köyü sınırları içerisinde yer almaktadır. Sahada fayans kili, yer karosu kili, döküm kili bulunmakta ve düzenli bir üretim yöntemi uygulanmadığı için üretim esnasında problemler

çıkılmaktadır. Yapılan rezerv belirleme çalışmaları ile kil sahasının kil rezervi; fayans kili için 58.260 ton, yer karosu kili için 82.460 ton ve kumlu kil 47.500 ton olarak belirlenmiştir (DPT, 2001).

### 2.2 Metot

Düvertepe-Bağkırın kaolen, Tozman feldispat ve Çiğdemlik kil sahaslarından alınan ocak özelliklerini yansıtır nitelikteki örnekler XRF, XRD, ve TG-DTA analizlerine tabi tutulmuştur. Kaolen örnekleri için ayrıca beyazlık analizleri yapılmıştır. Örneklerin kimyasal analizleri Siemens SRS 3000 X-Ray Floresans cihazı ile, mineralojik analizleri Shimadzu XRD-6000 cihazı ile, termal analiz LINSEIS 81 marka DTA-TG analiz cihazı ile ve beyazlık analizi Canadian Research Instilü model CG-186 reflektometresinde yeşil Filtre kullanılarak yapılmıştır (Arıtan, 2004).

## 3 BULGULAR

### 3.1 Bağkırın-Düvertepe kaolen sahası

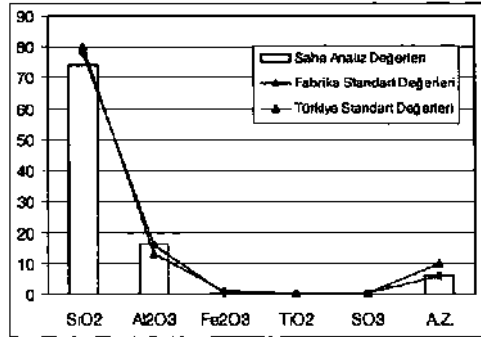
Kaolen sahasından üretim yapılan aynalardan farklı noktalardan ocağı karakterize edecek örnekler alınmış ve bu numuneler üzerinde üretilen kaolenin kalitesinin belirlenmesi amacı ile XRF, XRD ve TG-DTA analizleri gerçekleştirilmiştir. Bağkırın-Düvertepe kaolen sahasından alınan örnekler üzerinde gerçekleştirilen kimyasal analizlere ait sonuçlar Çizelge 6'da verilmiştir.



Cizelge 6. Bağkiran-Düvertepe kaolenlerine ait kimyasal analiz sonuçları

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	A.Z.
71.87±8.08	19.98±5.13	0.49±0.22	0.28±0.14	0.17±0.13	0.19±0.02	0.12±0.10	0.13±0.01	0.09±0.04	7.17±1.85

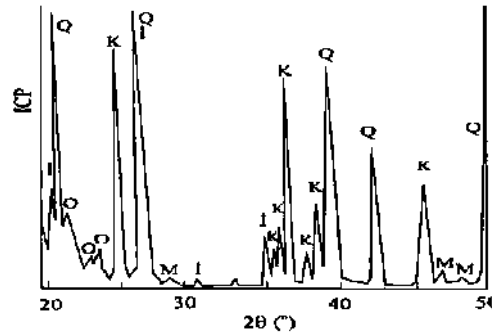
Çizelge 6'dan da görüldüğü gibi, kaolen bünyesinde bulunan safsızlıklar, standartlarda istenen Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub> değerlerinden daha düşük, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> değeri ise daha yüksek miktardadır. Elde edilen sonuçlar, Bağkiran-Düvertepe kaolenlerinin seramik standartlarına ve fabrika standartlarına uygun olduğunu göstermektedir. XRF analizi sonuçları kaolenin seramik sanayinde kullanılabilir özellikte olduğunu göstermektedir (Şekil 1).



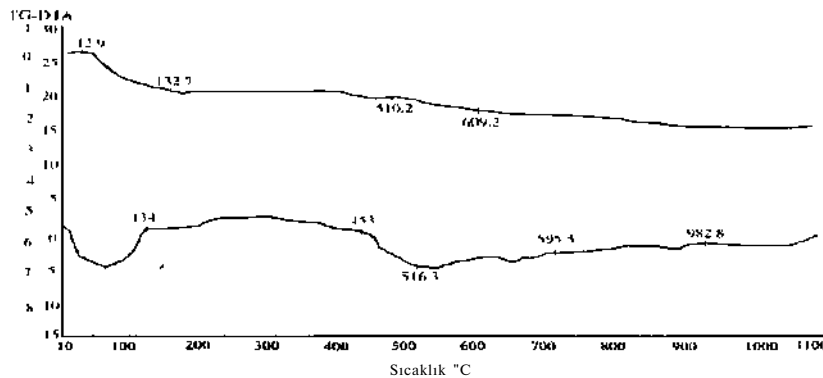
Şekil 1. Kaolen standarttan ve saha analiz sonuçları

Bağkiran-Düvertepe kaolenlerinden alınan örnekler üzerinde gerçekleştirilen XRD analizi sonuçları Şekil 2'de verilmiştir. Analiz edilen örneklerde kaolenin esas mineral olduğu, illite/simektit ortoklas ve kuvars bulunduğu görülmüştür. Elde edilen pikler, literatürde görülen kaolen desenleri ile benzeşmektedir.

Kaolen örnekleri üzerinde yapılan TG-DTA analizi neticesinde 30 °C ve 110 °C'de bir endotermik pik ve 110 °C ile 225 °C arasında da bir endotermik pik (160 °C) görülmüştür (Şekil 3). Birinci pik kaolenin bünye suyunu kaybetmesinden; ikinci pik, kaolenin XRD analizinde tespit edilen simektiten kaynaklanmaktadır. Kaolenin karakteristik endotermik piki 500-700 °C'de gözlenir. Ayrıca 695.5 °C'de smektitin neden olduğu küçük bir endotermik pik de gözlenmektedir. Kuvarsa ait endotermik pik ise kaolenin yer aldığı 500-700 °C aralığında yer alan 573 °C'de belirdiği için kaolene ait endotermik pik arasında yer almıştır. Kaolen örneğinin kafes yapısının 982.9 °C'de ekzotermik bir pik vererek çöktüğü görülmüştür.



Şekil 2. Kaolen örneklerine ait XRD analizi sonucu (K: Kaolen, M: montmorillonit, Q: kuvars, I: illit, O: ortoklas)



Şekil 3. Kaolen örneklerine ait TG-DTA eğrileri

Kaolen örnekleri için beyazlık ölçümleri yapılmış ve sonuçları Çizelge 7'de verilmiştir. Elde edilen sonuçlar, fabrikada istenen değerlerle uyumaktadır. Fabrika standardında ~%80 beyazlık istenmektedir. Beyazlık analizi sonuçları Bağırkan kaoleninin seramik üretimi için uygun olduğunu göstermektedir.

Çizelge 7. Beyazlık ölçüm sonuçları

Örnek	Ham Beyazlık (ft)	1150°C Pişme Rengi	1150°C Pişme Durumu	Pişmiş Beyazlık %
1	86.5	Beyaz	Pişmiş	92.2
2	79.5	Beyaz	Pişmiş	85.3
3	86.5	Beyaz	Pişmiş	93.2

### 3,2 Tozman feldspat sahası

Tozman feldspat sahasında üretim yapılan aynalardan farklı noktalardan ocağı karakterize edecek örnekler alınmış ve bu numuneler üzerinde üretilen feldspatın kalitesinin belirlenmesi amacı ile XRF analizi yapılmıştır. Çizelge 8'de verilen Tozman feldspat sahasından alınan örneklerin XRF analizi sonuçlarına bakıldığında; alkali toplamı %6.5-7 olarak bulunmuştur. Bulunan değer standartlarda verilen %5-7 değer aralığı içerisinde yer almaktadır. Alkali oranı ayrıca feldspatın kalitesini de göstermektedir, istenilmeyen CaO ve TiO<sub>2</sub> değerlerine bakıldığında ise; standartlarda en fazla %0.50 olan TiO<sub>2</sub>, örnekler için en fazla %0.39 olarak elde edilmiştir. CaO'nun ise % 0.1 civarında ve yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 4). Ancak bu değerlerin üretimde herhangi bir sorun yaratmayacağı düşünülmektedir. Kimyasal analiz sonuçları da feldspatın kullanılabilirliğini destekler niteliktedir.

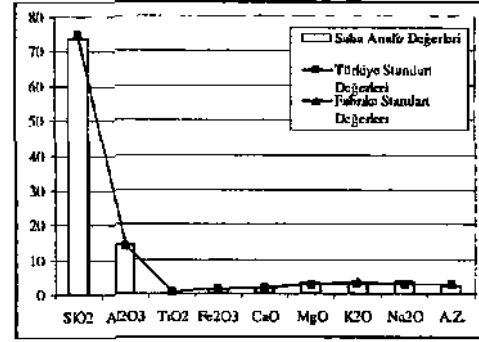
Çizelge 8. Tozman feldspatların a ait kimyasal analiz sonuçları (%)

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	A.Z.
71.72±0.62	13.97±0.55	0.29±0.11	1.23±0.11	1.66±0.08	3.51±0.29	3.38±0.47	3.32±0.13	-	2.42±0.19

Çizelge 9. Çiğdemlik killere ait kimyasal analiz sonuçları (%)

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	A.Z.
63.63±2.32	18.02±5.07	0.65±0.13	6.09±5.06	0.75±0.18	2.02±0.67	1.32±1.02	0.72±0.26	6.96±0.57

Çiğdemlik kil sahasının mineralojik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılan XRD analizleri sonucunda hem yer karosu ve hem de fayans üretiminde kullanılan kilin XRD sonuçlarının aynı



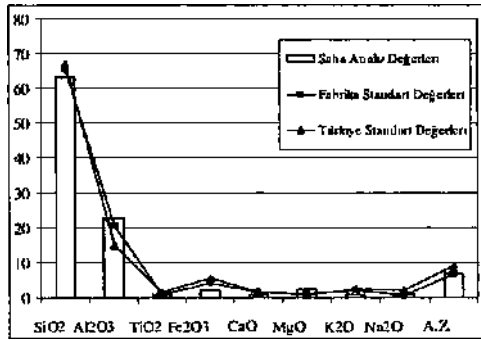
Şekil 4. Feldspat standartları ve saha analizi sonuçları

### 3.3 Çiğdemlik kil sahası

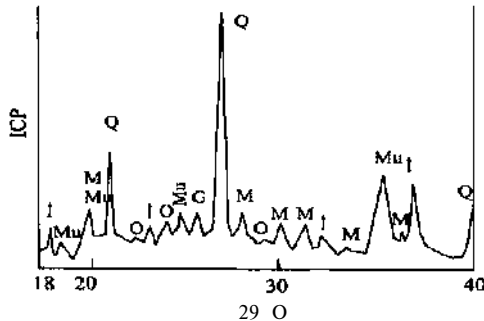
Çiğdemlik kil sahasından üretim yapılan aynalardan farklı noktalardan ocağı karakterize edecek örnekler alınmış ve bu numuneler üzerinde üretilen kaolenin kalitesinin belirlenmesi amacı ile XRF, XRD ve TG-DTA analizleri gerçekleştirilmiştir.

Kil sahasından alınan örnekler üzerinde yapılan kimyasal analizler sonucunda (Çizelge 9) standartlarda kil içerisinde istenmeyen, Fe<sup>2+</sup> ve CaO miktarlarının maksimum sınırların altında olduğu açıkça görülmektedir. Çiğdemlik kilinin kimyasal analiz sonuçlarının Söğüt Bölgesi için tespit edilmiş standartlar ve fabrikanın kendi standartları ile birlikte değerlendirilmesi sonucunda kilin seramik üretimi için uygun olduğu görülmektedir (Şekil 5). Çiğdemlik kil sahası kil rezervinin göz ardı edilecek kadar az olmadığı düşünüldüğünde, Söğüt Seramik A.Ş. için seramik üretiminde kullanılmasının herhangi bir problem oluşturmayacağı ve iyi bir hammadde olduğu düşünülmektedir.

olduğu tespit edilmiştir. Şekil 6'da verilen piklerden de görüldüğü gibi, kil içerisinde kuvars ve illitin yanı sıra ortoklas mineralinin varlığı açık olarak gözlenmiştir.



Şekil 5. Kil standartları ve saha analiz sonuçları



Şekil 6. Çiğdemlik kilinin XRD analizi sonucu (M: moumoullonit, Q: kuvars, I: illit, O: ortoklas, Mu: rauskovit, G: Göti)

Çiğdemlik kil sahasında bulunan fayans yer karosu üretiminde kullanılan kil örnekleri üzerinde yapılan TG-DTA analizi sonuçları Şekil 7 ve 8'de verilmiştir. Şekil 7'de verilen TG-DTA analizi sonucunda yer karosu kilinin 544 °C'de kristal suyunu kaybetmesi nedeni ile endotermik bir pik, 639 °C'de ise ekzotermik bir pik verdiği görülmektedir. Fayans kilinde 587 °C'de kristal suyun kaybedilmesi ile endotermik bir pik, 623.5 °C'de ise ekzotermik bir pik görülmektedir (Şekil 8). Bu pikler literatürde verilen seramik killeri pikleri ile örtüşmektedir.

#### 4 SONUÇLAR

Bağkırın kaolen ocağından alınan örnekler üzerinde yapılan XRF, XRD, DTA-TG ve beyazlık ölçümü analizleri sonucunda; kaolenin fabrika standartlarına uygun olduğu tespit edilmiştir. Bağkırın kaolen ocağında kurulacak yıkama tesisi ile kaolen

kalitesinin iyileştirilmesine yardımcı olacaktır. Ocakta sondajlarla kaolen kalitesinin tespit edilmesi ve buna göre üretim yapılması sahada mevcut bulunan kaliteli kaolenlerin; örneğin kağıt kaoleninin, diğer kalite kaolenlere karıştırılmadan üretimini mümkün kılacaktır. Tozma Feldspat sahasından alınan örnekler üzerinde gerçekleştirilen analiz sonuçlarına göre feldspat kalitesinin fabrika standartlarına uygun olduğu ve seramik üretimi için kullanılabilir özelliklere sahip olduğu belirlenmiştir.

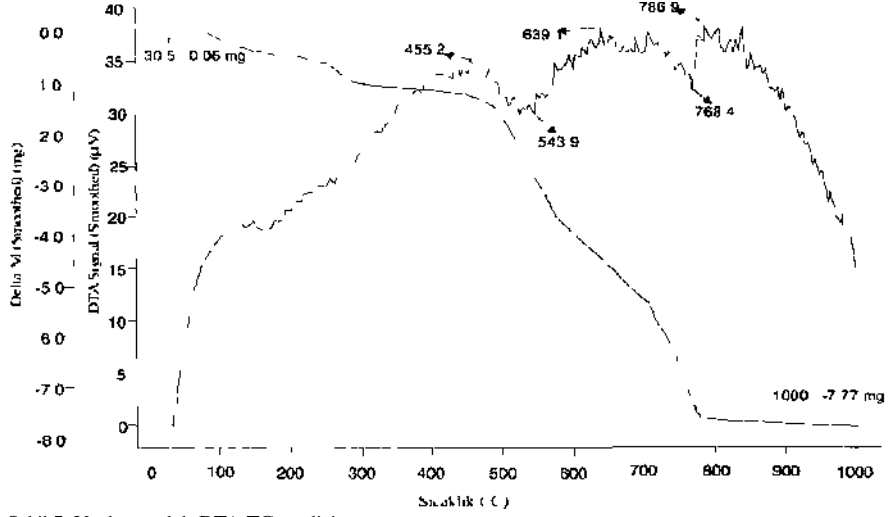
Çiğdemlik kil sahasından alınan kil örnekleri üzerinde yapılan kimyasal analiz sonuçları ile uygulamada olan standartlar karşılaştırıldığında; Çiğdemlik Kili'nin, Söğüt Bölgesi için tespit edilmiş standartlara ve fabrikanın kendi standartlarına uygun olduğu belirlenmiştir. Söğüt Seramik A.Ş.'nin kullanmakla olduğu bu killerin rezervinin oldukça fazla olması nedeniyle seçimli olarak üretimine devam edilmeli ve üretim planlamasında yapılacak acil düzenlemelerle kaliteli fayans, yer karosu ve kumlu kil rezervi kayıpsız olarak kazanı I malıdır. Ayrıca, her üç sahada yapılacak detaylı rezerv aramaları ve yeterli sayıda araştırma sondajları ile ürün üretim planlamaları yapılarak hammaddelerin gereksiz sarfiyatı önlenmelidir.

#### 5 KAYNAKLAR

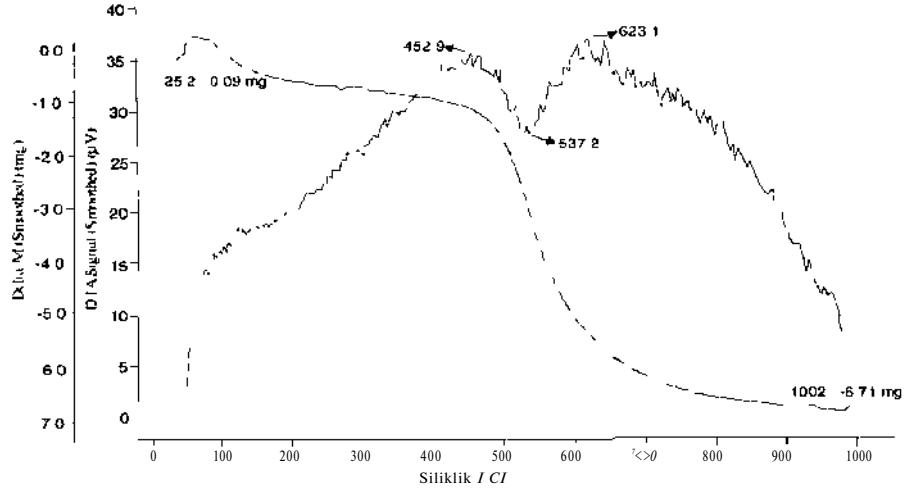
- Ank. H. ve Kadir, S., 2000; Balıkesir-Düvrcüce Kaoleninin Sıcaklığa Bağlı Faz Dönüşümleri ve Refrakterlik Özelliğinin Araştırılması, Gazi Üniversitesi Fen Bil. Ensi. Dergisi, Cilt:13. Sayı 4. s. 1081-1093.
- Antan, A. E., 2004; Söğüt Seramik Sanayi A.Ş. Hammadde Ocaklarında Üretim Yöntemi ve Ürün Kalite Standardını Belirlemeye Yönelik Çalışmalar, Ç.Ü, Fen Bil. En-t. Y. Lisans Tezi, s. 83, Adana.
- DPT, 2001; Seramik Killeri-Kaolen-Feldspat-Pirofillit-Wollastonit-Talk Çalışma Grubu Raporu. DPT 2611, ÖIK622.
- Ece, İ., Girgin, Ş. ve Özpeker, İ., 1999; İllit içeren Ticari Killeri, Türkiye Endüstriyel Mineraller Envanteri, İstanbul Maden İhracatçıları Birliği Yayını, s. 73-76.
- Evans, A., M., 1993; Ore Geology and Industrial Minerals, Thud Edition, Blackwell Sei. Pub., p. 389, London.
- Klein, C. Hurlburt. C. S., 1993; Manual of Mineralogy (B. Harmon Ed.) 21st Edition, John Wiley and Sons Inc., p. 681.
- Kurt, H., 1998; Maden Mühendisleri İçin Mineraloji ve Petrografi, Selçuk Üniversitesi Yayını. ISBN 975-96685-0-5, Aksis Grafik, s. 184. Konya.
- Malayoğlu, İ., Akar, A., 1995; Killerin Sınıflandırılmasında ve Kullanım Alanlarının Saptanmasında Aranan Kriterlerin İrdelenmesi, Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, Dokuz Eylül Üniversitesi, s. 125-133. İzmir.
- Önem, Y., 1997; Sanayi Madenleri, s. 368, Ankara.

Özpeker, I., 1999; Feldspat Envanteri, Türkiye Endüstriyel Mineraller Envanteri. İstanbul Maden İhracatçıları Birliği Yayını, s. 50.  
Sanız, K ve Nuhoglu, K., 1992; Feldspat, Endüstriyel Hammadde Yatakları ve Madencilği, Anadolu Üniversitesi Yayın No.636, s. 124-132, Eskişehir  
Seyhan, T., 1972; Kaolin, Bentonit, Kil ve Tuğla-Kiremit Toprakları Jeolojisi, Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Eğitim Serisi Yayınları, No 13, s. 24-26, Ankara

Tanişan, H. H. ve Mete, Z., 1988; Seramik Teknolojisi ve Uygulaması, s. 12-25, Soğut.  
Temur, S., 1998, Endüstriyel Hammaddeler. 352 s., Konya.  
Uz, B., 1990; Mineraller, (Krisallografi-Mineraloji), Kuruş Matbaası. İstanbul Teknik Üniversitesi, 436 s., İstanbul-



Şekil 7. Yer karosu kılı DTA-TG analizi sonucu



Şekil 8. Fayans kili DTA-TG analizi sonucu

## Nevşehir Pomzasından Üretilen Briketlerin Isı ve Ses İletkenlikleri Açısından Değerlendirilmesi

Y. Erdoğan & E. Yaşar

Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Adana, Türkiye

**ÖZET:** Son zamanlarda pomza, endüstriyel hammadde olarak birçok avantaja sahip olmasından dolayı yapı ve İnşaat sektöründe geniş kullanım alanı bulmuştur. Pomzanın avantajları olarak düşük birim hacim ağırlığı, yüksek ısı ve ses izolasyonu, kolay sıva tutması, deprem yük ve davranışları karşısındaki elastikiyet, ekonomik oluşu, kolay işlenebilirliği ve işçilikten tasarruf gibi özellikler sayılabilir. Bu çalışmada, Nevşehir pomzasının jeolojik, fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlendikten sonra yapı malzemesi olarak uygun karışım oranlarında farklı boyut ve şekillerde briketler üretilmiştir. Daha sonra briketlerin mühendislik özellikleri belirlenerek fiziksel ve mekanik özellikleri açısından Türk Standartlarına uygunluğu araştırılmıştır. Ayrıca Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümünde oluşturulan ısı ve ses izolasyonu laboratuvarında briket örneklerinin yalıtım karakteristikleri incelenmiş ve endüstriyel alanda kullanılabilirliği araştırılmıştır. Elde edilen veriler neticesinde briketlerin birim hacim ağırlığı: 650-700 kg/m<sup>3</sup>, ısı iletkenlik değeri: 1,5 - 2 W/mK, ses izolasyonu: 31-49 Rw (dB), Elastisite modülü: 6580-7850 MPa ve tek eksenli basma dayanımı: 2,8-3,4 MPa değerleri arasında oldukları tespit edilmiştir. Yapılan deney sonuçlarından Nevşehir yöresi pomzalarından üretilen briketlerin yapı sektöründe gerek depremsellik açısından gerekse ısı ve ses izolasyonunu sağlaması açısından oldukça ekonomik bir malzeme olduğu belirlenmiştir.

**ABSTRACT:** In recent years, pumice having a number of advantages according to industrial raw materials widespread increases usability in construction and building sector. These advantages of pumice are having low unit volume weight, high thermal and sound insulation, easily taken plaster and workability, elastic materials due to earthquake forces and behaviour, economic and saving workings. In the study, the geological, physical and chemical properties of Nevşehir pumice as aggregate material were determined and various dimension and type briquettes as building material in convenient mixing ratio were produced. The engineering features of briquette were found and appropriateness of briquette characteristics to Turkish standards were investigated. Furthermore, thermal and sound insulation properties of briquettes in the thermal and sound insulation laboratories in the Department of Mining Engineering at Çukurova University were studied and usability in industrial sector was investigated. The unit volume weight of approximately 650-700 kg/m<sup>3</sup>, thermal conductivity of 1,5-2 W/mK, sound insulation of 31-49 Rw (dB), Young Elasticity Modulus 6580-7850 MPa and uniaxial compressive strength of 2,8-3,4 MPa of briquettes research values were found respectively. Briquettes which are produced from Nevşehir pumice due to laboratory test results in building sector are quite economic construction materials in terms of earthquake, and thermal and sound insulation.

### 1. GİRİŞ

Depremselliğin, gürültü kirliliğinin ve enerji tüketiminin dünya üzerinde hızla artış göstermesinden dolayı dayanıklı, hafif, ses ve ısı geçirgenliği az olan malzemelerin inşaat sektöründe kullanımının arttığı görülmektedir. Bu yüzden birim hacim ağırlığı düşük, porozite ve ısı-ses izolasyonu yüksek, atmosferik şartlara dayanıklı, kolay işlenebilir ve yüksek puzzolanik aktivitesi ile

Nevşehir bölgesindeki asidik pomzalar yapı ve inşaat sektöründe tercih edilmektedir (Yaşar&Erdoğan, 2001).

Bu üstün fiziksel özelliklerinden dolayı pomza, günümüzde birçok endüstride geniş kullanım alanına sahiptir. Dünya'da inşaat sektöründen, tekstil sanayisine, tarımdan kimya alanına kadar birçok farklı alanda kullanım olanağı bulunan pomzaların endüstriyel hammadde olarak tanıtılması ve endüstrinin pomza madenciliğine olan ilgisinin

arttırılması da çalışmanın diğer bir amacını oluşturmaktadır.

Yapı amaçlı olarak kullanılan malzemelerde ısı iletkenliği ile akustik konforun sağlanması, günümüzde temel olarak aranan Özelliklerin başında gelmektedir. Bu bakımdan doğal yapı taşlarının fiziko-mekanik özelliklerinin yanı sıra, ısı iletkenlikleri ve ses absorpsiyonunun belirlenmesi detaylı bir çalışma gerektirmektedir.

Yapılarda ısısal konfor hesaplamaları, bina ısı yalıtım analizlerinde, günümüz ısı yönetmelikleri bakımından önemli bir konu olmuştur. Özellikle 8 Mayıs 2000 tarihinde Bayındırlık ve İskân Bakanlığı tarafından yürürlüğe konan "Binalarda Isı Yönetmeliği" ve 14 Haziran 2000 tarihinden itibaren revize edilerek yürürlüğe giren "TS 825 Isı Yalıtım Standardı", yeni yapılan konutlarda ısısal konforun sağlanması, prensip ve uygulama kriterlerini tanımlamakla birlikte, ısısal konfor açısından malzemelerde aranan özellikleri de belirtmektedir.

Yapılarda ısı yalıtımını sağlayan başlıca etmen, kullanılan yapı malzemesi ve malzemenin ısısal özellikleridir. İnşaat sektöründeki uygulamalarda gözenekli pomzaların ısı yalıtım malzemesi olarak kullanılması giderek yaygınlaşmıştır.

Aynı şekilde içerisinde yasadand belirli ölçülerde sınırlandırılmış kapalı mekanlarda akustik yönden konfor sağlamak için, malzeme ve yapı düzeni ile ilgili olarak iki önemli etken vardır. Birincisi sesin yansımaları veya yankı, diğeri de ses iletimi veya bunun tersi olan ses yalıtımıdır. (Gündüz v.d., 1998, Uğur, 2001).

Doğal yapı ve kaplama kayaçları incelendiğinde, yapısal özelliklerine bağımlı olarak, farklı ses yalıtım özellikleri gösterdikleri bilinmektedir.

Pomzaların ısı ve ses iletim özelliklerinin deneysel normlarla incelemelerinin yapılması, çalışmanın diğer bir amacını oluşturmaktadır. Bu amaçla Nevşehir pomzalarından üretilen briketler iyi bir ısı ve ses yalıtım malzemesi olurken enerji tasarrufuna da olanak sağlayacaktır.

Laboratuvar ortamında hazırlanan briketler üzerine yapılan ısı iletkenliğinin tespitinde Fourie kanunu olarak da bilinen denklem kullanılarak briketlerin ısı iletkenlik değerleri hesaplanmıştır (Kakaç, 1998). Bu denklemde;

$$\lambda = \frac{Q \cdot h}{(A \cdot \Delta T \cdot t)} \quad (1)$$

- $\lambda$  : ısı iletkenlik değeri (W/mK),  
 $Q$  : ısı miktarı (W/m<sup>2</sup>),  
 $h$  : ısı iletiminin yapıldığı briketin kalınlığı (m),  
 $A$  : ısıtılan briketin yüzey alanı (m<sup>2</sup>),  
 $\Delta T$  : Briket üzerinde ısı farklılığı (°C),  
 $t$  : Isıtma süresi (saat).

Isı iletkenlik değeri ( $X$ ); ısının miktarına ( $Q$ ), ısı iletkenliği belirlenecek olan malzemenin kalınlığına ( $h$ ), yüzey alanına ( $A$ ) ve bu işlemler gerçekleşirken geçen süreye ( $t$ ) bağlıdır.

Ayrıca ısı iletkenlik değeri, malzemenin su içeriğine, porozitesine, kristal ve mineral yapısına, makro ve mikro süreksizlik durumuna ve tane büyüklüğüne bağlı olarak değişim göstermektedir. Bu özelliklerin her biri ısı iletkenlik değerlerini değiştirdiğinden bu Özelliklerin etkisinin ayrı ayrı çalışılması hem bilimsel alanda hem de inşaat sektöründe olumlu gelişmelere imkan sağlayacaktır.

Yapı ve inşaat sektöründe kullanılan doğal taşlar, tuğlalar, briketler ve beton gibi taşıyıcı malzemelerin ses absorpsiyon özellikleri incelendiğinde bu konu ile ilgili bilimsel niteliği olan çalışmalara pek rastlanılmamaktadır. Bu amaçla yapı sektöründe kullanılan lier türlü malzemenin konforlu, ses ve gürültü önleyici ortamlarda yaşanıma isteğiyle daha detaylı incelenmesi gerekmektedir. Yapılan çalışma da ayrıca Nevşehir pomzasından elde edilen briketlerin ses absorpsiyon değerlerinin belirlenmesi için Çukurova Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümünde doğal yapı malzemelerinin ses absorpsiyon özelliklerini belirlemek amacıyla laboratuvar ve donanımları yapılmıştır. Laboratuvarda yapılan derieylerin sonucunda elde edilen veriler değerlendirilmiştir.

Bu çalışma ile Nevşehir bölgesinde üretilmekle olan asidik pomzanın tüketim açısından laboratuvar şartlarında fiziksel ve kimyasal Özellikleri tespit edilmiştir. Pomzanın mühendislik özellikleri belirlendikten sonra optimum şartlarda 4 tip ve boyutta briketler tasarlanarak üretimi yapılmıştır. Briketlerin fiziksel ve mekanik özellikleri tespit edilerek ısı ve ses iletim özellikleri belirlenerek endüstriyel alanda kullanılabilirliği araştırılmıştır.

## 2. ÇALIŞMA ALANI VE JEOLJİSİ

Ülkemizin MTA tarafından yapılan çalışmaları neticesinde 3 milyar m<sup>3</sup>'lük pomza rezervine sahip olduğu belirtilmektedir. En çok talep gören asidik pomza Nevşehir bölgesindeki beyaz renkli pomzadır. Türkiye pomza üretimi 90'lı yılların başında 400 bin ila 700 bin ton mertebesinde İken 1992-2002 arasında üretim 550.000 ton ile 1250.000 ton seviyesine çıkmıştır. Üretilen pomza Türkiye'nin pomza rezervi Çizelge 1'de sunulmuştur.

Kapadokya Bölgesi'ndeki Erciyes, Hasandağı, Melendiz ve Güllüdağ jeolojik devirlerde aktif oldukları bilinen volkanların püskürmeleri Üst Miyosen'de başlayıp Holosen'e kadar sürmüştür.

Neojen gölleri altındaki yanardağlardan çıkan lavlar, plato, göller ve akarsular üzerinde 100-150m kalınlığında, farklı sertlikte bir tuf tabakası meydana getirmiştir. Bu tabakanın yapısında tufün dışında, lüff«, ignimbrit tuf, lahar, volkan külü, kil, kumtaşı, marn, aglomera ve bazalt gibi kayaçlar da bulunmaktadır (Erdoğan, 1997).

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 tuf tabakasını aşındırmaları nedeniyle bölge bugünkü halini almıştır.

Çizelge 1. Türkiye pomza rezervi

Yer	Rezerv (m <sup>3</sup> )
Nevşehir-Avanos -Ürgüp	400.412.834
Derin Kuyu	48.660.500
Kayseri - Gömec	13.250.000
Kayseri -Develi	58.500.000
Kayseri- Talaş Tomarza	725.000.000
Bitlis-Tatvan	1.100.000.000
Bitlis-Ahlat	210.000.000
Van Erciş - Kocapınar	154.625.000
Van - Mollakasım	5.950.000
Ağn - Dogubevazil	26.875.000
Kars - Iğdır	40.156.250
Kars - Sarıkamış	1.875.000
Kars - Diğer	11.718.750
Ankara-G üdül-Tekköy	8.070.000
İsparta - Gölcük	30.983.250
<b>Toplam</b>	<b>2.836.076.584</b>

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 kayaçlarla yer yer kesilmişlerdir (Kelin, 1963). Bölgede Eosen ve Oligasen'e ait sedimanier birimler kendilerinden daha yaşlı birimler üzerine oturmakta, onların da üzerinde Senozoyik'in geniş yayımlı volkanitleri ile sedimanter kayaçları yer almaktadır.

Neojen yaşlı volkano-sedimanter birimlerin yer aldığı inceleme alanında litolojik farklılıklar göz önüne alınarak on iki birim ayırtlanmıştır (Şekil 1) (Açıkgöz, 1980).

Bu birimler;

- Cemilköy Tüferi (Cmt)
- Taşkınpaşa (Tfm)
- Başköy üyesi (Tfnij)

- Şahinefendi Üyesi (Tfni)
- Devretderesi Üyesi (Tfm3)
- Kızıkaya İgnimbirileri (Kzi)
- Keçiderebenti Pomzası (Pm?)
- Güzelöz Gölsel Sedimanian (Gsd)
- Akpınar Kireçtaşları (Akcl)
- Karakaya Bazaltları (Kbz<sub>a,n</sub>)
- Alahopu Pomzası (Prtrj)
- Alüvyon (Ako-Pıru)

YAS		SMGE		LİTOLOJİ		
		Alak Pm4	Pm3	Kbz a-b	Avc1	
		Alak Pm4	Pm3	Kbz a-b	Avc1	
SENOZOYİK	KIVIRGİNER					
	TERSİYER	NEOJEN				
SENOZOYİK	TERSİYER					
	NEOJEN	PLYOSEN				
SENOZOYİK	TERSİYER					
NEOJEN	MYOSEN					
SENOZOYİK	TERSİYER					
NEOJEN	PLİSTOSEN					

Şekil 1. Çalışma alanının genel litolojik kesiti

Çalışma alanındaki birimlerin konumu genellikle yatay ve yataya yakın olup 5°-10°D-GD'ya eğilimlidir. Yapılan gözlemlerde çalışma alanında fay ve kıvrım gibi yapısal elemanlar saptanmamıştır.

Bunun dışında Kızılırmak'ın güney bölgesinin jeolojik yapısını bazalt ve Mezozoik yaşlı tabakalar, ırmağın kuzey bölgesini Oligo-Miyosen birimleri. Eosen flişi, metamorfik seri ve graniit tabakalar oluşturur. "Peribacısı" diye adlandırılan oluşumlar, vadi yamaçlarından inen sel sularının ve rüzgarın, tüflerden oluşan yapıyı aşındırmasıyla ortaya çıkmıştır. 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 bloğu yer almaktadır. Gövde tüf, tüffit ve volkan külünden ibaret bir kayaçtan, şapka kısmı ise lahar ve ignimbrit gibi sert kayalardan oluşmaktadır.

Yörede birçok volkanik çıkış bacası mevcuttur. Asit kökenli bir lakım volkanik çıkışlar oldukça yaygın pomza yataklarının oluşmasına neden olmuştur. Yapılan çalışmalar sonucunda Nevşehir ve çevresinde 1,5 milyar m<sup>3</sup>'ü aşan pomza rezervi saptanmıştır. Daha önce bahsedildiği gibi otokton ve allokon olarak oluşan pomzalar farklı yerlerde farklı özelliklerde gözlenmektedirler (Bilgin ve Ercan, 1981; Doyuran, 1980).

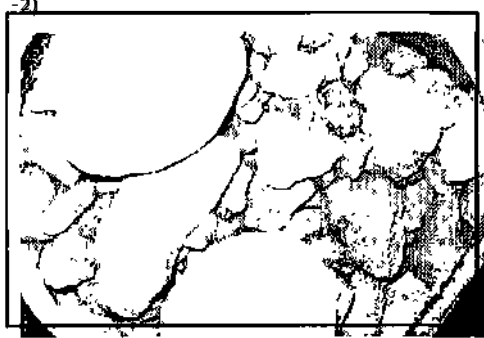
### 3. MATERYAL VE METOT

Pomzaların briket yapımında hafif yapı malzemesi olarak kullanılabilirliğinin belirlenmesinde fiziksel ve kimyasal özelliklerinin bilinmesi son derece önemlidir. Bu amaçla çalışma bölgesinden alınan numuneler Çukurova Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölüm Laboratuvarlarına getirilerek deneyleri yapılmıştır.

Briket yapımında kullanılan malzemeler;

Çimento; su ile reaksiyona girerek sertleşen bir bağlayıcıdır. Briketlerin yapılmasında çimento olarak Adana Çimento Sanayimden alınan Portland Çimento (PC 32.5) kullanılmıştır.

Agrega; briket yapımında kullanılan agregalar TS 706 EN 12620'ya uygun olarak seçilmiştir. Bu çalışmada kullanılan asidik pomza agregalan Nevşehir'de faaliyet gösteren Serhat Madencilik ve Soylu Madencilğe ait ocaklardan getirilmiştir. Briket yapımında Nevşehir asidik pomzasından başka hiçbir katkı malzemesi kullanılmamıştır (Şekil



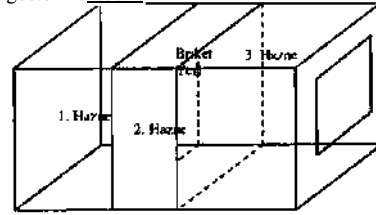
Şekil 2. Asidik pomzadan bir görünüş

Karışım suyu; kuru haldeki çimento ve agregayı plastik, işlenebilir bir kütle haline getirme ve çimento ile kimyasal reaksiyon yaparak plastik kütleli sertleşmesini sağlama işlevini yerine getirir. Briketin yapılmasında kullanılacak su miktarı oldukça önemlidir. Su miktarının az olduğu briquette, briket harcının kıvamı susuz olacağından agrega taneleri birbirini tutmaz ve dağılma yaşanır. Aynı şekilde briket harcına fazla kıvam kazandırmak amacıyla fazladan su katmak betonun mukavemetini düşürmektedir. Optimum su-çimento oranını saptamak için bilimsel niteliği olan çalışmalar incelenmiş ve deneme yanılma yöntemiyle çok sayıda deney yapılarak en uygun su miktarı hesaplanmıştır. Bu çalışmada karışım suyu olarak normal içme suyu şebekesinden alınan 20°C su kullanılmıştır.

Deney aletleri; Nevşehir pomzasından üretilen briketlerin ısı ve ses iletkenliklerinin tespiti amacıyla Türk standartlarına uygun olarak laboratuvar ve ekipmanlar temin edilmiştir. Bu çalışma amacıyla Nevşehir pomzasından üretilen 4 farklı briket örneğinin ısı izolasyonunu tespit etmek amacıyla Şekil 3'de görülen izolasyon etüvü üretilmiştir. Etüv üç hazneden oluşmaktadır. Birinci hazne ısıyı üreten kısım olup sıcaklık 1200°C'ye kadar çıkabilmektedir. İkinci kısımda ısı izolasyonunun tespiti istenen briket, beton veya kaya plaka örneğinin bulunduğu ve yalıtımının sağlandığı kısımdır. Üçüncü hazne ise izolasyon değeri istenen malzemenin geçen ısı miktarının bulunduğu ve ne kadar ısı miktarının geçtiğinin ölçüldüğü haznedir.

Isı iletkenlik değeri malzemenin kalınlığına, yüzey alanına, geçen enerji miktarına, deney zamanına ve ısı farkının değişimine bağlı olarak hesaplanabilmektedir.

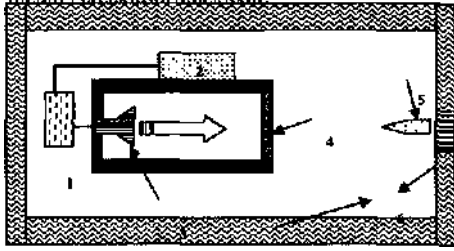
Bu düzenekte briket, fırının orta haznesine (ikinci hazne) konmaktadır. Ön kısımdan (birinci hazne) üretilen ısı vantilatör yardımıyla üflenerek bloğu geçip bloğun arka tarafına (üçüncü hazne) iletilmesi deneyin ana prensibini oluşturur. Birinci ve üçüncü haznedeki ısı farkı briketin ne kadarlık ısıyı absorbe ettiğini veya ne kadarlık bir ısıyı iletmediğini göstermektedir.



Şekil 3. Isı izolasyonunun hesabında kullanılan etüv



Briketlerin ses absorpsiyonlarının tespiti için kaplaması ses geçirmez bir kılıfla kaplanarak oluşturulmuş ses odasında gerçekleştirilmiştir. Bu odada Şekil 4'den görüleceği üzere bir adet ses üretici ve ses boyutunu (genliğini) daha büyük genlikli ses boyutlarına yükselmesini sağlayacak bir amfi bulunmaktadır. Amfiden alınan elektriksel enerjiyi ses enerjisine dönüştüren ölçüm kutusunun arka bölümüne konulmuş bir hoparlör bulunmaktadır. Ses yalıtım özellikleri belirlenecek olan briket örneğinde belirli bir mesafede sabit bir konumda yerleştirilen bir ses ölçme makinesi ile ölçüm gerçekleştirilmektedir.



(1. Amfi, 2. Ses Ureleci, 3. Hoparlör, 4. Briket, 5. Ses Ölçme makinesi (dB), 6. Oda içinde ses geçirmeyi önleyen kılıflar)

Şekil 4. Ses ölçüm odasının şematik görünümü

#### 4. BRİKET YAPIMINDA KULLANILAN POMZALARIN GENEL ÖZELLİKLERİ

TS 406'da öngörülen tanımlamalar neticesinde briketler; kum, çakıl, tuf, cüruf ve bims gibi agreganın, çimento ve su karışımlarının özel kalıplara dökme ve dövme, sıkıştırma veya titreşim verilmesi suretiyle elde edilen bir inşaat malzemesidir. Duvarda kullanılanlar duvar briketi ve döşemede dolgu olarak kullanılanlara da döşeme briketi adı verilir. Briket imal edilecek betonun birim hacim ağırlığı duvar briketlerinde 1600 kg/m<sup>3</sup> ve döşeme briketlerinde ise 1400 kg/m<sup>3</sup>'den fazla olmamalıdır. Duvar briketleri, ancak yük taşımayan yerlerde ve bacalarda kullanılır. Genellikle ebatlar 11x6x23, 10x20x40, 20x20x40, 30x20x40 olmak üzere içi dolu veya delikli olarak dikdörtgen prizma biçiminde olmalıdır.

Döşeme briketlerinde ise, delik eksenine doğrultusunda yapılan net yüzeye göre basınç direnç değeri 15 kg/cm<sup>2</sup>'den az, su emme değeri % 20'den fazla, don tesirine maruz briketlerde don sonu basınç direncinde % 25'den fazla bir düşüş olmaması istenir. Normal döşeme briketlerinde, boşlukları bütün briket boyunca devam etmesine karşın döşemelerin kenarlarında bir tarafı kapalı briketler

kullanılmalıdır. Briketlerin kenarları keskin, istenilen ebatta, yüzleri düzgün, kırık ve çatlakların bulunmaması istenir. Üretilen briketler, hava tesirlerine karşı korunmalı ve 15 gün geçmeden kullanılmaması gerekir.

Yapılması düşünülen briketlerde, tüvenan pomza örneklerinin öğütülerek kimyasal analizleri yapılmıştır (Çizelge 2). Daha sonra numuneler elenerek beton granülometresine uygun olacak şekilde 0-0,5, 0,5-1, 1-2, 2-4 ve 4-8 mm aralıklarında elek analizleri yapılmış ve her bir elek aralığı için birim hacim ağırlık ve su emme deneyleri yapılmıştır (Çizelge 3).

Pomzaların su emme yetenekleri, hızları ve içerdiği nem miktarları endüstri alanında sıkça kullanılan fiziksel bir özelliktir.

Yapılan kimyasal analizler neticesinde asidik pomza da ortalama %71,2 SiO<sub>2</sub>, %16,30 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %1,72 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %0,63 CaO, %0,52 Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O ve %9,70 diğer tali bileşenler bulunmaktadır (Çizelge 2).

Çizelge 2. Asidik pomzanın kimyasal analizi

Bileşim	%
SiO <sub>2</sub>	71,12
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,30
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,72
CaO	0,63
Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	0,52
Diğer	9,70
Toplam	100

Neşehir asidik pomzası TS 3529 ve 3526 standartlarında belirtilen kriterlere uygun olarak deneyleri yapılmış, her bir granülometriye göre elde edilen birim hacim ağırlık ve su emme değerleri bulunarak elde edilen sonuçlar Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3. Asidik pomzaların birim hacim ağırlık ve su emme değerleri

Elek aralığı	Birim Hacim Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	Su Emme (%)
16-8	334,75 ± 9,50	45,30 ± 1,15
8-4	370,73 ± 16,61	37,42 ± 1,27
4-2	416,39 ± 20,94	31,13 ± 1,83
2-1	513,61 ± 25,81	27,11 ± 1,55
1-0,5	597,80 ± 43,70	22,26 ± 0,29
<0,5	683,81 ± 33,59	16,96 ± 0,87

## S. BRİKET KARIŞIM HESAPLARI VE DENEYSSEL ÇALIŞMALAR

Araziden alınan tüvenan şeklindeki Nevşehir pomza örnekleri çeneli kırıcıda kırılarak 0-0.5, 0.5-I, 1-2, 2-4 ve 4-8 mm'lik elek aralıklarına göre sınıflaması yapılmıştır. Pomzaların genel sınıflandırılmasından sonra fiziksel ve mekanik Özellikler olarak en iyi mühendislik kriterlerini sunan briket su-çimento-agrega karışım oranlarının tespiti için gerek teorik gerekse de pratik olarak çok sayıda karışım hesapları ve deneyleri yapıldıktan sonra endüstriyel alanda en uygun karışım hesabım veren optimum su, çimento ve agregası karışım oranları belirlenmiştir (Çizelge 4) (Atış, vd., 2000, Yaşar, vd., 2004). Dört farklı boyut ve tipte üretimi yapılan briketlerde Çizelge 4'de verilen karışım oranları uygulanmıştır.

Çizelge 4. Briketlerin karışım oranları

Elek aralığı (mm)	Agregası miktarı (kg/m <sup>3</sup> )
8-4	140
4-2	114
2-1	80
1-0.5	94
<0.5	142
Çimento	114
Su	120

Sınıflama ve kırma işlemleri TS 706 EN 12620 standartlarının öngördüğü şekilde olmuştur. Tüm deneyler oda sıcaklığının 22°C, nem miktarının %65-70 olduğu I gün içerisinde uygun oda ve çevre şartlarında gerçekleştirilmiştir.

Üretilen briketlerin boyutları 100x190x400mm, 150x190x400mm, 200x190x400mm ve 250x190x400mm (geniş boşluklu) olarak tasarlanmıştır. Briketlerin üretiminde kullanılan presin briket üzerine uyguladığı basınç miktarı 8 bar civarındadır.

Briketler 4 farklı tip ve boyutta oldukları için ayrı ayrı incelenmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

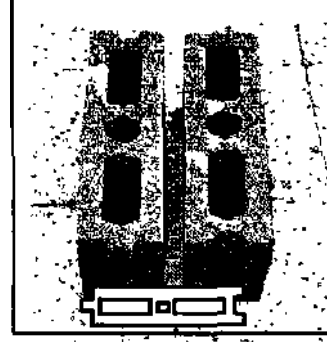
### 5.1. Bir Sıra Üç Boşluklu Briket (10x200x400mm)

Bir sıra üç boşluklu briket, TS 406'da öngörülen tanımlamalara uygun olarak üretilmiştir. Belirli aralıklarda sınıflandırılmış pomza örnekleri çimento ve su karışımının özel kalıplara dökülerek, 8 bar'lık bir basınçla prese edilmek suretiyle elde edilmiştir.

İnşaat sektöründe özellikle bina içlerindeki duvarlarda sıklıkla kullanılan bir boyut olan 100x190x400 mm boyutları tercih edilmesi briketin tasarım amacını oluşturmaktadır (Şekil 5). Üretilen

380

bir sıra üç boşluklu briketin 7, 14 ve 28 günlük zaman süreleri boyunca fiziksel ve mekanik özellikleri incelenerek birim hacim ağırlık, tek eksenli basma dayanımı, Young Elastisite modülü, ısı ve ses iletkenlik rie-gpirleri ölçülmüştür.



Şekil 5. Bir sıra iki boşluklu briket

Üretilen bir sıra üç boşluklu briketlerde ilk Önce birim hacim ağırlık değerleri hesaplanmıştır. Bir sıra üç boşluklu briketlerde birim hacim ağırlık değerleri 620 ve 645 kg/m<sup>3</sup> arasında değişmektedir. Bir sıra üç boşluklu briketlerin zamana bağlı basma dayanım değerleri 7, 14 ve 28 günlük zaman diliminde sırası ile 2.28, 2.72 ve 2.88 MPa olarak bulunmuştur. Isı iletkenlik değeri 7. gün sonunda 0.18 W/mK iken 28 gün sonunda 0.17 W/mK olarak hesaplanmıştır. Briketlerin ses absorpsiyon değerleri 7, 14 ve 28 gün için sırasıyla 28,4, 30,6 ve 31,2 dB olarak bulunmuştur.

Bir sıra üç boşluklu briketler üzerine yapılan fiziksel ve mekanik deneylerin sonuçları Çizelge 5'de verilmiştir.

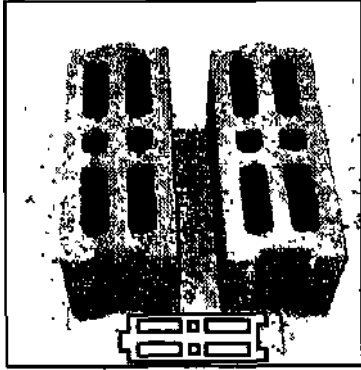
Çizelge 5. Bir sıra üç boşluklu briket örneklerinin 7, 14 ve 28 günlük birim hacim ağırlık, tek eksenli basma dayanımı, Elastisite modülü, ısı ve ses iletkenlik değerleri

Deneyin	7 Gün	14 Gün	28 Gün
<b>Zaman</b>			
Birim Hacim Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	645±49	630±42	620±38
T.E.Basma Davanımı (MPa)	2,28±0,36	2,72±0,35	2,88±0,34
Elastisite Modülü (MPa)	6850±320	6900±350	7220±370
Isı İletkenlik Değeri (W/m.K)	0,180±0,029	0,175±0,028	0,170±0,024
Ses İletkenliği (dB)	28,4±2,63	30,6±2,97	31,2±3,28

### 5.2. İki Sıra Altı Boşluklu Briket (150x200x400mm)

İki sıra altı boşluklu briket, TS 406'da öngörülen tanımlamalar neticesinde üretilmiştir. Belirli aralıklarda sınıflandırılmış pomza örnekleri çimento, ve su karışımının özel kalıplara dökülerek, 8 bar'lık bir basınçla pres edilmek suretiyle elde edilmiştir.

İnşaat sektöründe özellikle bina iç ve dış duvar kaplamalarında, orta ölçekli fabrika ve yurtlarda sıklıkla kullanılan bir boyut olan 150x190x400 mm boyutları tercih edilmesi briketin tasarım amacını oluşturmaktadır (Şekil 6). Üretilen iki sıra altı boşluklu briketin 7, 14 ve 28 günlük zaman süreleri boyunca fiziksel ve mekanik özellikler incelenerek birim hacim ağırlık, tek eksenli basma dayanımı, Young Elastisite modülü, ısı ve ses iletkenlik değerleri ölçülmüştür.



Şekil 6 İki sıra altı boşluklu briket

İki sıra altı boşluklu briketlerde birim hacim ağırlık değerleri 639 ve 656 kg/m<sup>3</sup> arasında değişmektedir.

İki sıra altı boşluklu briketlerin basma dayanım değerleri 7, 14 ve 28 günlük zamanlarda sırası ile 2.46, 2.80 ve 2.91 MPa olarak bulunmuştur.

Isı iletkenlik değeri 7. gün sonunda 0.181 W/mK iken 28 gün sonunda 0.174 W/mK olarak hesaplanmıştır. Briketlerin ses absorpsiyon değerleri 7, 14 ve 28 gün için sırasıyla 30,5, 32,9 ve 34,4 dB olarak bulunmuştur.

İki sıra altı boşluklu briketler üzerine yapılan fiziksel ve mekanik deneylerin sonuçları Çizelge 6'da verilmiştir.

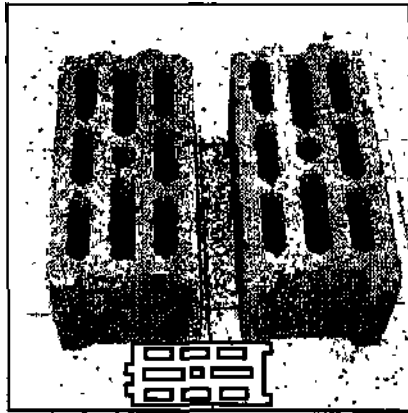
Çizelge 6. İki sıra altı boşluklu briket örneklerinin 7, 14 ve 28 günlük birim hacim ağırlık, tek eksenli basma dayanımı, Elastisite modülü, ısı iletkenlik ve ses iletkenlik değerleri

Deneyin Zaman	7 Gün	14 Gün	28 Gün
Birim Hacim Ağırlık (ks/ırf)	656±51	641+45	639±37
T E.Basma Dayanımı (MPa)	2,46+0,39	2.80+0,41	2.91 ±0,39
Elastisite Modülü (MPa)	7050±330	7100+350	7270±380
IM İletkenlik Değeri (W/m.K)	0.181±0,033	0.175+0,032	0,17410,026
Ses İletkenliği (dB)	30,5±2,97	32.9+3.01	34,4+3.11

### 5.3. Üç Sıra Dokuz Boşluklu Briket (200x200x400mm)

Üç sıra dokuz boşluklu briket, standartlara uygun olarak üretilmiştir. Belirli aralıklarda sınıflandırılmış pomza örnekleri çimento ve su karışımının özel kalıplara dökülerek, 8 bar'lık bir basınçla prese edilmek suretiyle elde edilmiştir.

İnşaat sektöründe özellikle otellerde, büyük iş ve alışveriş merkezlerinde, yüksek ısı ve ses konforunun arandığı yerlerde kullanılan bir boyut olan 200x190x400mm'lik briket boyutları tercih edilmiştir (Şekil 7). Üretilen üç sıra dokuz boşluklu briketin 7, 14 ve 28 günlük zaman süreleri boyunca fiziksel ve mekanik özellikler incelenerek birim hacim ağırlık, tek eksenli basma dayanımı, Young Elastisite modülü, ısı ve ses iletkenlik değerleri ölçülmüştür.



Şekil 7 Üç sıra dokuz boşluklu briket

Üç sıra dokuz boşuklu briketlerde birim hacim ağırlık değerleri 641 ve 667 kg/m<sup>3</sup> arasında değişmektedir.

Üç sıra dokuz boşuklu briketler için 7, 14 ve 28 günlük zaman dilimlerinde, tek eksenli basma dayanım değerleri sırası ile 2.82, 3.17 ve 3.26 MPa değerleri bulunmuştur.

Isı iletkenlik değeri 7. gün sonunda 0.190 W/mK iken 28 gün sonunda 0.175 W/mK olarak hesaplanmıştır. Briketlerin ses absorpsiyon değerleri 7, 14 ve 28 gün için sırasıyla 33,7, 36,7 ve 38,5 dB olarak bulunmuştur.

Üç sıra dokuz boşuklu briketler üzerine yapılan fiziksel ve mekanik deneylerin sonuçları Çizelge 7'de verilmiştir.

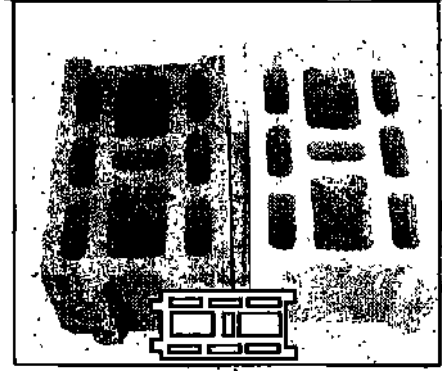
Çizelge 7. Üç sıra dokuz boşuklu briket örneklerinin 7, 14 ve 28 günlük birim hacim ağırlık, tek eksenli basma dayanımı, Elastisite modülü, ısı iletkenlik ve ses iletkenlik değerleri

Deneyin Zaman	7 Gün	14 Gün	28 Gün
Birim Hacim Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	667±52	652±42	641±39
T.E.Basma Dayanımı (MPa)	2.82±0.48	3,17±0,49	3,26±0,49
Elastisite Modülü (MPa)	7100±350	7250±425	7580±450
Ki iletkenlik Değeri (W/m.K)	0,190±0,035	0,175±0,035	0,175±0,031
Ses İletkenliği (dB)	33,7±3,09	36,7±3,41	38,5±3,57

#### 5.4. Üç Sıra Dokuz Geniş Boşuklu Briket (250x200x400mm)

Üç sıra dokuz geniş boşuklu briket, standartlarda uygun olarak üretilmiştir. Belirli aralıklarda sınıflandırılmış pomza örnekleri çimento ve su karışımının özel kalıplara dökülerek, 8 bar'lık bir basınç verilerek suretiyle elde edilmiştir.

Yapı ve inşaat sektöründe dış cephe kaplamacılığında, yüksek ısı ve ses konforu isteyen iş merkezlerinde kullanılan bir boyut olan 250x190x400 mm boyutları tercih edilmesi briketin tasarım amacını oluşturmaktadır (Şekil 8). Üretilen üç sıra dokuz geniş boşuklu briketin 7, 14 ve 28 günlük zaman süreleri boyunca fiziksel ve mekanik özellikleri incelenerek birim hacim ağırlık, tek eksenli basma dayanımı, Young Elastisite modülü, ısı ve ses iletkenlik değerleri ölçülmüştür.



Şekil 8. Üç sıra dokuz geniş boşuklu briket

Üç sıra dokuz geniş boşuklu briketlerde birim hacim ağırlık değerleri 642 ve 668 kg/m<sup>3</sup> arasında değişmektedir.

Üç sıra dokuz geniş boşuklu briketler için 7, 14 ve 28 günlük zaman dilimlerinde tek eksenli basma dayanım değerleri sırası ile 2.74, 3.06 ve 3.11 MPa bulunmuştur. Isı iletkenlik değeri 7. gün sonunda 0.190 W/mK iken 28 gün sonunda 0.180 W/mK olarak hesaplanmıştır. Briketlerin ses absorpsiyon değerleri 7, 14 ve 28 gün için sırasıyla 44,7, 47,8 ve 49,3 dB olarak bulunmuştur.

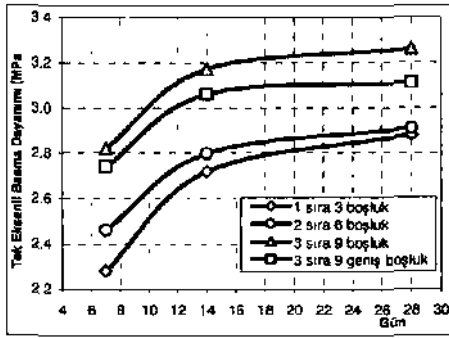
Üç sıra dokuz geniş boşuklu briketler üzerine yapılan fiziksel ve mekanik deneylerin sonuçları Çizelge 8'de verilmiştir.

Çizelge 8. Üç sıra dokuz geniş boşuklu briket örneklerinin 7, 14 ve 28 günlük birim hacim ağırlık, tek eksenli basma dayanımı, Elastisite modülü, ısı iletkenlik ve ses iletkenlik değerleri

Deneyin Zaman	7 Gün	14 Gün	28 G Ün
Birim Hacim Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	668±50	652±47	642±40
T.E Basma Dayanımı (Mpa)	2,74±0,40	3,06±0,41	3,11±0,47
Elastisite Modülü (MPa)	7100±360	7240±430	7570±500
Isı İletkenlik Değeri (W/m.K)	0,190±0,038	0,185±0,035	0,180±0,034
Ses İletkenliği (dB)	44,7±4,12	47,8±4,25	49,3±5,02

Genel olarak briketlerden elde edilen deneysel sonuçlar incelendiğinde; Çizelge 7'den görüldüğü üzere en yüksek tek eksenli basma dayanım değeri

üç sıralı dokuz boşluklu briketlerin 28 gün sonundaki basma dayanım değeri olmuştur. Briketlerin tek eksenli basma dayanım değerlerinin zamana bağlı olarak göstermiş oldukları değişim Şekil 9'da verilmiştir.

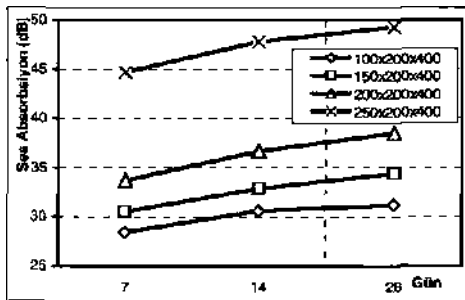


Şekil 9. Zamana bağlı briketlerin tek eksenli basma dayanım değerleri

Briketlerin Young Elastisite modülleri ise 6850 MPa ile 7580 MPa arasında değişmektedir.

Briketlerin ısı iletkenlik değerleri; minimum ısı iletkenlik değeri 0.170 W/mK ve maksimum ısı iletkenlik değeri de 0.190 W/mK şeklinde bulunmuştur.

Tüm briketler bir bütün olarak incelendiğinde ses absorpsiyon değerlerinin oldukça iyi olduğu gözlemlenmiş ve hafif yapı malzemesinden üretilen briketlerin ses izolasyonu yönünden standartlara oldukça uygun olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 10).



Şekil 10. Zamana bağlı briketlerin ses absorpsiyon değerleri

Yapılan tüm deneylerin sonucunda hafif yapı elemanı pomzadan üretilen briket örneklerinde

düşük yoğunluk, yüksek dayanım ve oldukça iyi bir ısı ve ses izolasyonu sağlaması ve elde edilen verilerin tamamını standartlara uygun olması sebebiyle briketlerin endüstriyel alanda artan bir hızla kullanılabilmesi düşünülmektedir.

## 6. SONUÇLAR

Nevşehir asidik pomzalarının kullanılması ile hazırlanan briket örnekleri üzerinde yapılan deney sonuçlarına göre, bölgede çıkarılan asidik pomzanın yüksek dayanım, düşük yoğunluk, ısı ve ses izolasyon değerlerinde oldukça iyi sonuçlar göstermesinden dolayı Nevşehir asidik pomzasının briket yapımında kullanılabilirliğinin mümkün olduğu görülmüştür. Briketlerin binalarda taşıyıcı elemanlara ve zemine daha az yük uygulayacağından bu briketlerden yapılan binaların depreme karşı daha dayanıklı olacağı hesaplanmaktadır. Bunun önemi de son yıllarda ülkemizde gerçekleşen depremlerin ardından daha iyi anlaşılmaktadır. Ayrıca pomzadan üretilen briketlerin kullanılması ile yapılan binalarda ısı ve ses izolasyonu olarak diğer tuğla ve briketlere nazaran daha iyi bir yalıtım sağladığından ısıtma ve soğutma giderleri büyük oranlarda azalacaktır. Bu da başta enerji tasarrufu sağlaması ve çevre kirliliğini azaltması sebebiyle yurdumuza milyonlarca dolarlık tasarruf sağlayacaktır.

## TEŞEKKÜR

Yazarlar MMF2003DS numaralı Doktora projesine desteğinden dolayı Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine ve ARDEMİR Ltd. Şü'ne katkılarından dolayı teşekkür ederler.

## KAYNAKLAR

- Açıkgöz, F., Öz, M., 1980; Nevşehir Ürgüp, Kaymaklı çevrelerinin pomza prospeksiyon raporu, MTA, Ankara.
- Atış, C. D., Akçaözöglü, K., Özcan, F., 2000; Su-çimento oranının beton dayanımına etkisi, *Ç.Ü. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, S.91-98.
- Batum, İ., 1978; Nevşehir'in güneybatısındaki Gullüdağ, Acıgöl yöresi volkanitlerinin jeoloji ve petrografisi. *Yer Bilimleri*, C:4 No: 1. 2.50-69.
- Bilgin, A.,Z. ve Ercan, T., 1981; Ceyhan-Osmaniye yöresindeki kuvaterner bazaltlarının jeolojisi, *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*. 42/1. 21-30.
- Doyuran, V., 1980; Erzin -Dörtöyl ovalarının hidrojeolojisi ve yeraltı suyu işletme çalışmaları.

Y. Erdoğan    . Yujur

- ODTÜ Müh. Mim. Fak. Jeoloji Müh. Doçentlik Tezi, 885 s. (yayınlanmamış).
- Erdoğan, M.. 1997; Nevşehir- rgup dolayı sünger taşı yatakları ve  zellikleri. /. *İsparta Pomza Sempz.* 213-218.
- Gündüz. L.. 1998; *Pomza Teknolojisi*. Cilt I, İsparta.
- Gündüz. L., 1998; *Pomza Teknolojisi*, Cilt II. İsparta.
- Kakaç. S.. 1998;  rneklerle ısı transferi, *Tıp&Teknik Yayınlan.* 358s, Ankara
- Ketin, I., 1963; 1/500.000  lgeekli Türkiye jeoloji haritası Kayseri paftası, MTA yayınlarından.
- TS 406,1988; Beton bloklar, "BriketlerDuvarlar için", 17s, Ankara.
- TS 706 EN-12620, 2003; Beton agregalan, Ankara.
- TS 825, 1998; Binalarda ısı yalıtım kuralları. Sis, Ankara.
- TS 3526. 1980; Beton Agregalarında  zg l Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini
- TS 3529, 1980; Beton Agregalarının Birim Ağırlıklarının Tayini, Ankara.
- Uğur, I., 2001; Doğal Yapı ve Kaplama taslarının ses akustiği ve kayaç parametreleri ile ilişkisinin incelenmesi, Süleyman Demirel Üniv. Fen Bil. Enst. Doktora Tezi, İsparta.
- 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.
- Yaşar, E.. Erdoğan. Y., 2001; Toprakkale bazaltının doğal taş endüstrisindeki yeri. 4. *Endüstriyel Hammaddeler Semp.* İzmir.

## Seyitömer Termik Santrali Uçucu Küllerinin Tuğla Katkı Hammaddesi Olarak Kullanımı

İ. Bentli, A.O. Uyanık, U. Demir & O. Şahbaz

Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Merkez Kampus. Kütahya, Türkiye

M.S. Çelik

İTÜ, Maden Fakültesi, Cevher-Kömür Hazırlama ABD, İstanbul, Türkiye

**ÖZET:** Bu çalışmada, Seyitömer termik santral uçucu küllerinin kimyasal ve mineralojik özellikleri tespit edilmiş ve inşaat tuğlası yapımında katkı maddesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Seyitömer termik santralinden alınan uçucu baca külü ile endüstriyel çaptaki tuğla fabrikasında dört farklı reçetede %2.5, %5, %10, %15 baca küllü tuğlalar hazırlanmıştır. Uçucu kül katkılı tuğla reçeteleri ile fabrikada üretilen referans tuğlanın fiziksel ve mekanik testleri laboratuvarında yapılmıştır. Bu testler sonucunda referans tuğlaya göre uçucu kül ilavesi birim hacim ağırlığını çok az miktarda arttırırken, kuruma, pişme ve toplam küçülmede belirgin bir değişime neden olmamıştır. Uçucu kül ilavesi, üretilen tüm reçete tuğlalarda su emme miktarını referans tuğlaya göre azaltmış, buna karşılık tuğlaların hiçbirinde referans tuğlada elde edilen dayanım değerine ulaşamamıştır.

**ABSTRACT:** In this study, chemical and mineralogical properties of Seyitömer power plant fly ashes was determined and its use in making construction brick has been investigated. Four different recipes (2,5%, 5%, 10% , 15% with fly ashes) of construction bricks were produced from the Seyitömer power station fly ashes. Physical and mechanics tests were performed in the laboratory for both the reference brick produced by industry and four new brick recipes prepared from the fly ashes of Seyitömer Power PlanL. From the results of these tests, the addition of fly ashes to the bricks resulted in a small increase in die density of brick, while drying, firing and total shrinkage properties were not affected significantly. It was observed that the addition of fly ashes to constructions brick caused reduction in water absorption. Finally, the strength values of produced of the bricks remained below the reference brick.

### 1 GİRİŞ

Ülkemizdeki elektrik enerjisinin halen büyük bir bölümü kömüre dayalı termik santrallerde üretilmektedir. Termik santrallerde enerji üretmek amacıyla yakıt olarak kullanılan öğütülmüş kömür, farklı özellik ve tipte kül ile cüruf meydana getirmektedir. Ülkemiz termik santralleri, her yıl 15 milyon tonun üzerinde uçucu kül ortaya çıkarmakta ve bu da işletmeler için önemli stok ve çevre problemleri meydana getirmektedir. Dünya genelinde ise 1998 yılına kadar yaklaşık olarak 360 milyon ton uçucu külün depolandığı bildirilmektedir. Dolayısıyla uçucu küller önemli bir kaynak olarak görülmektedir (Baba, 1999, Bahranowski vd 1998).

Termik santrallerde öğütülmüş kömürün yüksek sıcaklıklarda yakılması sonucu baca gazlarıyla sürüklenen çok ince partiküllere "uçucu kül", baca gazlarıyla birlikte yükselemeyerek tabanda biriken İri partiküllere ise "cüruf veya taban külü" adı verilmektedir. Elektrostatik ve mekanik yöntemler sayesinde atmosfere çıkışları engellenen uçucu küller, filtrelerin alt kısmında bulunan haznelere biriktirilir ve santral dışında depolanırlar. Taban külleri ise toplam külün %20-25'ini oluştururlar ve kazan altında su ile uzaklaştırılırlar (Kızıgut, 2001). Uçucu küller içi boşluklu ve boşluksuz camsal kürecikler, süngerimsi mineral parçacıklar ve yanmamış taneciklerden meydana gelir. Kimyasal yapılarında İse temel element olarak Si, Al, Ca, Fe ve S bulunur. Uçucu küllerin matrisi esas olarak alimüna silikatlardan ve bunlarla birlikte bulunabilen

az miktarda alkali, metal, ağır metal ve nadir toprak elementlerinden oluşur. Uçucu of an ve uçucu oksitleri oluşturan As, Cd, Ga, Mo, Pb, Se, ve Zn gibi elementler ise matrikse girme eğilimi göstermeyerek uçucu küllerin yüzeyinde toplanırlar (Özdemir&Çelik, 2002, Bayat 1994, Kurama, 1999). Ülkemizde termik santrallerde çıkarı uçucu küllerin özelliklerini BayaY (1998) ve Bayat&Toraman (1995) ayrıntılı bir şekilde araştırmışlardır.

Uçucu küller ASTM C618'c göre F ve C olmak üzere iki genel sınıfa ayrılırlar. F sınıfı uçucu küller taş kömürünün yakılması sonucu elde edilirler ve %10'dan daha az CaO içerdikleri için düşük kireç küllü olarak da isimlendirilirler. Bu küllerin bünyesinde serbest kireç (CaO) bulunmadığından kendi kendine sertleşme özelliğine sahip değildirler ve ancak sulu ortamda kireçle reaksiyona girerek sertleşme gösterirler. Puzolanik reaksiyonlar (çimentolaşma) normal koşullarda çok yavaştır. C sınıfı uçucu küller ise linyit kömürünün yakılması sonucu elde edilmekte olup, bünyesinde %10'dan daha fazla CaO bulundurulur ve bundan dolayı da yüksek kireçli uçucu kül olarak da tanımlanmaktadır. C sınıfı uçucu küller serbest kireç nedeniyle kendi kendine çimentolaşma özelliğine sahiptirler (Alkaya vd 2002, Zor 1986).

Kimyasal bileşimi sayesinde yapay puzolan olarak elde edilen en modern malzeme olarak bilinen uçucu küller, başta inşaat sektörü olmak üzere seramik, plastik, atık su arıtımı, çimento, beton, tuğla, hafif agrega, gaz beton ve karayolları gibi bir çok alanda kullanılabilirler (Alkaya vd 2002, Çakır 1999, Ergüt vd, 1994). Ayrıca uçucu küller taşkın önlenmesinde, döküm kumu olarak, duvar harçlarında, metal yüzeylerinin püskürtme ile temizlenmesinde, asfalt yol yüzeylerinde kaymayı önleyici olarak, cam üretiminde, petrol kuyuları sondajlarında, dolgu ve enjeksiyon işlemlerinde, seramik karo üretiminde, zirai amaçlarla, plastik ve bitümlü malzemelerde katkı maddesi olarak da kullanım alanı bulmaktadır (Ay&Eşmeliler 1998, Duman&Özgen 1996, Atış vd 2002). Uçucu küller çok ince taneli olmaları, sertleştikleri zaman yüksek dayanım verebilmeleri ve tuğlanın hammaddesi olan, kilin yapısındaki oksitleri içermeleri nedeniyle tuğla üretiminde kullanılabilirler (Alkaya vd 2002). Bu konu ile ilgili yurt içi ve yurt dışında çalışmalar yapılmış ve olumlu sonuçlara ulaşılmıştır (Öztürk 2002, Cumpston 1992).

Tuğla, kil veya killi toprağın ayrı ayrı veya harmanlanarak su, kum vb. malzeme ile karıştırılarak, presleme sonrası kurutulup, fırınlarda pişirilmesi ile elde edilen yapı malzemesidir. Tuğla üretiminde kullanılan ideal kil, içerisinde %15'den fazla kalker ve bitkisel artıklar bulundurmeyen, yan

yağlı olarak tanımlanan kildir. Kullanılan kilin mekanik yapısı çok önem taşımaktadır ve kullanılacak tuğla malzemesi suyla yoğrulduğunda kolayca şekil alabilmeli ve içindeki suyu kaybettiğinde bu özelliğini koruyabilmelidir (Kızıgut, 2001, Demir&Orhan 2002, Ediz&Özdağ 1995). Tuğla üretiminde uçucu küller iki farklı amaca yönelik olarak kullanılırlar. Bunlardan ilki uçucu küllerin, kilin fazla suyunu emerek plastik küllerin çatlamasını, şişmesini ve çiçeklenmesini önlemek amacıyla yardımcı ve düzeltme malzemesi olarak, ikincisi ise küllün puzolanik özelliği ve inceliği nedeniyle pişmiş malzemede mukavemetin artırılması ve plastik özelliği olmadığı için bağlayıcı görevi görmesi amacıyla ana malzemede kullanılmasıdır. Ayrıca uçucu küllerin pişme sırasında enerji tasarrufu sağladığı bildirilmektedir (Öztürk 2002, Alkaya vd 2002).

## 2 MALZEME VE YÖNTEM

### 2.1 Malzeme

Bu çalışma Seyitömer termik santrali atık uçucu küllerinin inşaat tuğlası üretiminde katkı hammaddesi olarak kullanılabilirliğini kapsamaktadır. Uçucu kül numuneleri Seyitömer termik santrali dördüncü ünite son temizleme birinci kademe elektro filtresinden temin edilmiştir. Tuğla yapımında temel hammaddeyi oluşturan kil numuneleri, Kütahya'da bir tuğla fabrikasının kullandığı kendi kil mmmunesidir.

Deneyel çalışmalarda kullanılan kil ve uçucu küllün kimyasal analiz sonuçları çizelge 1'de verilmektedir. Uçucu küllerin XRD analizleri Rİgaku Miniflex difraktometresinde CuKa radyasyonu ile yapılmış ve kaolen, illit, montmorillonit, anortit, kuvars ve demir mineralleri tespit edilmiştir.

Çizelge 1. Tuğla yapımında kullanılan kil ve uçucu küllün kimyasal analiz sonuçları.

Kimyasal Bileşimi (%)	Kil	Uçucu Kül
SiO <sub>2</sub>	55.66	53.69
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21.57	20.29
FeO	12.21	11.83
MgO	1.34	4.09
CaO	1.05	3.45
Na <sub>2</sub> O	1.30	0.30
K <sub>2</sub> O	3.94	2.53
TiO <sub>2</sub>	0.93	0.61
Ateş Zayıtı	2.00	2.31

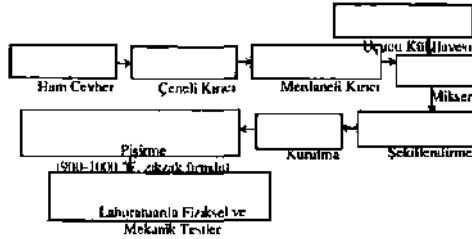


## 2.2 Yöntem

Tuğla Fabrikasında uçucu kül numuneleri 4 farklı oranda mikserde kille karıştırılarak (T1, İZ T3, T4 ) hazırlanmıştır. Çizelge 2'de reçeteler ve % uçucu kül içerikleri verilmektedir. Kül ilave edilmeyen standart reçete çalışmada referans tuğla (RT) olarak isimlendirilmiştir. Tuğlalar vakumlu ekstrüzyon pres ile kesit ölçüleri 190x135x190 mm olacak şekilde ve %35 delikli olarak kesilmiştir. Deneysel çalışmaların gerçekleştirildiği tuğlaların endüstriyel akım şeması Şekil 1'de gösterilmektedir. Endüstriyel fırınlarda pişirme sıcaklığı 900-1000 °C gibi geniş bir aralıkta olup, sıcaklık kontrolü iyi yapılamamaktadır.

Çizelge 2. Reçetelerin uçucu kül içerikleri.

	RT	T1	T2	T3	T4
Uçucu Kül (%)	-	2.5	5	10	15
Kil(%>	100	97.5	95	90	85



Şekil 1. Endüstriyel ölçekte yapılan tuğla üretim akım şeması.

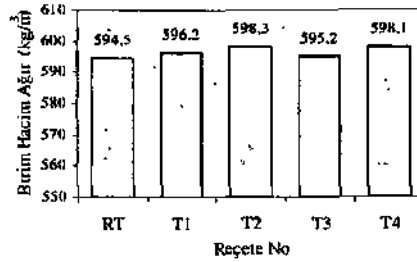
## 2.3 Fiziksel ve Mekanik Testler

Farklı uçucu kül içeren karışımlar, endüstriyel ölçekte tuğla olarak üretildikten sonra Dumlupınar Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü laboratuvarında fiziksel ve mekanik testlere tabi tutulmuştur. Farklı kül içerikli tuğlalar sırasıyla birim hacim ağırlık, kuru, pişme ve toplam küçülme, su emme ve mukavemet testlerine tabi tutulmuş ve referans tuğla ile karşılaştırılmış Test sonuçlarının tamamı 5 adet tuğlanın ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Uçucu kül içeren tuğlalar ile referans tuğlalara uygulanan testler TS 705, 4633 ve 4897 standartlarına uygun olarak yapılmıştır.

### 2.3.1 Birim hacim ağırlık testleri

Sert tuğlalarda birim hacim ağırlığının az olması istenir. Farklı uçucu kül içerikli tuğlaların birim hacim ağırlık değişimleri Şekil 2'de gösterilmektedir. Uçucu kül ilavesi birim hacim ağırlığı çok az miktarda artırmaktadır. Referans

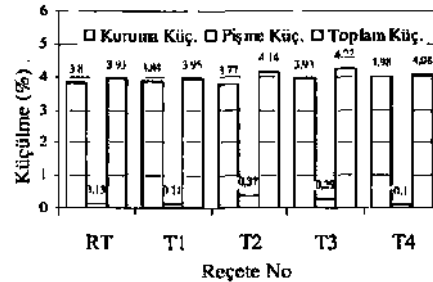
tuğlanın birim hacim ağırlığı 594,5 kg/m<sup>3</sup> iken buna en yakın T3 reçetesinin birim hacim ağırlığı 595,2 kg/m<sup>3</sup> olarak tespit edilmiştir.



Şekil 2. Farklı uçucu kül içerikli tuğlaların birim hacim ağırlık (kg/m<sup>3</sup>) değişimleri.

### 2.3.2 Kuruma, pişme ve toplam küçülme testleri

Tuğlaların kurutulması sonucu bünye yapılarının küçülmesi, şekillendirme suyunun bünyeden uzaklaşması olarak açıklanabilir. Hammaddede tanecikleri arasında yer alan su kilden uzaklaştıkça, taneler birbirine yaklaşır ve küçülme meydana gelir. Bir kil ne kadar çok su ile şekillendirilmiş ise küçülme o kadar fazladır. Pişme sıcaklığı ile pişirme küçülmesi doğrudan ilgilidir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen kuruma, pişme ve toplam küçülme değerleri Şekil 3'de verilmektedir. Toplam küçülme değeri seramik malzemeler için istenen %10 küçülme değerinin çok altındadır (Sümer 1988, Sönmez ve Yorulmaz 1995).

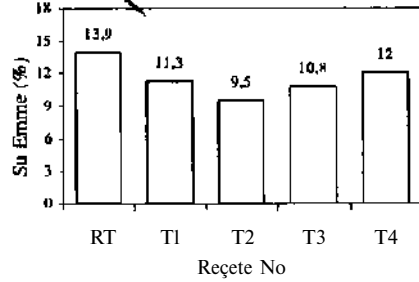


Şekil 3. Farklı uçucu külüli tuğlaların kuruma, pişme ve toplam küçülme değişimleri.

### 2.3.3 Su emme testleri

Tuğlalarda su emme özelliği dona dayanım bakımından önemlidir. Bu da tuğlanın sahip olduğu porozite oranına bağlıdır. Kurutma sonunda bünye suyunun uzaklaşması ile oluşan boşluklar su emme

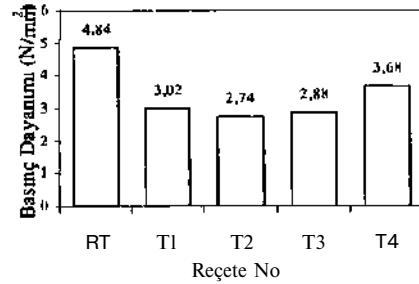
Özellikliğini arttırmaktadır. Kilin Özlük ve pişirme sıcaklığı arttıkça su emme yeteneği azalmaktadır. Şekil 4'den görüldüğü gibi tüm reçetelerin su emme değerleri tuğla-kiremit malzemeler için istenen %18 su emme değerinin altındadır (Sümer 1988, Sönmez vd 1993), Bu durum uçucu kül ilavesi ile görülen camsı yapıya bağlanabilir.



Şekil 4. Farklı uçucu kül içerikli tuğlaların su emme değişimleri.

### 2.3.4 Mukavemet testleri

Şekil 5'de tuğlalardan elde edilen mukavemet test sonuçları gösterilmektedir. Basınç dayanım sonuçları TS 705 standartlarında verilen ortalama 5,9 N/mm<sup>2</sup> değerinin altında gerçekleşmiştir. Aslında %2.5 uçucu kül ilavesinin basınç dayanımını %35 oranında düşürmesi beklenen bir sonuç değildir (Ergüt vd 1994). Bunun nedenleri olarak endüstriyel ölçekte yeterli pişirme sıcaklığına ulaşamadığını ve şekillendirme ve kurutma gibi üretim hataları olduğunu akla getirmektedir. Referans tuğlada kırma sırasında üretim hatası gözlenmemiştir.



Şekil 5. Tuğlaların basınç dayanım değişimleri.

Uçucu kül ilaveli tuğlalar gözle incelendiğinde daha sert ve camsı yapıda olduğu görülmektedir. Ancak basınç dayanımlarının düşük çıkması bu duruma bir

tezat teşkil etmektedir. Ergüt vd (1994) Seyitömer uçucu külleri ile yaptıkları çalışmada pişirme sıcaklığının dayanıma etkisinin önemini açıkça ortaya koymuşlardır.

### 3 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Termik santral uçucu baca küllerinin değerlendirilmesi çevresel, ekonomik ve stok problemleri bakımından önem arz etmektedir. Seyitömer termik santrali uçucu küllerin tuğla sanayinde kullanılabilirliğinin tespiti amacıyla endüstriyel çapta farklı reçetelerde üretilen tuğlalar fiziksel ve mekanik testlere tabi tutulmuş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Uçucu kül ilavesi birim hacim ağırlığını çok az miktarda arttırmaktadır.
- Kül ilavesi ile toplam küçülmede belirgin bir değişim gözlenmemiştir.
- Tüm reçetelerin su emme değerleri referans tuğlaya oranla düşüktür.
- Reçetelerin basınç dayanımları referans tuğlaya göre azalmaktadır. Basınç dayanımına yönelik ayrıntılı çalışmalarının yapılması gerekmektedir.

### KAYNAKLAR

- Alkaya, D., Erken, A., Alyanak, t., İnançlı, G., 2002; Uçucu küllerin toprak sanayinde kullanılabilirliği, *II. Uluslararası Pişmiş Toprak Sempozyumu*, Tepebaşı Belediyesi, Eskişehir, s 287-295.
- Atiş, CD., Tartıcı, H., Sevim. U.K., Özcan, F., Akçaözöğlü, K., Yüzgeç, C. 2002; Afşin-Elbistan uçucu külünün beton katkısı olarak kullanılabilirliği, *5. Uluslararası Hısaçı Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi*, Eds: Pala&İlki, İstanbul, s 161-168.
- Ay, N., Esmeliler, S., 1998; Uçucu küllerin sofa yapımında kullanılması, *IV. Seramik Kongresi, Türk Seramik Yayınları No: 20*, s 131-135.
- Baba. A., 1999; Türkiye'de termik santral atıklarının çevre jeolojisi, 1. Batı Anadolu Hammade Kaynakları Sempozyumu. İzmir, s 130-135.
- Bahranowski, K. and et.al., 1998; Mobility of some chemical elements of fly ash in water suspension. *2nd International Symposium on Environmental Engineering*, Brunei University, U.K., pp 71-87.
- Bayat, O., 1994; Tane boyutuna göre sınırlandırılmış uçucu külün morfolojisi, *Çukurova Üniversitesi Müh.-Mim. Fak. Dergisi*, Özel sayı, Adana, s 435-446.
- Bayat, O., 1998; Characterisation of Turkish fly ashes. *Fuet*, V: 77, pp 1059-1066.
- Bayat, O., Toraman, O.Y., 1995; Physical and chemical properties of some Turkish fly ashes. *Yerbilimleri*, S: 26, s 187-194.

- Cumpston, B , Shadman, F, Rısbud, S , 1992. Utilization of Coal Ash minerals for technological Ceramics, J Materials Sei. 27, pp 1781-1784
- Çakır, M 1999, Uçucu Kül İle Zemin Stabilizasyonu. *TW İnşaat Mühendisliği Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul
- Demir, I ve Orhan, M . 2002. Volkanik luf katkının yapı tuğlası üretiminde kullanılması. *5 Uluslararası İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi*. Eds Pala&Ukı, İstanbul, s 179-188
- Duman, N. Özgen S 1996, Termik santral uçucu küllerinin karo üretiminde değerlendirilmesi, *3 Seramik Kongresi, Turk Seramik Derneği Yayınları No /Ö. Cilt I*, s 204-209
- Ediz, N & Özdağ, H, 1995. Kıta boraks işletmesi atık küllerinin tuğla yapımında kullanılabilirliğinin araştırılması. *Madencilik*. C 24. S 4, s 27-34
- Ergui, Ş , Günay, V , Sevinç, V ve Özkan, O T, 1994. Bentonit katkılı termik santral atık uçucu küllerinin sinterleşme karakteri *2 Uluslararası Seramik Kongresi*. Turk Seramik Derneği Yayınları No II, Cilt 2, s 319 326
- Kızılgut, S. Çuhadaroğlu, D ve Çolak, K, 2001, Çatalağzı termik santral uçucu küllerinden tuğla üretim olanaklarının araştırılması. *Türkiye 17 Uluslararası Madencilik Kongresi*. TUMAKS 2001, Ankara s 81-85
- Kurama, H 1999, Tunçbilek termik santral uçucu küllünden metallerin iç edilebilirliği ve Ni kazanımı. *DPU Fen Bilimleri Dergisi*, S 1 Kütahya, s 167 178
- Özdemir, O Çelik, M S , 2002. Characterization and recovery of lignitic fly ash byproducts from the Tunçbilek Power station, *Canadian Me I Quarterly*, V 41. No 2, pp 143 150
- Oztürk, A.Ç . 2002, Tuğla üretiminde termik santral atığı puzolonik uçucu küllerin değerlendirilmesi, *1 Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi Bildirisi* [m1u.ahmeti.aziz/rna.zemedosya.si/duvar\\_elemanlari/sempozyum/hildun2.htm](http://m1u.ahmeti.aziz/rna.zemedosya.si/duvar_elemanlari/sempozyum/hildun2.htm)
- Sönmez E Yorulmaz, S , 1995 Kıta boraks işletmesi atık küllerinin tuğla yapımında kullanılabilirliğinin araştırılması. *I Endustnye! Hammaddeler Sempozyumu*. Dokuz Eylül Üniversitesi. İzmir, s 163-168
- Sönmez, E. Özdağ, H, Özler, A, Sümer, G . 1993 Kıta boraks işletmesindeki atık küllerinin seramik endüstrisinde kullanılabilirliğinin araştırılması, *Türkiye 7 7 Madencilik Kongresi*. İstanbul, s 561-566
- Sümer G, 1988, Seramik Sanayi El Kitabı, Anadolu Üniversitesi Yayınları No 308. Eskişehir
- TS 705, 1985. Fabrika tuğlaları Duvarlar içm dolu ve düşey delikli. *TSE*, Ankara
- Zor, T. 1986, Uçucu küller ve betonda kullanımı, *Eskişehir Çimento Fabrikası*, Eskişehir



## Borlu Bileşiklerin Ahşap Koruma Sektöründe Değerlendirilmesi

M. Çolak, E. Baysal, M.A. Çolak, O. Göktaş & E. Özen

Muğla Üniversitesi Tehnik Eğitim Fakültesi. 48000 Kötekli/MUĞLA

**ÖZET;** Ağaç malzeme için kullanım yerinde biyolojik zararlılara ve yanmaya karşı direnç genellikle önemlidir. Bundan dolayı; son yıllarda ağaç malzemenin kullanım yerinde biyolojik zararlılara ve yanmaya karşı direncinin arttırmak amacı ile çeşitli kimyasal odun koruma maddeleri ile muamele edilmesi yönünde hızlı bir uygulama bulunmaktadır. Bununla birlikte bir çok zehirli kimyasal odun koruma maddesinin, artan çevre bilincine bağlı olarak sorgulanması, borlu bileşiklere bu bağlamda Özel bir önem kazandırmıştır. Borlu bileşikler odun koruma endüstrisinde, yanmayı engelliyici etkileri, biyolojik zararlılara karşı zehirli etkileri, memelilere karşı düşük zehirli etkileri ve renksiz oluşu sebepleri ile bir çok önemli avantajlara sahiptir. Bununla birlikte borlu bileşikler, yağmurlu koşullarda ve toprak ile temas eden ağaç malzeme, genellikle odundan yıkanır. Bunun sonucunda borlu bileşiklerin kullanımı iç kısımlar ile sınırlı kalmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Borlu Bileşikler, Ağaç malzeme, Odun koruma Maddeleri, Çevre Dostu, Odun Koruma.

**ABSTRACT:** It is usually important for wood to be resistant to biological deteriorating organisms and fire in service conditions. Therefore, In recent years, there has been a rapid application to reinforce biological and fire properties of wood by impregnation with some chemicals. However, many of the effective poisonous chemicals were also questionable, increased public concern on the environmental effect of the many wood preservatives has gained borates a special importance in this respect. Borates have several great advantages as wood preservatives as well as imparting flame retardancy, providing sufficient protection against all forms of wood destroying organisms, has low mammalian toxicity, they are moreover colorless and odorless. However, they are generally leachable from treated wood in ground contact under rainfall. Therefore, it is restricted for using boron compounds in indoor conditions.

**Key Words:** Borates, Wood, Impregnation Chemicals, Environmentally-Friendly, Wood Preservatives.

### 1. AHŞAP MALZEMEYİ KORUMAYA DUYULAN GEREKSİNİM

Çok çeşitli alanlarda kullanılan odun hammaddesi yenilenebilir tek organik doğal hammaddedir. Biyolojik yapısı, fiziksel ve mekanik özellikleri ile kimyasal bileşimi odunun çok farklı ürünler halinde kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Gerek ağaç malzeme halinde, gerekse yonga levha, lif levha, tabakalı ağaç malzeme vb. ürünlere dönüştürülerek değerlendirilebilen odun, yapısına dıştan fiziksel, mekanik, kimyasal ve biyokimyasal müdahale olanağı olan eğer maddelerdendir. Özgül ağırlığının diğer yapısal maddelere (beton, çelik, vb. t oranla düşük olmasına karşılık, özgül ağırlığına oranla direnci oldukça yüksektir. Alet ve

makinelerle kolay işlenir. Isı ve elektriğe karşı izolasyon maddesi olarak kullanıldığı gibi arzu edilen derecede akustik özelliklere de sahip t iri Baysal, 1994). Ağaç malzeme faydalı bu özellikleri yanında kullanım yerinde arzu edilmeyen ve sakıncalı sayılabilecek bazı Özelliklere de sahiptir. Bu özelliklerin, ağaç malzemenin kullanıldığı çeşitli kullanım yerinde göz önünde bulundurulması gerekmektedir (Berke, 1972 ).

Odun hammaddesi organik bir madde olduğundan uygun koşullar altında bakteriler, mantarlar ve tahripçi böcekler oyucu deniz organizmaları gibi biyolojik faktörler tarafından zarara uğratılır. Bunu önlemek ve odunun ömrünü uzatmak için koruyucu kimyasal maddelerle muamele edilmesi gerekir (Levan & Winandy, 1990; Richardson, 1980;

Wilkinson, 1979). Odunu biyolojik ve biyolojik olmayan zararlı faktörlere karşı koruyarak ona mümkün olan en uzun kullanma süresini kazandırmak için kullanım yerine göre değişen kimyasal maddeler ile muamele edilmesi gerekmektedir. Odun koruma edilerek kullanılan ağaç malzemenin biyolojik zararlılara karşı dayanım süresi, koruyucu kimyasal maddelerin oduna işlenmesiyle kullanılan malzemeye oranla, birkaç kat artırılabilir (Bozkurt ve ark., 1993). Özellikle işçi ücretlerinin yüksek bulunduğu yerlerde malzemenin sık sık değiştirilerek yenisinin yerine konması için yapılan masraf çoğunlukla ağaç malzemenin maliyet fiyatını aşmaktadır (Berkel, 1972; Kollman & Goic. 1965).

Odun, karbon ve hidrojen içeren organik esaslı bir materyal olduğundan yanıcıdır. Kendi kendine yanabilmesi için sıcaklığın 275 °C ye çıkarılması gerekmektedir. Bununla birlikte herhangi bir tutuşturucu alev kaynağı varlığında çok daha düşük sıcaklıklarda tutuşarak yanabilmektedir. Oksijen, ısı kaynağı ve yanabilir madde üçlüsünden birinin olmaması durumunda tutuşma olmaz (Kollman & Göte, 1968). Her ne kadar yangın esnasında çoğu yapısal materyale oranla üstün yönleri varsa da yanmaya karşı direnci artırıcı odun koruyucu kimyasal maddelerle muamele, emniyetin sağlanması ve yanmanın engellenmesi bakımından kaçınılmaz olmaktadır (LeVan & Winandy, 1990; Yalınkılıç ve ark., 1996;).

## **2. BORUN AHŞAP KORUMA ENDÜSTRİSİNDE KULLANIMININ ÖNEMİ, ÖNEMLİ AVANTAJLARI VE YAYGIN OLARAK KULLANIMINI SINIRLAYAN BAZI FAKTÖRLER**

Odun koruma sektöründe borlu bileşikler hem ülkemizde hem de dünyada son yıllarda büyük önem ve güncellik kazanmışlardır. Özellikle günümüzde artan çevre bilinci ile odun koruma endüstrisinde, eskiden yaygın olarak kullanılan zehirlilik etkileri yüksek birçok kimyasal maddenin kullanımına, birçok gelişmiş Avrupa ülkesinde sınırlama getirilmiştir. Dolayısıyla, günümüzde odun koruma endüstrisinde, sadece odun koruma maddelerinin zehirlilik etkilerinin yüksek olması belli başlı tercih sebebi olmamakta, ayrıca odun koruma maddesinin çevre dostu (environmentally-friendly) olması da büyük önem arz etmektedir.

Çevre koruma derneklerinin baskısıyla odun koruma endüstrisinde yaygın olarak kullanılan odun koruma maddelerinden olan CCA (bakır-krom - arsenik) ve kreozotun kullanımı yakın bir geçmişte,

PCP(pentaklorofenol) İse çok daha önceleri birçok ülkede yasaklanmıştır. Bu maddelerin ekolojik dengeyi bozdukları ve insan ve diğer canlıların sağlıklarını tehdit ettiğine ilişkin çok ciddi araştırma sonuçları bulunmaktadır (Yalınkılıç ve ark., 1997; Bozkurt ve ark., 1993). Buna çare olabilecek odun koruma maddelerinden, borlu bileşikler gittikçe daha fazla önem kazanmaktadır. Borlu bileşikler, biyolojik zararlılara karşı yüksek etkinlikleri, suyla kolayca çözünerek basınçlı yada basmıcsız yöntemlerle oduna uygulanabilmeleri, oduna difüzyon yeteneklerinin yüksek oluşları, ucuz ve teminlerinin kolay olması, memelilere karşı ihmal edilebilecek derecede düşük zehirlilik etkileri ve yanmaya karşı odunun direncini önemli ölçüde artırması nedeniyle günümüzde güncellik kazanmışlardır (Baysal ve ark., 2004; Yalınkılıç ve ark., 1998; Yalınkılıç ve ark., 1999; Yalınkılıç, 2000). Bunun yanında, dünyadaki en yüksek bor rezerv oranının Türkiye'de bulunması nedeniyle, borlu bileşiklerin odun koruma endüstrisinde değerlendirilmesi, ülkemiz odun koruma endüstrisinde öncelikle ve özellikle üzerinde çalışılması gereken konu olduğu bildirilmektedir (Hafizoğlu ve ark., 1994).

Odun koruma endüstrisinde birçok bor esaslı odun koruma maddeleri kullanılmakla birlikte, biyolojik zararlılara karşı en yaygın olarak kullanılan odun koruma maddeleri borik asit, boraks, CCB (bakır-krom-bor), disodyum oktaborat tetrahidrat ve sodyum perborat olarak belirtilmektedir (Hafizoğlu ve ark., 1994). Bu odun koruma maddelerinin fiyatlarının ucuz olması ve teminindeki kolaylıklar nedeniyle kullanımı güncellik kazanmıştır. Diğer yandan ülkemizde odun koruma amacıyla yalnızca Tanalith-CBC ve Wolmanit CB bileşimine giren borik asit kullanılmaktadır. Ağaç malzemenin yanmaya karşı direncinin artırılması amacı ile de borik asit, boraks, borik asit ve boraks karışımı, amonyum borat, diamonyum tetraborat, amonyum oktaborat, sodyum borat vb. borlu bileşikler yaygın olarak kullanılmaktadır. Genel olarak borlu bileşiklerin odun koruma endüstrisinde ağaç malzemeyi biyolojik zararlılara ve yanmaya karşı korumalardaki tercih nedenleri aşağıdaki şekilde Özetlenebilir (Hafizoğlu ve ark., 1994):

1. Yangın gibi, ağaç malzemenin yüksek sıcaklıkla karşı karşıya kaldığı durumlarda, dış tabakalardaki suyu hızlıca dışarıya vererek hızla kömürleşmesi (charring), böylece kömürleşen dış tabakalardan İçeriye ısının iletilmesinin önlenerek yavaş yanmayı temin etmesi, ve yangında acil müdahaleye

- zaman kazandırarak can ve mal kaybını azaltması,
2. Mantar ve böceklerle karşı yüksek koruyuculuk etkisi,
  3. Özellikle taze haldeki keresteye, hızlıca ve derinlemesine nüfuzu, ve böylece odun koruma işleminde pahalı tekniklere ihtiyaç göstermemesi,
  4. Ülkemizde ucuz olarak bolca bulunması,
  5. Arsenikli, florlu veya çevreye yayılma olanağı bulunan asidik ve bazik zehirli bileşikler minimum düzeyde İçermesi nedeni ile çevre dostu olması,
  6. Suda ve yüksek rutubetli ortamlarda çözünürlüğü nedeniyle daha önceden koruyucu işlem görmüş veya görmemiş ahşap konstrüksiyonlarda tuz çubukları şeklinde ahşap üzerinde açılan deliklere yerleştirilmesi ve buralarda su veya rutubet etkisi ile çözünerek malzemeye yayılması yolu ile uygulanabilmesi,

Borlu bileşiklerin bu olumlu yönlerinin yanı sıra aşağıda özetlenen sakıncalı özellikleri bu bileşiklerin ahşap koruma sektöründe kullanımını sınırlamaktadır. Bu özellikler kısaca aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir (Hafizoğlu ve ark., 1994):

1. Borlu bileşikler tuz esaslı olduğundan, su ile kolayca yıkanıp uzaklaşabilmektedir. Bundan dolayı özellikle dış ortam koşullarında ve toprak ile temas eden yerlerde kullanılması durumunda, koruyuculuk etkenlikleri çok sınırlı olmaktadır.
2. Taze haldeki ahşabın korunmasında difüzyon yöntemleriyle uygunluk göstermesine karşın difüzyon süresinin uzunluğu (7-14 hafta)
3. Çok amaçlı kullanım alanı bulan fazlaca borlu bileşiğin geliştirilememiş olması, ayrıca zaten ülkemizde odun koruma endüstrisinin genelde arzu edilen gelişmeyi göstermemesi nedeni ile odun koruma maddelerine olan talebin fazla olmamasına bağlı olarak borlu bileşiklerin ilgi görmemesi vb.

#### **4. BORLU BİLEŞİKLERİN AHŞAP MALZEMEYE UYGULANMASI**

Tuz esaslı olan borlu odun koruma maddeleri, çeşitli kullanım yerleri için belli konsantrasyonlarda olmak üzere suda çözündürülerek hazırlanmakta ve yaygın olarak basınçlı ve basınç uygulanmayan yöntemlerle odun koruma edilerek uygulanmaktadır:

1. Basınç uygulanmayan yöntemler: Fırça ile sürme, daldırma, batırma ve sıcak-soğuk odun koruma yöntemleri bu gruba girmektedir. Bu metotlarda odun koruma maddesi absorpsiyonu ve nüfuz derinliği genellikle az olmaktadır (Bozkurt ve ark., 1993).
2. Basınç uygulanan yöntemler: Ağaç malzeme çelik bir kazan içine yerleştirilmekte, odun koruma maddesi vakum ve basınç etkisiyle odun hücreleri İçerisine sevk edilmektedir. İşlemin amacı, ağaç malzemenin hücrelerinin tamamen odun koruma maddesi ile doldurularak, maksimum absorpsiyon sağlama esasına dayanmaktadır.

Bunun yanında borlu bileşikler, yaş haldeki ağaç malzemeye, yani ağaç malzemenin rutubetinin lif doygunluğu noktasının üstünde olduğu durumlarda difüzyon metotları ile de uygulanabilmektedir. Bu durumda; ağaç malzeme yüksek konsantrasyondaki odun koruma maddesi içine batırılmakta veya bulamaç halindeki odun koruma maddesi ağaç malzeme yüzeylerine sürülmektedir.

#### **4. SONUÇ VE ÖNERİLER**

Günümüzde ormanlarımız gerek kaçak kesimler gerekse de yangınlarla bilinçsiz bir şekilde yok edilmektedir. Bununla birlikte, özellikle ülkemizde kaybolan ormanların yerine ağaçlandırma çabaları ise çok yetersiz düzeydedir. Ağaçlandırmanın arzu edilen düzeyde yapılması durumunda bile kaybolan ormanın yerine yenisinin gelmesi en az 50 yıllık bir süreyi kapsamaktadır. Bundan dolayı, ormanların yukarıda sayılan faktörlere karşı korunmasının yanı sıra, ağaç malzemenin kullanım yerinde kendisinden beklenen maksimum sürede faydalanabilen orman kaynaklarına yapılacak zorlamaları da minimum düzeye çekecektir.

Ağaç malzemenin kullanım yerinde odun koruma yapılarak, yani çeşitli kimyasal maddelerle muamele edilerek kullanılması, ömrünü 4-10 Kat arttırabilmektedir. Ağaç malzemenin odun koruma edilerek kullanılması durumunda hem orman kaynaklarına yapılacak zorlamalar azalacak hem de ağaç malzemenin kullanım yerinde malzemenin yerine yenisinin değiştirilmek suretiyle yapılan işçilik masrafları da önemli ölçüde azaltılmış olacaktır.

Günümüzde ağaç malzemeyi koruma amaçlı sayısız odun koruma maddeleri geliştirilmiştir. Bunlardan bazıları, fungusit etkili olurken, bazıları da insektisit etkilidir. Odun koruma maddelerinin seçiminde, odun koruma maddesinin nüfuz derinliği,

kalıcı olması, kolayca uygulanabilmesi, kalıcı olması, ağaç malzemeyi biotik zararlılara karşı koruması, ucuz olması ve çevreye zararlı etkisinin minimum düzeyde olması en önemli tercih sebepleridir Bununla birlikte, yukarıda sayılan özelliklerinin tümüne sahip olabilecek odun koruma maddesi bulunmamaktadır Borlu odun koruma maddeleri, mantar ve böceklerle karşı yüksek zehirli etkilen, yanma engelleyici etkilen, suda çözündürülerek kolayca ağaç malzemeye uygulanabilirlikleri, renksiz olmaları ve ağaç malzeme de ust yüzey işlemlerine olumsuz etkilerinin bulunmaması nedeni ile odun koruma endüstrisinde özellikle son yıllarda büyük güncellik kazanmışlardır Bunun yanında, ülkemiz dünya bor rezervlerinin % 70 75 gibi kısmına sahip olmasından dolayı ülkemiz için borun odun koruma sektöründe değerlendirilmesi büyük önem arz etmektedir Bununla birlikte ülkemizde borlu bileşiklerin odun koruma sektöründe değerlendirilme çalışmaları henüz bilimsel çabımla sınırlı düzeydedir Ülkemizde borlu bileşiklerin odun koruma sektöründe hangi ölçüde kullanıldığı ile ilgili kesin bir bilgi olamamakla birlikte, bu rakamın yok denek kadar düşük seviyede olduğu söylenebilir

Borlu bileşiklerin kullanımını sınırlayan en önemli faktör yıkanabilme özellikleridir Özellikle dış ortam koşullarında, toprakla temas eden yerlerde, ağaç malzemedan kısa surede uzaklaşarak, koruyuculuk etkilen sınırlı kalmaktadır Bundan dolayı özellikle son yıllarda, borlu bileşiklerin ağaç malzemedan kısa surede yıkanarak uzaklaşmasının onune geçilmesi amacı ile çok ciddi çalışmalar yapılmaktadır Yapılan çalışmalarda borun ağaç malzemedan yıkanarak uzaklaşmasının belli derecede onune geçilmesine rağmen, uygulanan yöntemlerin maliyetlerinin yüksek oluşu hala sorgulanmaktadır Bu amaçla, yıkanmaya dirençli borlu bileşiklerin geliştirilmesi son zamanlarda daha fazla güncellik kazanmış durumdadır

İşin başka bir boyutu da, ülkemizde ahşabın odun koruma edilerek, kullanımının da çok düşük boyutlarda olduğudur Ülkemizde sadece tel direkleri, traversler, telefon direkleri, çit kazıkları vb belli başlı ürünler odun koruma edilerek kullanılmakta, çoğu kullanım yerlerinde ağaç malzeme korumasız olarak kullanılmakta ve her yıl korunması/ malzeme kullanımından dolayı milli servetimizde büyük kayıplar meydana gelmektedir Bununla birlikte son yıllarda ülkemizde odun korumalı malzeme kullanımında eskiye oranla önemli derecede artışlar olduğu söylenebilmektedir Sonuç olarak öncelikli olarak ülkemizde ağaç malzemenin odun korumalı olarak kullanılması ile elde edilecek laydanın, ahşap sektörü ile uğraşan

kişilere bilim adamlarınca, çok iyi bir şekilde anlatılması büyük önem arz etmektedir Bu şekilde, odun korumalı ağaç malzemenin kullanımı ile birlikte, hem ülkemiz orman kaynaklarına yapılacak zorlamalar azalacak hem de ülkemiz milli gelirine büyük katkılar sağlanacaktır ikinci olarak, özellikle ülkemizde fiyatlarının çok ucuz olması hem de çok yonlu koruyuculuk özelliğine sahip olması (mantar, böcek, yanma vb ) ve de özellikle çevre ve memelilere karşı diğer kimyasallara göre çok daha düşük zehirli etkiye sahip borlu bileşiklerin sektörde yaygın olarak kullanımının sağlanması büyük öneme sahiptir Çünkü ülkemiz borlu bileşikler bakımından en yüksek rezerv oranına sahip ve dünya pazarlarında tek durumundadır Bu amaçla yem ve yıkanma özellikleri düşük borlu odun koruma maddelerinin geliştirilmesi ve bu şekilde yıkanmaya dirençli borlu bileşiklerin geliştirilmesi yolu ile borlu bileşiklerin dış ortam koşullarında da yaygın olarak kullanılabilmesi sağlanabilecektir

## 5. KAYNAKLAR

- Baysal, 19<sup>4</sup>, Çeşitli borlu ve WR bileşiklerinin kızılcam odununun bazı fiziksel özellikler üzerine etkisi, Karadeniz Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi 111s
- Berke), 1972 Ağaç Malzeme Teknolojisi Cilt II Ağaç malzemenin korunması ve emprenye leknği İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi İ U Yayın NO 1745 OF Yayın No 183 386s
- Levan SL JE Winandy 1990 Effects of fire retardant treatments on wood strength , Wood and Fiber Science. 22 113 131
- Richardson, B 1980 Wood preservation the construction prtss Ltd Lancaster, England 214 p
- Wilkinson J G 1979 Industrial UMBER preservation Rentokil Ltd Research and Development Division Associated Business Press, London, "532 p
- Bozkurt, AY, Y Goker N Erdin 1993 Emprenye Tekniği İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları I U Yayın No 3779, O F Yayın No 425 429 s
- Kollmann FP WA Cote 1968 Principles of wood science and technology Vol 1 Solid Wood. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York 592 p
- Yalınkılıç M K, Z Demirci, E Baysal 1996 Çeşitli Emprenye Maddeleinin Duglas (Pseudotsuga menziesii (Mub ) Franco) Odunun Yanına Özellikleri Üzerine Elkeleri Pamukkale Mühendislik Bilimleri Dergisi Cilt 4 Sayı 1 2. s 611-624
- Yalınkılıç M K E Baysal Z Demirci 1997 Bazı borlu ve su itici maddelerle muamele edilen kızılcam odununun yanma özellikler Tr J of Agriculture and Forestry 21.423-131 1997
- Baysal E. SK Ozakı MK Yalınkılıç 2004 Dimensional stabilization of wood treated with



- furfuryl alcohol catalysed by borates. Wood Set. Technol 38: 405-415.
- Yalınkılıç, M.K., Y. Imamura, M. Takahashi, Z. Demirci. 1998; " Effect of boron addition to adhesive and/or surface coating on fire-retardant properties of particleboard. Wood and Fiber Science 30 (4): 348-359.
- Yalınkılıç, M K., M. Takahashi, Y. Imamura, E.D. Gezer, Z Demirci R. İlhan R 1999. "Boron addition to non or low formaldehyde cross-linking reagents to enhance biological resistance and dimensional stability for wood. Holz als Roh-und Werkstoff 57(1): 151-163.
- Yalınkılıç, M.K. 2000; "Improvement of boron improvement of boron immobility in the borate-treated wood and composite materials. Ph.D.Thesis. Kyoto Univ.p.151.
- Hafızoglu, H., M.K. Yalınkılıç, U.C. Yıldız, E. Baysal, Z. Demirci, H. Peker, 1994; " Türkiye Bor Kaynaklarının Odun Koruma Endüstrisinde değerlendirilmesi Üzerine Olanakları. TÜBİTAK TOAQ 875 Nolu Proje, 374 s.



## Pomza Madenciliği, Endüstrisi ve Türkiye Açısından Önemi (Gelişen Yeni Bir Sektör)

L. Gündüz & N. Şapcı

Süleyman Demiret Üniversitesi, Pomza Araştırma ve Uygulama Merkezi, Isparta

M. Davraz

ISBAŞBims Yapı Elemanları San. ve Tic. A.Ş., Isparta

**ÖZET:** Pomza taşının kullanımı, günümüz teknolojisinde farklı endüstri alanlarında giderek artan bir eğilim sergilemektedir. Pomza, çoğunlukla inşaat sektöründe hafif yapı elemanı olarak kullanılmaktadır. Ancak, pomza taşının gerek kimyasal gerekse yapısal oluşum şekillerine bağımlı olarak, kullanımı değişik alanlarda gelişmektedir. Bu makalede, pomza taşı genel olarak tanımlanmakta ve pomzanın Türkiye açısından önemi ve endüstriyel kullanım olanakları hakkında özet bilgi sunulmaktadır.

**ABSTRACT:** In current technology, the usage of pumice stone shows a gradually rising trend in different industrial areas. In majority, it is used as a lightweight building material in civil structuring sector. However, its usage areas are getting world wide based on its chemical component and also structural formation status. In this paper, pumice stone is generally introduced and its importance for Turkey is presented. Its industrial usage probabilities are also discussed in brief.

### 1 GİRİŞ

Pomza, gözenekli yapısı, hafifliği, yüksek izolasyon etkileri, atmosferik şartlara olağanüstü direnci ve yüksek puzzolanik aktivesi nedeniyle insanlığın kullana geldiği en eski doğal ve volkanik kökenli yapı malzemelerinden biridir. Antik Yunan ve Roma dönemlerinde pomzanın, amfityatrolar, tapmaklar, su kemerleri, hamamlar, mahzenler ve konut inşaatlarında yaygın olarak kullanıldığı bilinmektedir. Bu yapılar geçmişten günümüze kadar, değişen ortam şartlarına rağmen bozunmaya uğramadan ayakta kalabilmiştir.

Pomza, İtalyanca *ponza*. Almanca *bimsslein*, İngilizce *pumice* olarak adlandırılır. Dilimizde süngertaşı, kisir, köpükaşı, topuktaşı, hisirtaşı olarak da adlandırıldığı gibi bilimsel terminolojide dünyaca kabul görmüş pümis (pumice), pümisit (pumicite) olarak da adlandırılmaktadır. Genellikle, iri çakıl boyutuna *pümis*, kum ve daha düşük tane boyutlarına da *pümisit* denilmektedir (Gündüz, 1998-a). Pomza taşının doğal kayaç görünümü Şekil 1'de görülmektedir.



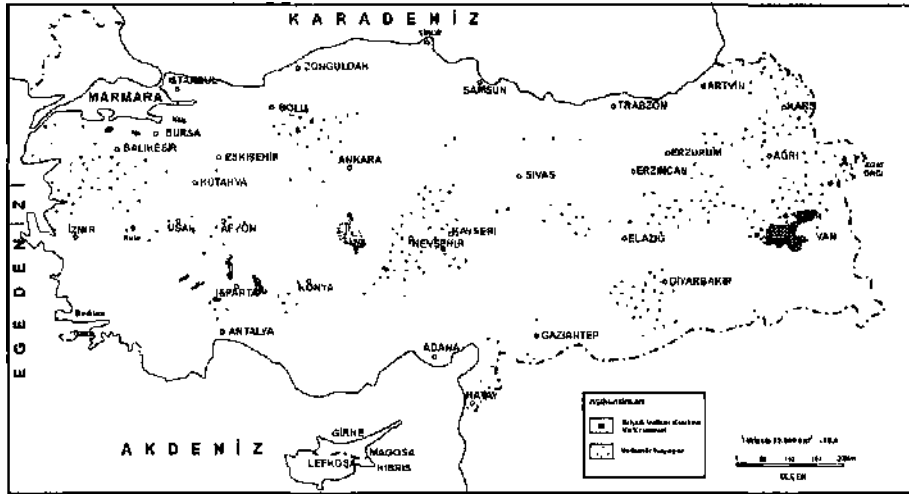
Şekil 1. Pomza taşının genel bir görünümü.

Pomzanın dünyada ve ülkemizde en yaygın kullanım alanı inşaat sektörüdür. Bununla beraber dünyada pek çok endüstri alanının vazgeçilmez hammadde kaynağı olmasına rağmen, ülkemizde tekstil sektörü haricindeki diğer endüstri alanlarında durum farklılık göstermektedir. Bu farklılık, ihal-ışlenmiş ürün halinde farklı ticari markalar olarak kullanılması ile daha pahalı alternatif ürünlerin kullanımı ve kullanım alanlarındaki endüstri dallarına hitap edecek işleme tesisleri ile ilgili yatırımların yok denecek kadar az olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca ülkemizin geniş ve yüksek kaliteli rezervlerini oluşturan pomza

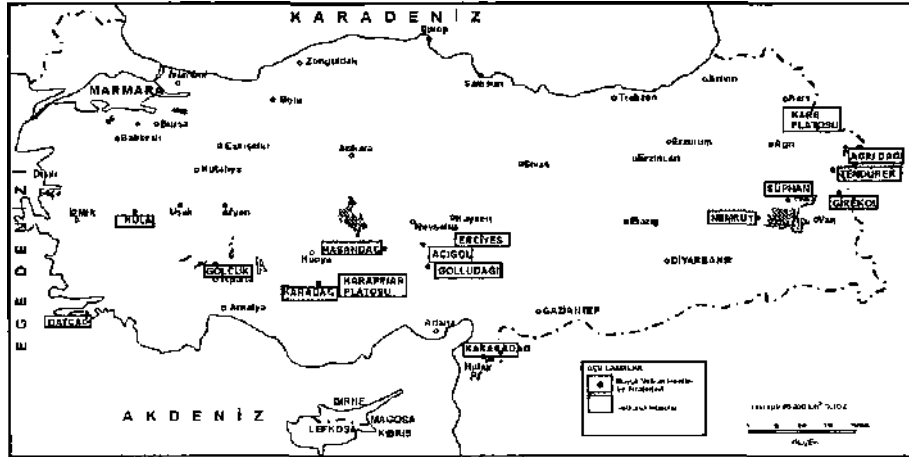
madenlerinin karakteristik özelliklerinin yeterince ortaya konulamaması sebebiyle, rezervlerin alı kalması veya yok pahasına ihraç edilmesi, ülkemiz ekonomisi açısından büyük bir kayıptır.

Ülkemiz, birçok endüstriyel hammadde ve yeraltı kaynakları yönünden önemli bir potansiyele sahiptir. Bununla birlikte 18 milyar m civarında olan dünya pomza rezervlerinin yaklaşık %40'ına (7.2 milyar m<sup>3</sup>'den fazla) sahip olan ülkemiz açısından, pomza madeni kaynaklarımız da çok önemli bir yer tutmaktadır. Bugün ülkemizde kullanılan ve işletilen pomza rezervleri açısından, İç Anadolu bölgesinde yoğunlaşma görülmesine karşın,

Akdeniz ve Doğu Anadolu bölgelerinde de önemli derecelerde pomza oluşumlarına rastlanmakta ve üretim faaliyetleri yapılmaktadır. Pomza oluşumları, volkanik faaliyetlerin olduğu alanlarda görülmesi nedeniyle, Ketin (1983)'in yaptığı araştırma geliştirilerek Türkiye'deki pomza rezerv potansiyel dağılımları belirlenmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada elde edilen genel bulguların ışığında, Türkiye'de volkanik kayaç rezerv potansiyelinin görüldüğü alanlar ve jeolojik bakımdan volkanizmaların adlandırılmaları Şekil 2 ve Şekil 3'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Volkanik malzeme rezerv potansiyelinin görüldüğü alanlar (Ketin, 1983).

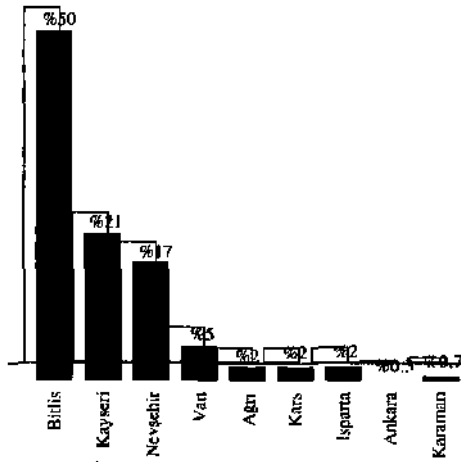


Şekil 3. Türkiye'deki volkanizmaların genel olarak adlandırılmaları (Ketin, 1983).

Türkiye 19. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Fuarı. IMCET2005. İznir. Türkiye. 09-12 Haziran 2005

Dünyada pomza rezervleri bakımından önemli bir yeri olan Türkiye, yaklaşık 10 farklı renk ve doku kalitesine sahip pomza çeşitleri ile oldukça yüksek bir pazar şansına sahiptir. Dünyanın en önde gelen ham pomza üreticisi ülkeler İtalya, Yunanistan, Türkiye, Almanya, ABD, Fransa ve İzlanda'dır. Bu ülkelere son yıllarda Çin, Kanada, Yeni Zelanda, Endonezya gibi ülkeler de girmiştir. Pomza, gelişen dünya endüstrisinde halen elliden fazla endüstriyel alanda farklı amaçlarla kullanım imkanı bulmaktadır. Gelişmiş ülkelerde, pomza üzerine yapılan araştırmalardan elde edilen bulgular neticesinde, bu sayı her geçen gün hızla artmaktadır (Gündüz, 1998-a).

MTA Genel Müdürlüğü'ncc ülke çapında yapılan pomza ile ilgili detay jeolojik etüd çalışmalarından elde edilen bilgilere göre ülkemizde varlığı bilinen pomza yatakları ve bunların rezerv durumları Şekil 4'de gösterilmiştir. Endüstride kullanılan pomzanın fiziksel ve kimyasal özellikleri, özelle Çizelge 1 ve Çizelge 2'de verilmiştir (Gündüz, 1998-a;Gündüz, 1998-b).



Şekil 4. İllere göre pomza rezerv potansiyeli.

## 2 POMZANIN TÜRKİYE AÇISINDAN ÖNEMİ VE ENDÜSTRİYEL UYGULAMA ALANLARI

Ülkemizde üretilen (yaklaşık 1.250.000 ton/yıl) pomzanın yurt içinde tüketim miktarının tamamına yakını İnşaat sektöründe, hafif yapı elemanı üretiminde kullanılmaktadır. Çok az bir oranda tekstil sektörü ve ziraat sektöründe kullanımı yanında, farklı endüstriyel alanlarda doğrudan veya yarı mamul olarak kullanımı bulunmamaktadır.

Ülkemizde 2003 yılında üretilen pomzanın %12.16'lık kısmı ham olarak yurt dışına ihraç edilmiş iken, bu değer 2004 yılında % 15.92 ölçeğine yükselmiştir. Dolayısıyla, 2004 yılında Türkiye pomza ihracatı 2003 yılına göre %31'lik bir artış göstermiştir (Anonim, 2005). Bu da, Ülkemizde pomza sektöründe yer alan üretici kuruluşların madencilik faaliyetlerindeki bir gelişmenin sonucu olmuştur. Ancak, Türkiye'nin dünya pomza sektörlerinde hammadde olarak yer alma oranlarına bakılacak olursa, arzu edilen ve ülke ekonomisine yüksek katma değer sağlayan ölçütlere henüz ulaşmadığı da görülebilmektedir. Bu olgu, Çizelge 3'de 2004 verileri olarak analiz edilmiştir.

Çizelge 1. Pomzanın fiziksel özellikleri (Gündüz, 1998-Ü).

Fiziksel Özellikler	
Renk	Açık griden, kirlili beyaza.
Kristal Şekli	Amorf ( Kristal şekli yok)
Kristal Suyu	Yok
Sertlik (MÖHS)	5,5 - 6,0
Kuru Birim Hacim Ağırlığı (gr/cm <sup>3</sup> )	0,32 - 0,97
Gerçek Özgül Ağırlığı (gr/cm <sup>3</sup> )	1,9- 2,65
Porozite (%)	45 - 70
Rötre ( mm/m)	2
Isı İletkenlik Katsayısı (kcal/mh°C)	0, 12 - 0,20
Isınma Isısı (cal/gr.°C)	0, 24 - 0,28
Ses Yalıtımı (dB)	40 - 55
Su Emme (Ağırlıkça %)	70 - 70
Buhar Diffüzyon Katsayısı	5 - 10

Çizelge 2. Pomzanın kimyasal Özellikleri (Gündüz, 1998-a).

Kimyasal Özellikler	
PH	7-7,3
Radyoaktivite	Yok
Sıvı Çözünen Madde Miktarı (Ağırlıkça %)	<0, 15
Asitte Çözünen Madde Miktarı (Ağırlıkça %)	<2,9
Uçucu Madde (Ağırlıkça %)	Yok
Asillerle Etkileşimi*	Inert
Alevlenme Derecesi (°C)	Yok
Ersime Derecesi (°C)	900
(*) Pomza sadece hidroflorik asil ile etkileşerek toksik silikon letraflorit pazu çıkarır.	
Kimyasal Bileşenler	
SilisyumdioksiKSrO <sub>2</sub> )	52-75
Alüminyumoksi! (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	11,0-17,0
Demiroksit(Fe <sup>2+</sup> O <sub>3</sub> )	0,5 - 5,0
Kalsiyumoksit(CaO)	1,0-8
Magnezyumoksit (MgO)	0,5-3
Sodyumoksit + Potasyumoksit (Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O)	3-9
Titanyumoksit (TiO <sub>2</sub> )	< 1
Sülfürinrinsil(SO <sub>2</sub> )	< 1
Ateş Zayıalı (A.Z.)	1-3

Çizelge 3. Türkiye'nin dünya pomza endüstrisindeki yeri.

Sektörler	Dünya Pomza Tüketimi (%)	Türkiye'nin Dünya Pomza Tüketimindeki Payı (%)
İnşaat Sektörü	72	8
Tekstil Sektörü	5	65
Ziraat Sektörü	4	5
Kimya Sektörü	7	3
Diğer Sektörler	12	2

Türkiye'nin maden ve maden dışı ihracat hacmi bakımından değerlendirildiğinde, madencilik sektörü açısından endüstriyel bir hammadde olarak pomzamn yıllık ihracat hacmi 2003 yılında 152 bin ton iken, bu değer 2004 yılında 199 bin ton'a çıkmıştır. 2003 ve 2004 yılı genelinde Türkiye'de gerçekleşen diğer maden ve maden dışı ihracat değerleri Çizelge 4'de verilmiştir.

Çizelge 4. Türkiye'nin maden ve maden dışı ihracatı (Anonim, 2005).

	Milyon \$		Bin ton		2004'de artış, %
	2003	2004	2003	2004	
Bor	84	88	377	395	3,5
Ferrokrom	31	26	55	26	0,2
Mermer	431	626	2191	2708	24,3
Çinko	15	22	79	89	0,8
Manyezit	39	48	258	268	2,4
Pomza	8	10	132	199	1,8
Bakır	43	89	152	199	(,8
Feldispat	55	78	3003	4029	36,2
Krom	28	61	383	584	5,2
Barit	6	8	102	148	1,3
Diğer	109	150	1987	2484	22,3

Kaynak: İMİB-İ.Manbul

Çizelge 4'den de görüldüğü gibi, Türkiye'nin maden ve maden dışı ihracat hacminde pomzamn yer alma yüzdesi 1,8 olarak görülmektedir. Bu değer, Türkiye'deki pomza maden yataklarında yer alan farklı kayac özelliklerindeki endüstriyel hammaddenin, dünya sektörlerine yeteri kadar tanıtımının yapılması, konu üzerine yapılacak sektöre! Ar-Ge çalışmaları ve bunların sonuçlarının dünyadaki endüstri kolları ile paylaşılması sonucu, daha yüksek değerlere çıkacağı şüphesizdir. Ancak, ülkemizde bu konu üzerine yapılan faaliyetlerin henüz yetersiz olması ve yeterli ölçüde teşviklerin

yapılmaması ve bir takım yasal düzenlemelere duyulan ihtiyaç nedeniyle, bu bağlamda sektörel gelişme yeterince tetiklenememiştir.

Her geçen gün, sektörde faaliyet gösteren kuruluşların sayısında ve mevcut kuruluşların endüstriyel yatırım alanlarında Önemli artışlar olmaktadır. Ancak sektörün genişlemesi ile birlikte karşılaşılan teknolojik sorunlar da artmaktadır. Bu sorunların çözüme kavuşturulması ve yeni uygulama alanlarına yönelik projelerin yürütülmesi için üniversite-sanayi işbirliği kapsamında resmi ve özel kuruluşlara büyük görevler düşmektedir.

Bu makalede, Türkiye madencilik sektörü açısından pomza madenciliği ve buna bağlı olarak gelişen endüstriyel ürünler ve pomzamn kullanım alanları özetle irdelenmiştir. Bu endüstri dalları inşaat-yapı, tekstil, kimya, ziraat, kişisel bakım-kozmetik, sağlık ve diğer endüstri dallarıdır. Son yıllarda yapılan araştırmalarda kimya endüstrisinde zeolit yapımında, DNA ekstraksiyonunda, atıksu arıtımında, kataliz üretiminde de kullanım olanakları bulunmuştur.

## 2.1 İnşaat-yapı endüstrisinde pomza kullanımı

Pomza, düşük birim hacim ağırlığı, yüksek ısı ve ses izolasyonu, iklimlendirme özelliği, kolay sıva tutması, mükemmel akustik özelliği, deprem yük ve davranışları karşısındaki elastikiyeti ve alternatiflerine göre daha ekonomik oluşu gibi üstün özelliklerinden dolayı, inşaat ve yapı endüstrisinde geniş bir kullanım alanı bulmaktadır (Gündüz v.d.. 1998-b).

İnşaat ve yapı endüstrisindeki kullanım alanını 6 ayrı kategoride analiz etmek mümkündür.

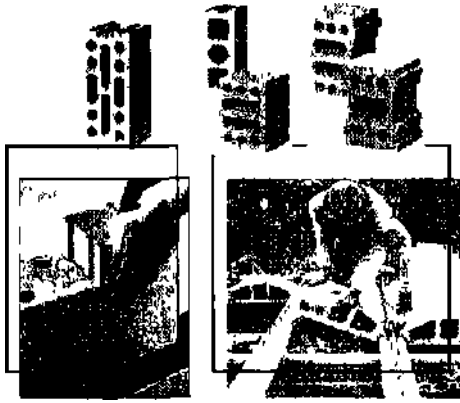
### 2.1.1 Hafif yapı elemanları üretimi

Pomzamn gerek ülkemiz ve gerekse tüm dünya ülkelerinde en geniş kullanım alanı, hafif yapı elemanlarının üretimidir. Hafif yapı elemanı üretimi açısından endüstriyel kullanımı 3 temel grupta ele alınabilmektedir (Şekil 5):

\*Donatılı duvar dolgu blokları,

\*Doiu veya boşluklu donatısız duvar dolgu blokları,

\*Asmolen ve döşeme plakları.

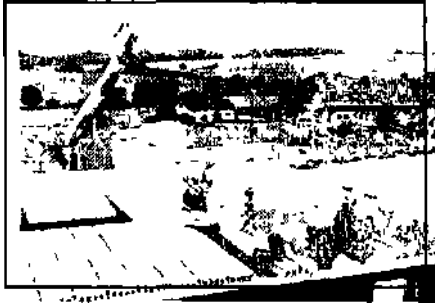


Şekil 5. Pomzadan mamul hafif yapı elemanları.

### 2.1.2 Prefabrik yapı elemanları üretimi

Bu yapı elemanı üretimi endüstrisi ülkemizde henüz gelişmekte olup pek çok Avrupa ülkesi ve Amerika'da yıllardır yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Pomzadan mamul prefabrik yapı elemanlarını 3 temel grupta incelemek mümkündür (Şekil 6)-

- \*Yekpare mekanlar (Kabin, büfe, garaj, wc vs.)
- \*Entegre bölümlerden oluşan mekanlar (Konut, işyeri, sosyal tesis vs.)
- \*Panel duvar ve döşeme elemanları.



Şekil 6 Pomzadan mamul prefabrik eleman uygulamaları.

### 2.1.3 Çatı ve dekoratif kaplama elemanları, dekoratif mobilyalar

inşaat ve yapı endüstrisinin daha çok estetik mimari ve peyzaj mimarisine yönelik bu dalında, hafif ve

sağlamlığı, kolay işlenebilirliği, atmosferik etkenlerden zarar görmemesi gibi önemli özelliklerinden dolayı, aranan başlıca hammadde kaynaklarından birisi de pomza olmuştur. Akrilik kaplı dekoratif-renkli beton kiremit üretiminde pişirici kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Bahçe ve kent mobilyaları olarak adlandırılan hafif beton mamulü ürünler de (sütunlar, banklar, çiçeklikler, korkuluklar, yapay kayalar vs.) pomza oldukça önemli oranda tüketilmektedir (Şekil 7). Ayrıca yeşil alan, park, kaldırım kaplama elemanlarında aranan dona dayanım, yüzeysel suların drenajı, hızlı uygulama, aşınma etkilerinden minimum düzeyde etkilenme gibi önemli özelliklere sahip olması nedeniyle geleneksel kalker agregalı suni kaplama malzemeleri yerine pomza agregalı kaplama malzemelerine bırakmaya başlamıştır.



Şekil 7. Bahçe tanziminde pomza duvar elemanı kullanımı.

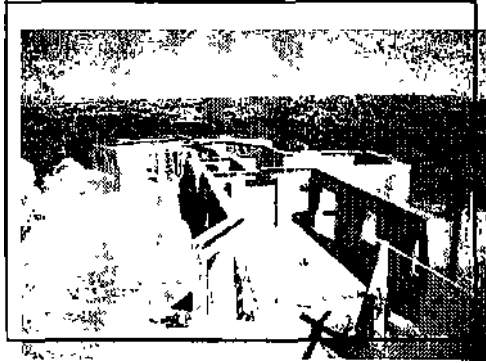
### 2.1.4 Hafif hazır siva ve harç üretimi

Günümüzde hazır siva ve harç kullanımı, pratikliği, çevreye verilen rahatsızlığın ortadan kaldırılması, uygulamada kalite ve standardizasyonun artırılması gibi nedenlerle giderek artmaktadır. Hazır siva ve harçların kullanımı artarken, bu malzemelerin teknolojik özelliklerinin, yapı yalıtım ve akustiğine katkıları da göz önünde bulundurulmaktadır. Yüksek ısı ve ses yalıtım değerleri, mükemmel akustiklik göstermesi nedeni ile pomzadan mamul hafif akustik siva, hafif izolatif siva ve pomza harcı dünya inşaat endüstrisinde kendine önemli bir pazar payı oluşturmuştur

### 2.1.5 Hafif beton üretimi

Pek çok ülkede geniş kullanım alanları olmasına karşın, ülkemizde pomzanın hazır beton endüstrisinde kullanımı yaygın değildir. Dünyada

Özellikle tek katlı veya dubleks konutlarda, gürültü kirliliğinin yoğun olduğu havaalanları ve otoyolların çevreden izole edilmesi amacıyla yapıdan çevre duvarlarının inşasında, konser, tiyatro, disko, sinema, gibi akustiğın ve ses yalıtımının ön plana çıktığı sosyal ve kültürel mekanların inşasında yaygın olarak kullanılmaktadır (Şekil 5). Normal betona kıyasla 1/2-2/3 oranında daha hafif olan pomza betonunda, inşaat demirinden %13-%17, işçilikten ise %30 oranında tasarruf edildiği bilinmektedir. Bunun yanında normal betonun ısı iletkenlik değerinin ortalama 2 kcal/mh°C olmasına karşın, pomza betonun ısı iletkenlik değeri 0,3-0,5 kcal/mh°C arasında değişmektedir. Bu değerler, pomza betonunun normal betona oranla 4 ile 6 kat daha yalıtım Özelliğine sahip olduğunu göstermektedir.



Şekil 5. Pomza betonu ile konut inşaatı.

#### 2.1.6 Çan ve döşeme izolasyon dolgusu

Pomza taşı çalı ve döşemelerde doğal bi izolasyon malzemesi olarak kullanımı, ülkemizde özellikle Batı Akdeniz yöresinde görülmektedir. Binaların temel aralarında, düşük döşemelerde ve kapalı çatı altı-son kat tabiiye üstünde serbest taban yaygısı olarak boyutlanmış pomza agregası kullanılabilir. Özellikle ısı yalıtımı yönünden binaya büyük kazanç sağlayan bu uygulama, alternatiflerine göre de oldukça ekonomik olması nedeniyle tercih edilmektedir.

İsı iletkenlik katsayısı 0,12-0,20 kcat/mh°C arasında değişmekte olan (-16mm/+3mm boyutlanmış %100 kuru halde) pomza agregası, ısasal konfor açısından oldukça ekonomik çözümler sunmasına karşın bu konuda ülkemizde yeterli altyapı, standardizasyon ve kalite bilincinin oluşmaması nedeniyle endüstri boyutuna ulaşamamıştır.

## 2.2 Tekstil endüstrisinde pomza kullanımı

Tekstil sektöründe üretilen kot, denim ve jcan gibi kumaşlara yumuşaklık ve çekicilik kazandırılması için 20 seneye yakın bir süredir taş yıkama prosesi uygulanmaktadır. "Stone-Wash" olarak adlandırılan bu işlem, öncelikle Amerika ve Avrupa da gelişmiş daha sonra bu kumaşları üreten diğer ülkelerle birlikte ülkemizde de yaygınlaşmıştır (Şekil 9). Ülkemiz pomza ihracatının önemli bir kısmını "tekstil pomzası" olarak adlandırılan iyi kalitedeki bu pomza türü teşkil etmektedir. Nevşehir, Kayseri, Van ve İsparta yörelerinde üretilen tekstil kalitesindeki pomza, başta Amerika Birleşik Devletleri olmak üzere, Fransa, Almanya, Hong Kong, Fas, Tunus gibi ülkelere ihraç edilmektedir. İhracatının %40'ını tekstil sektöründen yapan ülkemiz., dünyanın önde gelen kol türevi kumaş üreticileri arasında olması nedeniyle tekstil kalitesindeki pomza tüketimi iç pazarda da önemli bir /er tutmaktadır.



Şekil 9. Tekstil endüstrisinde pomza kullanımı.

## 2.3 Tarım endüstrisinde pomza kullanımı

Pomza, üretim ve işletmede kolaylık, bol ve ucuz temin edilebilme, yüksek su tutma kapasitesi, bünyesinde barındırdığı suyu tedricen ortama vererek ortamın nemini dengelemesi, zararlı kimyevi bileşikler İçermemesi gibi önemli özellikleri nedeniyle tarım ve seracılık alanında geniş bir kullanım alanına sahiptir.

### 2.3.1 Toprak ıslahında pomza kullanımı

Özellikle ağır bünyeli, killi, şişme özelliğine sahip fazla sıkışabilir toprak içeren tarımsal alanlar ile



*Türkiye 19. Uluslararası Madencilik Kauf* seralar, çimlenme ve bitki kök gelişimi için elverişsiz bölgelerdir. Bu tip toprakların elverişli hale getirilmesi amacıyla pomza, vermikülit, perlit ve poliüretanlar kullanılmaktadır. Toprak düzenleyiciler olarak adlandırılan bu malzemeler, özellikle yüksek gelir getirici süs ve sera bitkileri yetiştirilmesinde oldukça önemli oranda tüketilmektedir (Şekil 10). Ancak vermikülit ve perlit gibi doğal ürünlerin kullanıma sunulabilmesi için maliyeti yüksek prosesler gerektirmeleri, poliüretanların toprağı kabartması yanında ilave yararlar sağlamaması diğer ürünlere göre daha bol ve ucuz olarak temin edilebilen pomzayı toprak ıslahında ön plana çıkarmaktadır.



Şekil 10. Toprak ıslahında pomza kullanımı.

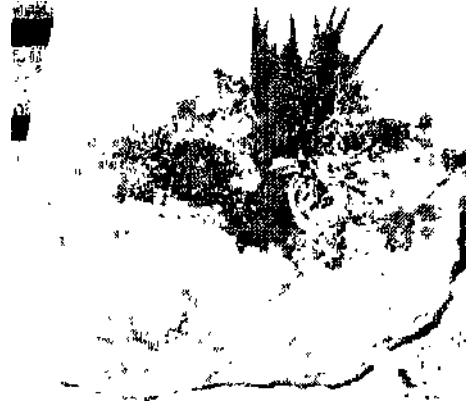
Toprağın hava almasını, çim ve köklenmenin ideal bir ortamda gelişmesini temin eden pomza ayrıca toprağın nem dengesini de sağlamaktadır. Sulama esnasında toprağın bünyesindeki fazla suyu tutarak bitki köklerindeki çürümeyi engellemesi, suyla beraber çözelti halinde köklere taşınan gübre ve minerallerin kaybını minimuma indirmesi, ortamdaki suyun azalması ile toprak-pomza tanecekleri arasında nem dengesi kurularak toprağın nem oranının uzun süre korunması uygun tane boyutlarındaki pomza ile sağlanabilmektedir.

### 2.3.2 Az topraklı veya topraksız ortamlarda bitki yetiştiriciliğinde pomza kullanımı

Mineral, gübre vs. destekli %80'e varan miktarda pomzadan oluşan ortamlarda süs bitkileri, sebze ve meyve yetiştirilebilmektedir. Pomza kültürü üzerinde uzun süreler yapılan çalışmalar neticesinde 1982 yılında 24,4 kg, 1983'te 22,8 kg, 1984'de 26,1 kg, 1985'le 25,5 kg, 1986'da 24,3 domates/m<sup>2</sup> ürün elde edildiği saptanmıştır. Üç çeşit kireçli toprak ve hacimce %15'den fazla pomza karıştırılmış toprağa

*xi ve Fuarı, IMCET2005. İzmir. Türkiye, 0912 Haziran 2005* demir şelatı karıştırılmış ve pomzalı toprakta yetişen bitkilerin yapraklarındaki klorofil oranının normale göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Gürv.d., 1997).

Ayrıca pomza, süs bitkilerinin soğanlarının don ortamında saklanması da kullanılmaktadır. Özellikle saksıda süs bitkisi yetiştiriciliğinde dünyada yaygın olarak kullanılan pomza, bu amaçla muhtelif boyutlarda tasnif edilerek 6 İt, 25 İt ve 40 İt'lik poliüretan torbalarda ve 1 ton Tuk big bag çuvalarda piyasaya sunulmaktadır (Şekil 11). Saksı ve süs bitkiciliğine yönelik pomza üretim ve pazarında Çin en büyük paya sahiptir.



Şekil 11. Zirai pomza ürünleri ve pomza taşı şeklinde saksı içerisinde yetiştirilmiş süs bitkisi.

### 2.3.3 Su beslenimi kısıtlı tarımsal-yeşil alanlarda pomza kullanımı

Özellikle sıcak iklim kuşaklarında yüzeyden sulanan tarımsal-yeşil alanlar ile seralarda buharlaşmanın yüksek olması sebebiyle su kaybı da artmaktadır. Su kaynakları kısıtlı ülkelerde su tüketimini asgariye indirerek, tüketim randımanının artırılması, toprakta özellikle kireçli suların buharlaşması neticesi artan alkali oranının minimize edilebilmesi amacıyla pomza kullanımı giderek artmaktadır. Üst katman toprağın (bitki cinsine göre) belirli bir derinliğe sıyrılarak pomzanın serilmesi ve yastıklanması suretiyle toprağın tekrar örtülmesi sonucu toprak altında bir drenaj kalmanı oluşturulmaktadır. Sulamanın da borular vasıtasıyla direkt olarak bu katman içerisinden yapılabildiği bu uygulama şeklinde, toprak gerekli olan suyu bünyesine pomza katmanından almakta ve bitki köklerine bu şekilde

ulaşmaktadır (Şekil 12). Bu şekilde yapılan sulama ile su buharlaşması asgariye indirilirken, su tüketimi azaltılmakta, bununla beraber günün her saatinde sulama yapılabilir. En iyi uygulama örnekleri olarak su kaynakları ve verimli toprakları kısıtlı İsrail, Suudi Arabistan, Dubai, Katar gibi ülkeler gösterişi İmektir.



Şekil 12, Kent içi çevre düzenlemede pomza içerisinde yetiştirilmiş kaktüsler.

#### 2.4 Kimya endüstrisinde pomza kullanımı

Pomza kimya endüstrisinde kullanımı yeni olmamakla beraber halen hızla yeni kullanım alanları bulmaktadır. Özellikle pümisit (pumicite) ve pomza tozu (pumice powder) pek çok kimya sektöründe kullanımı yaygın bir hammaddedir.

##### 2.4.1 Abrazif olarak pomza kullanımı

Yaklaşık 16 farklı tane grubunda 4,75 mm ve üstünde granül halde ve çok ince toz olarak da 45 µm (mikron) ve altında kullanılmaktadır. Son zamanlarda çok ince öğütülmüş (süper incelikte) pomza da bu standardizasyona eklenmektedir. 10 µm ve 5 µm altında tane inceliğine sahip pomza tozlarına değişik endüstri dallarından talep gelmektedir.

Pomza tozu abradantları Özellikle TV ekranı çapak düzeltme ve cilalama, yuvarlak ahşap hazırlama ve cilalama, metal hazırlama ve cilalama, mücevher son rütüş ve cilalama, kum püskürtme metodu ile oyma ve işlemcilik, kumaş perdahlama, cam ve kristal ön cilalama, bilgisayar ciplerinde çapak alma ve temizleme, dişçilikte protez hazırlama ve cilalama, matbaa baskı tabletlerini temizleme gibi amaçlarla, elektronik, melal, ahşap, plastik, cam, mücevherat, sağlık endüstrilerinde kullanılmaktadır.

Pomza tozundan abradant üreten ülkelerin başında Amerika, Fransa ve Kanada gelmektedir. Ürünler

350 gr'dan 3.730 gr'lık (100 lb.) 24 ambalaj içeren paletlere kadar değişik miktarlarda piyasaya verilmektedir. 350 gr'lık ambalajlarda satış sunulan mikro-abradantların satış fiyatı 30 USD değerlerini bulabilmektedir. Ülkemizde ise pomzadan abradant üretimiyle ilgili faaliyette bulunan kayda değer bir kuruluş henüz görülmemektedir (Bolen, 1998; Ketta, 1990).

##### 2.4.2 Kozmetik endüstrisinde pomza kullanımı

Pomzanın İnşaat, tekstil, ziraat ve abradant sanayinden sonra en yaygın kullanıldığı endüstri dallarından birisidir. Özellikle halk arasında topuk taşı olarak bilinen pomza, Amerika ve Avrupa'da ayak bakımında kaba cildin arındırılmasında vazgeçilmez kişisel bakım malzemelerinden birisidir. Yuvarlatılmış, çubuk halinde, fırça şeklinde muhtelif ebat, şekil ve ambalajlarda piyasaya sunulan pomza ürünleri "body stone" olarak adlandırılmaktadır. Tanesi 2-5 USD arasında değişen bu ürünlerin başlıca üretici ülkeleri arasında Kanada, Fransa, Amerika ve Çin sayılabilmektedir (Şekil 13-14).

Bunun haricinde yüzdeki akne ve istenmeyen lekelerin temizliğinde % 2,5 benzol peroksit ve pomza tozu ihtiva eden cilt bakım kremleri de kozmetik sanayinin yeni ürünleri arasında yerini almıştır. 8 oz 'lık (1 oz takribi 2,8 gr.) ürünün satış fiyatı İse yaklaşık 30 USD civarındadır.

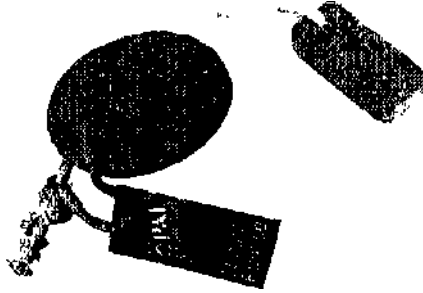
Kozmetik ürünlere bir yenisi olarak da parfüm taşları ilave edilebilir. Parfüm emdirilmiş pomza taşları, kokuyu uzun süre bünyesinde muhafaza edebildiğinden dolayı, çanta içleri, cep ve oto küllüklerinde taşınabilen renklendirilmiş parfüm kokulu bu taşlar Avrupa ülkelerinde oldukça rağbet görmektedir (Şekil 15).



Şekil 13. Pomzadan üretilen kozmetik bir ürün.



Şekil 14. Pomzadan üretilen kozmetik bir ürün.



Şekil 15. Pomzadan üretilen parfümlü taşlar.

#### 2.4.3 Sabun ve deterjan imalinde pomza kullanımı

Pomza özellikle sanayi tipi el sabununun vazgeçilmez hammaddesi olmuştur. Eldeki ağır kir ve lekeleri kolaylıkla ve hatta su kullanmaksızın çıkarabilme özelliğine sahip krem tipi bu sabunlar pek çok değişik marka altında sabun ve deterjan pazarında önemli bir pay sahibi olmuşlardır. Ülkemizde pomzadan mamul sabun ve deterjan ürünlerinin üretimi olmayıp maalesef ithal edilmektedir. Değişik ambalaj ve miktarlarda satılan bu ürünlerin bir litreye karşılık gelen birim fiyatı 5-8 USD arasında değişmektedir (Şekil 16).

Deterjan üretiminde de kullanılan pomza, bulaşık, yer, banyo, lavabo temizleyicisi ve çamaşır deterjanlarında aktif madde taşıyıcısı olarak kullanılmaktadır. "Dust cleaner" olarak adlandırılan deterjanlar Amerika'da yaygın olarak piyasaya arz edilmektedir.



Şekil 16. Pomza tozu katkılı endüstriyel tip kir çıkarıcı sıvı sabun.

#### 2.4.4 İlaç endüstrisinde pomza kullanımı

Sağlık ve ilaç endüstrisinde en geniş kullanım alanı diş parlatma keyki ve diş macunu üretimi alanındadır. Diş bakımı ve sağlığında mikro organizmaların ve lekelerin hijyenik olarak çıkartılmasında katkı maddesi olarak pomza tozu diş macunlarında istisnasız sayılabilecek bir düzeyde hemen her marka da kullanılmaktadır (Şekil 17). Ayrıca dişçilik alanında dişlerdeki istenilmeyen leke ve diş taşlarının temizlenmesinde keyk ve toz olarak yaygın bir biçimde kullanılmaktadır.



Şekil 17. Pomza tozundan üretilen diş parlatma tozu ve akne kremi.

#### 2.4.5 Farklı endüstriyel alanlarda katalizör olarak pomza kullanımı

Pomzanın katalizör olarak kullanım alanı yem olmakla beraber hızlı bir gelişme süreci içerisinde. Aktif oksit tabakanın katalizasyonu, palladyum absorpsiyonlu pümsin katalizör olarak kullanımı, otomobillerde katalizör sistemlerinde pümsin kullanımı çok yeni ve gelişim süreci devam eden alanlardır (Kelta, 1990).

#### 2.4.6 Su-atık su arıtma ve hava temizleme teknolojisinde pomza kullanımı

- Adsorbsiyon prosesıyla atık sudan fosfor giderilmesinde,
- Fosfat adsorbsiyonunda,
- Suyun filtre edilmesinde,
- Bio -reaktörlerde alık su işlemede,
- Organik ve inorganik partiküllerin atık suda bağlama ajanı olarak,
- Temiz su eldesi için fotokataliz prosesinde,
- Atık su işleme sisteminde şlam etkinleştirmede,
- Çamurun susuzlaştırılması sırasında pıhtılaştırma ajanı olarak,
- Sudan demir ve manganez tortusunun arındırılması için,
- Canlı balıkların nakli esnasında mikro organizmaların arıtımında,
- Kirlilik yaratan tehlikeli akışkanların adsorbsiyonunda,
- Zararlı metal içeren endüstriyel atık suların arıtımında,
- Ev içi havayı temizleyen cihazlarda,
- Tehlikeli baca gazlarının ayrıştırılmasında,
- Aktif karbon kaplı adsorbant imalinde,
- Organik-İnorganik madde ve yosun içeren havuz ve göletlerin arıtılmasında,
- Farklı adsorbanlarla beraber  $Fe^{+2}$  iyonu içeren solüsyonlardan demirin giderilmesinde yararlanılmaktadır (Ketta, 1990; DPT, 1996).

#### 2.5 Pomzanın diğer endüstriyel alanlardaki uygulamaları

Yukarıda ifade edilen endüstriyel alanların dışında pomzanın agrega veya toz halinde kullanıldığı endüstriyel alanlar (Ketta, 1990) (DPT, 1996):

- Çimento üretiminde puzolonik malzeme olarak (100 mikron altı),
- İzolatif duvar boyası, pürüzlü kaplama, motifli boya, astar macunu ve vernik dolgusu, aşınmayan trafik boya ve kaplamalarında,
- Plastik sanayii ve kağıt sanayisinde dolgu ajanı olarak,
- Seramik endüstrisinde seramiklerin ısı yalıtım değerlerini arttırmada, pürüzlü seramik ve adsorbsiyonlu seramik tanelerin (boncuk) imalinde,
- Gübre imalinde topaklanmayı önleyici katkı olarak,
- Asfalt kaplamalarda bitüm kusmalarını önleyen adsorban olarak,
- Ağır ve kirli ortamlarda yağ vs. akışkanları adsorban yer yaygısı olarak,

- Tavuk çiftliklerinde taban yaygısı olarak,
  - Evcil hayvanlarda emici kum olarak,
  - Kaymaz tip lastik yapımında,
  - Piyano tuşu, bilardo lopu, fildişi süs eşyalarının pürüzlülüğünün giderilmesi ve cilasında,
  - Tarım ilaçlarının (toz halde atılmasında) taşıyıcı eleman olarak,
- gibi daha pek çok alanda kullanım imkanı bulunmaktadır.

#### 2.6 Pomzanın endüstriyel alanlarda kullanımına ilişkin yeni araştırmalar ve gelişmeler

Daha önceki bölümlerde verilen genel endüstriyel alanlarına ek olarak pomza kullanımında farklı amaçlarla yeni kullanım imkanları yapılan birçok araştırma ve inceleme çalışmaları ile analiz edilmektedir. Bu araştırmalara örnekler aşağıda belirtilmiştir:

- 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 geçişli ve sıvı tutucu agrregaların imalinde,
- Hafif termoplastik reçine esaslı kalıpların yapımında,
- Empresyon edici materyal imalinde,
- Pomza ile agarose jelinden DNA'nın geri kazanımında,
- Granül olarak nem emici ve geri verici malzeme olarak,
- Granül veya monolitik formlarda silikon kaplama imalinde,
- Konsolidasyona müsait inşaat alanlarının zeminlerinin iyileştirilmesi ve su drenajında,
- Protein emici materyal imalinde,
- Printer mürekkebi imalinde,
- PVC kaplamada dolgu materyali olarak,
- Uzay teknolojisinde yüksek ısıya dayanıklı seramik ve kabin camı imalinde,
- Otomobil endüstrisinde ısı ve ses yalıtımında (termo acustical tile) dolgu malzemesi olarak kullanım alanları araştırılmaktadır (Ketta, 1990; Smith ve Coli, 1993; Anonim, 1998).

### 3 SONUÇLAR

Ülkemizde üretimi ve ihracatı sürdürülen pomza, belirli ve düzenli bir yapıya kavuşturulamamış ve hala ilkel metotlarla çalışılmaktadır. Pomza taşı konusundaki sorunlar üretim, araştırma, yatırım ve pazarlama aşaması bazında öneriler ile birlikte aşağıda irdelenmiştir (DPT, 2001):

a. Maden işletmeciliği olarak üretim esnasında rasgele bir çalışma metodu hakimdir. Hafriyatçı İktidan biran Önce vazgeçilerek madencilik metotlarının uygulanması muhakkak temin edilmeli, cevher kaybı asgariye indirilerek, bilimsel işletme metotları titizlikle uygulanarak istihraç sağlanmalıdır. Bu aşamaya gelebilmek için, vakit kaybetmeksizin ilgili kişi, kurum ve kuruluşlardan, bilimsel ve teknik yardım talebinde bulunulmalı, işletme projeleri sağlıklı olarak geliştirilmeli, teknik personel istihdamına önem verilmelidir.

b. Üretimde standard İzasyon ve kalibrasyon olmaması nedeniyle üretici-ihracatçı arasında ihtilaflar yaşanmaktadır. Üretimde gerekli alt yapı ve teknolojik yatırımlara gidilerek standardizasyon ve kalibrasyon sağlanmalı, kaliteye özen gösterilmelidir. Oluşturulacak standartlarda tüketici talepleri mutlaka dikkate alınmalıdır. Bu konuda gereken hassasiyeti üretici firmalar kadar üniversiteler de göstermelidir.

c. İtalya ve Yunanistan firmalarının, Türk firmalarından gerek ham ve gerek işlenmiş pomza taşı taleplerini giderek arttırmaları dikkat çekicidir. Kendi öz kaynakları tükenmekte olan bu ülkelerin, Türk pomzasının ambalajını yenileyerek dünya pazarlarına kendi isimleriyle sürdürdükleri ve bu işten büyük kazançlar sağladıkları görülebilmektedir.

Ham ürün ihracatından ziyade, üniversite - sanayii işbirliği geliştirilerek mamul ürün yatırım imkanları araştırılmalı ve hayata geçirilmelidir. Birçok farklı endüstri dalında hammadde - yan mamul olarak gereksinim duyulan pomzanın, mamul - yarı mamul olarak ihracatının şüphesiz ülke ekonomisine katkısı çok daha fazla olacaktır.

d. Pomza üretici ve ihracatçıları, pazarlama konusunda daha bilinçli davranmalıdır. Özellikle ambalajlama konusuna dikkat edilmeli, gelişigüzel ambalajlama yapılmamalıdır. Ürün kalitesi kadar ambalajının da pazarlama da önemli bir faktör olduğu unutulmamalıdır. Ayrıca iletişim teknolojisinin baş döndürücü bir hızla geliştiği son

yıllarda, bilgisayar ve İnternet ortamından azami Ölçüde faydalanılmalı, düzenlenecek panel ve sempozyumlar, sektöre ilişkin yayınlar, karşılıklı ilişkiler ile tanıtım atacağına kal ki İmalı, tüketici ülkelere ülkemiz pomzasının kalitesi ve geniş uygulama alanları anlatılmalıdır.

c. Haksız rekabet sektörün Önemli diğer bir sorunudur. Önceki bölümlerde tablolar halinde sunularak irdelendiği üzere ülkemiz ihracatında kaydedilen artışlarla paralel ihracat gelirleri elde edilemediği gibi birim fiyat bazında gerilemeler yaşanmıştır. Ülke İçindeki üretici ve ihracatçıların yeleri kadar ortak hareket etmemesi, birbirleri İle rekabet ortamı yaratmaları, reel madencilik şuurundan yoksun üretilim anlayışı ihracat politikasını giderek zorlaştırmaktadır. Diğer maden ve doğal kaynakların işletilmesinde olduğu gibi, pomza madenciligi açısından da maden hukuku ve işletme imtiyazlarının yeniden gözden geçirilerek günümüze uygun düzenlemelere gidilmesi, daha rasyonel ve bilinçli metotlarla işletilme imkanının temini kaçınılmazdır.

### KAYNAKLAR

- Anonim, 2005; Türkiye Doğal Taş Dergisi, "İstanbul Maden İhracatçıları Birliği. Doğal Taş Mal Grubu Ülke Raporu". s96-106. 15 Ocak-15 Şubat, İstanbul.
- Bolen, P.W. 1998; USGS Pumice and Pumicite Commodity Specialist, U.S.A.
- D.P.T., 1996; Diğer Endüstri Mineralleri, Cilt I. Ankara.
- D.P.T.. 2001; XIII. Beş Yıllık Kalkınma Planı, "Pomza" Çalışma Grubu Raporu, Ankara.
- Gündüz, L. (Ed.), 1998-a; *Pomza Teknolojisi*. Cilt I, İsparta, s288.
- Gündüz, L. (Ed.), 1998-b; *Pomza Tehnolojisi*. Cilt II. İsparta, s204.
- Gür, K., Zengin M., Uyanöz, R., 1997; " Pomzanın Tarım ve Çevre Açısından Önemi", I. İsparta Pomza Sempozyumu, İsparta, S125-132.
- Ketin, I., 1983; Türkiye Jeolojisine Genel Bir Bakış. İTÜ Matbaası. Gümüşsuyu, s595. İstanbul.
- Ketta, Mc J.J.(Ed.), 1990; Encyclopedia of Chemical Processing and Design, Newyork. U.S.A.
- Simihl. M.R. and Coli. L. 1993; Aggregates, U.S.A.



## Asidik (Nevşehir) ve Bazik (Osmaniye) Pomzaların Yapı Sektöründe Değerlendirilmesi

E. Yaşar & Y. Erdoğan

*Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Adana, Türkiye*

**ÖZET:** Bu çalışmada, asidik ve bazik kökenli pomzaların yapı sektöründe hafif beton agregası olarak kullanılabilirliği deneysel çalışmalarla tespit edilmiştir. Çalışmaya asidik pomzaların temsili için Nevşehir bölgesinden, bazik pomzaların temsili için Toprakkale (Osmaniye) bölgesinden numunelerin alınması ile başlanmıştır. Ayrıca beton yapımında en çok kullanılan kireçtaşı agregaları Ceyhan bölgesinden alınmıştır. Hafif beton yapımında kullanılması düşünülen pomzaların avantajlarının daha iyi anlaşılabilmesi için yapı sektöründe pomzalar ile kireçtaşı agregalarının fiziksel ve mekanik özellikleri tespit edilmiş, asidik ve bazik pomzalar ile kireçtaşı agregası sonuçları karşılaştırılmıştır. Pomza ocaklarından alınan numuneler TS 1114 EN 13055-1 "Hafif Agregalar - Bölüm 1" standartlarına uygun olacak şekilde kırılıp elendikten sonra sınıflandırması yapılmıştır. Daha sonra asidik, bazik ve kireçtaşı agregası türleri farklı su/çimento oranlarında karışımları yapılmış ve en uygun işlenebilirlik şartlarında küp ve silindirik numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan beton numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenerek Türk Standartlarına uygun bir şekilde agregaların beton üretiminde kullanılabilirliği, hafif beton ve depreme dayanıklı beton üretiminde pomza agregalarının ne denli büyük bir öneme sahip olduğu belirlenerek sonuçların endüstriyel alanda kullanılabilirliği sağlanmıştır.

**ABSTRACT:** The usability of acidic and alkaline pumice as lightweight aggregate in building sector were determined by laboratory works in this study. The samples of acidic and alkaline pumice were obtained from Nevşehir and Toprakkale (Osmaniye) area respectively and also limestone aggregate which were the most using in concrete production were taken from Ceyhan region. To better understanding advantages of pumice using the lightweight concrete and limestone aggregates, the properties of aggregates were found and were compared between each other. The samples which were obtained from pumice quarries were crushed according to TS 1114 EN 13055-1 "Lightweight Aggregates - Vol: 1" standards and men crushed aggregates were classified. The mixings in various water-cement ratios were designed, and cubic and cylindrical samples were prepared in the most workability conditions. The physical and mechanical properties of produced concrete were determined and the usability of aggregates was compared with Turkish standards. Furthermore, it is the most important to produce lightweight and high strength concrete for the construction and earthquake. The results have shown that pumice aggregate can be used for the produce lightweight concrete (LWC) and preventing the effects of earthquake due to having LWC and high strength of concrete samples.

### 1. GİRİŞ

Son yıllarda inşaat sektöründe hafif yapı malzemelerine, betonun hafif olması ve zemine gelecek yüklerin azalması gibi nedenlerle verilen önemin zamanla artması, ziraat sektöründe özellikle sera ve bahçe üretimi yapan çiftçilerin doğal, toprak yapısında toksik bileşim içermeyen ve bitkinin ihtiyacı olan suyu nem dengeleyici olarak ayarlaması, tekstil sektöründe ürünlerin renklerinin açılması ve yumuşatılması gibi çoğu alanda pomza taşının kullanımının gün geçtikçe arttığı

görülmektedir (Yaşar ve Erdoğan, 2001).

İnsanoğlu yapı ve inşaat sektöründe çok eski çağlardan günümüze kadar gözenekli yapısı, hafifliği, yüksek izolasyon etkileri, atmosferik şartlara karşı direnci, kolay işlenebilirliği ve yüksek puzulanik aktivitesi gibi nedenlerden dolayı pomzayı kullanmıştır.

Ülkemizde yerince araştırmaları ve analizleri yapılmamış olan pomzaların fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri gerek ülke ekonomisi açısından gerekse madencilik faaliyetleri açısından son derece önemli bir hammadde kaynağı ve konusu olmuştur

(Gündüz, 1998).

Pomzanın çeşitli endüstri dallarında farklı amaçlarla kullanılması için mühendislik özelliklerinin ayrıntılı olarak Önceden bilinmesini zorunlu kılmaktadır. Bu açıdan, pomzanın kullanım öncesi malzeme seçiminde, malzemenin İçyapı karakteristiği ve kullanım yerlerine uygunluğu, pomzanın kaya mekaniği deneyleri ile tespit edilmiş ve endüstriye uygunluğu ortaya konulmuştur.

Deneyel ve gözlemsel analiz tekniklerindeki son gelişmelerin ışığında, pomza oluşumları uzunnda yapılan fiziko-kimyasal ve tekno-mekanik analiz değerlendirmelerinde, pomza taşının daha farklı endüstri alanlarında kullanımı gündeme gelmiştir. Bunlara örnek olarak; karayolu buzlanmalarında, demiryolu inşaatlarında, hidrolik çimento! amada, aşındırıcı endüstrisinde, boya imalinde, kimya sanayimde, seramik endüstrisinde, gübre üretiminde ve daha birçok alanda kullanıldığı görülebilmektedir. Bunun yanı sıra pomza numunelerinin betonda agrega olarak kullanılabilirliği de pomzanın gün geçtikçe ilgi çeken kullanım alanlarından birisidir.

Özellikle pomza numunelerinin beton yapımında agrega olarak kullanılması pomzanın diğer agrega türlerinden (çakı I taşı, kireçtaşı vs.) birim hacim olarak çok daha hafif olması sebebiyle yapılacak olan inşaat türünün genel kütle ağırlığını büyük ölçüde azaltmaktadır. Pomza kullanılarak yapılan yapı türleri deprem esnasında yapıya gelen yatay yüklerin daha düşük olması nedeniyle her zaman büyük bir deprem riski altında yaşamaya çatıştığımız ülkemizde depremden kaynaklanan maddi ve manevi hasarların daha az olmasına olanak sağlayacaktır.

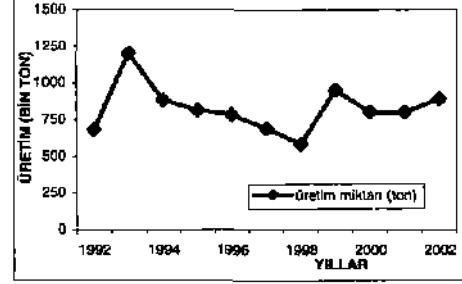
Bu çalışmada Doğu Akdeniz Bölgesi kayaçlarından Toprakkale (Osmaniye) bazaltik pomzası ile Nevşehir bölgesindeki asidik pomzanın tüketim açısından laboratuvar şartlarında fiziksel ve kimyasal özellikleri tespit edilmiş ve genel bir tanımlama yapılmıştır. Bu tanımlamaya göre bazik ve asidik pomza örneklerinin beton agregası olarak kullanılabilirliği araştırılmış ve pomzaların hem kendi aralarında hemde kireçtaşı agregaları arasında karşılaştırılması yapılmıştır.

## 2. ÇALIŞMA ALANI VE JEOLJİSİ

Türkiye 3 milyar m<sup>3</sup> pomza rezervi ile dünyada oldukça önemli bir potansiyele sahiptir Türkiye pomzaları farklı renk ve doku kalitesiyle dış pazarlarda da aranan pomza kalitesi ve albenisine sahiptir. Pomza rezervlerinin büyük bir çoğunluğu İç Anadolu Bölgesinde yoğunlaşmasına rağmen Akdeniz, Ege ve

Doğu Anadolu Bölgelerinde de var olan rezervlerin üretimi yapılmaktadır.

Ülkemizde en çok talep gören asidik pomza, Nevşehir bölgesinin beyaz renkli pomzasıdır. Şekil 1 'de görüldüğü gibi Türkiye pomza üretimi 90'lı yılların başında 400.000 ila 700.000 ton mertebesinde iken 1992-2002 arasında üretim 550.000 ile 1250.000 ton seviyesine ulaşmıştır (Çağlayan ve Kalınman, 2003).



Şekil 1. Türkiye'de yıllara göre pomza üretimi

Bu çalışmada Adana Toprakkale bölgesinde yüzeyle m ek te olan Toprakkale bazaltik bünyesindeki Toprakkale bazaltik pomza ile Nevşehir bölgesinde üretilmekte olan Nevşehir asidik pomza türleri incelenmiştir.

### 2.1. Toprakkale Bazaltik Pomzası

Toprakkale bazaltik pomzası; Toprakkale ve Erzin ilçeleri ile İskenderun Körfezi arasında yer almakta olup, Kuvaterner yaşlı Plato bazaltları şeklinde yaklaşık 115 km<sup>2</sup>'lik bir alanda yaygın göstermektedir.

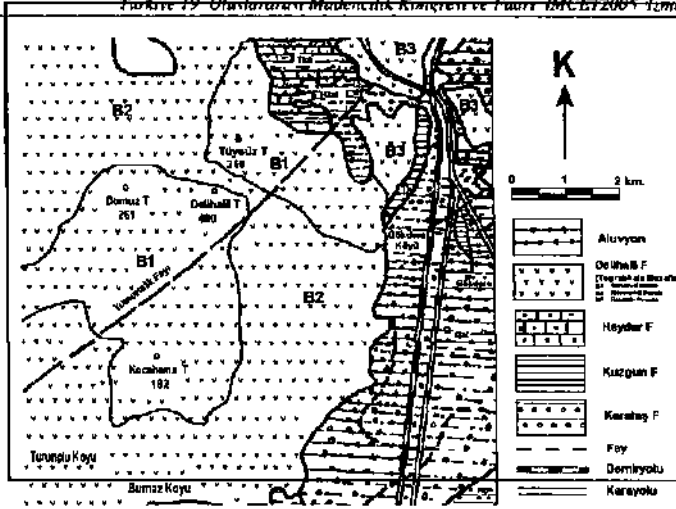
Çalışma alanı ve yakın civarında Karataş Formasyonu (Tka), Kuzgun Formasyonu (Tk), Haydar Formasyonu (Hpl), Delihalil Formasyonu (B) ve Alüvyon (Qal) birimleri görülmektedir (Şekil 2). Bu çalışmada Deühalil formasyonu volkanik bir birim olup Toprakkale bazaltları olarak adlandırılmıştır (Bilgin ve Ercan, 1980 Doyuran, 1980).

Toprakkale bazaltları oluşumu açısından tabandan tavana doğru bazaltik pomza, gözenekli bazalt ve sutunsal bazalt şeklinde 3 gruba ayrılmıştır.

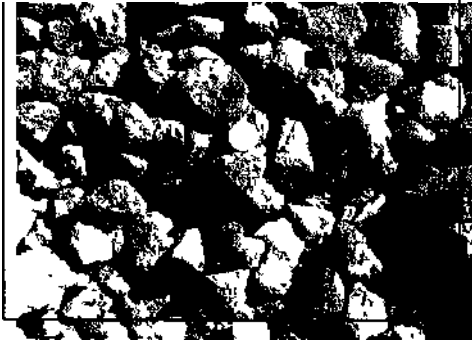
İncelemesi yapılan bazaltik pomza, Tüysüz tepe, Delihalil tepe ve Kocahama tepe civarında 3-4 m. kalınlığında ve I m'ın'den I m'ye kadar değişen boyutlarda çok değişik kaya parçaları içermektedir. Volkanik blok ve parçalar yığılma oluşturmuş ve aralarında herhangi bir çimentolaşma bulunmamaktadır (Şekil 3).

Ana ve tali bacaların uzağında özellikle İskenderun-Osmaniye otoyolu üzerinde püskürmelerin ince kırıntıları ve külleri görülmektedir.





Şekil 2 Toprakkale Civarının Jeolojik Haritası (Yaşar [e Erdoğan, 2(K)I )



Şekilim Bazaltik pomzadan bir görünüş

## 2.2. Nevşehir Asidik Pomzası

Kapadokya bölgesindeki volkanların püskürmeleri Üst Miyosen'den başlayıp Holosen'e kadar sürmüştür. Neojen gollerini altındaki yanardağlardan çıkan lavlar plato goller ve akarsular üzerinde 100-150 m kalınlığında, farklı senlikte bir tuf tabakası meydana getirmiştir (Şekil 4). Bu tabakanın yapısında tufun dışında tuffit ıgnımbrit tut, lahar volkan kulu, kıl kumlası, marn. aglomera ve bazalt gibi kay a lar da bulunmaktadır.

Ana kayalardan püsküren maddelerle şekillenen plato, şiddeti daha küçük volkanların püskürmeleriyle silreklı değişime uğramıştır. Üst Pliosen'den başlayarak, başta Kızılırmak olmak u/cre akarsu ve gollerin bu tuf tabakasını

aşındırmaları nedeniyle bölge bugünkü halını almıştır.

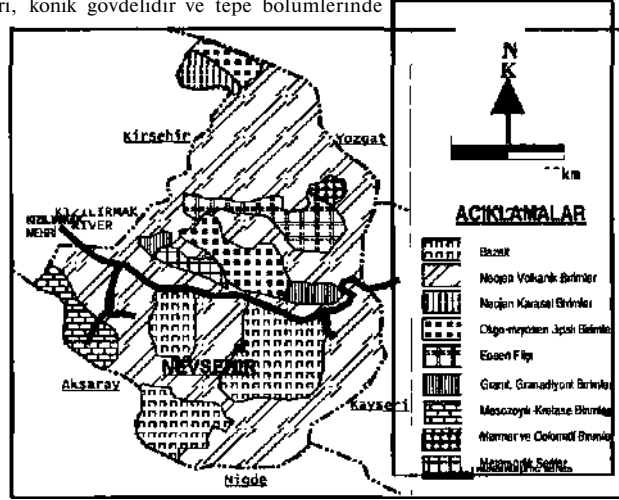


Şekil 4 Asidik pomzadan bir görünüş

Nevşehir ılı civarında hakim olan jeolojik yapı Neojen birimleridir (Şekil 5). Bunun dışında Kızılırmak'ın güney bölgesinin jeolojik yapısını bazalt ve Mesozoik yaşlı tabakalar, ırmağın kuzey bölgesini Olıgo-miyosen jıpslı birimler, Eosen fışı, metamorfik sen ve gramlık tabakalar oluşturur. "Peribacası" 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 bloğu yer almaktadır. Gövde tüf, tüfit ve volkan külünden ibaret bir kayaçtan, şapka kısmı ise lahar ve ignimbrit gibi sert kayaçlardan oluşmaktadır. Dolayısı ile şapka, gövdeye oranla daha dayanıklı bir kaya türüdür. Bu olay peribacasının oluşumunun ilk şartıdır. Şapakadaki kayanın direncine bağlı olarak peribacaları uzun veya kısa ömürlü olabilmektedir (Açıkgöz ve Öz, 1980).



Şekil 5. Nevşehir civarının genelleştirilmiş jeolojik haritası

Yörede birçok 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 m<sup>3</sup>'ü aşan pomza rezervi saptanmıştır. Daha önce bahsedildiği gibi otokton ve allokton olarak oluşan pomzalar farklı yerlerde farklı özelliklerde gözlenmektedirler.

Çalışma alanında yaklaşık 16 km<sup>2</sup> lik alan kaplayan pomzalar oluşum ortamı ve farklı depolanma şekilleri dikkate alınarak üpomorfolojik olarak dört ayrı şekilde incelenmiştir (Erdoğan, 1997).

Başköy Pomzası; çalışma alanı güneyinde bulunan Başköy yol yarmasında gözlenen bu pomza oluşumları kumlası, çakıltası-kumtaşı ardalımasından oluşan Taşkınpaşa formasyonu Başköy üyesi içinde yer almaktadır.

Keçiderebenti Pomzası; bu pomzalar otokton pomzalar olarak değerlendirilmektedir. Straligrafik yeri Kızılkaya ignimbirileri ile Güzelöz gölsel sedimanları arasında olan pomzalar gayet iri bloklar halinde gözlenmektedirler. Üzeri gölsel sedimanlarla örtülü olan otokton pomzalar Şahinefendi Köyü

yakınında bulunan Keçiderebenti, Cevizli, Akpınar, Nalbant Mezarı ve Büyükkıran sirtlarında net olarak gözlenebilmektedirler.

Alahopu Pomzası; otokton pomzaların aşınma, taşınma ve depolanması ile oluşan pomzalar çatışma alanının B ve KB'sında yaklaşık olarak 10 km<sup>2</sup>'lik bir alanda gözlenirler, işletilmekte olan bu ocakta yöredeki diğer ocaklara benzer istif gözlenmiştir.

Yamaç Molozları Şeklinde Pomzalar; daha önce oluşan pomzaların su ve rüzgârın etkisiyle [aşınıp bir yerde birikmesinden oluşan bu pomzalar güncel oluşuklardır. Şahinefendi Köyü'nün güneyinde, doğusunda ve kuzeydoğusunda gözlemek mümkündür.

### 3. MATERYAL VE METOT

Pomzaların hafif yapı malzemesi olarak betonda kullanılabilirliğinin araştırılmasında fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi son derece önemlidir. Beton agregası olarak kullanılacak pomzaların yapısal özelliklerinin tespiti ve kullanım kriterlerini daha iyi saplayabilmek için araştırma

bölgesinden alınan numuneler Çukurova Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölüm Laboratuvarlarına getirilerek deneyleri yapılmıştır. Beton üretiminde kullanılan malzemeler;

Çimento; ana hammaddeleri kalkerle kil olan ve mineral parçalarını (kum, çakıl, tuğla, briket, vs) yapıştırmada kullanılan bir malzemedir. 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 pişirilmesi ile klinker oluşturulur. 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 Sanayimden alınan Portland Çimento (PC 32,5) kullanılmıştır.

Agrega, beton üretiminde kullanılan kum, çakıl, kırma taş gibi malzemelerin genel adı agregadır. Beton içinde hacimsel olarak %60-75 civarında yer işgal eden agregadır. Önemli bir bileşendir. Agregalar tane boyutlarına göre ince (kum, kırma kum gibi) ve kaba (çakıl, kırma taş gibi) agregalar olarak ikiye ayrılır. Agregalar; sert, dayanıklı ve boşluksuz olmaları, zayıf taneler içermemeleri, basınca ve aşınmaya dayanıklı olmaları, toz, toprak gibi betona zarar verebilecek maddeler içermemeleri, yassı ve uzun ianeler içermemeleri, çimentoyla zararlı reaksiyona girmemeleri istenir.

Betonda kullanılacak agregalar TS 706 EN 12620'ya uygun şekilde alınmıştır. Bu çalışmada kullanılan asidik pomza agregaları Nevşehir'de faaliyet gösteren Serhat Madencilik ve Soylu Madencilğe ait ocaklardan bazik pomza agregaları ise Kurnel Madencilğe ait ocaktan alınmıştır.

Karışım suyu; kuru haldeki çimento ve agregayı plastik, işlenebilir bir kütle haline getirme ve çimento ile kimyasal reaksiyon yaparak plastik kütlelerin sertleşmesini sağlama işlevini yerine getirmektedir.

Betonun kıvamı m<sup>3</sup>'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. Bu çalışmada karışım suyu olarak normal içme suyu şebekesinden alınan 20°C su kullanılmıştır.

#### 4. LABORATUAR DENEY SONUÇLARI

Tüvenan haldeki pomza örnekleri kırma ve öğütme işlemlerinden sonra kimyasal analizleri

yapılarak pomzaların içerdikleri mineral miktarları tespit edilmiştir. Bu deneylerden sonra numuneler elenerek beton granülometresine uygun olacak şekilde elek analizleri yapılmış ve her bir elek aralığı için birim hacim ağırlık ve su emme deneyleri yapılmıştır.

Pomzaların birim hacim ağırlığı, belirli bir hacmi dolduran pomza tanelerinin oluşturduğu ağırlıktır. Nem, pomza tanelerin birbirleriyle olan etkileşimlerini ve haliyle de birim ağırlıklarının değiştirmektedir. Bu yüzden pomzaların su emme yetenekleri, hızları ve içerdiği nem yüzdeleri endüstri alanında kullanılabilirlik açısından sıkça kullanılan fiziksel bir özelliktir.

#### 4.1. Bazaltik Pomza

Yapılan kimyasal analizler neticesinde bazaltik pomza da ortalama %45,95 SiO<sub>2</sub>, %19,95 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %7,53 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %13,23 CaO, %6,24 MgO, % 6,69 Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O ve % 0,41 diğer tali bileşenler bulunmaktadır (Çizelge t).

Çizelge I. Bazaltik pomzanın kimyasal analizi

Bileşim	Ortalama
SiO <sub>2</sub>	45,95
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,95
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,53
CaO	13,23
MgO	6,24
Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	6,69
Diğer	0,41
Toplam	100,00

Toprak kale bazaltik pomzası TS 3529 ve 3526 standart 1 arında belirtilen kriterlere göre deneyleri yapılmış her bir granülometriye göre elde edilen birim hacim ağırlık ve su emme değerleri tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Bazaltik pomzaların birim hacim ağırlık ve su emme değerleri

Elek aralığı (mm)	Birim Hacim Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	Su Emme (%)
>16	660,3817,26	31,8813,49
16-8	684,46+9,69	24,8712,84
8^1	740,72±28,76	19,2710,88
4-2	784,41137,60	13,8611,41
2-1	917,51111,80	11,1410,85
1-0,5	1057,45136,98	8,5210,77
<0,5	1317,11194,60	6,0410,63

#### 4.2. Asidik Pomza

Yapılan kimyasal analizler neticesinde asidik pomza da ortalama %71,12 SiO<sub>2</sub>, %16,30 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %1,72 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %0,63 CaO, %0,52 Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O ve %9,70 diğer tali bileşenler bulunmaktadır (Çizelge 3).

Çizelge 3. Asidik pomzanın kimyasal analizi

Bileşim	%
SiO <sub>2</sub>	71,12
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,30
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,72
CaO	0,63
Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	0,52
Diğer	9,70
Toplamı	100

Nevşehir asidik pomzası TS 3529 ve 3526 standartlarında belirtilen kriterlere göre deneyleri yapılmış her bir granülometriye göre elde edilen birim hacim ağırlık ve su emme değerleri tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4'de verilmiştir.

Çizelge 4. Asidik pomzaların birim hacim ağırlık ve su emme değerleri

Elek aralığı (mm)	Birim Hacim Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	Su Emme (%)
>16	311,45 ± 8,95	53,05 + 1,36
16-8	334,75 ± 9,50	45,30 + 1,15
%-A	370,73 ± 16,61	37,42 ± 1,27
4-2	416,39 ± 20,94	31,13 + 1,83
2-1	513,61 ± 25,81	27,11 + 1,55
1-0,5	597,80 ± 43,70	22,26 ± 0,29
<0,5	683,81 ± 33,59	16,96 + 0,87

#### 4.3. Ceyhan Kireçtaşı

Yapılan kimyasal analizler neticesinde kireçtaşlarında ortalama %0,32 SiO<sub>2</sub>, %0,74 MgCO<sub>3</sub>, %0,14 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %95,87 CaCO<sub>3</sub> ve %2,90 diğer tali bileşenler bulunmaktadır (Çizelge 5).

Çizelge 5. Ceyhan kireçtaşının kimyasal analizi

Bileşim	%
SiO <sub>2</sub>	0,32
MgCO <sub>3</sub> *	0,74
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,14
CaCO <sub>3</sub>	95,87
Diğer	2,90
Toplam	100

Ceyhan kireçtaşları TS standartlara uygun olarak deneyleri yapılmış her bir granülometriye göre elde edilen birim hacim ağırlık ve su emme değerleri tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 6. Kireçtaşının birim hacim ağırlık ve su emme değerleri

Elek aralığı (mm)	Birim Hacim Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	Su Emme (%)
>16	1533+78	0,86±0,37
16-8	1609+85	0,79±0,33
8-4	1711+89	0,73±0,31
4-2	1878±102	0,66±0,26
2-1	2102±163	0,59±0,23
1-0,5	2380±189	0,54±0,22
<0,5	2589±201	0,52±0,19

## S. BETON KARIŞIMI VE ÜRETİMİ

Pomza ardan elde edilen beton örneklerinin dayanımlarının tespiti için pomza agregaları TS 706 EN 12620'ye göre 16-8. 8-4. 4-2. 2-1. 1-0,5, <0,5 elek aralıklarında sınıflandırılmıştır.

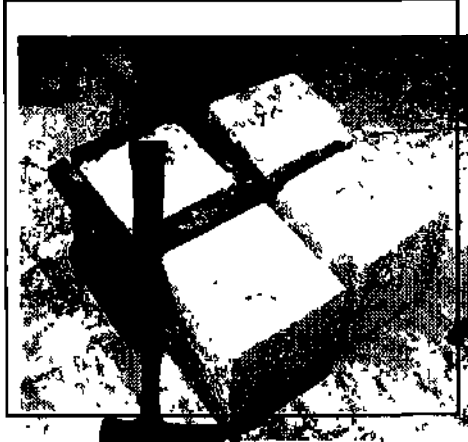
Türk Standartlarına uygun olarak belirlenen beton karışımları (harç) 15 x 15 x 15 cm boyutlarındaki beton kalıplarına doldurulmuştur. Beton harçları küp kalıplar içerisinde pirizlendikten sonra 1 hafta süreyle su altında bırakılmış ve sonrasında kalıplardan çıkartılmıştır. Daha sonra 7 - 14 - 28 ve 90 günlük zaman süreleri içerisinde zamanı gelen küp bloklardan karotlar alınmış ve deneyleri yapılmıştır (Şekil 6).

### 5.1. Bazaltik Pomza Beton Karışımları

Beton dayanım hesaplamalarında su, çimento ve agrega karışımları büyük bir önem arz etmektedir. Bu amaçla optimum beton karışımları için onlarca test yapılmış ve bazaltik pomzadaki en uygun karışımı değerleri TS 706 EN 12620 kuralları da göz önüne alınarak belirlenmiş ve Çizelge 7'de verilmiştir (Atış vd., 2000, Yaşar vd., 2004).

Pomza numunelerinden hazırlanan beton döküldükten sonra ilk olarak yaş ve kuru birim hacim ağırlıkları tespit edilmiş Çizelge 8'de verilmiştir.

Bazaltik pomza agregalarından oluşan beton bloklarından deney zamanı gelince karotlar alınmak suretiyle tek eksenli basma ve çekme dayanım değerleri belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 9, Şekil 7 ve 8'de verilmiştir.



Şekil 6 Pomza agregasından yapılmış beton numuneleri

Çizelge 7 Bazaltik pomzadan üretilen betonun agrega, sıt ve çimento karışım oranları

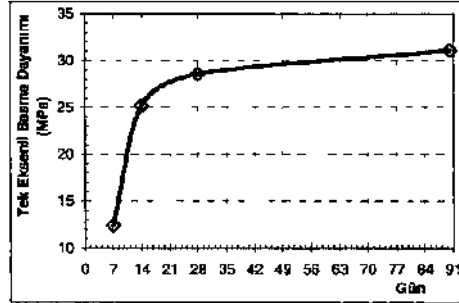
Tane Boyutu (mm)	Kullanılan Malzeme Miktarı (kg/m <sup>3</sup> )
16-8	270
8-4	225
4-2	158
2-1	113
1-0,5	115
<0,5	225
<b>ÇİMENTO</b>	450
<b>SU</b>	270

Çizelge 8 Toprakkale bazaltik pomzası kullanılan betonunun yaş ve kuru haldeki bınm hacim ağırlıkları (kg/m<sup>3</sup>)

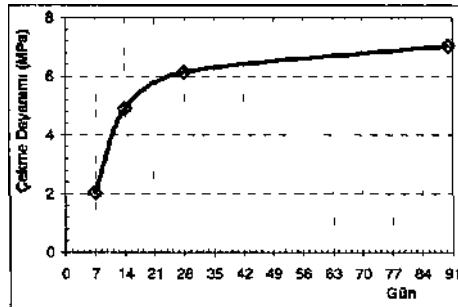
Süre	Ortalama
1 Gınluk(Yaş)	1786,9±19,7
7 Gınluk	1695,3±35,8
14 Gınluk	1655,4±29,2
28 Gınlük	1630,3±29,2
90 Gınluk	1618,9±25,7

Çizelge 9 Toprakkale bazaltik pomzasından mamul beton örneklarının zamana bağı tek eksenli basma ve çekme dayanım (Brazilian) deney sonuçları (MPa)

Gün	Basma Dayanım	Çekme Dayanımı
7	12,41±1,87	2,04±0,37
14	25,19±5,19	4,89±0,73
28	28,55±5,16	6,13±0,62
90	31,05±3,46	7,02±1,04



Şekil 7 Topiakkale bazaltik pomzasından mamul karot örneklarının zamana bağı tek eksenli basma dayanımı değışim grafiğı



Şekil 8 Toprakkale bazaltik pomzasından mamul karot örneklarının zamana bağı çekme dayanımı değışim grafiğı

## 5.2. Asidik Pomza Beton Karışimleri

Nevşehir bölgesi asittik pomzalannın beton yapımı için en uygun karışım değıerleri TS 706 EN 12620 kuralları da göz önüne alınarak belirlenmiş ve Çizelge 10'da verilmiştir

Çizelge 10 Asidik pomzadan üretilen betonun agrega, su ve çimento karışım oranları

Tane Boyutu (mm)	Kullanılan Malzeme Miktarı (kg/m <sup>3</sup> )
16-8	189
8-4	180
4-2	144
2-1	99
1-1,5	117
<0 5	180
<b>Çimento</b>	<b>450</b>
<b>Su</b>	<b>545</b>

Pomza numunelerinden hazırlanan beton döküldükten sonra ilk olarak yaş ve kuru birim hacim ağırlıkları tespit edilmiş Çizelge 11'de verilmiştir.

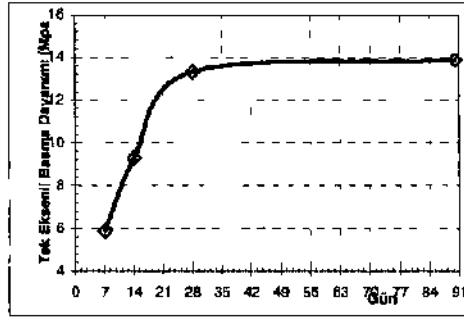
Çizelge 11 Nevşehir asıdık pomzası kullanılan betonunun yaş ve kuru haldeki birim hatun ağırlıkları (kg/m<sup>3</sup>)

Süre	Ortalama
1 Gunluk (Yaş)	1802,9±21,7
7 Gunluk	1650,3±26,0
14 Gunluk	1525,7±25,3
28 Gunluk	1437,5±14,5
90 Gunluk	1403,5± 19,8

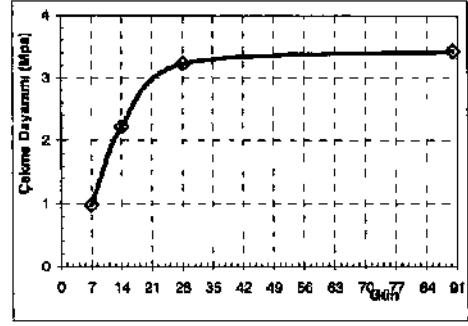
Asıdık pomza agregalarından oluşan beton kalıplardan deney zamanı gelince karotlar alınmak suretiyle tek eksenli basına ve çekme dayanım değerleri belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 12, Şekil 9 ve 10'da verilmiştir

Çizelge 12 Nevşehir asıdık pomzasından mamul beton örneklerinin zamana bağlı tek eksenli basına ve çekme dayanım (Brazilian) deney sonuçları (MPa)

GÜD	Basma Dayanımı	Çekme Dayanımı
7	5 87±0 80	0 9810 24
14	9 28±1 27	2 2210 18
28	13 34±1 36	3 2210 74
90	13,86±191	3,4210 61



Şekil 9 Nevşehir asıdık pomzasından mamul karot örneklerinin zamana bağlı tek eksenli basına dayanımı değişim grafiği



Şekil 10 Nevşehir asıdık pomzasından mamul karot örneklerinin zamana bağlı çekme dayanımı değişim grafiği

### 5.3. Ceyhan Kireçtaşı Beton Karışımları

Nevşehir bölgesi asıdık pomzaları ile Toprakale yöresi bazık pomzaiarımdan elde edilen beton deney sonuçlarının karşılaştırılması ve pomzadan elde edilen beton değerlerinin daha iyi anlaşılabilmesi için Ceyhan yöresinden kırma taş olarak alınan kireçtaşı agregalarının beton yapımı için en uygun karışım değerleri TS 706 EN 12620 kuralları ile önceden yapılan bilimsel yayımlar derlenerek belirlenmiş ve Çizelge 13'de verilmiştir (Kocal, 1999, Yaşar, vd, 2004)

Ceyhan kireçtaşlarından hazırlanan beton harcı döküldükten sonra ilk olarak yaş ve kuru birim hacim ağırlıkları tespit edilmiş Çizelge 14'te verilmiştir

Beton kalıplardan deney zamanı gelince karotlar alınmak suretiyle tek eksenli basına ve çekme dayanım değerleri belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 15, Şekil 11 ve 12'de verilmiştir

Çizelge 13 Kireçtaşlarından üretilen betonun agrega, sır ve çimento karışım oranları

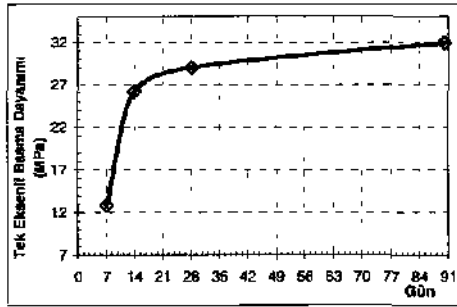
Tane Boyutu (mm)	Kullanılan Malzeme Miktarı (kg/m <sup>3</sup> )
16-8	540
8-4	450
4-2	320
2-1	220
1-0,5	270
<0,5	450
<b>Çimento</b>	<b>450</b>
<b>Su</b>	<b>225</b>

Çizelge 14. Kireç taş lan kullanılarak hazırlanan betonunun yaş ve kuru haldeki birim hacim ağırlıkları (kg/m<sup>3</sup>)

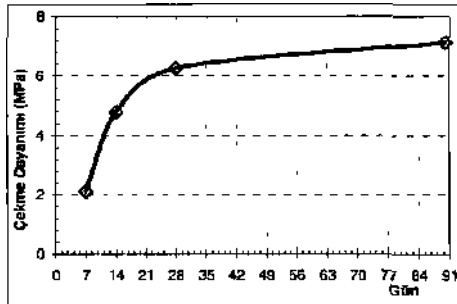
Süre	Ortalama
1 Günlük (Yaş)	2610
7 Günlük	2520
14 Günlük	2470
28 Günlük	2425
90 Günlük	2395

Çizelge 15. Ceyhan kireçtaşlanndan mamul beton örneklerinin zamana bağlı tek eksenli basma ve çekme dayanım (Brazilian) deney sonuçları (MPa)

Gün	Basma Dayanımı	Çekme Dayanımı
7	12,84±1,39	2,11±0,39
14	26,20±1,17	4,79±0,78
28	29,02±1,61	6,26±0,65
90	31,94±1,63	7,12±1,04



Şekil 11. Ceyhan kireçtaş I arından mamul karot örneklerinin zamana bağlı tek eksenli basma dayanımı değişim grafiği



Şekil 12. Ceyhan kireçtaşlarından mamul karot örneklerinin zamana bağlı çekme dayanımı değişim grafiği

## 6. SONUÇLAR

Toprakkaie bazik ve Nevşehir asidik pomzalarının kullanılması ile hazırlanan beton örnekleri üzerinde yapılan birim hacim ağırlık, basma ve çekme dayanımı deneylerinin sonuçlarına göre, bölgede çıkardan asidik pomzanın yüksek dayanım ve düşük yoğunluktan dolayı hafif beton yapımında agrega olarak kullanılabilirliğinin mümkün olduğu görülmektedir.

Toprakkaie Bölgesinde üretilmekte olan bazik pomzanın oldukça yüksek mukavemet değerleri gösterdiği görülmüştür. Nevşehir asidik pomzanın mekanik değerleri bazik pomzaya göre daha düşük olmasına karşın birim hacim ağırlık olarak oldukça hafif bir malzeme olması bu malzemenin hafif yapı malzemesi olarak kullanılabilirliğini göstermektedir. Pomza deney sonuçlarıyla karşılaştırılması amacıyla Ceyhan yöresinden alınan kireçtaş ların m, Toprakkaie bazaltik pomza numunelerinden mekanik özellik olarak çok fazla farkı olmamasına karşın birim ağırlık bakımından oldukça yüksek bir değer sunmaktadır. Bu sonuçlar bazik pomzanın yapı sektöründe kullanılabilirliğini oldukça arttırmaktadır. Günümüzde beton agregası olarak kullanılan kireçtaşları bir tarafa bırakıp pomzadan mamul hafif beton yapı ve inşasına olanak sağlanmalıdır.

Asidik pomza kullanılarak yapılan hafif betonlar binalarda taşıyıcı elemanlara ve zemine daha az ölü yük uygulayacağından depreme karşı daha dayanıklı olacaktır ki bunun önemi de son yıllarda ülkemizde gerçekleşen depremlerin ardından daha iyi anlaşılmaktadır. Ayrıca pomza kullanılarak yapılan binalarda ısı ve ses yalıtımı sağlanacağından ısıtma ve soğulma giderleri büyük oranlarda azalacaktır. Bu da başta enerji tasarrufu sağlaması ve çevre kirliliğini azaltması sebebiyle yurdumuza milyonlarca dolarlık tasarruf sağlayacaktır.

## KAYNAKLAR

- Açıkgöz, F., Oz, M., 1980; Nevşehir Ürgüp, Kaymaklı çevrelerinin pomza prospeksiyon raporu, MTA, Ankara
- Atış, C. D., Akçaözöglü, K., Özcan, F., 2000; Su-Çimento oranının beton dayanımına etkisi. *Ç.Ü. Müh. Mim. Fak. Dergisi*. S.91-98
- Batum, !.. 1978; Nevşehir'in Güneybatısındaki Güllüdağ, Acıgöl yöresi volkanitlerinin jeoloji ve petrografisi. *Yer Bilimleri*, C:4. No: 1, 2. 50-69
- Bilgin, A..Z. ve Ercan, T., 1981; Ceyhan-Osmaniye yöresindeki kuvaterner bazaltlarının jeolojisi, *Türkiye Jeoloji Kurumu Bütten*,. 42/1, 21-30.
- Çağlayan, M., Kahrıman, A., 2003; Alternatif beton

E Yaşar & Y. Erdoğan

- agregası olarak pomza ve kent mobilyalarında kullanılabilirliği, *3.Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, İstanbul. Sf.285-291
- Doyuran, V., 1980; Erzincan-Dörtöyl ovalarının hidrojeolojisi ve yer altı suyu işletme çalışmaları, ODTÜ Müh. Mim Fak. Jeoloji Müh. Doçentlik Tezi, 885 s. (yayınlanmamış).
- Erdoğan, M., 1997; Nevşehir-Ürgüp dolaylı sünger taşı yatakları ve özellikleri, *J. İsparta Pomza Sempz.* 213-218.
- Gündüz, L., 1998; *Pomza Teknolojisi*, Cilt I, İsparta.
- Gündüz, L., 1998; *Pomza Teknolojisi*, Cilt II, İsparta
- Popovics, S., 1992; "Concrete materials, properties, specifications and testing", *Noyex Publications*, New Jersey, US.
- TS 706 EN 12620. 2003; *Belon Agregahn*, Ankara, Turkey.
- TS 1114 EN 13055-1, 2004; Hafif Agregalar-Bölüm 1: Beton, Harç ve Şerbette kullanım için, Ankara
- TS 3526 1980; Beton agregalarının Birim Ağırlıklarının Tayini, Ankara.
- TS 3529, 1980; Beton agregatlarında Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini, Ankara.
- Kocal. F., 1999; Trabzon-Maçka Başar taşocağındaki kireçtaşının agrega olma açısından incelenmesi, *Türkiye 16, Madencilik Kongre. İ.*, Ankara, 279-285.
- Yaşar, E., Erdoğan, Y.. 2001; Toprakkale 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.



## Uçucu Küllerin Özellikleri ve Kullanım Alanları

G. Güler, E. Güler, Ü. İpekoğlu, H. Mordoğan  
Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye

**ÖZET:** Günümüzde kömür en önemli enerji kaynaklarından biridir. Ülkemizde enerji ihtiyacını karşılamak üzere kurulan büyük kapasiteli kömür yakan termik santrallerde, düşük kalorili, kül oranı yüksek linyitler kullanılmaktadır. Kömürün yanması sonucunda uçucu kül, cüruf ve baca gazı gibi atıklar oluşur.

Türkiye'de bir yılda yaklaşık 45 milyon ton kömür yakılmakta ve ortalama 15 milyon ton uçucu kül üretilmektedir. Bu ise önemli derecede ekonomik ve çevresel problemler meydana getirmektedir. Oysaki uçucu küller endüstriyel atık olarak geri kazanılmaya elverişli bir malzeme olup değişik sektörlerde değerlendirme olanakları vardır. Bu çalışmada; uçucu küllerin özellikleri, kullanım teknolojileri ve dünyadaki kullanım alanları özetlenmiştir.

**ABSTRACT:** Coal stands as one of the prominent energy resources in our day. In the coal-combustion huge capacity power plants, which were set up, to meet the energy need in our country, low calorie lignites having a high content of ash are being utilized. The combustion of coal yields waste products such as fly ash, slag and flue gas.

In Turkey, approximately 45 million tons of coal is combusted annually and an average of 15 million tons of fly ash are produced which brings up an important economic and environmental issue. In fact, fly ashes are suitable for industrial recovery and they have a wide range of uses in various sectors. In this study, the properties, consumption technologies and utilization areas of fly ashes in the world have been outlined.

### 1 UÇUCU KÜL "TANIMI VE ÖZELLİKLERİ"

#### 1.1 Uçucu külün Tanımı

Uçucu kül üretimini; santral tipi, işletim biçimi, yakılan kömürün cinsi, yanma biçimi gibi çeşitli faktörler etkilemekle birlikte genel olarak elektrik enerjisi üreten termik santrallerde kullanılan taşkömürünün %10-15'inin, linyit kömürünün ise %20-50'si kül olarak ortaya çıkmaktadır. Yanma sonucu ortaya çıkan külün %75-85'i baca gazları ile kazandan çıkar ve bu atıklar "uçucu kül" olarak tanımlanırlar. Santral lide, baca gazlarından uçucu küllerin tutulması amacıyla genel olarak yüksek verimli elektrolitler kullanılmaktadır (Morrison, 1970).

#### 1.2. Küllerin Özellikleri

Uçucu külün fiziksel, kimyasal, minerolojik ve puzalonik özelliklerinin en belirgin ortak yanı, bunların yöreden yöreye, hatta aynı yörede dahi değişkenlik göstermeleridir.

Bu değişkenlik;

- ☞ Uçucu külün kaynağının oluşturan kömürün türü ve değişkenliğine,
- ☞ Kömürün yakılmadan önceki öğütülme (pulvarizasyon) derecesine.
- ☞ Kazan türüne.
- ☞ Yakma sıcaklığı ve diğer işletme parametrelerine,
- ☞ Kül toplama ve uzaklaştırma sistemlerinin özellikleri ve işleyişine.
- ☞ Çevre korunması amacıyla kömüre ilave edilen katkı maddeleri gibi faktörlerden ve faktörlerin de zamana göre

değişebilmelerinden kaynaklanan özelliklere bağlıdır (Kefelioğlu, 1998; Hycnar, 1983).

### 1.2.1. Uçucu Küllerin Fiziksel Ve Kimyasal Özellikleri

Uçucu kül, koyu gri renkte, çok ufak taneli bir malzemedir. Renginin koyuluğu açıklığı, elde edildiği kömüre ve yanış özelliğine bağlıdır. Yanmanın tam olmadığı durumda oluşan uçucu küle siyah renk veren içindeki yanmamış karbondur. İyi yanma sonucu oluşan uçucu kül diğerine göre daha açık renktedir.

Uçucu külün İnceliği öncelikle kazana verilen kömürün öğütülme derecesine bağlıdır, inceliğe etki eden ikinci faktör, küllerin mümkün olabildiğince bacadan kaçmasına mani olunarak tutulmasıdır. Bacadan kaçan kısım azaldıkça incelik artar. Boyutları genellikle 0.5 ile 200 mikron arasında değişen, camsı ve çoğunlukla küresel karakterdeki parçacıklardır. Spesifik yüzeyleri 1800 - 5000 cm<sup>2</sup>/gr arasında değişmekle birlikte, ortalama 2800 - 3800 cm<sup>2</sup>/gr dolayındadır.

Uçucu külün yoğunluğu; inceliğine ve mineralojik yapısına bağlıdır. İçi dolu küresel tanelerden meydana gelen uçucu küllerin mutlak yoğunluğu 2.2 - 2.7 gr/cm<sup>3</sup> arasındadır (EtE, 1979 ve 1982).

Kimyasal kompozisyon olarak incelendiklerinde, uçucu küllerin, SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve MgO'nun yer aldığı bileşiklerden oluştuğu görülmektedir. İçerisinde bulunabilen karbon miktarı kömür tipine ve yakma işlemine göre değişiklikler göstermektedir. Ayrıca, kullanılan kömür tipine bağlı olarak bazılarında önemli miktarda CaO bulunabilmektedir. Türkiye'de bu tür bir sınıflandırma mevcut olmamakla birlikte, bazı ülkelerin standartlarında, %10'dan daha fazla miktarda CaO bulunduran küller "yüksek kireçli uçucu kül" olarak tanımlanmaktadır (Kefelioğlu, 1998).

Mineralojik ve kimyasal özellikler açısından uçucu küller, içi boşlukta ve boşluksuz, camsal kürecikler süngerimsi mineral parçacıklar ve yanmamış taneciklerden oluşurlar. Kimyasal yapılarında temel element olarak Si, Al, Ca ve S bulunur. Uçucu küllerin matrisi esas olarak alümina silikatlardan ve bunlarla birlikte bulunabilen Fe, Mg, Na, K, Ca, Ti ve nadir toprak elementlerinden oluşur. Uçucu olan veya uçucu oksitleri oluşturan As, Cd, Ga, Mo, Pb, Se ve Zn gibi elementler matrisine girme eğilimi göstermezler. Bu elementler derişimleri tane boyutu ile ters orantılı olarak uçucu küllerin yüzeylerinde toplanırlar (Çancı vd., 1997).

### 1.2.2. Uçucu Küllerin Puzolanik Özelliği

Puzolanlar, kendileri hidrolik bağlayıcı olmamalarına karşın ince olarak öğütüldüklerinde nemli ortamda ve normal sıcaklıkta kalsiyum hidroksille reaksiyona girerek bağlayıcı özellikte bileşikler oluşturan doğal veya yapay malzemelerdir.

Puzolanlar, gerek çimento yapımı sırasında klinkerle birlikte öğütülerek, gerekse şantiyede çimentoya yapının özelliğine göre değişik oranlarda katılarak beton yapımında kullanılmaktadır. Puzolanların kullanılması ekonomi dışında çimento ve betona pek çok iyi özellikler kazandırmaktadır. Diğer bir deyimle puzolanlı çimentolara, hataları düzeltilmiş portland çimentoları denebilir.

Uçucu küller de puzolanik özellikleri nedeni ile puzolan olarak kullanılabilen malzemelerdir. Ancak, çimento veya klinkere katılacak puzolanların belirli bir özellikte olması gerekmektedir. Klinker ve beton uçucu küllerinin sahip olması gereken özellikler "Türk Standartlarında" TS - 639 ve TS - 640'da verilmiştir.

Gerek çimento fabrikasında klinkere, gerekse şantiyede çimento içerisine katılacak uçucu külün mutlaka puzolanik özelliğinin tespit edilmesine ihtiyaç vardır, istenen düzeyde puzolanik aktivitesi olmayan uçucu kül bu iki amaç için kullanılamaz. Gerekli puzolanik aktiviteye ek olarak, uçucu külün kimyasal Özelliklerinin (SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SO<sub>3</sub>, kızdırma kaybı, nem, alkaliler) ve fiziksel Özelliklerinin (incelik basınç dayanımı, büzülme, su alma kapasitesi, çimento alkalinitesi ile şişme) de bilinmesi gerekmektedir. Farklı ülkelerin standartlarında bu sayılan fiziksel ve kimyasal özelliklerin bazıları veya tümü İstenmektedir.

Yukarıda belirtildiği gibi, uçucu küllerle ilgili olarak Türk Standartları Enstitüsü'nce hazırlanmış olan iki standart bulunmaktadır.

^ TS 639 "Uçucu Kül": Uçucu küllerin tanımı, sınıflandırılması, özellikleri, deney yöntemleri ve kalite kontrolü ile ilgilidir. Uçucu küllerin kimyasal özellikleriyle ilgili olarak getirilen sınırlandırmalar aşağıda Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1 TS 639'da Belirtilen Uçucu Kulun Kimyasal Özellikler

O/ellikler	Standart Sınırları
$SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$	en AL %70
MgO	en çok %5
SO <sub>2</sub>	en çok fr5
Rutubet	en çok %3
Kızdırma Kaybı	en çok % 10

TS 640 'Uçucu Kullu Çimento" Bu standart, uçucu kullu çimentoların tartıme, fiziksel ve kimyasal özelliklerine muayene ve deneylerine piyasaya arz şekillen ile denetleme esaslarına aittir (Kcfehoğlu, 1998)

## 2. UÇUCU KULLERİN KULLANIM ALANLARI

Uçucu kul üzerinde yapılan araştırmalar son 25 yılda büyük yoğunluk kazanmıştır. Öncelen daha çok uçucu kulun genel yapısı ve özellikler ile kullanım olanaklarına yönelik çalışmalar, zamanla laboratuvar ve arazide geçek leşim len analizlerle geliştirilmiş, sonuçta uçucu kulun inşaat alanında, özellikle yol yapımında kullanılmasının, termik santrallerde büyük mertebelerde atık madde olarak oluşan bu malzemenin uzaklaştırılması sorununa çözüm getireceği açığa kavuşmuştur. Yapılan çalışmaların sonucunda, uçucu kulun özellikle yol yapımında, zemin stabilizasyonunda, ayrıca dolgu ve enjeksiyon işlemlerinde kullanılması öngörölmüş tur (Seals, 1977)

Çeşitli nedenlerle uçucu kulun yapısı ve özellikler zamana ve yere göre büyük değişkenlik gösterdiğinden, birçok gelişmiş ülke kulun larklı alanlarda kullanılmasını geçerli kılacak standartlara ihtiyaç duymuştur. Bu nedenle uçucu külle ilgili standartların belirlenmesi için yoğun çalışmalar yapılmışın (Ovens 1979, Morisson, 1970). Ülkemizde bu konuda Türk Standartları Enstitüsü tarafından TS-639 'Uçucu Kuller" ve TS 640 'Uçucu Kullu Çimento" standartları çıkarılmıştır (E(E, 1979, 1982)

Uçucu küller dünyada çimento ve beton olarak baraj duvarları kopru ayakları, maden ve diğer yapıların dolgu enjeksiyonlarında ve diğer pek çok inşaat yapılarında tarımda çatı bahçesi ve ağaçlandırma çalışmalarında, agrega olarak otayol kopru yol ve briket yapımında, endüstride hatıl mınıcal dolgu maddesi asfalt içinde dolgu maddesi, yol dıcnaj kanallaında kullanılmaktadır. Örneğin Frankfurt'ta HO m yükseklikteki Castor ve Pollux

gökdelenleri ile Madrid'le 171 m yükseklikteki Picasso gökdeleninin değişik bölümlerinde %20 ile %40 arasında, Lizbon'da Caixa Gérai Deposite bankasının binasında. Danimarka'da Great Bell East koprusunun yapımında, Finlandiya'da Permantokoski hidroelektrik santrali yapımında, Fransa'da Puylaurent barajında. Hollanda'da Eindhoven Havaalanı «uş pistinde, Avusturya'da yeraltı tren yolu tünellerinde. İtalya'da yerüstü elektrik direkleri yapımında. İskoçya'da Tornes Nükleer Enerji Santrali yapımında, İngiltere'de denize yapılmış, B P 'ye ait 570,000 vanlı ham petrol depolama kapasitesine sahip yapıda. Belçika'da 43 60 m yükseklikteki 4 adet uçucu kul depolama kuleunun yapımında ve İngiltere ile Fransa'yı birbirine bağlayan ve 100 yıllık kullanım için dizayn edilen hızlı tren hattının tunel inşaatında uçucu kul kullanılmıştır (Ecoba, 2001)

1960'lardan bu yana yapılan çeşitli araştırmalarda Türkiye uçucu küllerinin genellikle iyi kalitede olduğu ve çeşitli alanlarda kullanılabilceği onaya konmuştur (Kimya ve Maden Muh Odası, 1999). Ancak malzeme, ülkemizde pratik açıdan yeterli düzeyde tanınmamakta, kullanım alanları, teknik ve ekonomik yararlarına gerektiği kadar önem verilmemektedir. Dolayısıyla kullanımı yaygın hale gelmemiş durumdadır. Bu konuda gelişim sağlanabilmesi için, uçucu kul özelliklerinin ve standartların belirlenmesinin önemde kalite kontrol yöntemlerinin geliştirilmesi, taşıma ve özellikle pazarlama gibi faktörlerin incelenmesi zorunludur. Bugüne kadar yapılan çalışmalarda genel olarak Türkiye uçucu küllerinin, çimento kalkı maddesi olarak değerlendirilmesi, hafif agrega ve beton yapımında kullanılması, su yapıları ve inşaatlarında yararlanılması önerilmiştir (Kelehoğlu, 1998. DSİ, 1977)

Çizelge 2'de komur kulunun kullanım alanları sektörlerle göre sınıflandırılmıştır



getirilmiş olması koşuluyla, mühendisliğin çeşitli dallarından, endüstride çeşitli metallerin eldesine, hatta tarım alanına kadar çok geniş uygulama sahası bulabilir.

Termik santral alıklarının bu şekilde değerlendirilmesi, depolama sorununu büyük ölçüde ortadan kaldıracığı gibi, çevresel sorunları bertaraf edecek, özellikle kısıtlı diğer doğal hammaddelerden tasarruf edilmesini sağlayacak, bunların da ötesinde nitelik ve nicelik açısından daha iyi ürünler elde edilebilecektir.

#### **KAYNAKLAR**

- Cohen. H., Polat. M. & et alı (2001). "Chemical Scrubbing of Acidic Organic Effluents Using Coal Fly Ashes" Issue 5-6. Ore Dressing-Izmir
- Çana. B., Güleç. N., & Erler. A. (1997). "Kömür Yakıtlı Termik Santral lard akı Uçuu Kullerin Çevreye Etkisi". Genel değerlendirme. Selçuk Univ. Müh-Mim. Fak. 20. Yıl Jeoloji Semp., IS1 -187. Konya.
- Ecoba. (2001). Information Bulletin. Italy.
- EİE. (1979). "Türkiye Uçucu Küllerinin Özellikleri ve Kullanılma Olanakları". Ankara.
- EİE. (1982) "Türkiye uçucu küllerinin özellikleri" EİE Yayını. 82. 21-28. Ankara.
- Hycnar, J. (1983). Reducing harmful influence of power stations on the natural environmental by the utilization of fly ashes and slags. UNEP/USSR, Donetok.
- Kefeliogiu. S., "Türkiye Uçucu Küllerinin Özellikleri ve Kullanılma İmkanları" Teknoloji, 1998
- Nomura. M. "Japonya'da Kömür Küllü Kullanım Teknolojilerinin Günümüzdeki Durumu" X Mineral Processing Symposium. Çeçine, 2004
- Morrison. R.E. (1970). "A Review of Ash Specifications." Symposium on Fly Ash Utilization, pp. 24-31. Pittsburgh.
- Ovens. P.L. (1979). "Fly ash and its usage in concrete. Concrete" (GBt, 13. no. 7. 21-26.
- Seals. R.K. (1977). "Properties of bottom ash/boiler slag and fly ash. Short Course. Technology and Utilization of Power Plant ash", p.59.



## Borun Çevresel Etkileri Üzerine Türkiye'de Yapılan Bilimsel Araştırmalar

G.Doğan, E.Sabah & T.Erkal  
*Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon, Türkiye*

**ÖZET:** Bu çalışma kapsamında, borun çevresel etkileri üzerine son 10 yılda Türkiye'de gerçekleştirilen literatüre geçmiş araştırmalar incelenmiştir. Çalışmaya esas teşkil eden konular, bor ve/veya bor bileşiklerinin çevre, insan, bitki ve hayvan sağlığı üzerine etkileridir. Ülkemizde yapılan bilimsel araştırmalar, bor madeni işletmeciliği yapılan alanlara yakın yerlerde toprağın yüksek oranda bor tuzu içerdiğini, bunun bazı bitki türleri için olumlu, bazıları içinse olumsuz sonuçlar doğurduğunu göstermiş; bor minerali isteği fazla olan bitkilerin daha iyi geliştiği, diğerlerinin ise büyümelerini tam olarak lamamlayamadıkları tespit edilmiştir. Ayrıca, borun insan sağlığına ve gelişimine etkileri konusunda yapılan araştırmalarda, bor madeninde çalışan veya o bölgede yaşayan insanlarla olumsuz olarak nitelendirilebilecek bir etkiye rastlanmamıştır. Çevreye etkisine gelindiğinde, bor atıklı suların içme sularına karışmasının etkileri üzerinde durularak çözümler geliştirilmesi ve önlemler alınması gerektiği belirtilmiştir. Bu bildirinin, borun çevresel etkileri üzerine bundan sonra yapılacak çalışmalara ışık tutması ümit edilmektedir.

**ABSTRACT:** In this article, research studies carried out on environmental effects of borates reported in the in the last 10 years in Turkish literature are reviewed. The review encompasses the health effects of boron minerals or compounds on environment including human, animals and plants. Scientific investigations made in Turkey show that soil samples taken in the vicinity of boron mines contain considerable amounts of boron. While the boron content in some plants has favorable effect on its development, some others adversely affect depending on the threshold limits. Interestingly, studies conducted on effect of boron contamination on people residing in boron mines and boron mining regions show no significant health problem. It is proposed that strategies need to be developed to prevent mixing of boron containing waste waters into drinking waters. It is hoped that this work will provide an insight into the future studies on environmental effects of boron mines.

### 1 GİRİŞ

Bor; dünya ve özellikle de ülkemiz için: . stratejik Önem sahip, yer altı zenginliklerinin en önemlilerinden biridir. Bor, atom numarası 5 olup, periyodik cetvelin 3'ncü ana grubunda [toprak metalleri grubunda] yer alan elementtir. Ergime sıcaklığı, 2076 - 2300°C; buharlaşma sıcaklığı, 3927°C; yer kabuğunda bulunma sıklığı ise 10 ppm'dir. Bor elementi doğada sodyum, kalsiyum ve magnezyum oksitlerine bağlı ve kristal suyu içeren mineraller halinde bulunur. Bu mineraller bor madenleri veya bor tuzları adı verilmektedir (Duman 2003).

Dünya bor rezervinin %64'üne sahip olan ülkemizi, sırasıyla ABD, Arjantin, Peru, Rusya ve Çin izlemektedir. Üretim açısından ise ülkemiz bor

üreten altı ülke içerisinde ABD'den sonra ikinci sırada yer almakta ve üretimin hemen hemen tamamına yakın kısmı işlendikten sonra ihraç edilmektedir (Velioglu vd. 1999; Velioglu vd. 2003).

Bor başlıca cam ve deterjan endüstrileri olmak üzere sanayinin pek çok alanında yaygın olarak kullanılmakta olan bir mineraldir. Borun ayrıca insektisitlerde, seramiklerde, nükleer reaktörlerde, biyolojik gelişim düzenleyicilerde, fotoğraf, plastik, tekstil endüstrilerinde yangın söndürücülerde, yapıstırıcılarda, kofalarda, gofret üretiminde, makyaj malzemelerinde, elektrik yalıtımında, herbisitlerde ve dezenfektanlarda kullanım alanı bulunmaktadır (Doonan & Lower 1978; Velioglu vd. 1999).

Bor, havada, suda ve toprakla bulunur. Ancak buralarda ne kadar süreyle kaldığı konusunda yeterli bilgi yoktur. Borun sağlığa olan etkisini belirleyen

birkaç faktör vardır Bunlar, dozu (alınan miktar), suresi (ne kadar süreyle maruz kalındığı), hangi yolla maruz kalındığı (solunum, yeme, içme veya deri yoluyla), diğer kimyasal maddeler ve bireysel özellikler (yaş, cinsiyet, aile özellikleri, yaşam sıklığı, sağlık durumu, beslenme durumu) (US Public Health Service 1992)

Bu çalışma kapsamında borun toprak, hava, su, insan, hayvan ve bitki uzene olan etkilerini belirlemeye yönelik son 10 yılda Türkiye'de gerçekleştirilen literatüre geçmiş araştırmaları incelenmiş ve bu çalışmaların bir envanteri çıkarılmıştır

## 2 BORUN ÇEVRESEL ETKİLERİ

### 2.1 Havaya etkisi

Bor, havaya, doğa) ve endüstriyel kaynaklardan yayılmaktadır Graedel'e (1978) göre doğal kaynakları okyanusları, volkanları ve jeotermal buharları içermektedir EPA'ya (1987) göre ise bor bileşikleri antropojenik (insan etkinlikleri sonucu) kaynaklar şeklinde havaya karışmaktadır Borun havaya karışımıyla ilgili hiçbir nicel (kantitatif) çalışma bulunamamıştır (US Public Health Service 1992)

Genel olarak bor madenlerinde, bor tozundan dolayı hava yoluyla bora maruz kalınır Borik asit ve diğer ürün üretilen yerler ise bor madenlerinde bir metre küp havada 1 - 14 mg bor dozu rapor edilmiştir (US Public Health Service 1992)

### 2.2 Toprağa etkisi

Bor toprakta özellikle borik JMI (H<sub>2</sub>BO<sub>3</sub>) veya borat (BO<sub>3</sub><sup>-</sup>) olarak bulunur Bor, toprak parçacıkları uzene absorbe edilmiş olabilir, serbest anyon olarak toprak çözeltisinde bulunabilir veya silikatların bir yapı taşı oluşturabilir (Uygan & Çetin 2004) Topraklar genel koşullar için doygun çözeltilerindeki bor durumlarına göre az borlu orta borlu yüksek borlu, çok yüksek borlu topraklar olarak dört grup altında sınıflandırılmaktadır Az borlu topraklar 0.7 ppm'e kadar bor içermekle ve hiçbir bitki için sorun teşkil etmemektedir Orta borlu topraklar 0.7 - 15 ppm bor içermekte ve bazı bitkiler için sorun yaratmadığı tespit edilmiştir Yüksek borlu topraklar 15 - 375 ppm bor içermekle ve çoğunlukla bitkiler için tehlikeli çok yüksek borlu topraklar ise 175 ppm den fazla bor içermekte olup bunlar bitkiler için tehlikelidir (Ozgul 1974, Uygan & Çetin 2004)

Kumlu, tınlı topraklar için yapılan bir başka sınıflamada ise bor düzeyi < 0.3 ppm çok düşük, 0.4 - 0.8 ppm düşük, 0.9 - 1.5 ppm optimum, 1.6 - 3 ppm yüksek, > 3 ppm çok yüksek olarak belirtilmiştir (Kelling 2003, Uygan & Çetin 2004)

Yapılan araştırmalarda, bitki bünyesindeki bor miktarının öncelikle toprak pH'sı ile ilgili olduğu gösterilmiştir Diğer önemli faktörler ise, bitki çeşidi toprağın bor içeriği, toprakta değişebilir iyonların tipi topraktaki diğer minerallerin miktar ve tipi, toprağın organik madde miktarı, toprağın sıcaklığı, toprağın ıslanma ve kuruma durumu, toprak-su oranı, ışık yoğunluğu ve genetik faktörlerdir (Şimşek vd 2003, Veli oğlu vd 2003)

### 2.3 Suya etkisi

Borun suya etkisi iki açıdan olur Birincisi, içme sularına etkisi, diğeri ise tarımsal sulama olan etkisidir Yapılan araştırmalara göre, bilhassa içme suyunun yüksek oranda bor içermemesi insan sağlığı açısından önem arz etmektedir

İçme suları için, farklı bor sınır değerleri verilmektedir 1968'de Su Kalitesi Kriterleri Komitesi (Committee on Water Quality Criteria) tarafından verilen sınır 1 mg/l olarak belirlenmiştir 1971'de içme suları Teknik Komitesinin (Drinking Water Standards Technical Review Committee) incelemeleri sonucunda 1 mg/l sınırını gerektirecek kadar olmadığına, insan sağlığı yönünde 0.3 mg/l'nin güvenilir bir sınır olduğuna karar verilmiştir (Kalafatoglu 1997, Uygan & Çetin 2004) Ülkemizde 1998 yılında yayınlanan "Çevre Bakanlığı Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği"nde içme suları için verilen bor limiti 1 mg/kg olup, bu miktarın 0.1 mg/kg düzeyini aşmamasının ideal olduğu bildirilmektedir Buna göre Bigadiç İskele kasabası, Bigadiç-Osmanca koyu ve Eskişehir-Seyitgazi'de tespit edilen değerler (İskele 674 mg/l, Osmanca 245 mg/l ve Seyitgazi 149 mg/l) üst limiti oldukça aşmaktadır ve söz konusu yönetmeliğe göre içme suyu olarak kullanılmaları sakıncalıdır (Veli oğlu vd 2003)

Tarımsal sulamada, yalnız uygulanan sulama yöntemi, sulama zamanı ve sulama suyu miktarı değil, aynı zamanda kullanılan suyun kalitesi de son derece önemlidir (Çizim) Tarımsal faaliyetler ve diğer sektörler geliştikçe ne yazık ki çevresel kirlenmeler de artmaktadır Bitkiler için gerekli olan ancak 1 mg/l'den fazla bor içine sahip suların sulamada kullanılması bitkilerde ve topraklarda sorun yaratabilmektedir (FAO 1976 Uygan & Çetin 2004)



Çizelge 1. Sulama sularının bor konsantrasyonuna göre sınıflandırılması (Richards 1954; Uygan & Çetin 2004).

Suyun Sınıfı	Bor Konsantrasyonu (me/L)		
	Duyarlı Bitkiler	Yarı Duyarlı Bitkiler	Dayanıklı Bitkiler
I Çok İyi	<0.33	<0.67	<1.0
II İyi	0.33 - 0.67	0.67 - 1.33	1.0 - 2.0
III Kullanılabilir	0.67- 1.0	1.33-2.0	2.0 - 3.0
IV Şüpheli	1.0- 1.25	2.0 - 2.5	3.0 - 3.75
V Uygun değil	> 1.25	>2.5	>3.75

Börekçi (1986), bor rezervlerinin işletilmesi sırasında, Simav Çayı'nda ortaya çıkan bor düzeyi yükselmesinin, bu suyun sulama suyu olarak kullanılması halinde bu yönü topraklarında bor birikimine sebep olup olmadığı konusunda toprak kolonlarda yaptığı çalışmada, farklı kolon yüksekliklerinde (0.80, 160, 240, 320, 400 cm), yani farklı miktarlarda Simav Çayı (bor düzeyi 6.15 mg/l) suyu kullanmıştır. Sonuçta; su miktarı ile orantılı olarak toprağın bor içeriğinin antiği, çoğu bitki için toksik düzeye yükseldiği, kolonda derine inildikçe bor birikiminin azaldığı belirlenmiştir. Simav Çayı, Kaletpepe regülatörü, drenaj sularından ve bölgedeki

kaynaklardan alınan örneklerin bor içeriğinin 3.5 - 6.2 mg/l arasında değiştiği saptanmıştır (Uygan & Çetin 2004).

Eskişehir Kırka Boraks İşletmesinin yer aldığı Seydisuyu su toplama havzasında 2001 - 2003 yılları arasında yapılan araştırma ile havzanın sulama şebekesinin ana su kanalları olan Çatıören ve Kunduzlar Barajı suyu ile derin kuyu (40 adet) sularından sulama mevsimi boyunca her ay su örnekleri alınarak, 12 farklı noktada toprak profili ve bitkilerdeki bor birikimi ve dağılımının (Çiz. 2) belirlenmesi amaçlanmıştır (Uygan & Çetin 2004).

Çizelge 2. Sulama şebekesinde yüzeysel ve derin kuyulardan alınan suların minimum ve maksimum bor düzeyleri (Uygan & Çetin 2004).

Örnek «ekli	Aylar Bazında Minimum-Maksimum Bor Düzeyleri (mg/l.)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	M	U
Yüzeysel S. (2001)	-	-	-	-	0.03-1.40	1.24-4.47	1.33-4.43	0.84-3.85	1.97-4.62	-	-	-
Derin K. (2001)	-	-	-	-	0.00-2.89	0.00-1.06	0.00-0.87	0.00-0.67	0.75-1.36	-	-	-
Yüzeysel S. (2002)	-	-	-	0.73-6.01	0.87-0.71	1.15-7.05	1.71-6.20	9.47-5.81	1.01-6.65	0.47-4.58	-	0.56-5.44
Yüzeysel S. (2003)	0.66-7.14	1.14-8.56	1.25-9.46	1.47-9.55	1.42-9.69	1.18-9.79	1.18-9.97	1.57-9.99	1.58-10.1	1.90-	-	-
Derin K. (2003)	-	-	-	-	-	0.11-1.86	0.30-1.91	0.51-2.30	0.44-2.26	-	-	-

Çizelge 2 incelendiğinde, yüzeysel sularından alınan örneklerin bor düzeylerinin derin kuyu sularının bor düzeylerinden çok daha yüksek olduğu görülmektedir. Zorunlu durumlarda bu suların sulamada kullanılmasına devam edilmesi ile zamanla toprakta bor birikimi olacağı bilinen bir husustur. Bu sonuçlar, düşük düzeyde de olsa yer allı suyunda da bor kirliliği olduğunu göstermektedir.

Aynı havzada içme sularındaki bor düzeyinin belirlenmesi için yine aynı araştırmacılar tarafından su örnekleri alınmış ve bu suların bor içerikleri Çizelge 3'de verilmiştir. İçme sularının alındığı 6 yerde bor düzeyi içme suyu sınır değeri 1 ppm'den düşük, sekiz yerde ise yüksek bulunmuştur.

#### 2.4 Bitkilere etkisi

Bor, bitkilerde önemli melabolik işlevlere sahiptir ve toprakta bor bulunmaması durumunda bitki gelişimi durmaktadır (Loomis & Durst 1992; Velioğlu vd. 1999).

Çizelge 3. Havzada bulunan bazı köylerden alınan içme suyu örneklerinin bor düzeyleri (Uygan & Çetin 2004).

İçme sularının alındığı yerler	Bor düzeyi (mg/L)
Sevilgazi-İki Çeşmesinden	0.55
Sevilgazi-Eskişehir Sok. Başı Çeşmeden	0.50
Yaşlıdere-İlme Kiraathanesi Karşısı	0.73
Yazlıdere-İlme Kiraathanesi	1.79
Çukurafıl-Köy girişi Ey Çeşmesi	2.77
Çukurafıl-Köy çirşi Çeşmesi	1.00
Doğancayır-Köy Mrk Market Çeşmesi (Arınma Sij)	2.22
Dolanca yır-Köy Mrk Market Çeşmesi	2.41
Duñancayır-Melikjazi Çeşmesinden	0.76
Yeşilyun-Muhlarhktan	1.36
Çille ler-Mrk.de İşyeri Çeşmesi	0.59
Çirielcr- Poslane yanı tulumbadan	0.56
Seyüfinzi-Yazlıdere arası- Güz köyü çeşmesi	0.29
Mahmudiye benzinlik çeşmesi	1.59

Sulama sulaiinin ve bu sularla sulanan tarım alanlarının çeşitli toksik elementlerce kirlenmesi tarımsal uctımı sınırlayan en önemli (aktörlerden birisidir Sulama suyundaki bor konsantrasyonunun belirli sınırları aşması halinde bitki büyümesi durmakta, bakı yaprağında sararma, yanma ve yarılmalara, olgunlaşmamış yapraklarda dökülme ve buyumc hızının yavaşlaması ile bitki veriminin a/aldığı gözlenmektedir Toplam borun büyük bir kısmı, bitki tarafından kullanılmaz Toprakların toplam bor içeriği 2 200 ppm arasında değişir ve bitkiler bu miktardan % 5'inden daha AL bir kısımdan yararlanabilir Bitkilere zarar verecek bor miktarı, aynı zamanda toprak kalitesinden, drenaj kolaylığından ve iklim değişimlerinden etkilenmektedir Çok kum iklimlerde ve hafif toprakta borun birikme olasılığı daha fazladır (Uygan & Çetin 2004)

Bor, bitkileri geliştirmek için kullanıldığı gibi gelişimi önlemek için de kullanılabilir Yabancı ot kontrolünde ve toprak sterilizasyonunda, yanmayı geciktirici özelliği ile otoyollar ve demuyollar kenarlarındaki alanlarda, petrol rafinerileri ve kereste depoları gibi alanlarda bitkileri tamamen yok etmede kullanılır (Kalalaioğlu 1997, Uygan & Çetin 2004)

Türkiye'de özellikle Ege bölgesinde yüzey suları ile sulanan tarım alanları hariç önemli ölçüde kirlenmiş durumdadır Yer altı suları ise nispeten daha düşük bor değerlerine sahiptir Düşük bor içeren kuyu suları ile sulanan bitkilere yakın tarlalardan alınan toprak ve portakal (Citrus Sinensis L. Osbeck) yapılarında yapılan analizler, bor içeriği yüksek topraklarda yetişen bitkilerin yapraklarında yüksek oranda bor biriktiğini ve yaprak büyümesini sınırladığını göstermektedir (Keleş 2004)

Bitkiler arasında bor alımı bakımından önemli laiktlikler gözlenmiştir Asma, elma ve zeytin noksanlığa duyarlı, bezelye çeltik soya ve çilek direnci düşük Kereviz domates buğday ve arpa gibi bitkiler, topraktaki bor miktarı ile dokulardaki boru dengelemektedir Mandalına, pamuk ve patlıcan gibi bitkilerde yapılan çalışmalarda ise bor eksikliğinin yapraklarda renk kavbina ve meyvelerde yeşillenmeye neden olduğu gözlenmiştir (Sakçalı vd 2002)

Bor elemeni fotosentez somiti oluşan laimahlı şokla buleşecek hızla dışarı taşınmaktadır Çalışmalar meyve ağaçlarında borun soğuk ve monoton gibi şok etkileriyle kompleks yapılar taşıdığını ortaya koymuştur Bor uygulaması sonucu elde edilen verimliliği özellikle çiçeklenme döneminde geçit bir süre için gerek duyulan vıkkac miktarda hormon dışsal takviye ile

karşılansından kaynaklanmaktadır (Balcı & Çağlar 2002)

Veboglu ve ark (1999), yaptıkları bu çalışmada maden havzalarında bulunan 3 ayrı bölgeden ve ayrıca kontrol ünitesi olarak Ankara'da değişik marketlerden aldıkları bitki örneklerinin bor içeriklerini belirlemişler ve bununla, bor üretimi yapılan bölgelerdeki bitkiler ile diğer bölgelerde yetişen bitkileri karşılaştırmışlardır

1. Bölge: Balıkesir ilçesinden Bigadic'e bağlı iskele kasabası Osmanca koyu, Yenikoy ve Bademli koyu,
2. Bölge: Kütahya'nın Hisarcık ve Emet ilçelerinin Dercikoy, Hamamkoy ve Yukarıyoncağaç köyleri.
3. Bölge: Eskişehir in Seyitgazi ilçesine bağlı Kırka beldesi

Konuya bu açıdan bakıldığında, araştırma, bir bitkiyi saptaması niteliğindedir Belirtilen eksikliklere rağmen gene de bir karşılaştırma yapılmaya çalışılmış, değerlendirilmede meyve ve sebzelerdeki bor miktarının nadiren 5 ppm'in üzerine çıktığı görülmüştür literatür verisi bulunmayan örneklerde bu değere göre karşılaştırma yapılmıştır Elde edilen bulgular, mısır, nohut, çeltik, barbunya ceviz, badem, patates, domates, ham domates, kabak, pırasa, balkabağı, karpuz, armut örneklerinde tespit edilen değerlerin literatür bulgularıyla uyum içinde olduğunu göstermiştir Kavun için literatür verisi mevcut değildir, ancak örneklerdeki miktarlar 1 ppm civarındadır İlam vişne ve ham armut için saptanan değerler, olağanüstü yüksektir (10 mg/l) (Vchoğlu vd 1999) Aıpa taze, soğan, erik, incir, taze fasulye, ham elmada saptanan değerler literature göre yüksektir Siyah uzum, Osmanca'dan alınan örneklerle çok yüksektir (22.6 mg/l) Hamam koy örneğinde bor miktarı literatürle uyumludur

## 2.5 Hayvanlara etkisi

Yem ve sulama katılaak veya sonayla doğrudan midelerine konarak deney hayvanlarına verilen bor, lürlü arasında önemli farklara rağmen belirli bir yoğunluğu kadar olumsuz herhangi etki yaratmaz ama çok yüksek dozlarla çıkıldığında akut zehirlenme belirtilen ve olum meydana gelir Yüksek doz uygulaması uzun süre hayvanların teslisli dejenerasyona uğrar ve tinsel etkinlik düşer Yüksek doz gebelere uygulandığı zaman yavru gelişmesine zarar verir (Fıyıl 2002)

9000 mg/l borik asit için diyetle beslenen laimahlıde, borun doğrudan plazma, beyin testis salgı

bezleri, karaciğer böbrek, kas ve prostat gibi yerlere taşındığı yağ dokusundan daha çok (borun %20'si), kemik dokusunda tutulduğu saptanmıştır (WHO 1998 Vehoglu vd 2003) Borik asitın kuş, balık suu il omurgasızlar ve biyolojik konu ol ajanı yararlı böceklerle ve memelilere karşı toksik etkisi yoktur Ancak, böceklerin orta bağırsağına (midgut) zarar verdiğiinden besin alınmasını ve alınan besinin sindirilmesini önleyerek böceğin ölmesine sebep olur

Borik asit günümüzde zararlılarla mücadelede kullanılmaktadır Bunun nedeni, kısırlaştırıcı etkisinden dolayı böceğin çoğalmasını önlemesidir Bu amaçla, mısır şurubu su ve borik asitten oluşan karımdım bitkilerin kok ve yapraklarına hafta da iki delâ özel bu alet ilc püskürtülerek bu bitkilere 7aıar veren böceklerin kısırlasın ılması suretiyle çoğalarak yayılmaları önlenir İnsan sağlığı ve yaşamı tie yakın ilişkili olan hamam böceği ev çıyanı gibi zararlı boccklele mücadele de borik asit besin saklama alanları restoran manav ambar okul hastane, sağlık ocakları otel, gemi otobüs tavan arası, kanalı7asyon işyeri gibi kapalı alanlarda bazı şekerler ile karıştırılarak oluşturulan formu lasyonlar şeklinde kullanılır (Buyukgtızcl & Buyukgii7el 2004) Borik asitın hayvanlar için oldurucu dozu hayvanın türüne bağlı olarak hayvanın her kg'ı için 1 2 - 3 45 gram arasında değişmektedir Hayvanın içme suyunda 2500 mg/l bouk asıl bulunması büyüme yi engellediği için zararıdır (DSİ 1983 Uygan & Çetin 2004)

## 2.6 İnsanlara etkisi

İnsanlar solunum temas ve sindirim yolu ile bor bileşiklerine vuid.ı almaktadırlar Bor madeninin uclıldığı veya işlendiği vericide ga? veya toz halinde vücuda alınması solunum veya temas yolu ile olmaktadır Borun sindirim yolu ile alınmış bor açısından zengin topraklarda yetiştirilen bitkilerin yenilmesi yüksek miktarda bor içtien sulaida avlanan balık gibi su ürünlerinin tüketilmesi bor içtien tarım ilaçları ile ilaçlanan veyı bor gübresi uygulanan bitkilerin yenilmesi veyı bor kaynaklarına yakın bölgelerden elde edilen içme sulaının içi lines lyle geı tekleşmektedir Borun o.mas yoluyla alınmasında temi7iik kozmetik maddeleri ve ilaçlarda etkin olmaktadır Bor ilc sürekli temas edilmesi halinde borik asitın deriye /.nar veidiği deney hayvanları vctışkın ve çocukları üzcrinde yapıdıı diaştırınular lie ouıya komünüşun (WHO 1998 Vehoğııvd 2003)

Borun insan vücudu için çok yararlı etkileri tespiL edilmiştir Borun kalsiyum ve D vitamini olmak u/cie vücut mıneralici inin du/cnlcnmcsinde mi

oynadığı kalsiyum ve magne7yumun a7almasını önleyerek kemik yapısını koruduğu bclılenmişlr Ayrıca küçüklerin öğrenme yetenek ve okul becerilerinin artmasına katkıda bulunduğu, sportif pertomans ve atletik yapının gelişmesi için tablet şeklinde bor alındığı bilinmektedir (Uygan & Çctm 2004) Diyetle alınan günlük bor miktarı yaş ve cinsiyete göre değişkenlik gösterir Tüketilen gıdalardan, erkekler bayanlara göre dalia fazla bor alır ve yaş ilerledikçe bor alımı da artış gösterir Diyetle alınan günlük ortalama bor miktarı 0 - 2 yaş çocuklarında 853 mg, 25 30 yaş grubu bayanlarda 690mg erkeklerde 890 mg 60 65 yaş grubu bayan ve cı keklerde sırasıyla 754 mg, 883 mg, olaiak saptanmıştır Bebeklerin ihtiyacı m karşılayan en ıyı (ortalama %54) kaynak ısc bor katkılı mamalardır (Anderson vd 1994 Meacham & Hunt 1998, Raney & Nyquist 1998, Velıoglu vd 2003)

İnsanlar için borik asitın en düşük oldurucu dozları ağız yolu ile alındığında 640 mg/kg, deri yoluyla temasla alındığında 8600 mg/kg, doğrudan enjeksiyonla alındığında 29 mg/kg'du Oldurucu doz ç icuklaıda 3 6 g/gun yetişkinlerde 15 20 g/gundur Fakat gerçekte literatürde belılcnmış kesin bir oldıııucu doz yoktur İnsanlarda görülen bor toksititesine ait belirtiler (500mg dan fazla dozları) bulantı, kusma, baş ağrısı, kaın ağrısı ishal, kas kasilması, şok halsizlik sindirim ve meike/1 stnu sisteminde görülen düzensizlikler salgı bezleimin çalışmasında görülen bozulmalar ilc den de ki7anklık gibi cilt lezyonlarıdır (Hunt 1996 WHO 1998, Anon 2000, Vehoglu vd 2003) Bor hangi yolla vücuda gırcısc gırsin karaciğer beyin ve bobı ekici ı de içine alan vücudun değişik parçaları ma dolaştıktan soma bağırsaklara gelir Borun insan vücuduna gırmesını hızlandıran etkenlerin ne olduğu konusunda yeterli bilgi yoktur (US Public Health Service 1992) Borun vücuttan atılma şekli insan ve hayvanlarda aynıdır Vücuttan atılma suesi birkaç günden birkaç saate kadar değişmekledir Ancak genelde vücuda alınmış borun yansı ilk birkaç saat veya en geç 1 2 gun içerisinde iraklaşmaktadır İnsanlar üzerinde yapılan bir aıaştırmada, sindııım yolu ile verilen düşük dozdaki borik asitın %90'dan ta/lasını 96 saat içci isinde böbrek leiden atıldığı saptanmıştır (Masiomatıeo & Sullivan 1994 WHO 1998 Vehoğııvd 2003)

Kanserli hutreleın yok edilmesinde kullanılan alışılagelmiş iadyasyoiı tedavisine ciddi bu alıcınatıl olan BNCT (Bor ile Nötron Yakalama luapısı) yönlenil hakkında *dünyada önemli atıııjUr* kaydedilmiş, başta Amcııka olmak uzcie lapon} «ı ve birçok Avrupa ülkesinde BNCT aıaştıırma merkezleri kuıılınış duııııdadır (Kınıkcuoglu ^ Aytckın 200-1) Bor kullanılatak geıccıcklcıtııılen

BNCT tedavisinin amaçlarından en önemlisi, tumorlu dokunun yok edilmesi için yapılan çok tehlikeli ve riskli olduğunu bildiğimizi? ameliyatların riskini ortadan kaldırarak bıçak ızı olmadan hastayı tedavi etmektir (Onrat vd 2(X)4) Bu yöntemle kanserli dokuya ulaşan bor. nötron bombaidimani sonrası sadece kanserli hücreleri yok etmekte ve aynı dokudaki sağlıklı hücrelere hiçbir zarar vermemektedir 1968'de Japonlar BNCT çalışmaya başladılar Dr Halamaka ve Dr Sweet, Hitachi Tramig Reaktor'de (HTR) bor sulfidril kullanarak GBM tıp (Glio Blastoma Multiforme) beyin tumorlu 9 hastayı on yıldan fazla yaşatmayı bildirdiler BNCT, 1999 Finlandiya'da 18 hastada erken radyasyon olmaksızın uygulandı Bir yıl içinde hayatta kalım %61'di Günümüzde halen çok tehlikeli olduğu bilinen beyin tumorlarının tedavisinde BNCT kullanılmaktadır (Onrat & Konuk 21)04)

Şaylı ve ark., (2004) tarafından Balıkesir'in Bigadiç ilçesi İskele beldesi kadınlarının osteoporoz özelliklerinin tespitine yönelik yapılan bir çalışmada, yaş ortalaması 59.7 olan 98 kadından 49'u normal, 27'si osteopenik ve 22'si de osteopenik olarak rapor edilmiştir

### 3 KAYNAKLAR

- Anonymous, 2000 Boron and Ueali complete handbook ot mformation hom the World Wide Web <http://lib.umd.edu/pe/comp/v/iiarnins/niinerals/hoion.htm>
- Balçı S., Çağlar, S. 2002. Meyve yetiştiriciliğinde bor uygulaması. I Uluslararası Bor Sempozyumu. 3-4 Ekim 2002 Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya
- Börekeçi M. 1986 Borla kirlenen sınav çayının sulamada kullanılmasının toprakta olunabilecek bor birikmesine etkilen. TGAE Mud Yay. Genel Yay No 113, R. Sen No 51, Ankara
- Buyukguzel, K., Buyukguzel, E. 2004. insan çevre ve tarımsal açıdan borik asılın zararlı böceklerin ve diğer artropodların mücadelesindeki önemi, II Bor Çalıştayı, 6 Mayıs Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Zonguldak
- Doonan, D.J., Lower L.D. 1978. Boran compounds (oxides acid, borates) In Knk Oihmer Encyclopedia of Chemical Technology John Wiley an Sons Vol 4.3 rd ed. pp 67-110. New Yoik
- DSİ 1983 Kuka Yöresi Bor Kirliliği Araştırması Raporu Enerji ve Tabii Kaynaklar Bak., DSİ İçme Suyu ve Kanalizasyon Daire Bask. Ankara
- Duman, I., 2003, Bor madenleri ve stratejik bor ürünleri. *Bilim ve Ulopya Dergisi*, Sayı 114.S 18-21
- EPA, 1987, Toxic au pollutant/source wosswalk A screening toolfor locating possible sources emitting toxic an pollutants Reseach Triangle Park, NC U S Environmental Protection Agency, Oltice of

- Air Quality Planning and Standards ÜPA-4MW4-87-023a
- PAO, 1976. Water quality for agriculture, Jrrig and Dramege. pp 29. Rome. 81
- Graedel T F , 1978, Inorganic elements, hydrides, oxides and corbonates. In Chemical compounds in the ainospheie, NY Academic Pres, New York, pp 35-49
- Hunt. C D , 1996, Biochemical effects of physiological amounts of dietary boron. *J Trace Elem Res Med* Voi 9. pp 185-213
- Kalaratoğlu, E. Ors. N. Sain. S. Yuzei. H. , Erbil, A Ç . 1997 Bor Bileşikleri içeren atık sulaun arıtılması. TUBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, 1-9. Gebze-Kocaeli
- Keleş, Y. 2004, Bitkilerde Bor toksisitesine anuoksidant savunma sisteminin tepkisi, II Bor Çalıştayı, 6 Mayıs. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi. Zonguldak
- Kelling, K A, 2003, Soil and Applied Boron ([www.Liwx.com/ccs/pubs.05/0-1/2003](http://www.Liwx.com/ccs/pubs.05/0-1/2003))
- Kurkuçuoğlu M E , Aytekin. H . 2004. bor ile nötron yakalama terapisi, II Bor Çalıştayı, 6 Mayıs, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak
- LOOMIS, W D. DURST. R W . 1992. Chemistry and biology of boron *Bio Fact* Vol 3. pp 229-239
- Mastro Matteo. E. Sullivan F. 1994 Summary International Symposium on health effects of boron and its compounds *En non Health Pei* p. Vol 102(7). pp 139-141
- Meacham. S L. Hund. C D, 1998. Dietary boron intakes of selected populations in the United States, *Biol Trace Elem Res* Vol 66. pp 67-78
- Onrat. S.T. Ankan. E.S. Konuk M, 2004. BNCT (Boron Neutron Capture Therapy) ile kancer tedavisi II Uluslararası Bor Çalıştayı, 6 Mayıs, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak
- Omat. S.T, Konuk, M, 2004, BNCT (Boron Neutron Capture Therapy) ile kancer tedavisi II Uluslararası Bor Sempozyumu. 23-25 Eylül, Maden Mühendisleri Odası Yayınlan. Ankara
- Ozgul, Ş , 1974. Tuzluluk ve sodiklık. Uluslararası Sulama ve Drenaj Komisyonu Turk Milli Komitesi, Teknik Rehber. 04.02-02 Neşriyat Vol 2. s 18-34. Ankara
- Ramey. C.J, Nyquisi. LA Christensen. RE, Strong, PL Culver BD ve Coughlin, J.R. 1999 Daily boron intake from Amentan diet *J Am Diet Assoc* , Vol 99 pp 335-340
- Sakçalı M, S Bahadır H , Oziirk, M . 2002. Bitkiler ve bor bileşikleri I Bor Çalıştayı, 20-22 Haziran, Balıkesir Üniversitesi Balıkesir
- Şaylı B. S. 2002 Bor imnerallenyle temasın insan sağlığına olumsuz etkilerinin gösterilemediği araştırmalarımız I Bor Çalıştayı. 20-22 Haziran Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir
- Şaylı U Korkmaz/ M. Şaylı, B S 2004 Bor kentlerinden İskele'de postmenopozal osteoporoz özelliklerinin kontrollere karşılaştırılması, *Aktuel Tıp De/ant*, Vol 9(4), s 11-14

- Şimşek. A., Veliöğlü. S., Coşkun. A.L., Şaylı. B.S.. 2003; Boron concentrations of selected foods from borate-producing regions in Turkey, *J.Sei. Food Agr.*. Vol: 83(6). pp 586-592
- US Public Health Service. 1992; Toxicological Profile for Boron and Compounds. [http://www.atf.gov/toxprofi/s/jp\\_26](http://www.atf.gov/toxprofi/s/jp_26).
- Uygau, D., Çetin. Ö.. 2004; Bor'un tarımsal ve çevresel etkileri; scydisuyu su toplama havzası, II. Uluslararası Bor Sempozyumu. 23-25 Eylül. Maden Mühendisleri OdaM Yayınlan, Ankara.
- Veliöğlü. S., Şaylı, B.S. ve Alınsay. S.. 1999; Bor madeni havzalarında üretilen bazı gıdalarda bor miktarının belirlenmesi üzerine bir araştırma. *Gıda*. Vol: 24| D.s. 13-19
- Veliöğlü, S., Şimşek. A., 2003; İnsan sağlığı ve beslenme açısından bor. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Vol.:4(2). s. 123-130.
- WHO. 1998; Boron, Environmental health criteria. A WHO Monograph.. World Health Organization. No: 204, Geneva-Switzerland, 201 p.



## Kırılmış Dere Malzemesinin Beton Dayanımı Üzerine Etkisinin İncelenmesi

İ. Çavuşoğlu, A. O. Yılmaz & İ. Alp

*Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye*

**ÖZET:** Bu çalışmada Harşit çayından elde edilen ve Kuşkayası kırma-eleme tesisinde (Gircsun-Tirebolu) üretilen kırılmış dere malzemesinin beton dayanımına etkisi araştırılmıştır. Kırma-elcnic tesisinde 0-9mm, 9-15mm ve 15-25mm boyutunda 3 farklı malzeme üretimi yapılmaktadır. Malzemelerin elek analizi, özgül ağırlık ve su emme kapasitesi, birim hacim ağırlık (sıkışık ve gevşek). İnce madde oranı, hafif madde oranı, dona dayanıklılık, aşınma dayanımı (Los Angeles) değerleri TSE standartlarına göre belirlenmiştir. Ayrıca bu üç malzemenin karışımından 300-350-400 kg/m<sup>3</sup> dozajlarında çimento içeren ve her bir çimento dozajı için 0.45-0.55-0.65 su/çimento oranlarında betonlar üretilerek 7 ve 28 günlük basınç dayanımları belirlenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda malzemelerin beton agregası olarak kullanılabilir olduğu belirlenmiştir. Beton testleri ile beton dayanımının su/çimento oranının artmasıyla azaldığı, su/çimento oram sabit olduğuunda çimento dozajının artmasıyla arttığı görülmüştür.

**ABSTRACT:** In this study, the effect of the crushed material, obtained from Harşit River and produced İn Kuşkayası crushing-screening plant (Giresun-Tirebolu), on the concrete strength was investigated. Materials in three different size range (Q-9mm, 9-15mm and 15-25mm) have been produced by crushing and screening in the plant. Sieve analysis, specific gravity and water absorption capacity, bulk density, proportion of fine material, proportion of lightweight particles, frost resistance and abrasion resistance (Los Angeles) of the materials were determined according to TSE slandarts. Furthermore, concrete mixtures using the different size fractions of the crushed material at different cement dosages (300-350-400) and different water/ccment ratios (0.45-0.55-0.65) were prepared. The results have shown that the material could be used as concrete aggregate. It was also shown that the compressive strength of Üe concrete produced decreased with the increase in the water-cement ratio while it increased with the increase in the cement dosage.

### 1 ÇIKIŞ

Agregalar, betonun % 6ü-8ü'ünü oluşturan mineral kökenli, taneli ve genellikle 100mm'ye kadar çeşitli büyüklüklerde malzemelerdir. Kentleşmenin bir sonucu olarak ortaya çıkan konut İhtiyacını karşılamaya çalışan ve son yıllarda ülkemizin en önemli sektörlerinden biri haline gelen, inşaat sektöründe ve alt yapıda kullanılması zorunlu olan ve ikame edilemez temel girdi durumundadır (Yılmaz, 2003).

Agregalar, doğadan (akarsu yatakları, deniz kıyıları, çol) doğrudan doğruya taneli olarak temin edilebildikleri gibi taşocağı işletmeciliği ile üretilen taş bloklarının kırılıp eleme işlemleri sonucunda da elde edilebilirler. Bu şekilde elde edilen taneli malzemeye "kırmataş", kırmataş tesislerinin atığı olan ince taneli malzemeye "kıрма kum" Uaşunu.

filler) denilmektedir. Agregalar günümüzde çok geniş bir kullanım alanına sahiptirler. Beton malzemesi dışında dolgu ve ıslah malzemesi, yol inşaatlarında asfalt ve temel malzemesi, demiryolu ballastı olarak da kullanılmaktadır (Arıoğlu, 1999).

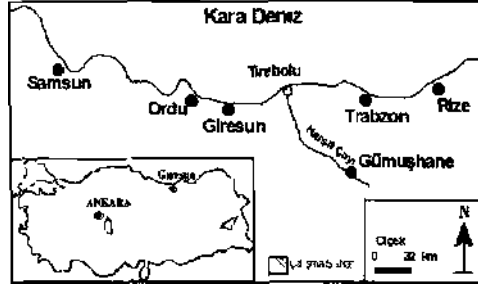
Ülkemizde son yıllarda meydana gelen deprem felaketleri sonucunda yapılarda kullanılan betonun ne derece önemli ve belirli standartlara uygun şekilde yapılması gerektiği anlaşılmıştır. Betonun ana bileşenlerini agrega, çimento ve su oluşturmaktadır. Bu bileşenlerden yaklaşık % 75"lik paya sahip olan agrcğanın ne derece önemli olduğu görülmektedir. Bundan dolayıdır ki betonda kullanılan agreganın belirli standartlara uygunluk göstermesi gerekmektedir. Agregaların bu standartlara uygun olup olmadığı belirlemek için değişik özelliklerinin araştırılması gerekmektedir; gradasyon, maksimum tane büyüklüğü, tane şekli,

yüze dokusu, su emme kapasitesi, btm hacim ağırlık, ozgul ağırlık agregadaki zararlı yabancı maddelerin turu ve miktarı, aşınmaya dayanıklılık, dona dayanıklılık, dayanım, elastiklik modulu ve ısısal özellikler (Erdoğan 2003)

İnşaat sektöründe doğal agrega kullanımının, sektördeki hızlı gelişmeye bağlı olarak mevcut kaynakların hızla tükenmesi ve çevresel etkiler göz önüne alındığında zamanla azalacağı beklenmektedir. Diğer taraftan kırma-çeme işlemleriyle kırılmış agrega üretimi ve kullanımı giderek artmaktadır. Ayrıca agrega şeklinin beton dayanımında önemli bir rol oynadığı göz önüne alındığında, uygun kırıcı ekipmanlar kullanılarak kübik şekilli tanelerin üretilmesi kırılmış agrega kullanımını arttıracaktır» (Alp, 2003). Yüksek mukavemetli beton üretiminde kırılma aşınma agregasının, doğal çakıla göre mekanik dayanım bakımından daha iyi sonuçlar verdiği de bilinmektedir (Taşdemir 2003).

Köşeli kırık şekline yakın kırınatış agregalarının yuvarlak agregalara kıyasla çimento hamuru ile oluşturdukları aderans (yapışma) çok daha güçlüdür (Anoğlu vd., 1999). Kaynağına göre aynı su/çimento oranına sahip kırınatış agregasından oluşturulan betonun basınç dayanımı yuvarlak taneli agregadan yapılan betonun basınç dayanımından daha büyüktür. Bu olguyu köşeli agregaların çimento hamuruyla oluşturdukları güçlü aderans bağları ile açıklamışlardır. Kuşkusuz köşeli agrega kullanımında istenen işlenirliği sağlamak bakımından ıslatma gereksinimi daha fazladır. Ayrıca attan su/çimento oranıyla dayanımların önemli ölçüde azaldığını belirtmişlerdir. Kırılmış çakıl kullanıldığı beton karışımlarının gerek basınç gerekse çekme dayanımları kırılmamış çakıla ait beton dayanım değerlerinden daha büyüktür.

Çalışmada kullanılan ve Kuşkaşası kırma-eleme tesisinde işlenen malzemenin alındığı çalışma alanı, Harşit çayının denize döküldüğü bölgeden itibaren yaklaşık 3 km güneyde yer alan alanı kapsamaktadır.



Şekil 1 Çalışma sahası

Bu çalışmada, Harşit çayından (Giresun-Trabzon) elde edilen ve Kuşkaşası taşocağı kırma-eleme tesisinde işlenerek 3 farklı boyutla üretilen kırılmış dere malzemesinin karışımlarından oluşturulan betonun artan su/çimento oranına ve çimento dozağına bağlı olarak basınç dayanımındaki değişim irdelenmiştir.

## 2 MATERYAL VE MKTOD

### 2.1 Çimento

Bu çalışmada beton yapımında bağlayıcı olarak Ünye Çimento fabrikasının ürettiği Portland Kompozit Çimento (PKÇ 32.5 R) kullanılmıştır. Çimentonun kimyasal özellikleri Çizelge 1'de verilmektedir.

Çizelge 1 Çimentonun kimyasal özellikleri

SiO <sub>2</sub> (%)	27.12
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	7.05
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	1.49
CaO (%)	51.91
MgO (%)	1.14
SO <sub>3</sub> (%)	2.28
Serbest CaO (%)	0.9
Kızdırma Kaybı (%)	1.6
Cozülme hızı (g/dk)	1.23

### 2.2 Agregalar

Çalışmada kırma-eleme tesisinde kırılarak 0-9 mm, 9-15 mm ve 15-25 mm boyutlarında üretilen kırılmış dere malzemesi kullanılmıştır.

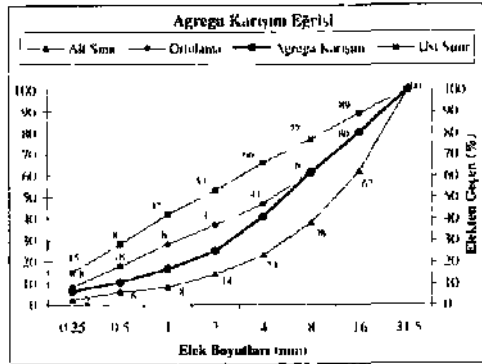
Her uç malzemenin tane boyut dağılımından TS 3530'a uygun olarak yapılan elek analizi ile tespit edilmiştir (Çizelge 2). Ayrıca bu elek analizi sonuçlarından yola çıkarak malzemelerin karışım oranları, standartlarda belirtilen alt ve üst limitlere uygun olacak şekilde denklem çözümü metodu yardımıyla belirlenmiştir. Denklem çözümü metoduyla hesaplanan karışım oranları 0.9 mm malzeme için %64, 9-15 mm malzeme için %9, 15-25 mm malzeme için %27 şeklindedir.

Agregaların fiziksel özellikleri TS 706'da belirtilen yöntemlere uygun olarak belirlenmiştir. Bu amaçla malzemeler üzerine TS 3526'ya uygun olarak, özgül ağırlık tayini ve su emme yüzdeleri, TS 3529'a uygun olarak, sıkışık birim ağırlık tayini ve gevşek birim ağırlık tayini deneyleri yapılmıştır.



Çizelge 2 Agregaların gramı >metrik bileşimi

Elektin Açıklığı (mm)	→ Elekten Geçen (%)							
	31,5	16	8	4	2	1	0,5	0,25
0,9 (mm)	100	100	95,8	63,91	38,85	25,97	16,30	9,68
0,15 (mm)	100	100	1	0,1				
15-25 (mm)	100	26,7	0,3	0,2				



Çizelge 2 Agregaların karışım eğrisi

Agreganın içinde, betona yarar veren maddelerin belirlenmesi için TS 3527'c göre, 0,063mm açıklıklı kare gözlü elekten geçen madde olarak tanımlanan ince madde (yıkanabilir maddeler) oranını tayini ve TS 3528'e göre; agreganın içindeki özgül ağırlığı 2 gT/cnr'len küçük olan maddeler olarak tanımlanan hafif madde oranını tayini gerçekleştirilmiştir. Hafif madde oranını tayininde deney sıvısı olarak Çinko Klorürün (ZnCl<sub>2</sub>) sudaki çözeltisi (2,0 gr/cm<sup>3</sup>) kullanılmıştır. Deney, 0-9 mm malzemesinin 4 mm elekten elenmesiyle elek altı olarak elde edilen 0-4 mm'lik malzemeye 2 delâ uygulanmıştır.

Ayrıca agregaların aşınma dayanımı ve donatı dayanıklılığı gibi mekanik özellikler de yapılan

deneysel çalışmalarla belirlenmiştir. Agregaların aşınma dayanımı TS 3694'e göre içerisinde çelik bilyalar bulunan ve çelikten yapılmış tambur iççesine, belirli elektin açıklıklarından belli miktarlarda malzeme konarak dakikada 30-33 devir yaparak toplam 500 devir atılarak yapılmıştır. Agregaların donatı dayanıklılık testi ise TS 3655'e göre susuz sodyum sülfat (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) kullanılarak kimyasal yolla tayin edilmiştir.

### 2.3 Beton

Çalışmada, kullanılan malzemelerin karışımlarından 300, 350 ve 400 çimento dozajında ve her bir dozaj için 0,45, 0,55 ve 0,65 su/çimento oranlarında beton küp numuneler oluşturulmuş, 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarını belirlenmiştir.

Beton küp numuneleri oluşturulurken herhangi bir hedef çökme değeri belirlenmemiştir. Ancak numuneler u/erinde çökme deneyi yapılarak çökme değerleri de belirlenmiştir. Bazı örneklerde, özellikle su/çimento oranının düşük olduğu örneklerde çökme olmazken bazılarında ise su/çimento oranının arttığı örneklerde fazla miktarda çökme değeri elde edilmiştir.

Karışım oranlarını daha önceden belirlemiş olduğumuz malzemelerin karışım eğrisi TS 706'da öngörülen alt ve üst sınırlı bölgenin içinde olduğu Şekil 2.'de görülmektedir.

Çizelge 3 'de verilen beton bileşim miktarları ile her bu kenarı 15cm olan küp şeklinde numuneler oluşturulmuştur. Bu bileşim miktarları TS 802'deki mutlak hacim hesabı yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Verilen bileşim miktarları nem düzeltilmesi yapılmadan önceki miktarlardır. Beton numuneler, nem düzeltilmesi yapıldıktan sonra su miktarı yeniden hesaplanarak gerçekleştirilmiştir. Beton numuneler 24 saat sonra kalıplarından çıkartılarak kur tankı içerisine konulmuştur. Deneylerde şehir içme suyu kullanılmıştır.

Çizelge 3 Beton bileşimleri

Be ton Kodu		D 100			D 150			D 400		
		0,45	0,55	0,65	0,45	0,55	0,65	0,45	0,55	0,65
Su/Çi memo oranı										
Çimento Do/ajı fkg/m <sup>3</sup> )	100	100	100	350	350	350	400	400	400	
Su (kg/m <sup>3</sup> )	115	165	195	157,5	192,5	227,5	180	220	260	
0-9 mm (kg/m <sup>3</sup> )	1246	1196	1147	1181	1122	1064	1115	1049	982	
9-15 mm (kg/m <sup>3</sup> )	ISO	173	166	171	162	154	161	152	142	
15-25 mm (kg/m <sup>3</sup> )	541	520	498	512	488	462	484	455	427	
Çökme değeri Km)		4	10	-	4	12	2	6	20	

### 3 İRDELEME VE DEĞERLENDİRME

#### 3.1 Agrega testleri

Beton agregalandında özgül ağırlık, su emme ve birim ağırlık değerleriyle ilgili herhangi bir standart değer bulunmamakla birlikte bazı literatür çalışmalarında (Erdoğan, 2003) özgül ağırlığı 2,4-2,8 arasında bulunan agregalar normal ağırlıklı agregalar olarak adlandırılmaktadır. Su emme kapasitesi ise kayacın petrografik yapısına bağlı olarak %0,5-%2 arasında değişliği öngörülmektedir (Anoğlı, 1999). Bulunan değerler Çizelge 4'de verilmiştir.

Çizelge 4. Agrejzuların fiziksel özellikler

Özellik	Birim	0-9 mm	9-15 mm	15-25 mm
Kuru Özgül Ağırlık		2.53	2.64	2.64
Doy. Kuru Y. Özgül Ağırlık		2.54	2.67	2.67
Görünen Özgül Ağırlık		2.71	2.71	2.72
Ağırlıkça Su Emme	%	2.63	1.02	1.06
Sıkışık Birim Ağırlık	g r/c m	1.96	1.64	1.61
Gevsek Birim Ağırlık	gr/cm'	1.58	1.43	1.45

Agregalar Üzerinde TS 706'a göre beton agregalarına yapılması gereken testler yapılmış, elde edilen sonuçlar standart verilerle karşı laştırılmış tır. Genel olarak sonuçların standart verilerle uygunluğu nelirf erimiştir (Çizelge 5). Yalnızca 0-9 mm malzemeye yapılan ince madde oranı somasında elde edilen sonuç standart veriden yüksek çıkmıştır. Ancak her üç malzemeden belirli karışım oranlarında tek bir malzeme elde edileceği de göz ardı edilmemelidir.

Çizelge 5. Malzemelerin özelliklerinin standartlarla karşılaştırılması.

Özellik	Agrega	TS 706	Kullanılan Malzeme	Sırtıç
İnce Madde Oranı, %	İn Agrega	0,50%	0-9mm	7,60% Uygun
	İnce Agregası	5%	9-15mm	0,30% Uygun
Hafif Madde Oranı, %	Yüzygenliu zenginliu betonlar	0,50%	15-25mm	0,20% Uygun
	Diğet betonlar için	1%	0-9mm elemanestyle 0-9mm	0,11% Uygun
Aparını Dayanımı Maks. %	İn Agregası	Los Angeles 100 Devir 10% 500 Devir 9%	İn malzeme 500 Devir 17,4%	Uygun
	İnce Agregası	15%	4%	2,23% Uygun
Dayanıklılık Maks. %	İn Agregası	18%	8/16	0,74% Uygun
	İnce Agregası	18%	16/32	0,46% Uygun

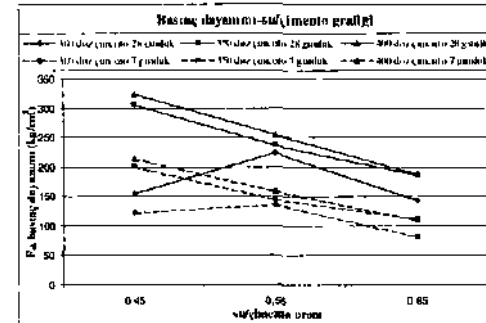
Agregalarda bulunan ince maddelerin, betonda aderansı azaltması, prize veya sertleşmeye etki etmesi, mukavemeti düşürmesi, çimento hamurunda zararlı kimyasal reaksiyonlara yol açabilmesi ve donatının koro^yona karşı korunmasını azaltıcı etkilerinin bulunduğu bilinmektedir, ince maddeler, ayrıca yağurma suyunun miktarını arttırmaktadırlar. Bu olumsuz etkilerinin yanında, agreganın içinde belli bir miktara kadar bulunabilen İnce maddeler, betonun işlenmesinde ve yerleştirilmesinde olumlu rol oynadığı da bilinmektedir (Korkanç, 2003).

#### 3.2 Beton testleri

Çizelge 6. ve Şekil 3. incelendiğinde, yapılan deneylerde çimento dozajının artmasıyla aynı su/çimento oranındaki betonların basınç dayanımlarının arttığı görülmektedir. Diğer bir yönden sabit çimento dozajında ve artan su/çimento oranıyla ise beton basınç dayanımının düştüğü görülmektedir. Bu durum literatürde verilen değerlerle paralellik göstermektedir. Ancak 300 kg/m<sup>3</sup> çimento ve 0,45 su/çimento oranındaki beton küp numunesinin dayanımının diğer örnek beton numuneleriyle paralellik arz etmediği görülmüştür.

Çizelge 6. Küp numunelerin basınç dayanımları.

Numune Kodu	Su/Çimento Oranı	Küp Basınç Dav um ml an (kg/cm <sup>-2</sup> )	
		7 Etin	28 nün
D 300	0,45	122	154
	0,55	136	224
	0,65	82	144
1)350	0,45	199	305
	0,55	145	236
	0,65	113	186
D 400	0,45	213	323
	0,55	159	255
	0,65	109	187



Şekil 3. 7 ve 28 günlük beton basınç dayanımı-su/çimento oranı ilişkisi.

Bu örnekteki dayanım değeri beklenenin altında gerçekleşmiştir. Bunun sebebi olarak, bu dozajda ve su/çimento oranında çalışıldığında diğer durumlardakinin aksine su/agrega oranının çok düşük olarak gerçekleşmesi ve böylece yetersiz su ile hazırlanmış numune olmasından kaynaklanmaktadır. Su miktarının yetersiz oluşundan dolayı oluşturulan beton küp numunelerinin çok boşluklu bir yapıya sahip olduğu ve bundan dolayı basınç dayanım değerinin düşük olduğu düşünülmektedir. Yapılan diğer çalışmalarla karşılaştırıldığında aynı sonucun hakim sürdüğü görülmektedir.

(Taşdemir vd., 2003) Kaynağına göre yapılan çalışmada iri agregası kırmataş, ince agregası kırmakum olan betonlar üretilmiş ve 7, 28 ve 90 günlük küp basınç dayanımları elde edilmiştir. Hazırlanmış oldukları betonlarda 220-300 kg/m<sup>3</sup> aralığında 5 farklı çimento dozajı kullanılmışlardır. Yaptıkları deneylerde artan çimento dozajıyla 7, 28 ve 90 günlük küp basınç dayanımlarının arttığını görmüşlerdir. Ayrıca çalışmada kullanılan kırmakum, %12,6'sı 0,075mm elek altına geçen mikrofiller malzemedir. Bu mikrofiller malzemenin daha yoğun ve boşluksuz bir iç yapı oluşturmasına bağlı olarak basınç dayanımlarını arttırdığı, ancak aşırı artışıyla yüzey alanının arlısına bağlı olarak su ihtiyacını arttırdığı gözlenmiştir.

Diğer bir kaynaktaki (Yaşar vd., 2004) yapılan çalışmada 5 farklı boyutta kireçtaşı ile (0-5 mm, 0-10 mm, 0-20 mm, 10-20 mm, 5-10 mm) farklı su/çimento oranlarında (0,33, 0,30, 0,40 ve 0,50) betonlar üretirek basınç dayanımlarının su/çimento oranına ve agregası boyutuna bağlı olarak değişimleri incelemiştir. Ölçülen 28 günlük basınç dayanımlarına bakıldığında en yüksek dayanım değerinin 0-5 mm agregası boyutunda ve 0,3 ve 0,33 su/çimento oranlarındaki beton örneklerinde olduğunu görmüşlerdir. Elde edilen sonuçlardan yola çıkarak dayanımın su/çimento oranındaki azalmayla önemü ölçüde arttığını belirtmişlerdir.

#### 4 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Kullanılan malzemelerden 0-9 mm malzemenin ince madde oranının beton dayanımına önemli ölçüde etki ettiği belirlenmiştir. İnce madde oranının yüksek oluşu yüzey alanında bir artış meydana getirerek beton karışımının su ihtiyacını önemli ölçüde arttırmıştır. Bu durum beton basınç dayanımına olumsuz olarak etki etmiştir. Özellikle düşük su/çimento oranında ve çimento dozajında ki beton karışımlarında bu durum daha da belirgindir.

Kırmataş malzemesinin beton yapımında kullanıldığında doğal malzemeye oranla daha iyi sonuçlar verdiği daha önce yapılan çalışmalardan da bilinmektedir. Bu çalışmada kullanılan kırılmış dere malzemenin de yapılan çalışma sonrasında beton malzemesi olarak kullanılabileceği görülmüştür. Ancak kırılmış malzemelerde ince madde oranının yüksek olmasından dolayı malzemelerin tesiste bir yıkama işleminden geçirilerek kullanılmasının daha uygun olabileceği düşünülmüştür. Kullanılan kırmataş malzemesinin beton yapımında kullanıldığında betonun işlenebilirliğine olumsuz yönde etki ettiği görülmüştür. Ancak bu durumda betonun işlenebilirliğini arttırmak için işlenebilirliği artırıcı katkı maddelerinin ilavesinin uygun olacağı düşünülmektedir.

#### KAYNAKLAR

- Alp, İ., Yılmaz, A.O., Kaya, R., Devci, H., Çavuşoğlu, İ., 2003; Kuşkaşası (Tirebolu-Giresun) taşocağı kırılmış kum hazırlama tesisi-problemler ve çözüm önerileri, 3.Ulusal Kırmataş Sempozyumu, Sayfa : 249-256, İstanbul.
- Anoğlu, E., Arnoğlu, N., Yılmaz, A., O., 1999; *Çözümlü Beton Agregaları Problemleri*, Evrim Yayınevi, İstanbul.
- Erdoğan, T.Y., 2003; *Beton*, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını, 1.Baskı, Ankara.
- Korkanç, M., Tuğrul, A., 2003; Niğde yöresi bazaltlarının beton agregası olarak kullanılabilirliği, 3. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, Sayfa : 99-106. İstanbul.
- Taşdemir, C. Özyürl, N., Emürl, C, Kara, G., 2003; Kırmakumun beton özelliklerine etkisi üzerine bir değerlendirme, 3. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, Sayfa : 7-13, İstanbul.
- Yaşar, E., Erdoğan, Y., Kılıç, A., 2004; Effect of limestone aggregate type and waler-cemeni ratio on concrete strength. *Materials Letters*, 58, pp.772-777.
- Yılmaz, A.O., Alp, İ., Kaya, R., Çavuşoğlu, İ., 2003; Trabzon ilindeki taşocaklarının incelenmesi ve agregası potansiyelinin belirlenmesi, 3. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, sayfa: 133-141, İstanbul.
- TS 706, 1980; Beton agregaları. TSE. Ankara.
- TS 802. 1985; Beton karışım hesap esasları, TSE, Ankara.
- TS 3526. 1980; Beton agregalarında özgül ağırlık ve su emme oranı tayini, TSE. Ankara.
- TS 3527. 1980; Beton agregalarında ince madde oram tayini, TSE, Ankara.
- TS 3528, 1980; Beton agregalarında hafif madde oranı tayini, TSE, Ankara.
- TS 3529. 1980; Beton agregalarının birim ağırlıklarının tayini, TSE, Ankara.
- TS 3530, 1999; Agregaların geometrik özellikleri için deneyler Bölüm 1: Tane büyüklüğü dağılımı tayini-eleme metodu. TSE, Ankara.
- TS 3655. 1980; Beton agregalarında dona dayanıklılık tayini, TSE, Ankara.
- TS 3694. 1981; Beton agregalarında aşınmaya dayanıklılık aşınma oranı tayini. TSE. Ankara.