

8 Mermer ve yapı taşları

Gözenekli Ve Hafif Doğal Kayaçlardan Elde Edilen Blok Malzemelerin Kaya Mekaniği Açısından İrdelenmesi

L. Gündüz & İ. Uğur

Süleyman Demirel Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İsparta

ÖZET : Hafif doğal gözenekli kayaçların kullanımı, farklı endüstri alanlarında giderek artan bir eğilim göstermektedir. Çoğunlukla bu tür kayaçlar, inşaat sektöründe hafif yapı elemanı eldesinde hafif agrega olarak kullanılmaktadır. Bu bildiride, gözenekli ve hafif doğal bir kayaç olarak pomzanın, hafif beton uygulamalarındaki gerilme-genleşme karakteristiği ve elastisite özellikleri analiz edilmiş olup, pomza bloklar için uygulanabilecek bir kalite analiz yöntemi önerilmiştir.

ABSTRACT : In current technology, the usage of lightweight natural porous rocks shows a gradually increasing trend in different industrial areas. Mostly, these types of rocks are used as lightweight aggregates in producing the lightweight construction materials in construction industry. In this paper, the stress - strain characteristics and the elasticity properties of pumice as a lightweight natural porous rock in lightweight concrete applications were analysed and a quality analysis method was suggested for the pumice blocks.

1 GİRİŞ

Farklı endüstri dallarında kullanılmaya başlanmış, değişik karakteristik özellikler sergileyen gözenekli ve hafif doğal kayaçlar, bugün özellikle inşaat sektöründe hafif yapı elemanı olarak, birçok alanda* değerlendirilmektedir. Geliştirilen farklı şekil ve geometrilerdeki blok malzemelerin kullanım yeri özelliklerine bağlı olarak bir dizi, teknik parametreleri sağlaması ve standartlara uygunluğu kaçınılmaz olmaktadır. Bu irdemelerin sağlıklı olarak yapılabilmesi amacıyla, bir dizi deneysel çalışmaların bu ürünler üzerinde yapılması ve kalite faktör tanımlamaları ve standart olarak ele alınabilecek bazı değerlerin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla, mevcut blok elemanlarının kaya mekaniği prensipleri çerçevesinde, tüm teknik detay analizleri yapılarak, jeomekanik parametreleri ayrıntılı olarak tanımlanmalıdır. Malzemenin yük altında, zamanla kırılması sürecinde, pratik olarak irdelenebilecek bir dizi teorik ve istatistiksel ifadenin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu bildiride, gözenekli ve hafif doğal kayaçlardan elde edilmiş blok elemanlarının tüm detay kayaç parametreleri, tanıtımsal ölççeklerle ilişkilendirilerek tartışılmıştır.

2 GÖZENEKLİ HAFİF DOĞAL KAYAÇLARDAN ELDE EDİLMİŞ BETONLARIN KAYA MEKANIĞI ANALİZİ

İnşaat sektöründe doğal ve hafif malzeme kullanımının, binaların duraylılığı açısından büyük önem taşımaya paralel olarak, yapı endüstrisinde ısı ve ses yalıtımı bakımından da yüksek değerlere sahip, gözenekli ve hafif doğal kayaçların kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Ancak, bu malzemeler ile elde edilen yapı elemanlarının teknik açıdan irdemelerinde, malzeme teknolojisi ve tekno-mekanik özelliklerinin incelenmesi, kaçınılmaz olmaktadır. Kullanılan hammaddenin kayaç özellikleri, elde edilen ürünlerin kalitesine doğrudan etki ettiğinden dolayı, bu malzemeler üzerine kaya mekaniği prensipleri çerçevesinde yapılacak olan incelemeler, analizlerin bel kemiğini oluşturmaktadır. Bu bakımdan, kayaç karakteristiğinin ürün özelliklerine etkisi detay olarak analiz edilmeli ve ürün kalitesine etki eden kayaç parametreleri tanımlanmalıdır. Bu amaçla, SDÜ Maden Mühendisliği Bölümü'nde, farklı hafif doğal malzemelerin inşaat endüstrisinde hafif yapı elemanı hammaddesi olarak özellikleri üzerine bir dizi deneysel ve gözlemsel inceleme yapılmış olup, elde edilen teknik bulguların bir özeti sunulmuştur.

Doğal, gözenekli değişik yapıda agregaya içeren beton türleri, özellikle bir çok ülkede yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunların arasında kullanım açısından en yaygın olanları, cüruf pomza, kül çakılı, genleşmiş perlit, volkanik cüruf, diatomit, vermikülit, pomza, vb. gibi doğal kayalardır. Bu kayalar, inşaat endüstrisinde doğal hafif agregaya olarak değerlendirilmektedir. Tüm gözenekli agregaların taşıdığı kendine has yapısal özellik farklılığı, bu agregalardan elde edilmiş hafif betonların özelliklerine de yansımaktadır. Hafif betonlarda, agregaların gözenekli olmasına bağlı olarak, birçok olumlu özellikler görülebilmektedir.

Yapı elemanı amaçlı kullanılan hafif betonlarda, iri agregaların basınç dayanımı, harç içerisinde bulunan bileşenlerden önemli ölçüde daha düşüktür. Dolayısıyla, yük hareketleri karşısında, hafif betonun matris yapısında taneler bazında bir yenilme söz konusu olmakla birlikte, ağır beton içerisindeki agregaya ve harç arasındaki yapışma kuvvetine göre daha yüksek bir değere sahiptir. Agregalar ve matris yapı arasında var olan yapışma kuvveti, gözenekli agregalarda diğer agregaya türlerine göre daha yüksektir. Bunun nedeni, sadece agregaya yüzeyinin pürüzlü ve gözenekli olmasından değildir. Sertleşmiş çimentonun fiziko-kimyasal etkisi, agregaların self vakum etkisinden de kaynaklanmaktadır. Sonuç olarak; hidrate olmuş bileşenlerin de etkisi ile, agregaya - matris temas bölgesi de dayanım kazanmaktadır. Tüm bu prosesler, hafif betonun sertleşmesi süresince agregaya-harç ve beton arasındaki bağların yapışma kuvvetine olumlu yönde etki etmektedir.

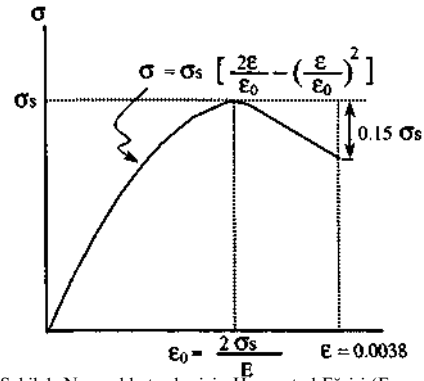
Hafif betonların kullanıldığı tüm yerlerde, mühendislik parametreleri olarak şu değişken değerler detay olarak irdelenmelidir:

1. Basınç dayanımı,
2. Kuru birim hacim ağırlık değeri,
3. Gerilme-genleşme ilişkisi,
4. Çekme dayanımı ve çatlak gelişim mekanizması,
5. İç yapı ve matris bağ özellikleri,
6. Sünme ve çekme davranışı,
7. Değişken çevre koşullarına dayanım,
8. Isı ve ses iletkenliği ve su emme karakteristiği,
9. Ateşe dayanım.

Kaya mekaniği prensipleri çerçevesinde, gözenekli ve hafif doğal agregalar ile elde edilen hafif betonların teknik özelliklerine ilişkin yapılan bir araştırmanın deneysel analiz bulguları, aşağıda önem derecelerine göre detaylandırılmıştır.

Beton dayanımı, beton karışımında kullanılan kayalık bileşenleri, su/katı oran değişimi ve kullanılan çimento miktarının bir işlevi olarak değişmektedir. Bu bakımdan, beton uygulamalarında elde edilen karışımın, dayanım değeri genellikle 28 günlük kür süresi sonrasında, ulaştığı dayanım değeri ile tanımlanmaktadır. Genel uygulamalarda, betonun 28

günlük dayanım değeri, oluşturulan standart beton numuneleri üzerinde, tek eksenli basınç dayanım değerinin belirlenmesi ile elde edilmektedir. Ancak, betonun kullanıldığı yere uygunluğu açısından, zaman içerisinde üzerine gelen yük artışlarına bağımlı olarak, birim uzama veya genleşme olgusunda, ne kadarlık bir gerilme değeri alabileceği ve de kritik gerilme değerinin ne olabileceği hususları detay olarak bir inceleme konusu olmaktadır. Doğal agregalı (kum+çakılı) beton uygulamaları için farklı araştırmacılar tarafından yapılan gerilme - birim şekil değiştirme ilişkileri, genelde benzer formlarda modellenmiş olup, genel bir ifadeyle Hognestad tarafından geliştirilmiştir (Ersoy 1985). Normal betonlar için bu modelin gerilme - birim şekil değiştirme karakteristiği sembolik görünümü Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Normal betonlar için Hognestad Eğrisi (Ersoy, 1985)

Literatürde yer alan deneysel çalışma bulguları, beton uygulamalarının gerilme-birim şekil değiştirme karakteristiği, Hognestad parabolünün çizimi yapılarak, beton türlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda, maksimum gerilmeye karşılık gelen birim şekil değiştirme değeri olarak ϵ_0 değerinin alınmasının uygun olacağı anlaşılmış ve bu değer, 0.0013 - 0.0024 arasında değiştiği gözlenmiştir (Cengizkan ve Ersoy, 1999). Hognestad eğrisindeki maksimum gerilme değişim karakteristiği ise Eşitlik 1'de verilen ifade ile tanımlanmıştır:

$$\sigma = \sigma_s \left[\frac{2\epsilon}{\epsilon_0} - \left(\frac{\epsilon}{\epsilon_0} \right)^2 \right] \quad (1)$$

Burada;

σ : Betonun dayanım değeri, MPa,

σ_s : Silindirik beton örneği dayanımı, MPa,

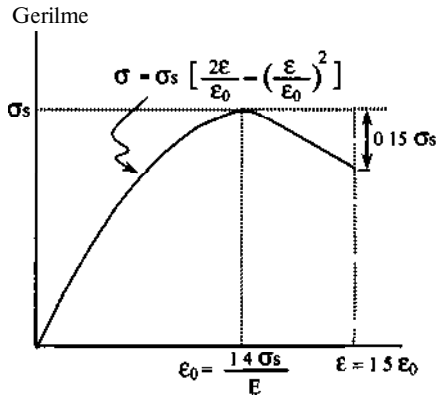
ϵ : Betonun birim şekil değiştirme değeri,

ϵ_0 : Betonun limit şekil değiştirme değeri,

E : Betonun elastisite modülü, MPa.

Yapılan araştırmalar sonucu, Hognestad parabolü ile ifade edilen O-E ilişkisinin değiştirilmiş şeklinin, hafif doğal gözenekli kayalardan elde edilmiş hafif

betonun davranışını kestirmede, deneysel sonuçlara oldukça yakın değerler vermesi nedeni ile kullanılabilirliği anlaşılmıştır. Hafif beton uygulamaları için, genel olarak yeniden düzenlenmiş Hognestad eğrisi ve prensibi Şekil 2'de verilmiştir (Cengizkan & Ersoy 1999).



Şekil 2. Hafif betonlar için Hognestad Eğrisi.

Hafif betonun maksimum gerilme karakteristiğinin belirlenmesinde, en yüksek birim şekil değiştirme değerinin ifadesi ise Eşitlik 2'de tanımlanan model ile verilmiştir (Cengizkan & Ersoy 1999):

$$\epsilon_0 = \frac{1.4 \sigma_s}{E} \quad (2)$$

Şekil 2 incelendiğinde, maksimum gerilme değeri, ϵ_0 değerinin bir ölçütü olarak tanımlanmıştır. Ancak burada, sınır değer olarak kabul edilen ϵ_0 uzama değeri, karışım kombinasyonun elastisite modülüne bağımlı bir parametre durumundadır. Hafif betonlarda, gözenekli agrega ve harç arasındaki mukavemet ve elastisite modülü gibi özellikler, fonksiyonel olarak birbirlerine bağımlıdır. Ağır betonlardaki agregalar ise, mukavemet ve elastisite modülü bakımından harcınine oranla birkaç kat daha yüksektir. Buna bağlı olarak gözenekli agregaların ve çimento harcının çeperlerinde oluşan gerilme yığılması azalmakta ve sonuç olarak mikro çatlak oluşumlarının çeperlerinde bir gerilme artışı sağlanarak, gerçekleşen sünme, çizgisel konumdan uzaklaşmakta ve çizgisel olmayan bir sünme gerçekleşmektedir. Gözenekli agregalar ve matriks yapı arasında sağlanan yüksek yapışma kuvvetine ilaveten, hafif betonun sertleşmesi sürecinde, agrega-çimento dayanımının güçlenmesi, yüksek gerilme dayanımını sağlayarak, hafif betonun ağır betonla rekabet gücünü artırmaktadır. Gözenekli agregalar, daha düşük bir elastisite modülü değerine sahip olup, ağır betonunkine göre %20-40 kadar düşük bir değere sahiptir. Düşük bir hacim ağırlıkta, gözenekli kum beton içersindeki ince agrega yerine kullanıldığında, elastisite modülünde meydana gelen

önemli düşüş hemen dikkati çekmektedir. Bilinen hafif betonların tümü, ağır betonlarla kıyaslandığında, hem basınç ve hem de çekme dayanımı bakımından, daha plastik bir gerilme karakteristiğine sahiptir. Bu farklılık, hafif betonların kırılma özelliklerinin daha yüksek olmasından ileri gelmektedir. Konu üzerine yapılan araştırmalarda, pomza+kum bileşenli hafif betonlar için elastisite modülünün, karışımın birim ağırlığı ve dayanımına bağımlı olarak değiştiği belirlenmiştir. Literatürde bu değişim, Eşitlik 3 "de verilen ifade ile tanımlanmıştır (Bardhan, 1980).

$$E = 4307 * w^{1.5} * \sqrt{\sigma_s} \quad (3)$$

Burada;

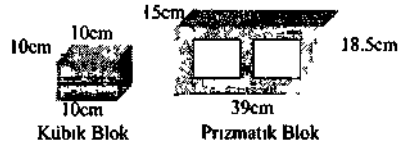
E : Hafif betonun elastisite modülü, MPa,

w : Hafif betonun yaş yoğunluk değeri, MPa.

Yukarıda verilen bu genel tanımlamalar ışığında, hafif doğal gözenekli malzemeler ile elde edilen hafif betonların, karakteristik özelliklerinin belirlenmesi ve analizi amacıyla, SDÜ Maden Müh. Bölümü Kaya Mekaniği Laboratuvarı'nda bir dizi deneysel ve gözlemsel araştırma çalışması yapılmıştır. Bu çalışmada, hafif doğal gözenekli malzeme olarak, pomza oluşumları irdelenmiştir. Bu incelemede, farklı granülometrik oranlarda hazırlanan hafif beton blok örnekleri, analiz edilmiştir. Deneylerde, granülometrik karışımlar için 0.10-0.35 su/katı oranları kullanılmış olup, hazırlanan numuneler, nominal boyutları 10x10x10 cm'lik kübik bloklardır. Bu küp numuneler üzerinde, 7, 14 ve 28 günlük kür sürelerinde dayanım deneyleri yapılmıştır. Hafif beton karışımlarında granülometrik olarak şu boyut aralıkları kullanılmıştır:

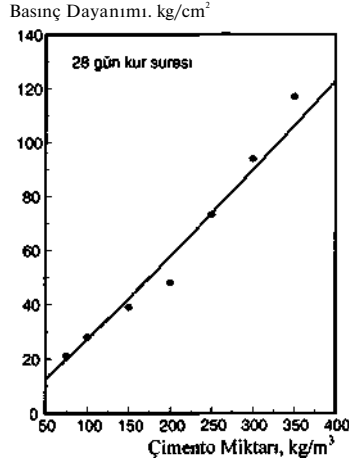
- 16 mm - 8 mm (iri agrega),
- 8 mm - 4 mm (orta agrega),
- < 4 mm (ince agrega)

Karışım değerleri için, farklı yüzde oranlarında iri/orta/ince agrega oranları tanımlanmış olup, farklı çimento dozajlarında hafif beton kombinasyonları oluşturulmuştur. Bu çalışmada yapılan analizlerin amacı; benzer karışım kombinasyonlarında oluşturulan hafif betonlardan boşluklu prizmatik blok elemanları elde edildiğinde, bu blok elemanın dayanım değerinin ne olabileceğinin kestiriminin yapılabilmesidir. Pomza blok elemanlarının basınç dayanım değerlerinin analizi için, dolu kübik şekilli blok örneklerinin dayanım değerleri ile boşluklu prizmatik şekilli blok elemanı örneklerinin dayanım değerleri arasındaki ilişki araştırılmış olup, analiz çalışmaları kullanılan deney örneklerinin şekil, form ve boyutları Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Analizlerde kullanılan pomza blok örneklerine ait şekiller.

Yapılan analiz bulgularına göre, kübik blok elemanlarının basınç dayanım değişiminin, kullanılan çimento miktarına göre değişim gösterdiği gözlenmiş olup (Şekil 4), çimento dozajının blok dayanımına etkisi irdelenmiştir.



Şekil 4. Pomza kübik blok dayanım karakteristiği.

Prizmatik şekle sahip bir sıra boşluklu pomza blok örneklerinin basınç dayanımları da, ayrı analizlerle belirlenerek, prizmatik boşluklu pomza blok örneklerinin basınç dayanımları (σ_{pr}) ile kübik pomza blok örneklerinin basınç dayanımları (σ_c) arasındaki ilişki araştırılmış olup, a_{pr}/a_c oranının kullanılan çimento dozajına bağımlı olarak doğrusal bir değişim gösterdiği belirlenmiştir (Gündüz & Uğur 2000). Elde edilen bulgu, Eşitlik 4' te verilmiştir.

$$CJ_{pr}/a_0 = 0.613 - 0.0003 \cdot Dz \quad (R^2 = 0.98) \quad (4)$$

Burada,

- σ_{pr} : Prizmatik blok basınç dayanımı, kg/cm^2 ,
- σ_c : Pomza kübik blok basınç dayanımı, kg/cm^2 ,
- Dz : Çimento kullanım miktarı, kg/m^3 .

Deneyde kullanılan kübik blokların, elastisite modülleri ayrı ayrı belirlenmiş olup, pomza kübik bloklar için elastisite modülü-malzeme ilişkisi, Eşitlik 5'de* verilen görgül bağıntı ile tanımlanmış

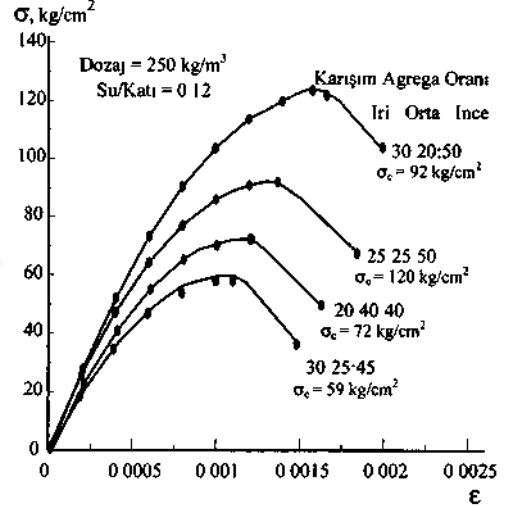
olup, bağıntının Sperman Rank Korelasyon yöntemine göre istatistiksel anlamlılık düzeyi, kabul edilebilir sınır değerler içindedir:

$$E_p = 13.42 \cdot \rho \cdot \sqrt[3]{\sigma_c} \quad (5)$$

Burada,

- E_p : Pomza hafif betonun elastisite modülü, kg/cm^2 ,
- ρ : Pomza hafif betonun yoğunluğu, kg/m^3 .

inceleme bulgularından, pomza blokların gerilme - birim şekil değiştirme değişim karakteristiği analiz edilmiş olup, farklı karışım oranlarında elde edilen $\sigma-\epsilon$ ilişkileri Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5 Pomza blokların gerilme-birim şekil değiştirme karakteristiği

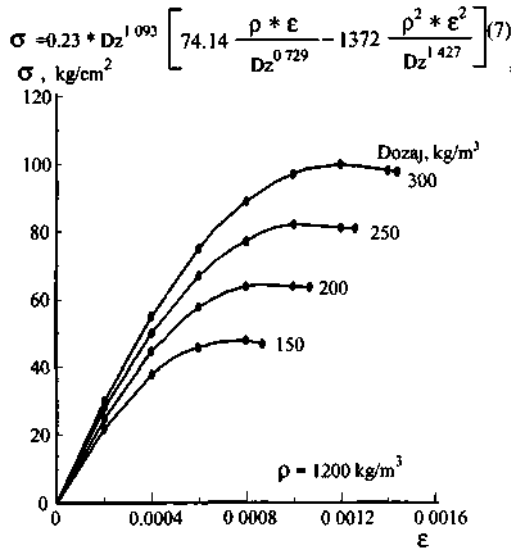
Şekil 5 irdelendiğinde, pomza blokların gerilme - birim şekil değiştirme karakteristik değişiminin, yukarıda tanımlaması verilen Hognestad eğrisel ilişki şekline benzediği görülmektedir. Ayrıca, karışım kombinasyonunda yer alan pomza granülometresinin, bloğun dayanımına ne denli etki ettiği de açıkça yorumlanabilmektedir. Burada, her bir karışıma ait blok elemanı için elde edilen maksimum gerilme değeri, birbirinden farklı değerlerde olup, karışımdaki ince malzeme oranı arttıkça, dayanım ve maksimum genişlemenin olduğu gözlenmiştir. Bunun tersine, ince oranının artması, dayanım açısından bir avantaj sağlamasının yanı sıra, blok yoğunluğunun artmasına neden olduğundan, yüksek oranlarda ince malzeme kullanımı fazla avantajlı olarak görülmemektedir. Çünkü, pomzanın kullanım amacı, dayanım ve genişleme değeri kabul edilebilir ölçülerde olan hafif bir beton eldesinin sağlanmasıdır. Bunun için yapılacak analizler ile, en uygun karışım oranlarının belirlenmesi gerekmektedir. Konu üzerine yapılan

deneyel ve gözlemsel bulgulardan, pomza bloklar için en yüksek gerilme değerinin kestirilebilmesine yönelik bir matematiksel yaklaşım geliştirilmiştir. Bu yaklaşımın görgül bağıntısı Eşitlik 6'da verilmiştir.

$$\sigma = \sigma_c \left[24.91 \frac{\rho * \epsilon}{1.5 \sqrt{\sigma_c}} - 155 \frac{\rho^2 * \epsilon^2}{0.75 \sqrt{\sigma_c}} \right] \quad (6)$$

Blok elemanlarının dayanım karakteristiğine etki eden diğer bir parametre ise, karışımda kullanılan çimento dozajı ve buna bağımlı olarak değişen blok parametre değerleridir. Bu olgu, deneysel ve gözlemsel olarak incelenmiş olup, bir örnek olarak, 1200 kg/m³ lük yoğunluk değerine sahip blok elemanları için, Şekil 6'da verilen bulgular elde edilmiştir.

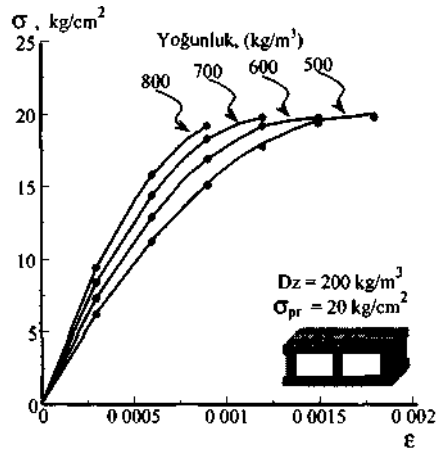
Şekil 6 irdelendiğinde, matris yapıdaki çimento dozajı arttıkça, dayanım karakteristiğinde bir iyileşme gözlenmektedir. Ancak, fazla oranda çimento kullanımı, bloğun yüksek maliyette eldesi anlamına geldiğinden, en uygun çimento kullanım oranının belirlenmesi gerekmektedir. Bu açıdan, Şekil 6'da verilen eğrisel ilişkiler yorumlanarak, ekonomik olarak kullanılacak çimento miktarı tanımlanabilir. Bu olgu, daha detay bir analiz için derinleştirilerek, çimento miktarına bağımlı, blok gerilme-birim şekil değiştirme karakteristik ilişkisi modellenmiştir. Bu model, diğer örnekler de olduğu gibi, Hognestad eğrisel yaklaşımının bir şekli olarak geliştirilmiş olup, ampirik ifadesi Eşitlik 7'de verilmiştir.



Şekil 6. Pomza blokların gerilme-gerleşme karakteristiği

Pomza blokların hafif beton olarak incelemesi sürecinde ele alınan bir diğer konu ise, prizmatik

geometriye sahip bir sıra boşluklu duvar elemanı olarak elde edilen blokların, gerilme-birim şekil değiştirme karakteristiğinin analizi olmuştur. Bu analizde de, yukarıda ampirik tanımlama ve uygulama prensipleri verilen yaklaşımlar, baz irdelene parametreleri olarak ele alınmış olup, blokların dayanım ölçütleri modellenmeye çalışılmıştır. Boşluklu pomza bloklar üzerinde yapılan analiz bulgularına göre, blokların gerilme-birim şekil değiştirme davranışı Şekil 7'de verilmiştir.

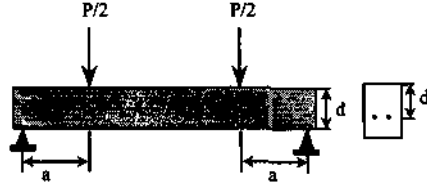


Şekil 7. Pomza blokların gerilme-birim şekil değiştirme karakteristiği

Şekil 7 irdelendiğinde, boşluklu bloğun kuru birim hacim ağırlık değerinin değişimi, blok elemanının dayanım değerine etki eden önemli bir parametre olarak gözlenmektedir. TS 2823 standardına göre, hafif doğal gözenekli kayalardan elde edilen boşluklu blokların, dolgu amaçlı duvar elemanı olarak kullanımında, taşınması gereken minimum gerilme değeri 1.96 MPa (20 kg/cm²)'dir. Bu standart değere göre, pomza bloklar için limit gerilme değeri, 1.96 MPa olarak ele alındığında, pomza blokların gerilme-birim şekil değiştirme karakteristik değişimi irdelenebilmektedir. Bu değerlendirmeye göre, blok birim hacim ağırlık değeri arttıkça, bloğun genişleme değeri azalmaktadır. Diğer bir deyişle, blok elemanı daha elastik bir yapı kazanmaktadır. Bu olgu, blokların daha kırılğan bir yapı oluşturmasını sağlamaktadır. Bu bakımdan, blokların plastik özellik göstermesi istenildiği durumlarda, blok birim hacim ağırlık değerinin düşük olması ve bu bağlamda da bloğun karışım bileşenlerini oluşturan hafif agregaların tane boyut dağılımlarının en uygun şekilde seçilmesi gerekmektedir. Pomza blokların gerilme- birim şekil değiştirme karakteristiğinin belirlenmesine yönelik bir görgül bağıntı geliştirilmiş olup, oluşturulan yaklaşımın ampirik ifadesi, Eşitlik 8'de verilmiştir.

$$\sigma = \sigma_{pr} \left[\frac{18 \rho \epsilon 10^{-0.00017 Dz}}{1.5 \sqrt{\sigma_{pr}}} - \frac{82 \rho^2 \epsilon^2 10^{-0.00035 Dz}}{0.75 \sqrt{\sigma_{pr}}} \right] \quad (8)$$

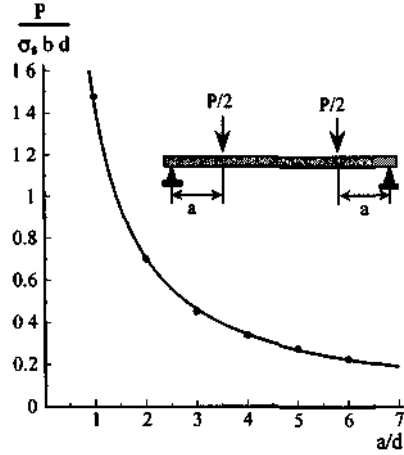
Hafif doğal agregalı betonlar için diğer bir analiz türü ise, hafif betonun kesme davranışı ve buna bağımlı dayanım olgusudur. Bu inceleme için kullanılan analiz modelinin sembolik gösterimi Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8. Hafif betonun 4 nokta yüklemeli eğilme deneyi analiz modeli.

Konu üzerine, farklı hafif agregalı betonların kesme davranıştan, kesme yükü, kesme moment oluşumu, beton boyutunun etkisi gibi parametreler, detay olarak analiz edilmeye çalışılmış, genel bir karakteristik yaklaşım Şekil 9'da verilen bulgu ile tanımlanmıştır (Bardhan 1980). Yapılan istatistiksel incelemeler sonucu, hafif betonların kesme yük değişimini sembolize eden bir model tanımlanmış olup, modelin ampirik ifadesi Eşitlik 9'da verilmiştir.

$$P = 0.24 * \sigma_c * b * d * 10^{-0.155 a/d} \quad (9)$$



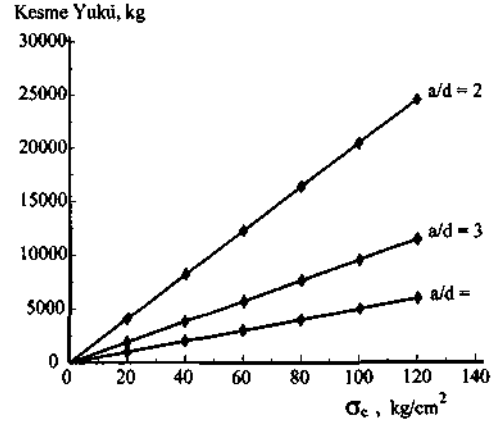
Şekil 9. Hafif betonun kesme yükü değişim değerleri.

Hafif betonlar için geliştirilmiş bu genel yaklaşıma göre, pomza betonun kesme yükü değişimi detay olarak incelenmiş olup, pomza betonun basınç dayanımı ve çimento dozajına bağımlı, kesme yükü değişimi Şekil 10 - Şekil 11'de verilmiştir. Ayrıca,

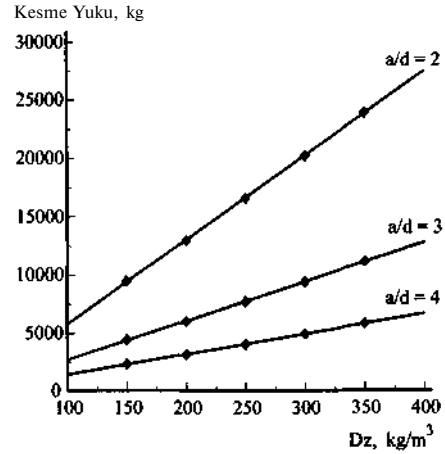
pomza beton için kesme yük değişimleri, Eşitlik 10-Eşitlik 1 Tdeki gibi tanımlanmıştır.

$$P = 0.62 * \sigma_c * b * d * 10^{-0.155 a/d} \quad (10)$$

$$P = 0.12 * Dz^{1.093} * b * d * 10^{-0.155 a/d} \quad OD$$



Şekil 10 Pomza betonun kesme yükü değişim değerleri.

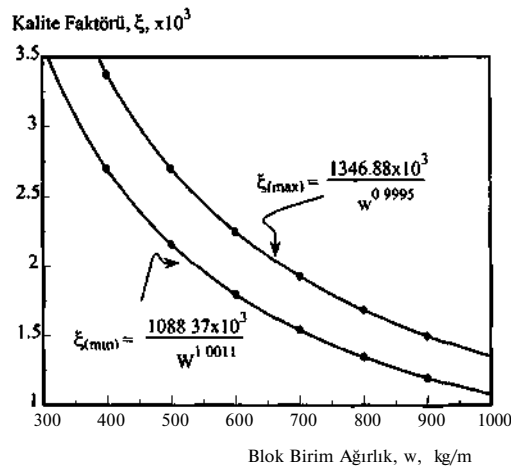


Şekil 11 Pomza betonun kesme yükü değişim değerleri.

Araştırmanın diğer bir aşamasında, hafif beton karışımlarından elde edilmiş boşluklu duvar bloklarının kullanım yerlerine uygunluğu bakımından kalite analizlerinin nasıl yapılabileceğine yönelik bir dizi modelleme çalışması yapılmıştır. Burada, özellikle boşluklu pomza bloklar için kullanılacak, bir kalite analizi yaklaşımının tanımı ve uygulama prensipleri detaylandırılmıştır. Pomza blok ürünlerinin teknik incelemeleri için, öncelikle TS 2823 No'lu standarda (TSE 1986) uygunluk analizleri yapılmalıdır. Ancak, bu standartta yer alan ürün şekillerinin irdelenmesinde, yalnızca ürünün geometrik boyutu,

ağırlığı ve basınç dayanımı bakımından bir değerlendirme yapabilmek için sunulmaktadır. Bu ürünlerin kalite açısından optimizasyonunun sağlanması bakımından, bir kriter belirlenmemiştir. Ancak, TSE standartları bu tarz detay bilgileri içermediği için, genelde ürünlerin kalite faktörlerinin tanımlanması ve değerlendirilmesinde, uygulamada problemlerle karşılaşmaktadır. Bu tür problemlere bir çözüm bulmak ve pomzadan mamul hafif yapı elemanlarının kalite faktör analizlerinin yapılabilmesine yönelik, bir dizi teknik detayın belirli normlarda irdelenmesi ve değerlendirilmesi gerekmektedir. Aşağıdaki paragraflarda, prensip itibarıyla TS 2823 'de (TSE 1986), yer alan pomzadan mamul ürünlere ait parametrik değerlerin mukayesesine dayanan bir değerlendirme şekli tanımlanmıştır.

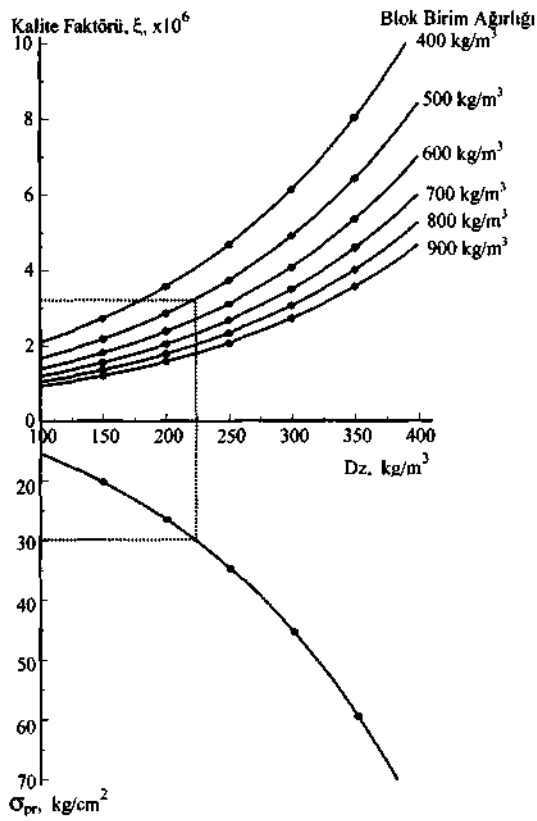
Blok elemanlarının kalitesi, yapısal bir malzeme olarak yük taşıma verimliliğinin değerlendirilmesi ile yapılabilmektedir. Özgül dayanım olarak da ifade edilebilen bu olgu, bloğun dayanımının bağlı yoğunluğuna veya diğer bir deyişle, kuru birim hacim ağırlık değerine oranı olarak tanımlanmaktadır. Bu incelemede kullanılan bilimsel ve pratik yaklaşım ise, *hafif yapı bloğun basınç dayanım değerinin, bloğun en büyük birim hacim ağırlığa oranı* olarak bulunan parametrik değer, *bloğun ürün faktörü* (ξ) olarak tanımlanmıştır. Bu tanımlamanın genel şekli ve kalite tanımlama bölgeleri Şekil 12'de verilmiştir.



Şekil 12. TSE 2823 standart normlarına göre hafif blokların ürün faktörü analiz eğrisi.

Bu yaklaşıma göre, TSE 2823 (TSE, 1986) standardında belirtilen normlardaki blok elemanlarının ürün faktörleri, bloğun minimum basınç dayanım değeri 20 kg/cm^2 ve ortalama basınç dayanımı 25 kg/cm^2 değerleri ile, en büyük yoğunlukları olarak tanımlanan (400-500-600-700-

800-1000 kg/m^3) değerleri kullanılarak, standart ürün faktörleri belirlenmiş olup, Şekil 13'te bu değerlerin uygulanabilirlik sınırları gösterilmiştir.



Şekil 13. TSE 2823 standart normlarına göre pomza blokların ürün faktörü analiz eğrisi

Şekil 13'de verilen yaklaşıma göre, elde edilen parametrik bulguların analizi için pratik olarak kullanılacak bir algoritma geliştirilmiş olup, ampirik ifadesi, Eşitlik 12'de verilmiştir.

$$\xi = \frac{8.976 \cdot e^{0.006 Dz}}{\rho \cdot h \cdot 10^{0.00026 Dz - 3}} \quad (12)$$

Burada;

ξ : Pomza bloğun kalite faktörü,
 ρ : Pomza bloğun birim hacim ağırlığı, kg/m^3 ,
 h : Pomza bloğun yüksekliği, cm.

Bu eşitlikten elde edilen parametrik bulgu, pomza blok elemanı için analiz bulgusu olarak ele alınarak, Eşitlik 13'de verilen koşula uyup uymadığı araştırılır. Bu koşulun sağlanması durumunda,

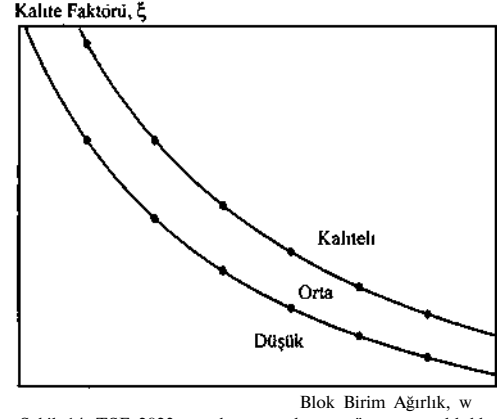
pomza blok elemanının, yük taşıma verimliliği açısından en uygun olduğu kabul edilir. Konu üzerine uygulayıcıların, TS 2823 standardına göre değerlendirebilecekleri bir analiz abağı, Şekil 14'de verilmiştir. Bu abak yardımı ile, pomza blokların yük taşıma verimliliği veya özgül dayanım kapasite analizi yapılarak, yorumlanabilmektedir.

$$\xi (\text{analiz}) \geq \xi (\sigma_{pr}) \quad (13)$$

Bu yorumlamada, olumsuz sonuç çıkan blok elemanları için, karışım parametrelerinin yeniden gözden geçirilerek, bloğun ağırlığını arttırmadan, daha yüksek bir dayanım sağlanabilecek blok karışım parametrelerinin araştırılması gerekecektir.

3 SONUÇLAR

Bu çalışmada, gözenekli ve hafif doğal kayalardan hafif beton üretimlerine ait karakteristik özellikleri tanımlanmaya çalışılmıştır. Özellikle, pomza oluşumlarının, hafif doğal agrega olarak değerlendirilebilirliği ve pomzalı hafif beton uygulamalarının analiz bulguları tartışılmıştır. Pomzalı hafif betonlar için, gerilme-birim şekil değiştirme karakteristiğinin değişim olgusunu ifade eden, geliştirilen ampirik yaklaşımlar tanımlanarak, konu üzerinde yeni araştırmacılara bir ışık tutulmuştur. Ayrıca, pomza blok elemanlarının kalite tanımlamalarına yönelik bir analiz modeli önerilmiştir. Bu model, günümüzde, pomza teknolojisinde yer alan kurum ve kuruluşlarca, elde edilen hafif duvar bloklarının kalite analizinde, doğrudan kullanılabilir bir yöntemin prensip uygulama şeklidir.



Şekil 14 TSE 2823 standart normlarına göre pomza blokların yük taşıma verimlilik analizi.

KAYNAKLAR

- Bardhan B K. 1980. Design considerations for prestressed lightweight aggregate concrete, *The Concrete Society*, The Construction Press. Lancaster, London, New York, UK
- Cengizkan K. & Ersoy U. 1999. Betonarmede bims kullanımı, inşaat Mühendisler Odası, izmir Şubesi Yayın No:31, izmir.
- Ersoy U. 1985. Betonarme, temel ilkeler ve taşıma gücü hesabı, Bizim Büro Basımevi, Ankara.
- Gündüz L. & Uğur I. 2000. Pomzadan mamul blok elemanlarında kayaç parametreleri-ses akustiği ilişkisi üzerine teknik bir analiz, *V Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu*, s 205-215, Ekim, İsparta.
- TS 2823. 1986. Bims betonun mamul yapı elemanları, UDK 622.353 691 327, Ankara

Pomza Hammaddesinin Tuğla Üretiminde Kullanılması

İ. Demir

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü, Afyon, Türkiye

M. Orhan

Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü, Ankara, Türkiye

ÖZET: Bu çalışmada, Afyon bölgesi killeri ile pomza kumu karışımının, tuğla üretiminde kullanım olanakları incelenmiştir. Bu amaçla üç farklı karışım hazırlanmış ve bunlardan elde edilen laboratuvar örneklerine T.S.E. standartlarına göre testler uygulanmıştır. Test sonuçları standart değerlerle karşılaştırılarak üretilen örneklerin inşaat sektörü açısından uygunluğu araştırılmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda: (B) serisi örneklerde su emme oranının arttığı ve basınç mukavemetinin düştüğü saptanmıştır. Ayrıca tuğlanın birim hacim ağırlığında düşme gözlenmiş, hafif ve yalıtken yapı malzemesi üretiminde değerlendirilebileceği saptanmıştır. (C) serisi örneklerinde tuğlanın su emme oranı artarak olumsuz etkilendiği, buna karşı basınç mukavemeti bakımından olumlu yönde geliştiği saptanmıştır.

ABSTRACT: In this study, mixture of clays of Afyon region and pumice is studied as a substitute to material used in brick production. For this purpose, three types of mixtures were prepared and samples obtained from these mixtures are tested according to TSE standards. Test results and standard values are compared from the view of usage of the samples in building construction sector. Test results show that series (B) of the samples has a low rate of water absorption and a high compressive strength. In addition, it is observed that bulk density of brick decreases, enabling its as light and building insulation material. In series (C) of samples, water absorption ratio decreases while compressive strength increases.

1 GİRİŞ

Malzeme bilimindeki gelişmeler fonksiyonel, dayanıklı ve ekonomik malzeme üretimini hedeflemektedir. Kentleşmenin ortaya çıkardığı hızlı yapılaşma olgusu, kaliteli malzeme üretiminin önemini ortaya çıkarmaktadır.

Bu çalışmada tuğla kiline ağırlıkça % 25 oranında ve farklı tane boyutlarında pomza hammaddesi katılarak; yapı tuğlasına göre birim hacim ağırlığı daha düşük, porozitesi daha yüksek yapı tuğlası üretimi amaçlanmıştır.

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

Afyon yöresinde tuğla üretiminde kullanılan killerde aşırı plastisite nedeniyle kuruma ve pişme

sırasında oluşan çatlamları önlemek amacıyla yapılan deneysel çalışmada; hammadde içerisine ağırlıkça %10-15 oranında ince tane boyutunda karbonat içermeyen temiz dere kumu katılarak kuruma ve pişirme testleri uygulanmıştır. Sonuçta %10-15 oranındaki kum katkının kuruma ve pişme sırasında oluşan çatlamları önlediği saptanmıştır (Orhan & Demir 1998).

Şekillendirmede iki tür yöntem kullanılmaktadır. Plastik şekillendirmede; hammaddenin % 18-23 arasında nemlendirilerek vakum preslerde, yarı kuru preslemede ise hammaddenin %8-14 arsında nemlendirildikten sonra 100 -250 kg/cm² lik basınç altında preslerle şekillendirilir. Her iki yöntemin de avantaj ve dezavantajları olduğu, yarı kuru presleme yönteminde kuruma ve pişme küçülmesi düşük olmasına karşın nispeten dona dayanımının düşük, yüzeyin pürüzlü olduğu ve blok tuğla üretimi gibi yüksek boşluklu ürün eldesinin zor hatta imkansız hale geldiği, bu nedenle kuruma ve pişme küçülmesi ve kuruma probleminin daha fazla olmasına karşın, şekillendirme problemlerini aşabilmek ve üretim hızını arttırabilmek amacıyla tuğla sektöründe

plastik şekillendirme tercih edilmektedir (Üzer vd. 1987).

Tuğla topraklarında kireç yüzdesini tam olarak sınırladığının pek mümkün olmadığını, bazı topraklarda %8 kirecin, patlama ve dağılmalar gösterdiği halde, diğer bir toprakta %15 kirecin pek etki göstermediğini, bunun nedeni kirecin daha ince taneler halinde dağılmasıdır (Dökmen 1989).

Bir silindirik boşlukta suyun emilmesi olayını, porozlu malzemelerin su emmesi terimi içerisinde tartışılabilir. Araştırmacılar porozlu yapı malzemelerinde suyun hareketinin pratik bir öneme sahip olduğunu, inşası tamamlanan yapılarda malzemenin çürümesi ve havalandırılması işleminin yapı bünyesindeki suyun hareketi ile kontrol edilebileceğini öne sürmüşlerdir (Wilson vd. 1991).

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

Tuğla- Kiremit toprakları düşük sıcaklıklarda eriyen, diğer seramik ürünlerinin yapımında kullanılan killere göre daha az saf olan ve genellikle pişme rengi kırmızı olan killerdir (Üzer vd. 1987).

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

Kil, çok ince taneli bir kayadır. Kilin esas maddesi sulu alüminyum silikat, sınıfına göre Mg ve Fe gibi diğer elementleri de içerir. İnce taneler 2- 5(1 olduğundan gözle veya normal mikroskopla ayırt edilmeleri hemen hemen mümkün değildir. 100.000 defa büyütülerek mikroskopta resimleri çekilmekte, X ışınları ile iç yapısı tespit edilmekte, sıcaklığı, D.T.A. cihazları ile ölçülmekte ve kesin olarak sınıfta tayin edilmektedir (Sarız & Nuhoğlu 1992).

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

Pomza, volkanik olaylar neticesinde oluşmuş, fiziksel ve kimyasal etkenlere karşı dayanıklı, süngerimsi, bol gözenekli camsi volkanik bir kayadır. Bir başka deyişle pomza çok poroz olan volkanik taş camıdır da denilebilir. Oluşumu sırasında bünyedeki gazların, ani olarak bünyeyi terk etmesi ve ani soğuma nedeniyle, makro ölçekte mikro ölçüğe kadar sayısız gözenek içerir. Gözenekler arası genelde (özellikle mikro gözenekler) bağlantısız boşluklu olduğundan permeabilitesi düşük, ısı ve ses yalıtımı oldukça yüksektir (Gündüz vd. 1998).

TS standartlarında pomza; birbirine bağlantısız boşluklu, sünger görümlü, silikat esaslı, birim hacim ağırlığı genelde 1 gr/cm³ 'ten az , camsi dokulu ve sertliği Mohs skalasına göre yaklaşık 6 olan volkanik bir madde olarak tanımlanır (TS 3234).

2 MATERYAL VE METOT

Çalışmada kullanılan malzemeler ve uygulanan yöntemler bu bölümde verilmiştir.

2.1 Çalışmada kullanılan malzemeler

Çalışmada Afyon bölgesinde tuğla üretiminde kullanılan kil hammaddesi ve İsparta bölgesinde bulunan pomza hammaddesi kullanılmıştır. Kil örneklerinin alındığı saha Çobanlar (Afyon) ilçesi sınırları içerisinde yer alır. Hammadde sahası tuğla fabrikalarına yakın bir bölgede bulunmaktadır. Çalışmada kullanılan kil ve pomza hammaddesinin kimyasal analiz sonuçları aşağıda verilmiştir (Çizelge 1).

Çizelge 1 Kil ve pomza numunelerin kimyasal analiz sonuçları ve literatürdeki değerleri

OKSİT	Pomza		Kil	
	Analiz	Literatur	Analiz	Literatur
SiO ₂	54.48	60-75	50.86	42,7-64,5
Al ₂ O ₃	15.72	13-15	20.80	16,3-20,6
Fe ₂ O ₃	4.55	1-3	7.08	2,8-7
CaO	4.27	1-2	3.62	0,7-9,5
MgO	1.02	1-2	1.98	0,8-6,2
SO ₃	0.88	-	1.27	0,3
K ₂ O	5.38	7-8	4.00	1,7-3,6
Na ₂ O	4 16	7-8	0.56	0,1-0,8
Kız.Kay.	251	3	8.76	6,3-11,5
Toplam	93.97		100	100

2.2 Çamur hazırlama ve örneklerin şekillendirilmesi

Numune üretiminde kullanılacak kil hammaddesi Afyon ilindeki bir tuğla fabrikası hammadde yığınından, numune alma yöntemlerine uygun olarak yeterli miktarda alınmıştır. Çeyrekleme metodu ile

gerekli miktarda malzeme 1 mm açıklıklı vals cihazında ezildikten sonra 1 mm'lik elekten elenerek hazırlanmıştır. Deney numunesi için kullanılacak pomza hammaddesi laboratuvar tipi vals cihazında ezilerek;(-3,+2mm) ve (-1 mm) tane boyutlarında olmak üzere iki farklı tane sınıfına ayrıldı.

Deneylerde karşılaştırmalı sonuçlar alabilmek için üç ayrı seride deney örneği hazırlanmıştır;

- (A) Serisi: % 100 Kil
(B) Serisi %75 kıl+ %25 Pomza (-3,+2mm)
(C) Serisi %75 kıl+%25 Pomza (-1 mm)

Bütün malzemeler önce etüv kurusu haline getirildikten sonra hassas terazide tartılarak belirlenen oranlarda alınmıştır. Önce pomza hammaddesi üzerine su sprey yapılarak su emmesi sağlanmış ve belirlenen oranlarda alınan kıl ve pomza malzemeler sert plastik kıvama gelinceye kadar su ilave edilerek el ile yoğrulmuştur. Bu üç farklı karışım olarak hazırlanan çamur rutubetini kaybetmeyecek biçimde 24 saat bekletildikten sonra plastik şekillendirmeye hazır hale getirilmiştir. Hazırlanan karışım laboratuvar tipi vakumlu (ekstrüzyon) preste, kesit ölçüleri 75x40 mm boyutunda ve deliksiz (vakum ağzı) kalıp kullanılarak üretilmiş, tel kesme aparatı ile numune boyları 100 mm olarak kesilmiştir. Her bir deney serisi için yeterli sayıda deney örneği üretilmiştir. Örneklerin yaş tartıları ve boyut uzunlukları ölçülerek kaydedilmiştir.

2.3 Kurutma

Deney örnekleri değişmez ağırlığa gelinceye kadar* (ortalama 6 saat) 110 °C de etüvde kurutulmuştur. Kurutma sonunda numuneler ortamdaki koşullarından etkilenmeden oda sıcaklığına (21 °C) getirilmiştir. Kuru ağırlıkları ve boyut ölçümleri yapılarak kaydedilmiştir.

2.4 Pişirme

Şekillendirme ve kurutma işlemi tamamlanmış numunelerle ilgili gerekli veriler (hassas tartım ve boyut ölçümleri) saptandıktan sonra yapı tuğlaları için uygun olan 900 °C sıcaklıkta elektrikli kül fırnında pişirilmiştir. Pişirme süresi 8 saat olarak alınmıştır. Pişirme sonunda numuneler yeterli sıcaklığa kadar soğuduktan sonra ortam şartlarından etkilenmeden oda sıcaklığına (21 °C) geldikten sonra hassas tartım ve boyut ölçüm işlemleri yapılmıştır.

3 BULGULAR

3.1 Kimyasal analiz sonuçları

Çalışmada kullanılan malzemelerin kimyasal analizleri ve literatür değerler Çizelge 1'de verilmiştir.

Kil numunelerinden elde edilen kimyasal analiz sonuçları verilen literatür değerlerle karşılaştırıldığında; SiO_2 , Al_2O_3 , CaO, MgO, Fe_2O_3 , Na₂O ve kızdırma kaybı değerlerinin uygun olduğu, 0,3 olarak verilen SO₃ değerinin %1.40 ve max 3.6 olarak verilen K₂O değeri 3.89 olarak saptanmıştır. Buna göre SO₃ ve K₂O değerlerinin literatür değerlerden bir miktar yüksek çıktığı görülmektedir. Ancak kil hammaddesinde kimyasal yapıdan ziyade fiziksel davranışların önemli olduğu kabul edilmektedir. Pomza numunesi sonuçlarının da literatür değerleri ile uygunluk sağladığı görülmektedir.

3.2 Karbonat tayini

Kil numuneye uygulanan karbonat tayini sonucunda:% 8,30 CO₃ saptanmıştır. Elde edilen bu değer (% 8-15) arasında verilen literatür değerlere uygundur. Ancak kilin elek analizinde 2 mm'nin üzerinde karbonat tanelerine sıklıkla rastlanmıştır, bunun için kil İmm iik elekten elenerek iri karbonat tanelerinin pişmiş ürüne zarar vermesi engellenmiştir.

3.3 Plastiklik suyu tayini

Elde edilen plastiklik suyu değerleri Çizelge 2'de verilmiştir. Buna göre pomza katkının plastisiteyi etkilemediği ve elde edilen sonuçların literatür değerlerle uygunluk sağladığı görülmektedir.

Çizelge 2. Plastiklik suyu değerleri (lit. %: 13,20- 40,7).

Seri Adı ve % Karışımı	Kil	Plast. (%)
A- % 100	31,50	
B- %75 kıl+ %25 Pomza (-3,+2mm)	31,55	
C-%75 kıl+%25 Pomza (-1 mm)	30,88	

3.4 Kuruma küçülmesi değerleri

110 °C'de elde edilen kuruma küçülmesi değerleri literatürde verilen değerlere uyum sağladığı ve pomza katkının kuruma küçülmesini azalttığı belirlenmiştir (Çizelge 3).

Çizelge 3 Kuruma küçülmesi değerleri (Lit. max. % 8).

Seri Adı ve % Karışımı	Kil	Kur.Küç.(%)
A- % 100	3,99	
B- %75 kıl+ %25(-3,+2mm)Pom.	2,50	
C-%75 kıl+%25(-1 mm) Pomza	2,64	

3.5 Toplam doğrusal küçülme değerleri

900 °C 'de pişirilen numuneler üzerinde elde edilen toplam doğrusal küçülme değerlerinin literatür

değerlerle uyum sağladığı ve pomza katkının küçülmeyle azaltarak olumlu etki yaptığı görülmektedir (Çizelge 4).

Çizelge 4 Toplam doğrusal küçülme değerleri
(lif Max % 10)

Seri Adı ve (%) Karışımı	Topl.Doğ.Küc. (%)
A- % 100 Kil	3,95
B-%75 kıl+ %25 Pom. (-3,+2mm)	2,28
C-%75 kıl+%25 Pomza (-1 mm)	2,57

3.6 Su emme değerleri

Pomza katkılı örnek serilerinde elde edilen değerlerin literatür değerlerin üzerinde gerçekleştiği ve pomza katkının su emmeyi olumsuz yönde etkilediği saptanmıştır (Çizelge 5).

Çizelge 5 Su emme değerleri (Literatür max. % 18)

Seri Adı ve (%) Karışımı	Ağırl. Su Emme (%)
A-%100Kil	15,35
B-%75 kıl+ %25 Pomza(-3,+2mm)	30,8
C-%75 kıl+%25 Pomza (-1 mm)	27,5

3.7 Birim hacim ağırlığı değerleri

Saptanan birim hacim ağırlığı değerleri Çizelge 6'da verilmiştir. Buna göre pomza katkılı örneklerde birim hacim ağırlık değerlerinin TS 705 standardında dolu tuğlalar için verilen değerlerin altında kaldığı, tuğlaya göre daha hafif bir bünye elde edildiği saptanmıştır. İnce taneli (-1 mm) pomza katkının, iri taneli (-3,+2 mm) pomza katkıya göre birim hacim ağırlığında bir miktar artışa neden olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeni olarak tane yapısının incelenmesi ile birlikte, toplam porozitede meydana gelen azalmanın yol açtığı düşünülmektedir (Çizelge 6).

Çizelge 6. Birim hacim ağırlığı değerleri *

Seri Adı ve % Karışımı	Bir. Hac. Ağ. (t/m ³)
A- % 100 Kil	1635
B-%75kıl+%25 Pom. (-3,+2mm)	1287
C-%75 kıl+%25 Pom. (-1 mm)	1434

*(TS 705: min.,1801 ,max.,2000 t/m³)

3.8 Basınç dayanımı değerleri

Basınç değerlerinin ince taneli (-1 mm) pomza katkılı seride Deprem Yönetmeliğinde verilen değerlere uygun olduğu, buna karşı iri taneli (-3,+2 n • *) pomza katkılı seride standart değerlerin altında gerçekleştiği saptanmıştır (Çizelge 7).

Çizelge 7 Basınç dayanımı değerleri*

Seri Adı ve (%) Karışımı	Bas. Dav.(MPa)
100 Kil	6,06
0-%75 kıl+ %25 Pom. (-3,+2mm)	3,71
C-%75 kıl+%25 Pomza (-1 mm)	6,78

*(Deprem Yont. min 5,0 MPa, TS 705 min:4,5 MPa)

210

3.9 Kızdırma kaybı

Elde edilen kızdırma kaybı değerlerinin literatürde verilen değerleri geçmediği ve pomza katkının kızdırma kaybını bir miktar azaltarak olumlu katkı yaptığı saptanmıştır (Çizelge 8).

Çizelge 8 Kızdırma kaybı değerleri (Literatür max % 10-13)

Seri Adı ve % Karışımı	(Ağırlıkça % kavıp)
A-%100Kıl	9,21
B-%75 kıl+ %25 Pom. (-3,+2mm)	7,24
C-%75 kıl+%25 Pomza (-1 mm)	7,10

3.10 Dona dayanım testi

Belirlenen değerler çizelge 9'da verilmiştir. Buna göre iri taneli (-3,+ 2 mm) pomza katkının dona dayanım değerini azaltarak olumsuz yönde etkilediği saptanmıştır. Buna; iri taneli pomza hammaddesinin gözenekli yapısının yola açtığı düşünülmektedir.

Çizelge 9 Dona dayanım testi sonuçları

Seri Adı ve (%) Karışımı	Dona Dayanım Testi Sonucu Saptanan Bulgular
(A)- %100 Kil	Önemsiz sayılabilecek pullanma saptanmıştır.
(B)-%75 kıl+ %25 Pomza. (-3,+2mm)	Önemli ölçüde; pullanma, dağılma ve dökülme saptanmıştır. Don sonu ağırlık kaybı % 18'dir.
(C)-%75 kıl+%25 Pomza. (-1 mm)	Önemsiz sayılabilecek pullanma ve dökülme saptanmıştır. Don sonu ağırlık kaybı % 1,5 olarak belirlenmiştir.

3.11 Kireç ve manyezi testi sonuçları

Kireç ve manyezi deneyine giren her üç seriye ait örnekler ayrı ayrı gözle muayene edilerek incelenmiştir. Numunelerde önemli sayılabilecek; çatlama, kopma, pullanma, dağılma vb. herhangi bir hasarın oluşmadığı gözlenmiştir.

4 SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışma, Afyon ve çevresinde bulunan tuğla toprağı ile İsparta bölgesinden alınan pomza hammaddesi kullanılarak ekstrüzyon presleme yöntemi ile üretilen deney numunelerine standart test ve deneyler uygulanmış ve bu tuğla ürünlerin mekanik özellikleri saptanmıştır. Test sonuçları standart değerlerle karşılaştırılarak üretilen örneklerin inşaat sektörü açısından uygunluğu araştırılmıştır. Sonuçları aşağıda verilmiştir.

Plastisite sonuçları değerlendirildiğinde; pomzalı karışım serilerinde tuğla killeri için literatürde verilen %13 ile % 40 değerlerini geçmediği ve uygun olduğu görülmüştür.

Kuruma küçülmesi sonuçları bütün karışım serilerinde tuğla killeri için literatürde verilen max % 8 değerini geçmediği, pomza katkının küçülme değerini azaltarak olumlu etki yaptığı saptanmıştır.

Toplam küçülme değerleri her üç seride de tuğla killeri için literatürde verilen max %10 değerini geçmediği ve uygun olduğu saptanmıştır. Pomza katkılı numunelerde katkısız numunelere göre; hem kuruma ve hem de toplam küçülme değerlerinde azalma saptanmıştır. Bu sonuç pişirme sürecine olumlu katkı sağlayacağı gibi standart boyutta ürün eldesini de kolaylaştıracaktır.

Su emme değerleri bakımından hem iri (-3,+2mm) ve hem de ince taneli (-1mm) pomza katkılı serilerde yapı tuğlaları için literatürde verilen ağırlıkça max %18 su emme değerini geçtiği belirlenmiştir. Bu artışa; karışıma giren pomza hammaddesinin gözenekli yapısının neden olduğu düşünülmektedir.

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

Basınç dayanımı bakımından ince taneli (-1 mm) pomza katkının Deprem Yönetmeliğinde verilen değerlere uygun olduğu ve mukavemeti olumlu yöne etkilediği, iri taneli (-3,+2 mm) katkılı seride ise* basınç dayanımında azalma görülmüş ve standart değerlerin altında bir değer elde edilmiştir.

Pomza katkının ateş yayıltı değerlerini azaltıcı yönde etkilediği ve olumlu katkı yaptığı saptanmıştır.

DeneySEL çalışmalar sonucunda iki farklı tane boyutunda pomza hammaddesinin tuğla üretiminde kullanılan kil ile karıştırılması sonucu üretilen deney örneklerinin üretim süreçleri ve mekanik özellikleri saptanmıştır. Buna göre (B) serisi (-2+3 mm) tane

boyutunda pomza katkı ile üretilen tuğlaların yeterli basınç dayanım değerini sağlayamadığı için yığma yapı sistemlerinde kullanılmayacağından karkas yapılarda dolgu duvar yapımında kullanılması uygun olacaktır. Buna karşılık (C) serisi (-1mm) tane boyutunda pomza katkı ile üretilen örneklerde yeterli basınç dayanımı elde edildiğinden hem yığma yapı sistemlerinde taşıyıcı duvar yapımında ve hem de karkas yapılarda dolgu duvar yapımında kullanılması olanaklı olacaktır. Pomzanın kapalı gözenekli yapısının tuğla ürünün bünyesinde de gözenekli bir yapı oluşturacağı ve tuğlanın ısı yalıtım değerinin artacağı düşünülmektedir. Bu nedenle pomza katkılı tuğlada ısı yalıtım değerinin araştırılması konusunda ayrı bir çalışmanın yapılması yararlı olacaktır.

KAYNAKLAR

- Dökmen, L 1989. Salihli Ve Turgutlu'dan alınan tuğla - kiremit hammaddelerine uygulanan analizler ve sonuçları, *Dokuz Eylül Üniversitesi Yayını*, izmir, 4-21
- Gündüz, L. Saruşık, A. Tozaçan, B. Uğur, I. & Çankıran, O . 1998. *Pomza Teknolojisi*, İsparta
- Knight, J.C 1989 Influence of volcanic ash flux on ceramic properties of low plasticity clay and high plasticity clay of Trinidad, *British Ceramic Journal*, 1 (1999),98, 24-28
- Konta, J 1995 Clay and man. Clay raw materials in the service of man, *Applied Clay Science*, 10, 275-335
- Köktürk, U. 1997. Endüstriyel hammaddeler, İzmir *Dokuz Eylül Üniversitesi Yayını*. Yayın No 205
- Orhan, M & Demir, I. 1998. Tuğla killerinde rötre değerlerinin azaltılması üzerine bir araştırma, *Gazı Um Fen Bil Dergisi*, C 11, No 2,383-392
- Sarız, K. & Nuhoglu, I. 1992 Endüstriyel hammedde yatakları ve madenciligi, *Anadolu Üniversitesi Yayını*, Eskişehir.
- TS 705. 1985. Fabrika Tuğlaları - Duvarlar için ve düşey delikli hafif, Ankara
- TS 4790 1986. Tuğla ve kiremit topraklarının deney metodu, Ankara
- Üzer, M. & Tola, Ç. 1987. Tuğla kiremit topraklarında kuruma problemleri ve elektrolit ilavesinin kurumaya etkisi *Bildiriler Kitabı*, Saydam Matbaacılık, Ankara.
- Wilson, M A, Hoff, D W & Hall, C 1991 Water movement in porous building materials- X absorption from a small cylindrical cavity, *Building And Environment*, Vol 26, No 2, 143-150

Orta Anadolu Pomza Oluşumlarının Endüstriyel Olarak Kullanılabilirlik Ölçütleri

L.Gündüz

Süleyman Demirel Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İsparta.

İ.Yılmaz

Soylu Endüstriyel Mineraller A.Ş., Nevşehir Bölge Müdürü, Nevşehir.

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 bildiriye, Orta Anadolu bölgesinde yer alan pomza oluşumları üzerine yapılan bir ArGe çalışmasının bulgularından, doğal bir hammadde olarak farklı endüstri alanlarında pomza kullanımının bilinmesi gerekli teknik özellikleri, ayrıntılı olarak verilmiştir.

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, according to the research findings carried out on the pumice formations located in Central Anatolia region, the technical properties required for the pumice stone as a natural raw material in different industrial areas were presented in detail.

1 GİRİŞ

1990'lı yıllarda teknolojik özellikleri ve birçok * endüstriyel hammadde türüne göre değişik avantajlara sahip olan pomza taşı, giderek artan bir eğilimle farklı endüstri dallarında yaygın bir kullanım alanı bulmaktadır. İnşaat sektöründe son yıllarda hafif yapı malzemelerine verilen önemin giderek artması, ziraat sektöründe özellikle seracılıkta doğal, bünyesinde toksik madde içermeyen ve yüksek oranda gözenekli yapıya sahip olan kayaların nem dengeleyici bir malzeme olarak kullanımı vb. gibi spesifikasyonları nedeni ile, pomza taşının kullanım alanları giderek artmaktadır. Diğer taraftan, ısı-ses izolasyonu ve özgül ağırlığı bakımından normal betona nazaran avantajlara sahip olan hafif beton, hızla artan bir kullanım alanı trendi göstermiştir. Deneysel ve gözlemsel analiz tekniklerindeki son gelişmelerin ışığında, pomza oluşumları üzerinde 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 çimentolamada, aşındırıcı endüstrisinde, boya imalinde, kimya sanayisi, seramik endüstrisinde, gübre üretiminde ve daha birçok alanda kullanıldığı

görülebilmektedir. Ancak ne var ki, pomza taşı oluşumları üzerine, ocak üretiminden fabrikalarda işlenmesi süreci de dahil, ülkemizde henüz yeterince araştırma-geliştirme çalışmaları arzu edilen seviyelere ulaşamamıştır. Ülkemizde geniş bir oluşum dağılımı gösteren bu değerli endüstriyel hammadde kaynağımızın, optimum şartlarda en ideal olarak nasıl ve hangi ölçütlerde farklı endüstri dallarındaki kullanımı üzerine detay analiz ve irdelemeleri yapılmalıdır. Pomzanın fiziksel, kimyasal ve tekno-mekanik özellikleri, ülke ekonomisi ve madencilik faaliyetleri açısından hammadde değerlendirme hususunda son derece önemli bir konu olmuştur.

Pomzanın çeşitli endüstri alanlarda farklı amaçlarla kullanımı ve uygulamalarında, malzeme karakteristiği ile ilgili tüm detay bilgilerin önceden bilinmesi gerekmektedir. Bu açıdan, pomza kullanımı öncesi malzeme seçiminde, malzemenin iç yapı özellikleri ve fiziksel karakteristiğinin, kullanım yerine uygunluğu, pomzanın parametrik verilerine bağımlı olarak bir irdeleme ile tanımlanabilecektir. Bu da, pomzanın karakteristiği ve malzeme özelliklerinin hangi ölçütlerde değişim gösterdiği sorusunu gündeme getirmektedir. Şüphesiz bu inceleme, yoğun bir deneysel ve gözlemsel analize dayanmaktadır. Bu soruna bir ışık

tutmak ve pomzanın karakteristik özelliklerinin tanımlanması amacı ile SDÜ Pomza Teknolojisi Laboratuvarında üniversite-sanayi işbirliği çerçevesinde TÜBİTAK destekli TİDEB 99.0162 No'lu sanayi projesi kapsamında, Orta Anadolu bölgesi pomza oluşumlarının detay mühendislik özellikleri analiz edilmiştir. Bu makalede, farklı endüstri alanlarında pomza kullanımı için önemle bilinmesi gerekli özellikler özetle tanımlanmış ve kullanım yerlerine uygunluk ölçütleri yorumlanmıştır.

2 POMZA NEDİR

Pomza, volkanik faaliyetler esnasında ani soğuma ve gazların bünyeyi aniden terk etmesi sonucu, oldukça gözenekli bir yapı içeren ve dünya endüstrisinde yeni olmamakla beraber, ülkemiz endüstrisine son yıllarda girmeye başlamış ve değeri yeni anlaşılan volkanik kökenli bir kayadır. Gözenekleri birbirleriyle bağlantısız olup, bu özelliğinden dolayı ısı ve ses iletkenliği oldukça düşüktür. İçerdiği gözenekler gözle görülebilecek boyutlardan, mikroskobik boyutlara kadar sayısız olup, her biri diğerinden camsı bir zarla yalıtılmıştır. Bu yüzden hafif, suda uzun süre yüzebilen, yalıtımı yüksek bir kayadır.

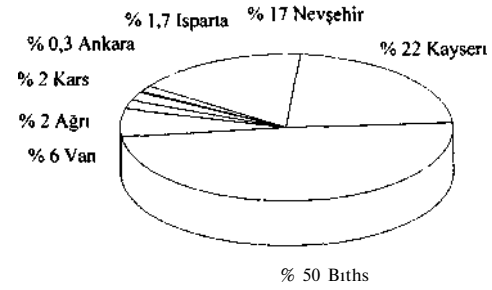
Pomza, kendisine özgü bazı özellikleri ile benzer volkanik camsı kayalardan (perlit, obsidyen, peks-tayn), rengi, gözenekliliği ve kristal suyunun olmaması ile pratik olarak ayrılabilir. En çok renk benzerliği/yakınlığı ve kimyasal bileşimi bakımından perlit ile karıştırılmakta olup, bazı durumlarda perlitten ayırt edilmesi zorlaşabilmektedir. Pomzalı perlit/pomzatik perlit veya perlitik pomza olarak adlandırılabilen geçişli kayalarla petrografik analizle ve gözenek yapısı itibarıyla ayrılabilir (Gündüz 1998a).

Sertliği Mohs içeriğine göre 5,5-6 civarında olup, bünyesinde kristal suyu bulunmamaktadır. Kimyasal olarak tesirsiz olup, genel olarak kimyasal bileşimi şu şekildedir: %60-75 SiO₂, %13-17 Al₂O₃, %1-3 Fe₂O₃, %1-2 CaO, %7-8 Na₂O-K₂O ve eser miktarda TiO₂ ve SO₃ bulunmaktadır. Asidik ve bazik volkanik faaliyetler neticesinde iki tür pomza oluşmaktadır. Bunlar, asidik pomza ve bazik pomzadır. Diğer bir deyişle, bazik pomzaya bazaltik pomza veya Scoria da denilmektedir. Bazaltik pomza koyu renkli, kahverengimsi, siyahımsı bir görünüme sahip olup, birim ağırlığı 1000-2000 kg/m³ arasında değişmektedir. Yeryüzünde en yaygın olarak bulunan ve kullanılan türü, asidik pomza olup, beyaz, kirli beyaz ve açık grimsi renklere görünmektedir. Asidik magmanın yoğunluğu bazik magmaya göre daha düşük olup, asidik karakterdeki pomzanın birim ağırlığı, gözeneklilik yapısına ve iç yapı karakteristiğine göre 200 - 1000 kg/m³ arasında değişim göstermektedir.

Kayacın içerdiği SiO₂ oranı, kayaca aşındırıcılık özelliği kazandırmaktadır. Bu yüzden çeliği rahatlıkla aşındırabilecek bir kimyasal yapı sergilemektedir. Al₂O₃ bileşimi ise, ateşe ve ısıya yüksek dayanım özelliği kazandırmaktadır. Na₂O ve K₂O tekstil sanayinde reaksiyon özellikleri veren mineralleri olarak bilinmektedir (Gündüz 1998a).

3 TÜRKİYE'DE POMZA VE KULLANIMI

Türkiye, pomza rezervleri bakımından oldukça önemli bir potansiyele sahiptir. MTA kaynaklarına göre, araştırılmış alanlarda yaklaşık 3 milyar metreküp pomza rezervi olduğu tahmin edilmektedir gösterilmiştir (Gündüz 1998a). Pomza rezervlerinin İç Anadolu bölgesinde yoğunlaşmış olmasına karşın, Akdeniz ve Doğu Anadolu bölgelerinde de önemli derecelerde pomza oluşumlarına rastlanmakta ve üretim faaliyetleri yapılmaktadır. Dünyada pomza rezervleri bakımından önemli bir yeri olan Türkiye, 10" a varan renk ve doku kalitesine sahip pomza çeşitleri ile oldukça yüksek bir pazar şansına sahiptir. MTA Genel Müdürlüğü'nce ülke çapında yapılan pomza ile ilgili detay jeolojik etüd çalışmalarından elde edilen bilgilere göre ülkemizde varlığı bilinen pomza yatakları ve bunların rezerv durumları Çizelge 1'de verilmiş olup, rezerv dağılımları Şekil 1'de gösterilmiştir (Gündüz 1998a).



Şekil 1. illere göre pomza dağılımı

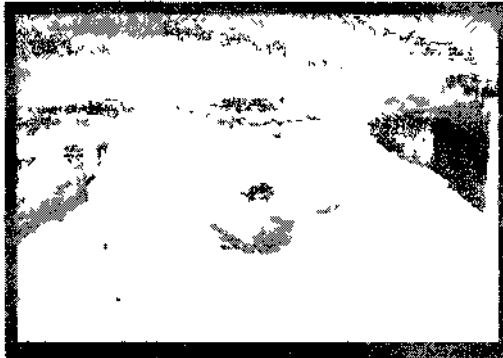
Ülkemizde pomza madenciligi, açık ocak işletmeciliği şeklinde yürütülmektedir. Üretilen cevherin yaklaşık %80'i ülke içinde, genelde hafif yapı elemanı, briket ve izolasyon malzemesi olarak tüketilmekte, kalan %20'sinin büyük bir bölümü ise farklı endüstri alanlarında değerlendirilmek üzere ihraç edilmektedir. Hammadde üretim faaliyetlerinin çoğunluğu, Orta Anadolu bölgesinde, özellikle Kayseri ve Nevşehir bölgelerinde bulunmaktadır. Pomza ocakları, açık ocak maden işletmeciliği şeklinde gerçekleştirilmekte olup, yatağın konumu ve morfolojisine bağlı olarak, farklı üretim prosesleri tasarlanarak uygulanabilmektedir. Şekil 2 ve Şekil 3'de SEM kuruluşuna ait pomza açık ocak işletme teknikleri görülmektedir.

Çizelge 1 Türkiye pomza rezerv dağılımı

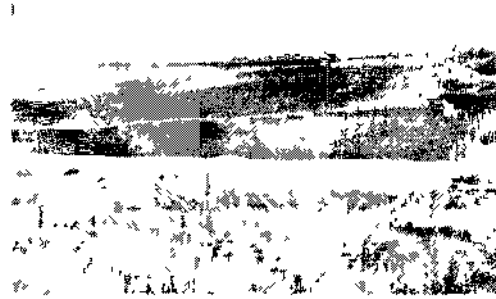
VERİ	REZERV MİKTARı (m ³)	REZERV KA TEÜORİ
Nevşehir-Avanos-Ürgüp	400 412 834	A+B
Dennkuyu	48 660 500	C
Kayseri-Gomeç	13 250 000	A+B
Kaysen-Develi	58 500 000	A+B
Kaysen-Talas-Tomarza	241 000 000	A
Kaysen-Talas-Tomarza	284 000 000	B
Bitlis-Tatvan	1 100 000 000	A+B
Bitlis-Ahlat	210 000 000	A+B
Van-Erciş-Kocapınar	154 625 000	A+B
Van-Mollakasım	5 950 000	A+B
Ağrı-Patnos	27 812 000	A+B
Ağrı-Doğubeyazıt	26 875 000	A+B
Kars-Iğdır-Kavaktepe	40 156 250	B
Kars-Dıgır	11718 750	B
Kars-Sankamış	1 875 000	B
Ankara-Gudul-Tekkoy	8 070 000	A+B
Isparta-Golcuk(*)	30 983 250	A+B+z
TOPLAM(A+B+C)(m ³)		

A Gorumur Rezerv, B Muhtemel Rezerv, C Mumkun Rezerv
(*) MTA pomza envanterine Isparta ve yöresi pomza > ataklarından sadece Gölcük yöresi yatakları dahil edilmiştir
z Mumkun rezerv bilinmemektedir

Ülkemizde üretilen pomza taşı, kalite açısından sert ve yumuşak olarak değerlendirilmektedir. Sert pomza olarak nitelendirilen, Kayseri Develi mevkiinde, yumuşak olarak nitelendirilen ise Ürgüp, Nevşehir ve Aksaray bölgelerinde bulunmaktadır. Bu değerlendirme, pomza yataklarının ihrac kabiliyetine sahip tekstil sanayiinde kullanılan cinsleri için yapılmakta, inşaat sektörünün kullandığı pomzalarda ise homojen tane yapısı ve gang minerallerinden zenginleştirilmiş durumuna göre değerlendirilmektedir.



Şekil 2 Pomza açık ocak maden işletmeciliği (Yılmaz 2000)



Şekil 3 Pomza açık ocak maden işletmeciliği (Yılmaz 2000)

4 ORTA ANADOLU POMZALARININ TEKNİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE BİR ANALİZ

Orta Anadolu bölgesi pomza oluşumlarının teknik özelliklerinin belirlenmesi amacı ile Kayseri ve Nevşehir bölgesinde SEM üretim ocaklarından alınan pomza örneklerinin teknik incelemeleri SDÜ, Pomza Teknolojisi Laboratuvarında üniversite-sanayi işbirliği çerçevesinde TÜBİTAK destekli bir sanayi projesi kapsamında detay olarak analiz edilmiştir.

Nevşehir ve Kayseri yöresi pomza örnekleri üzerinde yapılan kimyasal analizlerde, pomza taşı için ortalama kimyasal bileşenler ve değerleri Çizelge 2'de verilmiştir. Nevşehir ve Kayseri yöresine ait pomzaların kimyasal özelliklerinin oluşumunda en etkin bileşen SiO₂ olup, pomza oluşumlarının asidik karakteristik gösteren türler olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 2 Pomza örneklerinin kimyasal bileşimi

Bileşen	Nevşehir (%)	Kayseri (%)
SiO ₂	74.10	68.50
Al ₂ O ₃	13.45	14.90
Fe ₂ O ₃	1.40	3.10
CaO	0.7	2.90
Na ₂ O	3.70	4.10
K ₂ O	4.10	2.75
MgO	0.35	0.95

Nevşehir ve Kayseri bölgelerine ait pomza örneklerinin, farklı endüstri alanlarında endüstriyel bir hammadde olarak kullanılabilirliğinin etüdü için, pomzanın fiziksel özelliklerinin belirlenmesi amacıyla, büm ağırlık, özgül ağırlık, gevşek ve sıkışık birim hacim ağırlık, granülometrik bileşim, granülometrik dağılım, kompasite (doluluk oranı), su emme, zamana bağımlı su emme değişimi, donmaya karşı dayanım, zararlı maddeler, kil topakları, yanıcı maddeler ve yangına karşı dayanım, ısı iletimi gibi özellikleri deneysel analizlerle irdelenmiştir.

4.1 Özgül Ağırlık ve Birim Ağırlık Analizi

Özgül ağırlık, pomza tanelerinin işgal ettiği gerçek birim hacimdeki ağırlık değeri olarak tanımlanmaktadır. Pomza oluşumlarının özgül birim ağırlık değerleri, TS 3526'da belirtilen esaslara göre deneysel olarak belirlenmiş olup, ortalama olarak değerleri şu şekildedir:

Nevşehir Bölgesi : 2327 (kg/m³)
Kayseri Bölgesi : 2206 (kg/m³)

Pomzanın birim ağırlığı ise, belirli bir hacmi dolduran pomza tanelerinin oluşturduğu ağırlık olarak tanımlanmaktadır. Pomza oluşumlarının birim ağırlık değerleri, TS 3529 ve DİN 4226'da belirtilen esaslara göre, tüvenan ve tane boyut dağılımları için ayrı ayrı analiz edilmiş olup, parametrik bulgular Çizelge 3'de verilmiştir.

Herhangi bir boyut fraksiyonuna ayırmaksızın ve zenginleştirmeye tabii tutmaksızın, tüvenan pomza oluşumlarının gevşek ve sıkışık birim hacim ağırlık değerleri incelendiğinde, Çizelge 4'de verilen değerler elde edilmiştir.

Çizelge 3. Pomza birim ağırlık defterleri.

Boyut Aralığı (mm)	Nevşehir Bölgesi		Kayseri Bölgesi	
	Gevşek Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)	Sıkışık Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)	Gevşek Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)	Sıkışık Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)
>32	319	328	248	271
16-32	408	441	286	317
8-16	502	555	331	371
4-8	594	669	382	434
2-4	688	783	442	508
1-2	780	895	510	595
0,5-1	873	1010	589	697
0,25-0,5	966	1124	680	815

Çizelge 4. Pomza gevşek - sıkışık birim hacim ağırlık defterleri.

Pomza Yöresi	Gevşek Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)	Sıkışık Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)
Nevşehir	600	681
Kayseri	447	533

4.2 Su Emme ve Kompasite (Doluluk Oran) Analizi

Pomza agregalanndaki nem, tanelerin birbirleri arasındaki sürtünmesini etkilemesi sebebiyle, birim ağırlık değerinin değişmesine neden olmaktadır. Bu bakımdan, pomza agregalarının su emme kapasiteleri, su emme hızları ve içinde bulundurduğu nem yüzdesi, birçok endüstri alanında

kullanılabilirlik kriterlerini oluşturmaktadır. Ayrıca, pomza tanelerinin kompasitesi, tanelerin struktur yapıdaki doluluk oranı, agreganın su emme kapasitesine etki eden diğer bir faktördür. Bu faktör, pomzanın birim hacim ağırlık ve özgül ağırlık değerlerine bağımlı olarak tanımlanabilmekte ve gerçek kompasite ve görünür kompasite olarak iki ayrı kategoride irdelenebilmektedir. Pomza örneklerinin su emme kapasiteleri ve kompasite değerleri, ASTM C-127/42 ve C-128/57 standartlarında belirtilen esaslara göre analiz edilmiş olup, boyutlandırılmış pomza taneleri için parametrik değerler Çizelge 5'de verilmiştir. Pomza agregalarında genelde arzu edilen 24 saatlik su emme yüzdeleri, ince agregada %20, iri agregada ise %30 civarındadır. Ancak, bu değerler, agreganın sağlandığı yere, granülometresine, tane şekline ve yüzey yapısına göre değişmektedir. Malzemede su ve nem alma yönünden yeterli koruyucu önlemler alındığında, su emme oranı açısından pomza taneleri, çoğu endüstri alanlarında kullanılabilirler.

Çizelge 5 Pomzaların su emme değer değişimi

Boyut Aralığı (mm)	Nevşehir Bölgesi		Kayseri Bölgesi	
	Su Emme Oranı (%)	Görünür Doluluk Oranı (%)	Su Emme Oranı (%)	Görünür Doluluk Oranı (%)
>32	54	13.19	59.10	45.10
16-32	46.1	24.92	53.93	48.28
8-16	39.34	34.29	48.77	51.49
4-8	33.58	40.18	43.61	54.66
2-4	28.67	43.49	36.57	57.88
1-2	24.48	45.25	33.28	61.11
0.5-1	20.89	46.15	28.11	64.32
0.25-0.5	17.83	46.63	22.95	67.54

4.3 Porozite ve Doyma Derecesi Analizi

Pomza tanelerinin porozitesi için iki ayrı tanımlama yapılabilmektedir. 1)- Görünür porozite, 2)- Gerçek porozite. Pomza tanelerinin görünür porozite değeri ya hacimce su emme oranından ya da hacim kütle ve kütlece su emme oranı değerinden belirlenebilmektedir. Gerçek porozite değeri ise, pomzanın ortalama hacim ağırlığı ve ortalama özgül ağırlığının bir fonksiyonu olarak tanımlanabilmektedir. Diğer bir önemli fiziksel özellik ise, doyma derecesi parametresidir. Bu değer, pomza tanelerinin toplam boşluklarının ne oranda su ile dolduğunu göstermektedir. Bu da, malzemenin donmaya karşı dayanıklılığının incelenmesi açısından önem taşımaktadır. Pomza örneklerinin porozite ve doyma derecelerine ait parametrik değerler, Çizelge 6 ve Çizelge 7'de verilmiştir.

Çizelge 4 Pomza örneklerinin porozite değerleri.

NEVŞEHİR BÖLGESİ			
Boyut Aralığı (mm)	Görünür Porozite (%)	Gerçek Porozite (%)	Doyma Derecesi (%)
>32	86.81	89.17	60.55
16-32	75.08	80.41	57.33
8-16	65.71	73.62	53.44
4-8	59.82	69.36	48.41
2-4	56.51	67.00	42.79
1-2	54.75	65.75	37.23
0.5-1	53.85	65.11	32.08
0.25-0.5	53.37	64.76	27.53

Çizelge 7. Pomza örneklerinin porozite değerleri.

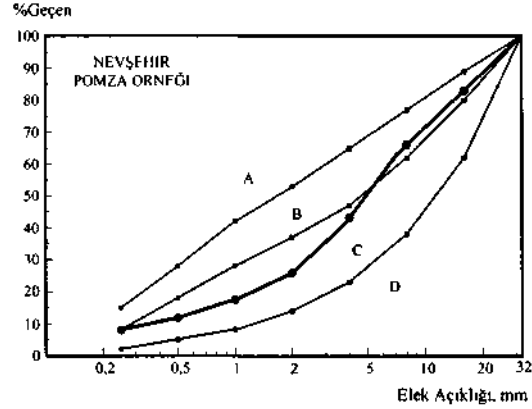
KAYSERİ BÖLGESİ			
Boyut Aralığı (mm)	Görünür Porozite (%)	Gerçek Porozite (%)	Doyma Derecesi (%)
>32	54.90	72.12	81.95
16-32	51.72	68.73	78.47
8-16	48.51	65.28	74.71
4-8	45.34	61.88	70.48
2-4	42.12	58.44	62.58
1-2	38.89	54.99	60.52
0.5-1	35.68	51.59	54.49
0.25-0.5	32.46	48.14	47.68

Pomza tanelerinin doyma derecesi %80'nin üzerinde bulunan malzemelerde, gözeneklerdeki suyun donması durumunda, suyun hacmini %10 oranında genişlettiği düşünüldüğünde, malzemeyi parçalama etkisi yapabilmektedir. Bu nedenle, malzemelerde doyma derecesinin %80'nin altında olması, arzu edilen bir değerdir. Bu bakımdan pomza tanelerinin durumu irdelendiğinde, doyma derecelerinin iri boyutlar hariç diğer boyutlarda %80'nin altında kaldığı görülmektedir (Gündüz 1998b).

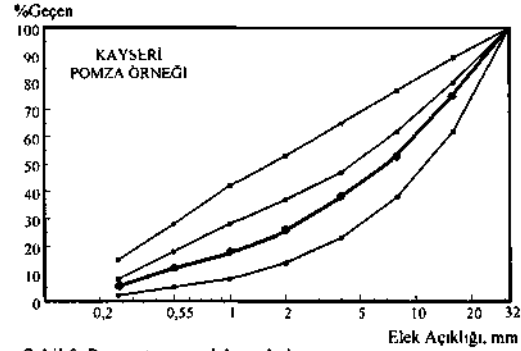
4.4 Granülometrik Bileşim - Tane Dağılımı Analizi

Agregaların tane dağılımı, elek eğrileri ve gerektiğinde bu eğrilere bağlı olarak tayin edilen incelik modülü, özgül yüzey ve su istek katsayıları TS 706 standardının öngördüğü prensipler dahilinde belirlenebilmektedir (Eriç, 1994). Pomza örneklerinin standart elek analizleri, kare delikli elekler kullanılarak yapılmış olup, ortalama analiz bulguları Şekil 4 ve Şekil 5'de verilmiştir.

Şekil 4 ve Şekil 5 irdelendiğinde, Nevşehir ve Kayseri pomza örneklerinin elek analizleri için çizilen boyut dağılım eğrilerinin, standartlara uygun olduğu görülmektedir.



Şekil 4 Pomza taşının elek analizi.



Şekil 5 Pomza taşının elek analizi.

4.5 Pomzada Zararlı Madde Analizi

Beton üretiminde kullanılacak agregaların bileşiminde, organik maddelerin bulunması, çimentonun yapısını etkileyerek bağlayıcılık özelliğinin zayıflamasına neden olmasından dolayı, arzu edilen bir durum değildir, %3'lük NaOH ile yapılan standart deneylerde, 24 saat sonra agreganın aldığı açık sarı-koyu kırmızı renklere göre karar verilmekte ve kırmızıdan sonraki renkler organik madde bakımından zengin malzeme bileşimini simgelemektedir TS 3673 'de belirtilen prensiplere göre pomza taneleri üzerinde yapılan organik madde içeriği analizlerinde, Nevşehir ve Kayseri pomza oluşumlarında, organik madde içeriğine rastlanmamıştır.

Agrega bileşiminde %3 kil bulunmasının, inşaat sektörü açısından betonun mukavemetini %50 oranında azalttığı kabul edilmektedir. Yapılan standart deneylerde, kil/agrega oranının 1/14 den veya ağırlıkça %3'den büyük olmaması arzu edilir. Yapılan kil içeriği analizlerinde, Nevşehir ve Kayseri pomza örnekleri bileşiminde standart değer üzerinde bir kil içeriğine rastlanmamıştır. Ayrıca, hafif beton üretiminde kullanılacak agregada, TS 1114 standardına göre yanıcı madde

oranı %5'i geçmemelidir. Zenginleştirilmiş ve boyutlandırılmış olarak elde edilen pomza örnekleri üzerinde yapılan yanıcı madde analizlerinde, Nevşehir pomza örneğinde yaklaşık %2.8 ve Kayseri pomza örneğinde ise ortalama yaklaşık %3.12 yanıcı madde oranına rastlanmıştır. Bu değerler, kabul edilebilir standart değerlerin altında kalmaktadır.

Hafif agregalardaki kükürt bileşimlerinin analizi SO₃ cinsinden yapılmaktadır. TS 1114 standardına göre, hafif agrega bileşiminde ağırlıkça SCh bileşimi maksimum %1,0 civarında olması arzu edilmektedir. Pomza örnekleri üzerinde yapılan kükürt içeriği tayini analizinde, Nevşehir pomza örnekleri için SO₃ değeri yaklaşık %0,21, Kayseri pomza örnekleri için ise SO₃ değerinin ortalama %0,35 olarak tespit edilmiştir. Bu değerler, kükürt içeriği açısından son derece küçük değerler olup, pomza taneleri sülfat içeriği açısından özellikle beton üretiminde kullanımının uygun olduğu görülmektedir.

4.6 Dona Dayanıklılık Analizi

Özellikle dış ortam şartlarına maruz kalacak pomza kullanımlarında, örneğin beton uygulamalarında, agreganın boşlukları kısmen suya doygun durumda iken sık sık donma-çözülme olayı etkisine maruz kaldığında, agreganın bünyesinde çatlama ve kılcal çatlaklar meydana gelebilmektedir. Bu olgu, farklı kimyasal çözeltiler yardımı ile, agrega malzemesinin dayanıklılığı test edilebilmektedir (Özer, 1982). Genelde uygulanan kimyasal çözelti, sodyum sülfat veya magnezyum sülfat çözeltisi olmaktadır. TS 3655 standardında öngörülen *havada donma* veya *kimyasal metotla donma analizi* prensipleri uygulandığında, agregada ağırlık kaybı, havada donmada %4'den fazla, kimyasal metodu uygulanması durumunda sodyum sülfat çözelti uygulamasında %18'den, magnezyum sülfat uygulamasında ise %27'den fazla ağırlık kaybı olmaması arzu edilmektedir. Pomza örnekleri üzerinde donma kaybı analizi, kimyasal metot uygulanarak yapılmış olup, Nevşehir pomza örneklerinin sodyum sülfat çözeltisi etkisindeki ağırlık kaybı %0,98, Kayseri pomza örneklerinin ise sodyum sülfat çözeltisi etkisindeki ağırlık kaybı %1,58 olarak tespit edilmiştir. Bu parametrik değerler, pomza agregalarının donma-çözülme olgusu sonucu herhangi bir bozunuma uğramadığını göstermektedir. Bu da pomzanın atmosfer ortamlarına dayanım özelliğinin bir göstergesi olmaktadır.

4.7 Ateşe Dayanıklılık - Sıcaklık Etkisi Analizi

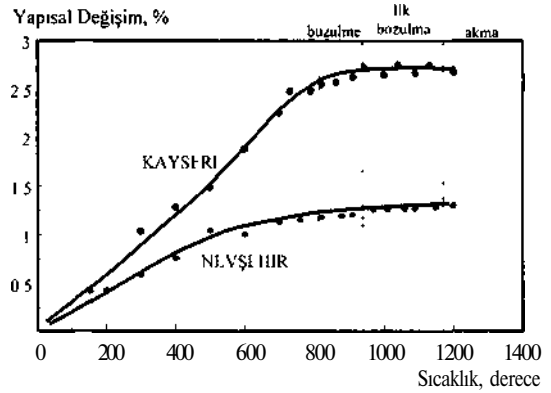
Agrega boyutunda bulunan pomza örnekleri üzerinde yapılan bir diğer inceleme ise, farklı sıcaklıklardaki davranış karakteristiği ve ateşe dayanıklılık analizleridir. Pomza örnekleri için ateşe

dayanıklılık testleri, farklı sıcaklık değerlerinde yapılarak, elde edilen bulgular Çizelge 8'de verilmiştir.

Çizelge 8 Pom/a örneklerinin ateşe dayanıklılık analiz değerleri.

Bölge	Yapısal Bozulma (t°C)	Ergime Noktası (fC)
NEVŞEHİR	940	1240
KAYSERİ	835	1205

Bu analizlerde, pomza örneklerinin normal oda sıcaklığından itibaren akma noktasına kadar, sıcaklık değişimindeki karakteristik özellikleri birim sıcaklık farklılaşmalarında detay olarak incelenmiştir. Burada, belirli sıcaklık değişimlerinde pomzanın agrega boyutunda bozulma ölçüsü ve kütle kaybı ilişkisi parametrik olarak irdelenmiştir. Analizlerde, her bir sıcaklık artma adımında pomza örneklerinin kütle kaybı çok hassas olarak ölçülmüş ve sıcaklığa bağımlı bir kütle kaybı değişim katsayısı tanımlaması araştırılmıştır. Bu parametrenin sıcaklık artma değeri ile ters orantılı olarak değiştiği gözlenmiştir. Bu yaklaşıma göre; Nevşehir ve Kayseri pomza örneklerine ait sıcaklığa bağımlı değişim karakteristiklikleri Şekil 6'da verilmiştir.



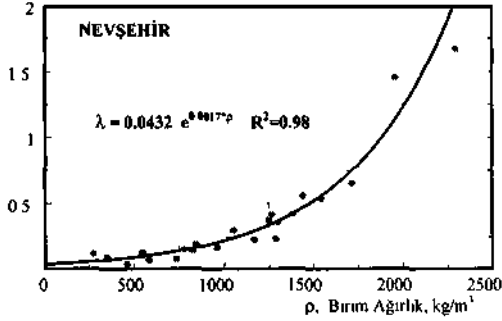
Şekil 6- Pomza taşının sıcaklığa karşı dayanım ilişkisi.

4.8 Isı İletim Analizi

DeneySEL bulgular göstermiştir ki, pomza tanelerinin granülometrik olarak boyutları büyüdükçe, birim ağırlık değerleri de düşmektedir. Bu olgu kapsamında, Nevşehir ve Kayseri pomzaları, serbest granule halde gevşek birim ağırlıkları ile gözeneklilik oranına bağımlı ısı iletim katsayısı (X) arasında istatistiksel ilişkiler araştırılmış ve tane boyut dağılımı ve yoğunluğuna bağımlı ısı iletim katsayı değerleri belirlenmiştir. Pomza oluşumlarının birim ağırlık değerlerine bağımlı, ısı

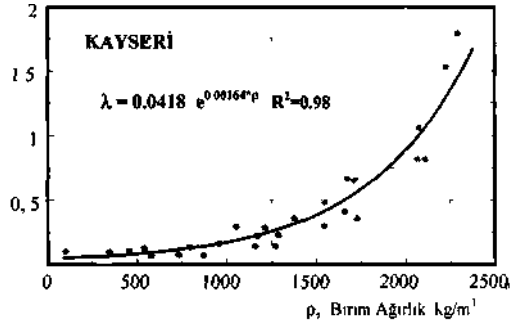
iletim katsayı değerleri belirlenerek, malzemenin oluşum ve iç yapı özellikleri itibariyle ısı iletim karakteristiği analiz edilmiştir. Kuru bazda (bünyesinde rutubet bulunmaksızın) birim ağırlığa bağımlı ısı iletim karakteristiği, Şekil 7 ve Şekil 8'de verilmiştir.

λ , Isı İletim Katsayısı, kcal/mh°C



Şekil 7 Pomzaların ısı iletim katsayısı değişimi.

λ , Isı iletim Katsayısı, kcal/mh°C



Şekil 8. Pomzaların ısı iletim katsayısı değişimi.

Pomza örneklerinin graniilometrik değişimi ve ısı iletim katsayıları arasındaki değişim karakteristiği ise Şekil 9'da verilmiştir. Pomzaların graniilometrik tane dağılımı ile ısı iletim katsayısı arasındaki ilişki, istatistiksel olarak incelenmiş ve Eşitlik 1 - Eşitlik 2 de verilen ifadeler belirlenmiştir:

$$\text{Nevşehir : } \lambda_{\text{kuru}} = 0.0432 e^{1.326-0.228 \cdot \ln \mu} \quad [1]$$

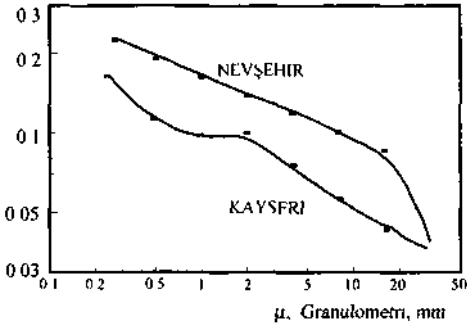
$$\text{Kayseri : } \lambda_{\text{kuru}} = 0.0418 e^{0.836 \mu^{-0.208}} \quad [2]$$

Burada;

taunı : Pomza (kuru) ısı iletim katsayısı, kcal/mh°C

i) : Pomzaların graniilometrik boyutu, mm

λ , Isı İletim Katsayısı, kcal/mh°C



Şekil 9 Granulometreye bağlı ısı iletim analizi

Pomza oluşumlarının ısı iletim karakteristiğini sembolize etmesi amacı ile, nem içeriklerine göre detay olarak analizler derinleştirilmiş ve Eşitlik 3 - Eşitlik 6'da verilen modeller tanımlanmıştır (Şekil 10-Şekillil).

Nevşehir Pomza Oluşumları

$$\lambda_{\text{rut}} = 0.2588 e^{0.0016 \cdot \rho} \quad [3]$$

$$\lambda_{\text{ort}} = (0.0432 + 0.0108 \cdot U) e^{0.0017 \cdot \rho} \quad [4]$$

Kayseri $\lambda_{\text{rut}} = 0.2764 e^{0.00168 \cdot \rho} \quad [5]$

$$\lambda_{\text{ort}} = (0.0418 + 0.0120 \cdot U) e^{0.00164 \cdot \rho} \quad [6]$$

λ_{rut} : Pomza rutubetli halde ısı iletim katsayısı,

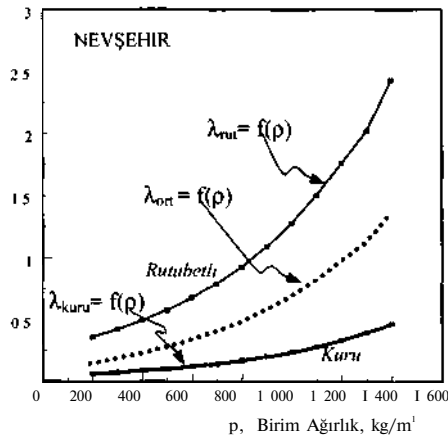
λ_{ort} : Pomzaların rutubete bağımlı ısı iletim katsayısı,

Burada;

U : Pomzaların rutubet içeriği, %

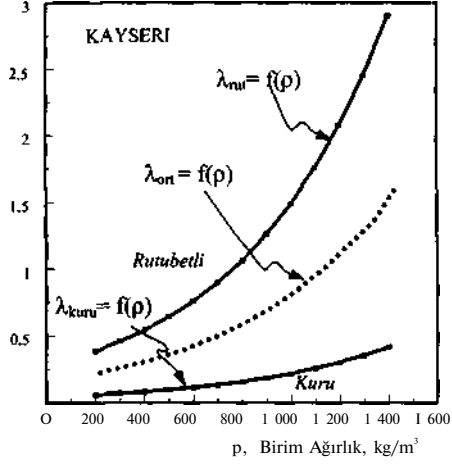
ρ : Pomzaların gevşek birim ağırlığı, kg/m³.

λ , Isı İletim Katsayısı, kcal/mh°C



Şekil 10 Nem içeriğine göre pomza ısı iletim analizi

X, Isı iletim Katsayısı, kcal/mh°C



Şekil 11. Nem içeriğine göre pomza ısı iletim analizi.

Yukarıdaki paragraflarda verilen, pomzanın farklı ortam koşullarındaki ısı iletim katsayı değerlendirmeleri, pomzanın yalıtım amaçlı olarak herhangi bir yerde kullanımında direkt olarak dikkate alınabilecek parametrik değerleri verilmektedir.

5 SONUÇLAR

Orta Anadolu bölgesi, Kayseri ve Nevşehir yöresinde bulunan pomza oluşumlarının, farklı endüstri alanlarında kullanımlarında, genelde bilinmesi gerekli spesifik değerleri, bu çalışmada detay olarak analiz edilmiş olup, bulguların parametrik değerleri burada sunulmuştur. Bu inceleme bulgularına göre, pomza oluşumlarının bir çok endüstri dalında uygulama alan bulabileceği belirlenmiştir. Ayrıca, pomza taşının, kullanım yerlerine uygunluğunun incelenmesi amacıyla yapılacak bir analiz irdelenmesinde, ne gibi parametrelerin öncelikli olarak değerlendirilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

KAYNAKLAR

- Eriç, M. 1994. Yapı fiziği ve malzemesi. Literatür Yayıncılık, İstanbul, Antalya, s 257.
- Gündüz L.(editör), 1998a Pomza teknolojisi, Cilt I, İsparta
- Gündüz L (editor), 1998b, Pomza teknolojisi, Cilt II, İsparta.
- Özer, M., 1982. Yapılarda ısı-su yalıtımları 2, İstanbul, Özer Yayınları:4, s230.
- Yılmaz, I., 2000, Pomza açık maden ocakları fotoğrafları, Nevşehir.

Mermer Ocak İşletmeciliğinde Kullanılan Elmas Tel Boncuklarının Aşınma Dinamiği Üzerine Bir İnceleme

L.Gündüz & S.Demirdağ

Süleyman Demirel Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İsparta

ÖZET : Mermer blok işletmeciliğinde elmas tel kullanımı yaygın bir uygulamadır. Farklı karakteristik yapılarıdaki elmas boncuklar, elmas tel kesiminin bel kemiğini oluşturmaktadır. Bu bildiride sinterize elmas boncukların aşınma dinamiği üzerine, saha ve teknik incelemelere dayalı olarak yapılmış bir araştırmanın bulguları bu makalede sunulmaktadır. Burdur bej mermerine ait ocak kesim analizleri irdelenmiş olup, farklı tip sinterize elmas boncukların aşınma dinamiği detaylandırılmıştır.

ABSTRACT : The usage of diamond wires is widely applied in marble block quarry mining. The diamond beads in different characteristic structures are the basis of diamond wire sawing applications. In this paper, the research findings of an analysis for determining the abrasion dynamics of sintered beads based on the technical and field investigations were presented. The cutting analyses of Burdur Beige Marble type were evaluated and the systematical abrasion dynamics for different types of sintered beads were detailed.

1 GİRİŞ

Mermer ocaklarının işletilmesi ihtisas isteyen bir madencilik uygulamasıdır. Dünyada blok mermer işletmeciliği için yeni usuller ve yeni makineler geliştirilmekte olup, mermer cinsine göre blok kazanılmaktadır. Buna paralel olarak, geçmişten günümüze insan gücünün yerini artık makine ve pratik usuller almakta ve pahalı olan ağır işçilik yerine, bilimsel ve teknolojik sistemler getirilmektedir.

Mermer ocak işletmeciliğinde günümüzde en yaygın olarak kullanılan üretim şekli, elmas tel ile kesim yöntemidir. Kesilecek kayaç özelliklerine bağlı olarak farklı tip ve tür elmas tel uygulamaları gözlenebilmektedir. Elmas tel kesim işleminde, bloğu ana kayacı koparan ünite, tel halat üzerindeki elmas boncuklardır. Bu boncuklar üretim şekline göre iki tip olup, sinterize ve elektrolitik kökenli, her birinin kullanım özellikleri birbirinden farklılıklar arz etmektedir. Kesim işlemi sürecinde, kayacın tekno-mekanik özelliğine göre her bir elmas boncuğun bir kullanım ömrü bulunmaktadır. Bu kullanım ömrü, kesilecek kayacın fiziksel ve mekanik özellikleri ile doğrudan ilişkili bir olgudur. Ancak, elmas boncuk kullanımı ve ömrü üzerinde, kayaç özellikleri arasındaki ilişkisel yaklaşımlar, henüz yeterince açıklığa kavuşturulmamış bir durumdur. Bu amaçla, elmas

tel kesmede, kayaç bloğunun oluşum, bulunuş ve struktur yapısına göre elmas boncukların gerek kesim performansı ve gerekse kullanım ömrü süreci detay bir inceleme konusu olmaktadır.

Farklı özelliklere sahip olan mermer bloklarının sahada elmas tel kesme ile kesim performans kriterlerinin belirlenmesi ve boncuk ömürlerinin araştırılması üzerine, SDÜ Mermer Teknolojisi Ar-Ge grubunca, saha analizleri ve uygulamalarına dayalı detay bir araştırma yapılmış olup, kaya mekaniği prensipleri çerçevesinde elmas tel kesim ilişkileri algoritmik olarak tanımlanmıştır. Elmas tel kesmede boncuk ömrü; kesim sürecinde boncuk-kayaç arasında sürtünme ile oluşan yüzeysel aşınma olgusu olarak belirlenmiş olup, kayaç özellikleri (basınç dayanımı, gözeneklilik derecesi, birim ağırlık değeri ve elastisite özellikleri vb.) ile boncuk matris yapısının aşınarak deformasyona uğraması, matematiksel olarak formülize edilmiş olup, nümerik ifadelerle bir dinamik analiz modeli geliştirilmiştir. Bu makalede, elmas tel kesme ve boncuk aşınma dinamiği üzerine Burdur bölgesi bej mermer ocaklarında yapılan saha analizleri ve deneysel bulgular sunulmakta olup, geliştirilen aşınma olgusu modelleri ve istatistiksel eşitlikler irdelenmektedir.

2 ELMAS TEL VE KULLANIMI

Elmas tel, ocaklarda ve fabrikalarda mevcut teknoloji ile en düşük maliyet ve en yüksek performansı sağlayan kullanışlı bir ekipmandır. Elmas teller, yapılan itibarı ile genel olarak üç ana gruba ayrılmaktadır (Aktürk 1991):

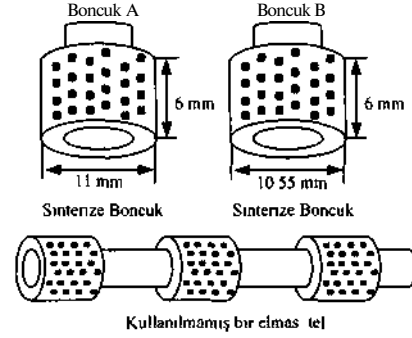
1. Elektroplate elmas boncuklar,
2. Sinterize elmas boncuklar, ve
3. Kimyasal yapıştırılmalı elmas boncuklar.

Elmas boncuk çapları, kullanım amaçlarına ve üretim teknolojisine göre farklı çap değerlerinde olabilmektedir. Ocakta blok kesme işleminde kullanılan boncuk çapları, süs işçiliğinde kullanılan boncuk çaplarından daha büyük boyutlarda olmaktadır. Genel olarak; elmas boncuk dış yüzey çapları, 8 mm, 8.8 mm, 10 mm, 10.2 mm, 10.5 mm ve 11 mm değerlerinde olabilmektedir. Yüzük çapları, 7 mm, 8 mm, 8.5 mm olarak değişmektedir. Yüzük iç çapları ise, 4.2 mm ve 5.1 mm olarak değişim gösterebilmektedir. Tel yapısında kullanılan çelik halat çapları ise, 4.0 mm, 4.8 mm ve 4.9 mm olabilmektedir (Anon 1989). Elmas boncuğun matris yapısının hacmi hesaplandığında, en yüksek oranın 11.0 mm çapındaki elmas boncuklarda elde edildiği görülmektedir. Bu oran, boncuk çapı küçüldükçe düşmektedir. Diğer bir deyişle, aynı özelliklere sahip matris yapıları olduğu varsayıldığında, en fazla matris yapı, 11.0 mm dış çaplı elmas boncukta mevcut olup, çaplar düştükçe kullanılan matris yapının miktarının da düştüğü görülmektedir (Aktürk 1991). Aynı özelliklere sahip bir matris yapının kullanıldığı iki farklı çaptaki elmas boncuğun performansı kıyaslandığında ise, doğal olarak çapı büyük olan elmas boncukta, daha yüksek bir performans elde edilmektedir (Anon 2000).

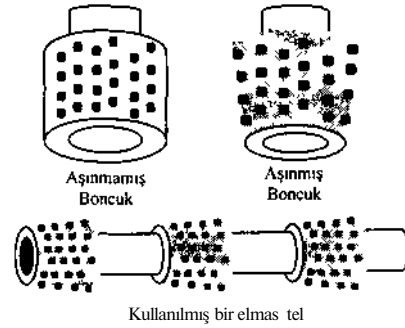
3 SİNERİZE ELMAS TEL BONCUKLARIN AŞINMA DİNAMİĞİ ÜZERİNE BİR ANALİZ

Birçok mermer ocak işletmesinde, sinterize elmas boncukların uygulama prensipleri üzerine yapılan incelemelerde, boncukların çelik halat üzerine farklı konum ve sayıda dizildikleri ve ana kütlede mermer bloklarının kesiminde veya ana kütlede ayrılmış blokların daha küçük ebatlarda bloklar haline kesilmesi işlemlerinde kullanıldıkları görülmektedir. Ana kütlede mermer bloğunun kesilmesi işlemi için genelde, *ocak kesimi* deyimi kullanılırken, blokların daha küçük boyutlara indirgenmesi işlemi için ise *sayalama kesimi* veya *monotel kesimi* deyimleri kullanılmaktadır. Ocaklarda kullanılan sinterize boncuklar, genelde iki farklı çap değerine sahiptir. Bunlar, ilk dış yüzey çapları 11 mm ile 10.55 mm olan elmas boncuklardır

(Şekil 1). Ancak bu özellikteki boncuklar, ocak kesiminde kullanıldıklarında, belirli bir kesim işlemi sonrasında aşınmaya uğramaktadır. Boncuğun ilk defa kullanımı ve kesim başlangıcında, silindirik şekle sahip boncuk formları, elmas telin koşulluğu yönde giderek konik bir şekle dönüşmektedir (Şekil 2).



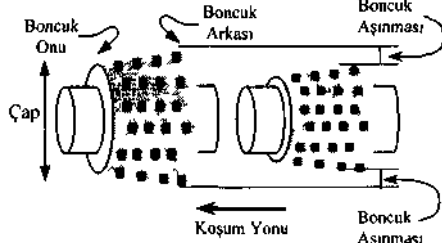
Şekil 1. Sinterize elmas boncuk formlarının genel görünümü.



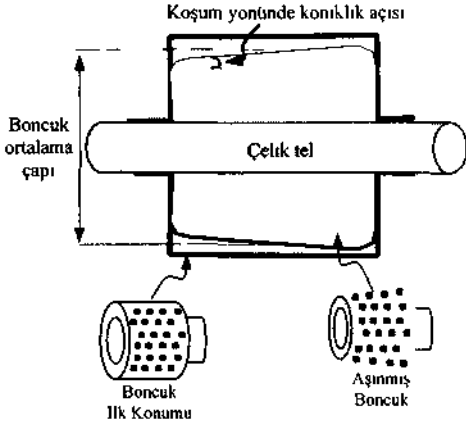
Şekil 2 Sinterize elmas boncukların aşınma geometrisi.

Boncuklarda bu aşınma oluşuncaya kadar, ocak kesiminde kesim miktarları ölçülebilmektedir. Ancak, kesim zamanı ve kesim miktarı arttıkça, boncuklardaki aşınma oranında aynı miktarda bir artış gözlenmekte ve boncuk dış yüzey çap değerleri giderek azalmaktadır. Boncuk dış çapındaki azalma, belirli bir değerin üzerine ulaştığında, bu boncuklar veya boncuk dizilimli tel, ocak kesimi üretiminden alınarak, ya sayalama makinalarına aktarılmakta ya da monotel uygulamalarında kullanılmak üzere, elmas tel stokuna alınmaktadır. Sayalama veya monotel uygulamalarında kullanılan elmas boncuk çapları, nihai olarak 9.6 mm veya 9.5 mm civarlarına indirildiğinde, bu boncuklar ömrünü tamamlamış olarak kesim uygulamalarından tamamen alınırlar. Bu rakamsal değerler, günümüzde işletmelerde pratik olarak gözlenen ve uygulanan değerler olarak kabul edilmektedir. Boncuklarda aşınma sonrasında oluşan geometrik form, telin uygulanma şekline ve kesilen kayacın özelliklerine bağımlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu bakımdan, boncuk

aşınmaları üzerine teknik bir analiz yapılırken, boncukların dış çaplarında, koşum yönüne göre on ve arka taraflarındaki dış çap değerleri elektronik dijital bir kumpas ile ölçülmelidir. Şekil 3 de görüldüğü gibi, aşınmış boncukların on ve arka dış yüzey çap değişimleri, birbirinden farklı koniklik geometrileri oluşturmakta ve koniklik tanımlaması için kullanılacak değişkenler, Şekil 4 de sembolize edilmiştir.



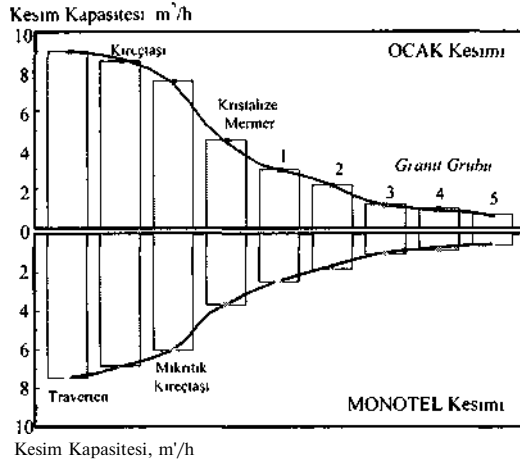
Şekil 3 Aşınmış bir sintezye elmas boncuğunun görünümü



Şekil 4 Sintezye bir elmas boncuktaki aşınmanın tanımlaması

Sintezye elmas boncuklar her tür mermer blok kesiminde kullanılabilir. Ancak, boncukların mermer türlerinde elde edilen kesim kapasite değerleri aynı olmayıp, mermerin karakteristik özelliklerine bağlı olarak değişim göstermektedir. Bu bakımdan, yapılan Ar-Ge incelemelerinde, mermer oluşumları 9 ayrı kategorik sınıflama altında irdelenebilmektedir. Bu kategorilerdeki, ocak kesim ve sayalama kesim kapasite değerleri Şekil 5 de verilmiştir.

Şekil 5 irdelendiğinde görüleceği gibi, kayacın yapısal özelliği iyileştikçe, diğer bir deyişle kayacın dayanımı arttıkça, ocak kesimi ve/veya monotel kesimi uygulamalarında, kesim kapasiteleri, birim kesim zaman aralığında düşmektedir. Uygulamalarda kullanılan çevresel hız değerine de bağlı olarak, ocak kesimlerinde elde edilen birim kapasite değerlerinin, monotel kesimlerinde elde edilen değerlerden, daha yüksek değerlerde olduğu



Kesim Kapasitesi, m³/h

Şekil 5 Sintezye elmas boncukların kayacın türüne göre kesim kapasite değerlerindeki değişim

görülmektedir. Diğer taraftan, farklı mermer türlerinin kesiminde kullanılan sintezye elmas boncukların kullanım ömrü, genelde, 1 metre uzunluğundaki tel ile kesilebilecek yüzey (m²/m) şeklinde ifade edilmektedir. Diğer bir gözlem ise, monotel uygulamalarında, sintezye elmas boncukların kullanım ömrünün, ocak kesimi uygulamalarından daha yüksek olduğudur. Bu da, monotel uygulamalarında, benzer elmas boncuklar ile daha fazla kesim yapılabileceği anlamına gelmektedir.

Yukarıda sunulan bu genel tanımlamalar ışığında, sintezye elmas boncuklardaki aşınma olgusu ve buna bağlı olarak elde edilen mermer kesim kapasiteleri, her bir mermer ocak işletmesinde aynı değerlerde değildir. Yapılan gözlem ve incelemelerde, boncukun yapısına, uygulamadaki kullanımına ve kesilen kayacın yapısına göre, boncuk aşınması ve buna karşılık gelen kesim kapasite değerlerinin çok farklılık olduğu görülmektedir. Bu bakımdan, elmas telin uygulandığı ocak işletmelerinde, sintezye elmas boncukların mermer kesme karakteristiğinin, aşınma olgusunun ve bu kesimden elde edilen performans değerlerinin her bir ocak için belirlenmesi gerekmektedir. Ancak, yapılan gözlemler sonucunda, birçok işletmede, boncuk aşınmaları ve buna etken parametre değerlerine ilişkin pek fazla bir veriye rastlanılmamıştır. Buda, sektörde yeterli sayıda teknik elemanın, ocak işletmelerinde üretimden sorumlu bir mühendisin bulunmamasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca, işletmelerde, genellikle karşılaşılan bir diğer problem ise, sintezye elmas boncukların hangi dış yüzey çap değerlerine ulaştıklarında, ocak kesimi uygulamasından alınarak, sayalama veya monotel uygulamalarına transfer edilmesi gerektiğinin belirlenmemiş

olmasıdır. Bu bakımdan, sinterize elmas boncuk performanslarının tanımlanması, boncuk aşınma ölçütlerinin çıkartılması ve boncuk kullanımı için ocak-sayalama kesimi sınırının belirlenmesine yönelik, SDÜ Mermer Teknolojisi ArGe grubunca, farklı mermer ocak işletmelerinde bir dizi gözlemsel ve teknik analizler yapılmıştır. Bu çalışma ile, ocak işletmelerinde görev alan veya alacak olan teknik elemanlara bir ışık tutmak amaçlanmıştır. Bu çalışmada, Burdur ili civarındaki bej mermer ocaktan, pilot araştırma bölgesi olarak seçilmiş olup, teknik incelemeler bu bölgede yoğunlaştırılmıştır. Burada, yapılan inceleme çalışmalarından Burdur Bej mermerine ait farklı mermer ocaklarında, farklı firma ürünü sinterize elmas boncukların kullanıldığı elmas tel kesimlerine ait saha verileri, üretim süreci boyunca zamana bağımlı olarak kaydedilmiştir. Alınan veriler genelde, kullanılan boncuk türü, birim kesim miktarı (m² olarak) ve boncuk dış yüzey çaplarındaki azalma oranıdır. Araştırmada, dış yüzey çapları 11 mm ve 10.55 mm olan, iki ayrı sinterize elmas boncuğun aşınma olgusu incelenmiş olup, 11 mm çapa sahip boncuklar *Boncuk A*, 10.55 mm çapa sahip boncuklar da, *Boncuk B* olarak işaretlenmiştir. Kesime bağımlı olarak, elmas tel koşum yönünde, belli bir dizilime sahip boncuklarda meydana gelen aşınma, elektronik kumpas ile ölçülmüş, kesitteki aşınma miktarları - oran değerleri ve ayrıca, kesilen kayacın mühendislik özellikleri ile kesim ortamının sayısal değerleri, detay olarak rapor edilmiştir. Saha verilerinden, zamana bağımlı düzenli veri kümeleri oluşturulmuş olup, ileri mühendislik istatistiği ve matematik modelleme yöntemleri kullanılarak, bir dizi analiz algoritmaları geliştirilmeye çalışılmıştır. Aşağıdaki paragraflarda, yapılan teknik analiz modelleri ve bulgular tartışılmıştır. Burdur bej mermer ocaklarında, sinterize elmas boncukların aşınma değerleri ve kesim kapasiteleri, özet olarak Şekil 6'da verilmiştir.

Çap (mm)	Kesim (m ²)	Çap (mm)	Kesim (m ²)
11 00	0	10 55	0
10 94	287	10 51	180
10 77	721	10 42	500
10 49	763	10 24	860
10 38	500	10 08	920
10 11	620	9 94	425
9 84	432	9 83	485
9 70	480	9 73	170
9 63	350	9 61	220

Şekil 6 Burdur Bej mermerinde sinterize elmas boncukların kesim ve aşınma verileri.

Tel üzerindeki elmas boncukların, kesim sürecinde aşınması sonucu, konik bir geometrik yapıya dönüşmesi sebebiyle, aşınma değerleri, her bir boncuk için minimum ve maksimum okuma değerleri olarak analiz edilmiştir. Bu iki ayrı okuma değerlerine göre, aşınma olgusunun tanımı ve buna bağımlı, kayacın kesim kapasite değeri maksimum ve minimum değerler olarak hesaplanmıştır. Kesim sürecinde, boncuk dış yüzey çap değişimlerinde elde edilen kesim kapasite değerleri grafiksel olarak analiz edilmiştir (Şekil 7).

Şekil 7 irdelendiğinde görüleceği gibi, boncuklardaki aşınma arttıkça, ocaktaki kesim kapasite değeri de artmaktadır. Buradan en uygun kapasite değeri, boncuk ömrü ve bu ömre karşılık gelen aşınma değerine göre belirlenebilmektedir. Bu ilişki, istatistiksel olarak değerlendirilmiş olup, Eşitlik 1 ve Eşitlik 2 ile tanımlanmıştır.

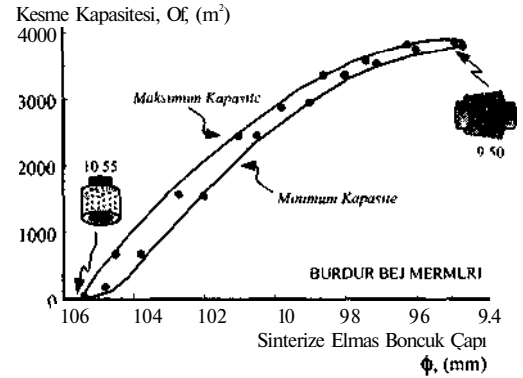
$$Q_{f(max)} = 44754 - 4239 * \phi \quad (R^2 = 0.99) \quad (1)$$

$$Q_{f(max)} = 44620 - 4204 * \phi \quad (R^2 = 0.99) \quad (2)$$

Burada;

Q_f : Ocak kesimi fiili kapasitesi, m²,

ϕ : Elmas boncuk çapı, mm.



Şekil 7. Burdur bej mermerinde tel kesim kapasitesinin boncuk çapına bağlı değişimi

Boncuklardaki her bir birim zaman kesimi sonrası koniklik oluşumlarına bağlı aşınma, uygulamada kesim kapasite değerinin optimizasyonunun daha kolay hesaplanabilmesi amacı ile, % boncuk aşınma değerleri olarak tanımlanarak, ocakta elde edilen birim kesim kapasite değerleri arasındaki değişim ayrıca incelenmiştir. Şekil 8 irdelendiğinde görüleceği gibi, boncuklardaki aşınma oranı arttıkça, ocaktaki kesim kapasite değeri de artmaktadır. Buradan, sınır boncuk aşınma değeri belirlenerek, bu aşınma değerine karşılık gelen ocak kesim kapasite değeri belirlenebilmektedir. Bu ilişki,

istatistiksel olarak değerlendirilmiş olup, Eşitlik 3 ve Eşitlik 4'de tanımlanmıştır.

$$Q_{f(mm)} = 712.38 * \Delta\phi^{0.805} \quad (R^2 = 0.99) \quad (3)$$

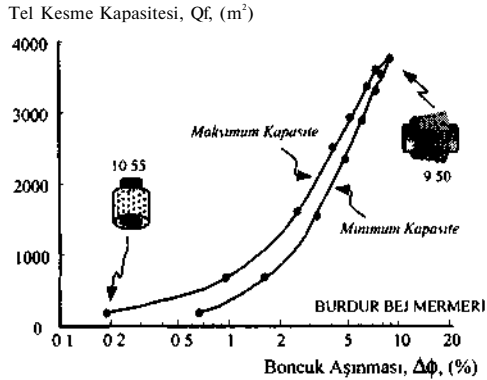
$$Q_{f(mm)} = 346.15 * \Delta\phi^{1.160} \quad (R^2 = 0.99) \quad (4)$$

Burada;

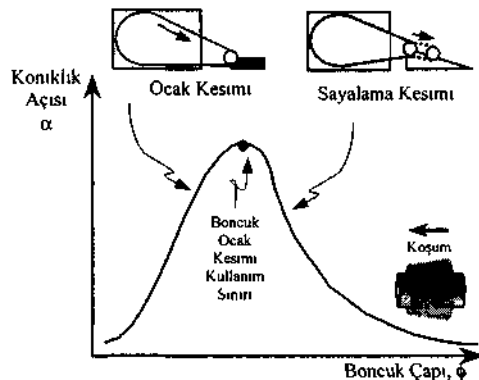
Q_f : Ocak kesimi fiili kapasite değeri, m^2 ,

$\Delta\phi$: Elmas boncuk aşınma oranı, %.

Yukarıda da ifade edildiği gibi, incelemede ele alınan diğer bir araştırma ise, ocak kesimi yapılan mermerde, sinterize elmas boncukların hangi aşınma ve/veya çap değerinden sonra, sayalama kesimine alınacağı hususunun incelenmesidir. Bu incelemede, iki tip sinterize elmas boncuğa ait ocak kesim değerlerinden, boncuk performansı dikkate alınarak, sayalama için kullanım sınırının tespiti yapılabilmektedir. Boncuklardaki aşınma sonrası dış çaplarındaki değişim eğilimi, her bir aşınma adımında, boncuk geometrisinde oluşan koniklik açısı değerleri bağlamında, eğrisel bir inceleme ile yapılabilmektedir. Bu inceleme eğrisinin genel normu Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 8. Burdur bej mermerinde tel kesme kapasite değişim.

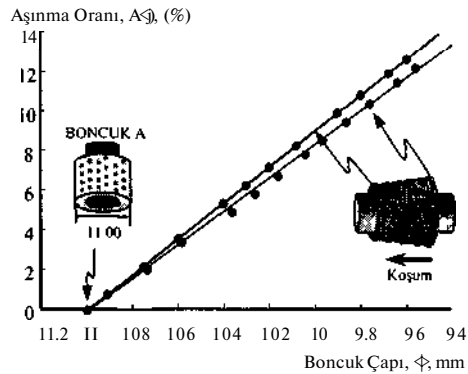


Şekil 9 Elmas boncuk çapı - koniklik açısı sembolik ilişkisi

Şekil 9 irdelendiğinde, boncuk aşınmasında, boncuk dış çap değişimine bağlı olarak, oluşan koniklik açısı değerinin aynı eğilimde değişmediği görülmektedir. Boncuk geometrisinde oluşan koniklik, belirli bir aşınma değerine kadar artan bir değerde gitmekte ve daha sonra da koniklik giderek yerini düz bir geometriye bırakmaktadır. Buradaki eğrisel değişim, bir parabol formunda olup, parabolün dönüm noktası veya eğrinin tepe noktasına karşılık gelen çap değeri, bu boncuk için ocak kesimi ile sayalama kesimi arasındaki limit boncuk dış çap değeri olarak tanımlanabilmektedir. Diğer bir değişle, parabolün dönüm noktasından sonraki kısmı, sayalamada kullanılacak değerleri sembolize etmektedir. Tanımlanan bu yaklaşıma göre, her iki tür sinterize elmas boncuk için Burdur bej mermer kesimlerinde elde edilen parametrik bulgular irdelenmiştir. Bu irdelenmede, aşağıda verilen analiz çalışmaları uygulanmıştır:

1. Boncuk çapı ve aşınma oranı analizi,
2. Boncuk çapı ve koniklik açısı analizi,
3. Koniklik açısı ve dış kalınlık değişim analizi,
4. Koniklik açısına göre boncuk performans analizi ve sayalama limitinin belirlenmesi.

Dış yüzey çapı 11 mm olan boncuk tipi için, Burdur bej mermeri kesiminden elde edilen, boncuk çapı ile boncuklardaki aşınma oranlarının değişim ilişkisi Şekil 10'da verilmiştir. Şekil 10 irdelendiğinde, koşum yönüne göre boncuk ön ve arka tarafındaki çap değişimleri arttıkça, aşınma oranının da arttığı görülmektedir. Buradan her bir çap değişimi için koniklik açısı değerleri belirlenerek, boncuk dış çap değişimlerinde oluşan koniklik durumlarına göre grafiksel analiz yapılır.

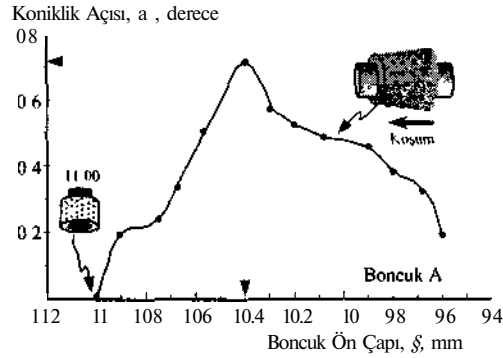


Şekil 10. Elmas boncuk çapı - aşınma oranı ilişkisi (Boncuk A)

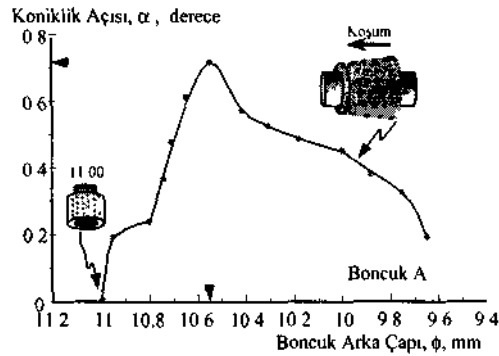
Koniklik açısı değişim karakteristiği, yukarıda da değinildiği gibi, sinterize boncuğun ocak kesimi-sayalama kesimi arasındaki geçiş optimizasyonunu sağlayan bir unsur olarak değerlendirilmektedir. Bu olgu kapsamında, Burdur bej mermerinin 11mm'lik sinterize elmas boncuklarla dizili bir elmas tel ile

ocak kesim değerlerine ait karakteristik ilişki Şekil 11 ve Şekil 12'de verilmiştir.

Şekil 11 ve Şekil 12'den de görüldüğü gibi, sinterize elmas boncukların 11mm'lik ilk koşum değerlerinden, koşum yönünün ön tarafında, 10.4 mm'lik değere ve arka tarafında ise 10.65 mm'lik değere indirgindiklerinde, bu boncukların ocak kesiminden alınıp, sayalama kesimine transfer edilmesi gerekmektedir. Boncuk dış çaplarında oluşan aşınmanın bu değerlere ulaşmasından sonra, halen ocak kesiminde kullanılıyor olması, bu boncuklardan en uygun verimin alınmasını engellemekte ve kesim kapasite değerlerinin düşmesine neden olmaktadır. Bu olgu daha detay olarak, boncuk dış kalınlıkları bazında analiz edilmiş olup, Şekil 13'de verilen ilişki elde edilmiştir.

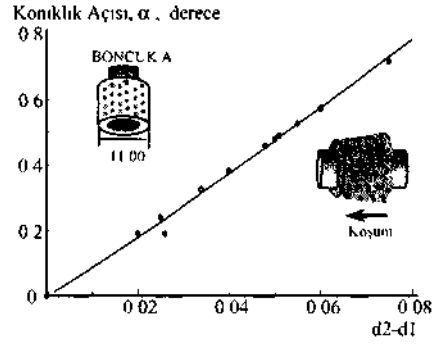


Şekil 11. Elmas boncuk ön çapı - koniklik açısı karakteristiği.

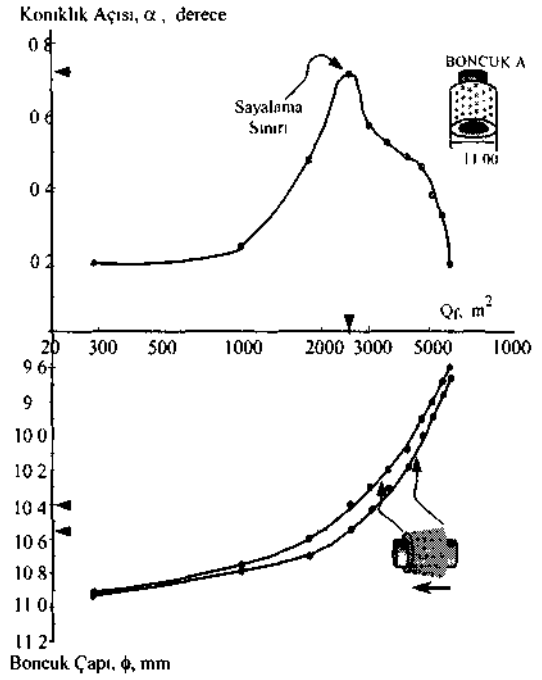


Şekil 12 Elmas boncuk çapı - koniklik açısı karakteristiği.

Boncuk için, hangi koniklik oluşum değerinde, ne kadarlık bir kesim yapılabilir ve buna karşılık gelen boncuk aşınma değeri ne ölçütlere, gibi soruların bütününe bir çözüm oluşturmak için, Şekil 14'de verilen boncuk değerlendirme abakları çizilir. Bu abak yardımı ile, boncuk kullanımının pratik bir analizi yapılabilmektedir.

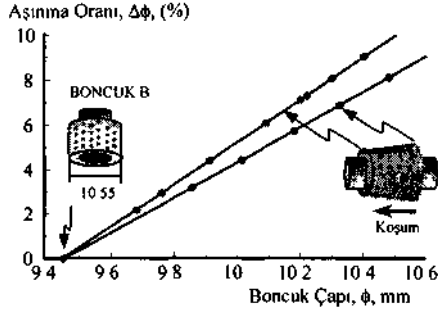


Şekil 13 Arka ve ön çap farkı - koniklik açısı ilişkisi



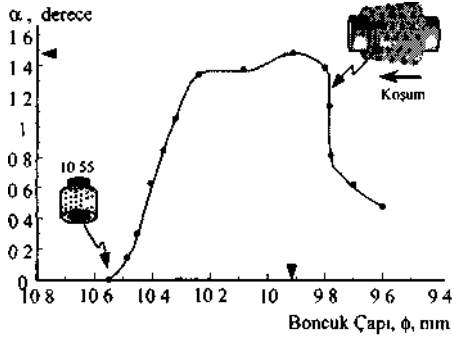
Şekil 14. Elmas boncuk analizi (Boncuk A).

Dış yüzey çapı 10.55 mm olan boncuk tipi için, Burdur bej mermeri kesiminde elde edilen boncuk çapı ve boncuklardaki aşınma oranlarının değişim ilişkisi ise, Şekil 15'de verilmiştir. Şekil 15 irdelendiğinde, 11 mm dış çapa sahip boncuk türünde olduğu gibi, koşum yönüne göre boncuk ön ve arka tarafındaki çap değişimleri arttıkça, aşınma oranının da arttığı görülmektedir. Buradan her bir çap değişimi için koniklik açısı değerleri belirlenerek, boncuk dış yüzey çap değişimlerinde oluşan koniklik durumlarına göre grafiksel analiz yapılabilmektedir.

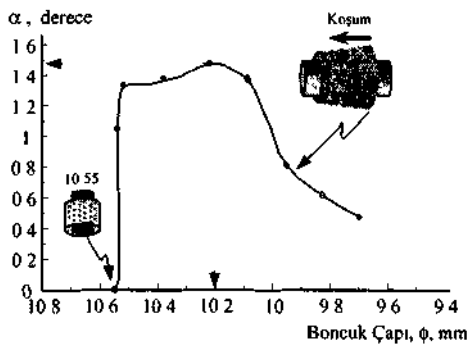


Şekil 15 Elmas boncuk çapı - aşınma oranı ilişkisi (Boncuk B)

Burdur Bej mermerinin 10.55mm'lik sinterize elmas boncuklarla dizili bir elmas tel ile ocak kesim değerlerine ait karakteristik ilişki Şekil 16 ve Şekil 17'de verilmiştir.



Şekil 16. Elmas boncuk ön çapı - koniklik açısı karakteristiği

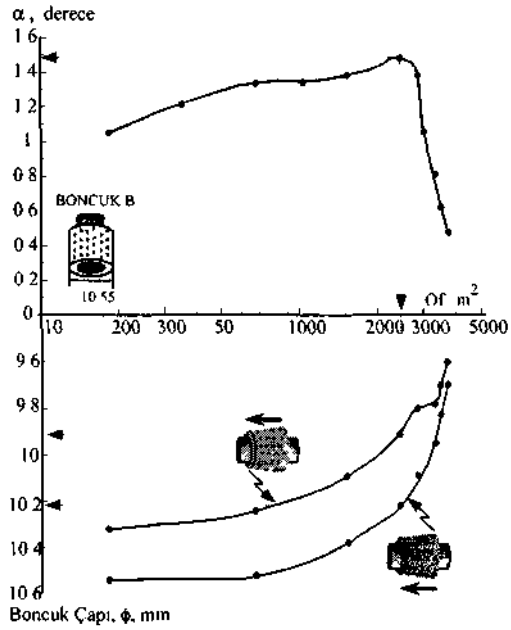


Şekil 17 Elmas boncuk arka çapı - koniklik açısı karakteristiği

Şekil 16 ve Şekil 17'den de görüldüğü gibi, sinterize elmas boncukların 10.55mm'lik ilk koşum değerlerinden, koşum yönünün ön tarafında, 9.90 mm'lik değere ve koşum yönünün arka tarafında ise 10.20 mm'lik değere indirgendiklerinde, bu

boncukların ocak kesiminden alınıp, sayalama kesimine transfer edilmesi gerekmektedir.

10.55 mm'lik bir sinterize bir boncuk için, hangi koniklik oluşum değerinde ne kadarlık bir kesim yapılabilir. Buna karşılık gelen boncuk aşınma değeri ne ölçütlerde olduğunun grafiksel göstergesi, Şekil 18'de verilen abakta, 10.55 mm'lik boncuğa ait sonuçlar özetlenmiştir.



Şekil 18 Elmas boncuk analizi (Boncuk B)

Geometrik boyutları farklı olan boncuk tiplerindeki aşınma, koniklik açısının belirlenmesine bağımlı olarak, teorik ve uygulama bulgularının analizine göre, iki farklı şekilde matematiksel olarak modellenmektedir:

1. Elmas boncuğun tele ilk diziliminden sonra sahip olduğu ilk dış çap değerinin, kesim sürecinde aşınmaya uğraması sonucunda oluşan konikliğe göre belirlenmesi.

Boncuk dış kalınlıklarının aşınmaya bağımlı olarak değişimi ve oluşan koniklik açısının belirlenmesi, Eşitlik 5 ve Eşitlik 6 ile modellenmiştir.

• 11mm'lik dış çapa sahip elmas boncuk için

$$\alpha = 5.829 * \{ (\phi 2-R) - (\phi 1-R) \}^{1.07} \quad (5)$$

• 10.55mm'lik dış çapa sahip elmas boncuk için:

$$\alpha = 4.766 * \{ (\phi 2-R) - (\phi 1-R) \}^{0.998} \quad (6)$$

Burada;

α : Koniklik açısı, derece,

φ1 : Koşum yönünde boncuk ön dış çapı, mm,

φ2 : Koşum yönünde boncuk arka dış çapı, mm,

R : Boncuk iç çapı, mm.

2. Elmas boncuğun kesim sürecinde oluşan konikliğin bir fonksiyonu olarak, kesim kapasite değerine göre belirlenmesi. Bu ilişki, Eşitlik 7 ve Eşitlik 8 ile ifade edilmiştir:

• 11mm'lik dış çapa sahip elmas boncuk için:
$$\alpha = 0.262 * \Delta\phi * e^{-0.0004 * Q_f} \quad (7)$$

• 10.55mm'lik dış çapa sahip elmas boncuk için:
$$\alpha = 0.52 * \Delta\phi - 0.00012 * \Delta\phi * Q_f \quad (8)$$

Burada;

Q_f : Ocak kesimi kapasite değeri, m²,

$\Delta\phi$: Elmas boncuk aşınma oranı, %.

4 SONUÇLAR

Bu çalışmada, mermer ocak işletmelerinde uygulanan elmas tel kesme ünitelerinde, sinterize

elmas boncukların aşınma olgusu ve kesim karakteristiği üzerine yapılan bir inceleme araştırmasının sonuçları yorumlanmış olup, ocak kesiminde boncuk kullanım limitlerinin kestirimi ve analizine ilişkin, pratik bir yaklaşım geliştirilmiştir. Ayrıca, boncuk geometrisinin, ocak ve sayalama kesimi sınırının belirlenmesindeki önemi açıklanmıştır.

KAYNAKLAR

- Aktürk Y.K. 1991 Elmas teller ve özellikleri, Ege Mermer Ltd., Teknik Hizmetler Serisi, No.2, İzmir.
- Anon, 1989, Marmo Macchine., Rivista Internazionale dell'Associazione, Marmo Macchine Club, II bim XIX anno 86, Italy.
- Anon, 2000, Akpar makina elmas tel kullanım el kitabı, Ankara

Bazı Mermer Birimlerinde Değişik Koşullarda Gerçekleştirilen Laboratuvar Yüzey Aşındırma Deney Sonuçları ve Değerlendirilmesi

K.Görgülü & A.Ceylanoğlu

Cumhuriyet Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye

ÖZET: Bu çalışmada, öncelikle aşınma ve aşındırma işlemlerinin tanımları verilmiştir. Daha sonra literatür araştırması ışığında oluşturulan laboratuvar yüzey aşındırma deney düzeneği ve geliştirilen deney yöntemi açıklanmıştır. Yedi farklı mermer birimi üzerinde değişik aşındırma süresi, yükü ve aşındırıcı serilerle gerçekleştirilen laboratuvar yüzey aşındırma deneylerinin sonuçları sunulmuştur. Pürüzlülük, parlaklık ve aşınma miktarı değerlerinin aşındırma aşamalarındaki değişimi aşındırma süresi ve baskısı dikkate alınarak incelenmiştir.

ABSTRACT: In this study, firstly the descriptions of wear and abrading operations were given. Then a laboratory surface abrading test system set up in the light of literature survey and the developed test method were explained. The results of laboratory surface abrading tests carried out with different abrading time, load and abrasives series for seven different marble units were presented. The variations of roughness, gloss and abrasion values for each abrading case were investigated considering the abrading time and abrading load.

1 GİRİŞ

Aşındırma olayının tanımlanmasından önce aşınma ile aşındırma arasındaki farklılığın ortaya konulmasında yarar görülmektedir. Deutsches Institut für Normung (DIN) 50320 (1970) 'ye göre aşınma; cisimlerin yüzeyinden mekanik etkenlerle mikro taneciklerin kopup ayrılması nedeniyle, istenmeyen bir değişikliğin meydana gelmesidir şeklinde tanımlanmakta iken DIN 50320 (1976) 'ya göre aşınma; katı cismin yüzey bölgesinden tribolojik zorlama sonucu sürekli ilerleyen malzeme kaybı diye ifade edilmektedir. Akkurt (1985) 'a göre aşınma; sürtünen yüzeylerde malzemenin mekanik etkenlerle ve istenmediği halde kopup ayrılmasıdır. Önder (1995) 'e göre ise aşınma; katı cisimlerin yüzeyinden ufak parçaların veya ince tabakaların ayrılması ile meydana gelen malzeme kaybıdır. Bu tanımlardan da anlaşılacağı gibi aşınma, istem dışı gerçekleşen bir olaydır ve değişik şekillerde ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenle, değişik malzemelerin yüzey pürüzlülüklerinin ortadan kaldırılarak parlatılması, makina parçalarının alıştırılması vb. olaylar aşınma olayının dışında tutulmalıdır. Aşındırma ise; malzemelerin yüzeylerinde imalatı ve/veya işlenmesi sonucunda oluşan ve bu yüzeylerde varlığı istenmeyen

pürüzlülüklerin ortadan kaldırılması amacıyla, aşındırma özelliği olan malzemeler yardımıyla değişik koşullarda gerçekleştirilen yüzey düzeltme ve/veya şekillendirme işlemi olarak tanımlanmaktadır. Aşındırma işlemi tamamlandıktan sonra cilalama (parlatma) işlemi yapılmaktadır. Burada amaç, aşındırıcılarla pürüzlülüğü mümkün olduğunca minimum seviyeye indirilmiş malzemenin yüzeyine parlaklık kazandırmaktır. Cilalama işleminde çok küçük pürüzler de cila ile dolmakta ve yüzeyin parlaması sağlanmaktadır.

Mermer aşındırma-cilalama, adım adım daha ince aşındırıcı taneleri kullanarak mermer yüzeyinin aşamalı düzeltilmesini ve parlatılmasını ifade etmektedir. Mermer işlemeciliğinde aşındırma ve cilalama işlemlerinin toplam üretim (işleme) maliyeti içindeki payı uygun çalışma koşullarının sağlanıp sağlanmadığına bağlı olarak % 10-30 arasında değişmektedir. Günümüzde mermer işleme tesislerinin (atölye ve fabrika) sayılarının ve kapasitelerinin artışı dikkate alındığında, bu maliyet aralığı büyük önem taşımaktadır. Mermer birimlerinin malzeme özelliklerini gözönüne alarak uygun aşındırıcı türü ve serisinin seçimi ve optimum çalışma koşullarının belirlenmesi, diğer bir deyişle aşındırma verimliliğinin artırılması toplam üretim maliyetinde belirgin düşüşler sağlayabilecektir. Bu

nedenle, yerinde yapılabilecek deneysel çalışmalardan önce laboratuvar deneylerinin gerçekleştirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Oldukça geniş kapsamlı bir araştırmanın belirli bir bölümünün sunulduğu bu çalışmada, oluşturulan laboratuvar mermer yüzey aşındırma deney düzeneği ve geliştirilen deney yöntemi açıklanmış, ülkemizdeki yüksek rezervli yedi değişik mermer birimi üzerinde farklı koşullarda gerçekleştirilen laboratuvar yüzey aşındırma deney sonuçları sunulmuş ve değerlendirilmiştir.

2 LABORATUVAR MERMER YÜZEY AŞINDIRMA DENEYLERİ

2.1 Deney düzeneği

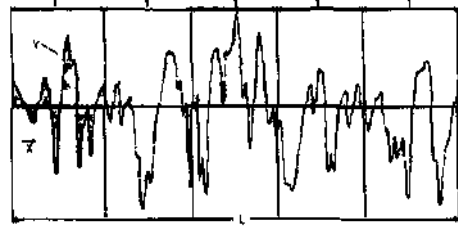
Oluşturulan laboratuvar aşındırma deney düzeneği üç ana cihazı içermektedir (Görgülü 1998, Ceylanoğlu vd. 1999). Bunlar; aşındırma cihazı, pürüzlülük ölçer ve parlaklık ölçerdir.

i. *Aşındırma cihazı*: Aşındırma deneylerinde C.Ü. Sivas Meslek Yüksek Okuluna ait yüzey aşındırma deney cihazı kullanılmıştır. Cihaz 220 volt ile çalışmakta olup, boş devri 340 dev./dak.'dır. Numune tutma kolu deney süresince sabittir. Numune üzerine yük bir yay aracılığıyla uygulanabildiği gibi ölü ağırlık kullanılarak ta uygulanabilmektedir. Disk çapı 203.2 mm'dir. Cihaz üzerinde sulu çalışmaya uygun su tertibatı ve disk üzerinde aşındırıcı kağıdını sıkıştırmak için bir çember mevcuttur. Cihazda numunenin yerleştirildiği yuvanın iç çapı mermer numunelerini yerleştirmeye uygun olmadığından cihaza iç çapı 25.4 mm olan bir numune tutma ünitesi eklenmiştir. Ayrıca, cihaz üzerinde devir sayacı bulunmadığından, devir ölçümleri için Kane-May marka KM 6002 model Microprocessor Tachometer kullanılmıştır.

ii. *Pürüzlülük ölçer*. Pürüzlülük ölçümleri C.Ü. Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'ne ait Taylor Hobson marka Surtronic 3+ model Talysurf ile yapılmıştır. Cihaz üzerinde ölçüm yapılan yüzeye direkt temas halinde çalışan bir adet kaydedici iğne mevcuttur. Sözkonusu iğne bir düzlem boyunca hareket ettirilirken yüzeyde varolan pürüzlerin içerisine girip çıkmakta ve yüzeyin pürüzlülük profilini mikron düzeyinde çıkarmaktadır. Cihazın maksimum ölçüm uzunluğu 25 mm'dir. Ölçüm sonuçları cihazın monitöründen okunabildiği gibi yazıcısından da alınabilmektedir.

Yüzey pürüzlülüğünün ifade edilmesinde ortalama pürüzlülük (Ra) en sık kullanılan parametredir ve aşağıda verildiği gibi tanımlanmaktadır (Şekil 1).

$$Ra = \frac{1}{L} \int_0^L |y(x)| dx$$



Şekil 1 Yüzey pürüzlülüğü (Anon 1992)

iii. *Parlaklık ölçer*. Yüzey parlaklığının sayısal olarak belirlenmesi için kullanılan parlaklık ölçerler (Gloss meter), ölçüm yapılan yüzeye belirli bir açıyla ışın göndermekte ve ışının geri gelme açısına göre yüzeyin parlaklığını sayısal olarak belirlemektedir.

Parlaklık ölçümlerinde Horiba marka IG-330 model parlaklık ölçer kullanılmıştır. Cihaz parlaklık değerini 100 üzerinden ölçmektedir. 20° ve 60°'lik açılarla ölçüm yapılabilmektedir. Ölçümün 60°'lik açıyla olması durumunda 6x3 mm'lik, 20°'lik açıyla olması durumunda 4x3 mm'lik alanda değerlendirme yapmaktadır (Anon 1997).

2.2 Çalışılan mermer birimleri ve deney yöntemi

Bu çalışmada çalışılan yüksek rezervli yedi değişik mermer birimini (Muğla beyaz, Afyon şeker, Afyon gök, Akköy bej, Zile bej, Yıldız siyah ve Sivas sarı traverten) temsil ve karakterize eden blok numuneler, arazi çalışmaları sonucunda C.Ü. Maden Mühendisliği Bölümü Kaya Mekaniği Laboratuvarı'na getirilmiştir. Aşındırma deneyleri için yaklaşık 20x20x20 mm boyutlarında kübik ve 25 mm çapında, 25 mm boyunda silindirik numuneler hazırlanmıştır. Laboratuvar yüzey aşındırma deneyleri, mermer kesme makinelerinden çıkan plakaların yüzey kalitesindeki kübik ve silindirik mermer numuneleri üzerinde mermer fabrikalarında uygulanan serilere benzer aşındırıcı seriler oluşturularak gerçekleştirilmiştir.

Kübik numuneler mermer işleme tesislerinde ST makinasından çıkmış plakalardan alınmıştır. Hazırlanmaları sırasında köşelerinde kırılmalar oluşmuş, ayrıca boyutlarını tam ölçülerde hazırlamak ve aşındırma cihazının numune yuvasına sıkı bir şekilde tutturmak pek mümkün olamamıştır. Bu nedenle, kübik numuneler ön deneylerde, silindirik numuneler ise asıl çalışmalarda kullanılmıştır. Silindirik numuneler deneylerden önce düzeltme işlemine tabi tutulmuştur. Düzeltme işleminde 60 numaralı aşındırıcı kağıtları kullanılmıştır. Bu aşındırıcılarla yapılan düzeltmeler sonucunda yüzeylerde oluşan pürüzlülük değerlerinin ST makinelerinden çıkmış plakaların

yüzey pürüzlülük değerlerine oldukça yakın olduğu tespit edilmiştir (Ra 5-8 μ m aralığında).

Aşındırma deney düzeneğinin oluşturulmasından ve numunelerin hazırlanmasından sonra öncelikle aşındırma işleminin toz aşındırıcılarla mı yoksa aşındırıcı kağıtlarıyla mı yapılması gerektiği üzerinde durulmuştur. Toz aşındırıcıların disk yüzeyinde serbest halde olması ve diskin dönme hareketiyle birlikte kenarlara doğru savrulacağı, homojen bir dağılım sağlanamaması nedeniyle aşındırma işleminde etkinliğinin azalacağı ve tüketimlerinin fazla olabileceği, ayrıca aşındırma süresinin artacağı düşünülerek aşındırma işlemlerinde aşındırıcı kağıtlarının kullanımının daha uygun olacağına karar verilmiştir.

Numune üzerine yük önce yay ile uygulanmıştır. Ancak numune aşınmaya başladığında yayda uzama meydana geldiği için aşındırma işlemi süresince yükü sabit tutmanın mümkün olmadığı görülmüştür. Bu nedenle, yükün ölü ağırlık kullanılarak numune üzerine verilmesi uygun bulunmuştur. Aşındırma işlemine tabi tutulan numunenin ağırlık ve boyut kaybı ile elde edilecek yüzey kalite değerlerinde yük ve aşındırma süresinin etkisini belirleyebilmek amacıyla üç değişik yükün üç değişik aşındırma süresinde uygulanmasına karar verilmiştir. Bu nedenle tüm birimlerde herbir aşındırıcı serisi için 9'ar adet numune kullanılmıştır.

Bu işlemlerin tamamlanmasından sonra aşağıda verilen deney yöntemi öngörülmüş ve uygulanmıştır.

- Numuneler hazırlandıktan sonra etüvde 105 °C'de sabit ağırlığa gelene kadar kurutulmuş ve boyutları 0.0001 gr hassasiyetle tartılır ve boyutları 0.01 mm hassasiyetle ölçülür,
- Numunelerin aşındırma işlemine tabi tutulacak yüzeylerinin pürüzlülük ve parlaklık ölçümleri gerçekleştirilir. Pürüzlülük ölçümlerinde pürüzlüğe dik ölçüm alınır,
- Numuneler aşındırma deney düzeneğine yerleştirilerek öngörülen yük ve aşındırma süresine uygun olarak aşındırma işlemi yapılır. Bu işlem sırasında aşındırma cihazının disk devir değerleri kaydedilir,
- Herbir aşındırma aşamasından sonra numuneler 4 saat 105 °C sabit sıcaklıkta kurutulur ve desikatörde soğutduktan sonra ağırlık ve boyut ölçümleri yapılır,
- Herbir aşındırma aşamasından sonra yüzey pürüzlülüğü ölçülür,
- Herbir aşındırma aşamasından sonra yüzey parlaklığı ölçülür.

2.3 Gerçekleştirilen deneyler

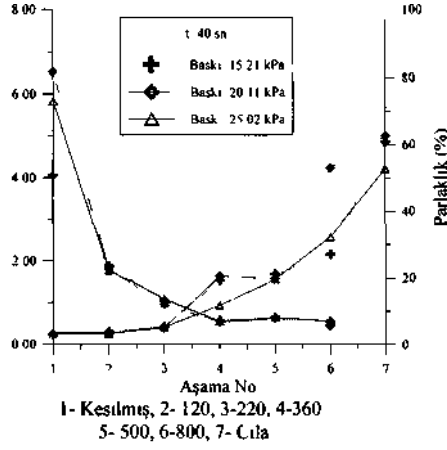
Muğla beyaz, Yıldız siyah, Zile bej ve Afyon gök mermer birimlerinden hazırlanan kübik numunelerle yapılan ön deneylerde 120, 220, 360, 500 ve 800 numaralı aşındırıcılar ve son aşamada sıvı cila kullanılmıştır. Numuneler üzerine 650, 850 ve 1050 gr'lık yükler uygulanmıştır. Herbir yük için üç değişik aşındırma süresi (20, 30 ve 40 sn) denenmiştir. Pürüzlülük ölçümleri numunelerin orijinal halinden başlanarak tüm aşamalardan sonra aşındırılan yüzeyin herbir köşesinden 8 mm'lik uzunluklarla gerçekleştirilirken parlaklık ölçümleri de yine aynı yönlerde yapılmıştır. Pürüzlülük ve parlaklık değerleri herbir aşamada en az dört ölçüm sonucunun ortalaması alınarak belirlenmiştir. Yine herbir aşındırma aşamasından sonra numunelerin boyut kayıpları ölçülmüştür.

Yedi farklı mermer biriminden hazırlanan silindirik numunelerle yapılan deneylerde 120, 220, 320, 400, 500, 600, 800 ve 1000 numaralı aşındırıcıların kullanımından sonra sıvı cila ile parlatma işlemi yapılmıştır. Aşındırma aşamaları 25, 40 ve 55 sn'lık periyotlar halinde, numuneler üzerine 650, 950 ve 1250 gr'lık yüklerle gerçekleştirilmiştir.

3 DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

3.1 Ön deney sonuçları ve değerlendirilmesi

Muğla beyaz, Zile bej, Afyon gök ve Yıldız siyah mermer birimlerine ait kübik numunelerle yapılan ön aşındırma deneyleri 120, 220, 360, 500 ve 800 numaralı aşındırıcıları takiben cilalama işlemiyle tamamlanmıştır. Söz konusu deneyler sonucunda Ra ve parlaklık değerlerinin, aşındırma deney sürelerinin ve numune üzerine uygulanan yüklerin değişiminden çok fazla etkilenmedikleri belirlenmiştir. Şekil 2'de Muğla beyaz mermer birimine ait 40 saniye süreli 3 değişik baskıda herbir aşındırma aşamasından sonraki Ra ve parlaklık değerleri verilmiştir. Farklı aşındırma sürelerinin uygulandığı (t=20 ve t=40 sn) deneylerde de Ra ve parlaklık değerlerinin aşındırma aşamalarındaki değişiminde belirgin bir fark elde edilememiştir. Bu nedenle, silindirik numunelerde üç değişik aşındırma süresi 25, 40 ve 55 saniye olarak seçilmiştir. Aynı şekilde herbir aşındırma süresindeki baskılar ise 13.29, 19.43 ve 25.67 kPa olarak belirlenmiştir.



Şekil 2 Muğla beyaz mermer birimine ait aşındırma süresinin 40 sn olduğu aşındırma aşamalarındaki uç değişik baskı içm Ra ve parlaklık değerleri

Kubik numunelerle yapılan aşındırma deneylerinde 360 numaralı aşındırıcıdan sonra kullanılan 500 numaralı aşındırıcının tüm mermer bınmelerinde pürüzlülüğü (Ra değerini) artırdığı, parlaklık değennı ise düşürdüğü saptanmıştır Bu durum Muğla beyaz mermer birimi içm çizilen Şekil 2'de de görülmektedir Aşındırıcı tane boyutunun büyük olduğu küçük aşındırıcı numaralarında aşınma miktarının arttığı, aşındırıcı tane boyutunun küçülmesine paralel olarak da aşınma miktarının azaldığı görülmüştür Aşındırma süresinin ve numune uzenne uygulanan baskının artışına paralel olarak aşınma değerlerinin lineer bir artış gösterdiği belirlenmiştir

Aşınma değerleri karşılaştırıldığında, Muğla beyaz mermerinin daha az aşınma değerleri verdiği, baskı ve aşındırma süresi artışından daha az

etkilendiği, Zile bej ve Afyon gök mermer bınmelerinin aşınma değerlerinin birbirine oldukça yakın olduğu, baskı ve aşındırma süresi artışından hemen hemen aynı oranda etkilendikleri, Yıldız siyah mermer biriminin ise en yüksek aşınma değeri verdiği, baskı ve aşındırma süresi artışından en fazla etkilenen birim olduğu belirlenmiştir

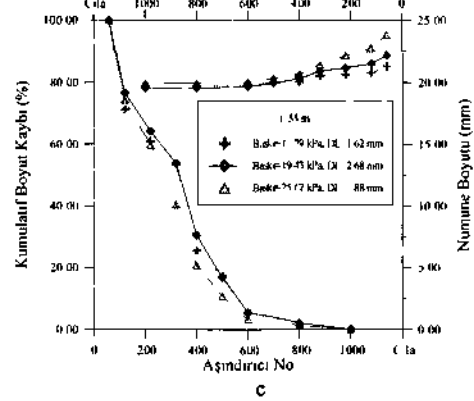
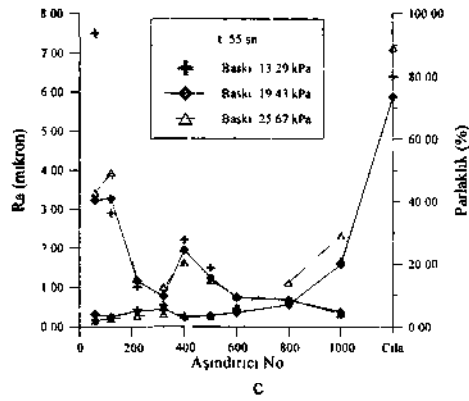
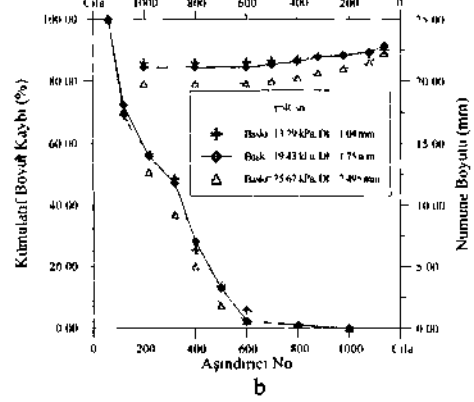
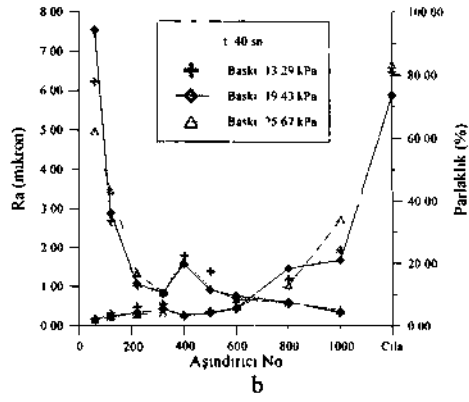
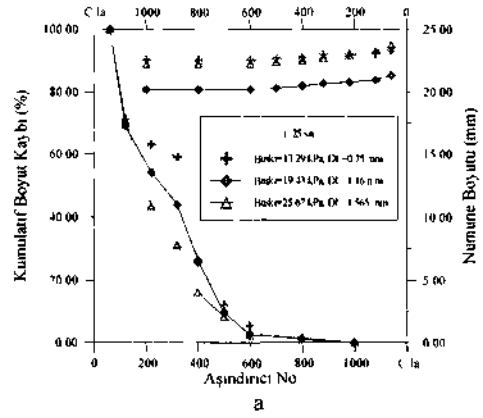
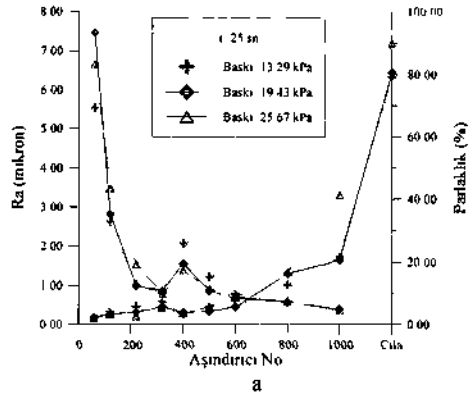
3.2 Birinci adım deney sonuçları ve değerlendirilmesi

Silindirik numunelerle yapılan aşındırma deneylen 60 numaralı aşındırıcı ile numunelenn hazırlanmasından sonra iki adımda gerçekleştirilmiştir Birinci adım deneyler yedi değişik mermer bınmında 120, 220, 320, 400, 500, 600, 800 ve 1000 numaralı aşındırıcıların kullanımını müteakip cilalama işlemiyle tamamlanmıştır Elde edilen ilk adım deney sonuçlarının değerlendirilmesinden sonra uç değişik aşındırıcı sensı kullanılarak Muğla beyaz ve Yıldız siyah mermer birimlerinde ikinci adım aşındırma deneylen gerçekleştirilmiştir Örnek olarak Muğla "beyaz mermer biriminde gerçekleştirilen birinci adım deney sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir Şekil 3 a, b ve c'de bu birimde gerçekleştirilen deneyler sonucunda aşındırma süresi ve uygulanan baskıdaki değişime paralel olarak aşındırma aşamalarında elde edilen Ra ve parlaklık değerlerinin değişimi görülmektedir Şekil 4 a, b, c'de Muğla beyaz mermer bınmında gerçekleştirilen aşındırma deneylennde uygulanan değişik aşındırma süresi ve baskı değerlennde, herbir aşamada belirlenen kumulatif boyut kaybı (%) ve numune boyutu (mm) gösterilmiştir Ayrıca herbir deneyde 0.01 mm hassasiyetle ölçülen numunenin toplam boyut azalması (DL) da Şekil 4'de verilmiştir

Çizelge 1 Laboratuvar yüzey aşındırma birinci adım deney sonuçları (Muğla beyaz).

		Numune Adı= Muğla Beyaz																				
		Uygulanan Yük= 650 gr							Uygulanan Yük= 950 gr							Uygulanan Yük= 1250 gr						
		Numune Çapı= 25 05 mm							Numune Çapı= 24 90 mm							Numune Çapı= 24 70 mm						
i		2	3	4	5	6	7	2	3	4	5	6	7	2	3	4	5	6	7			
t=25 sn	60	23 30	31 7342	-	5 54	2 00	60	21 34	28 3018	-	7 47	2 25	60	23 79	30 9489	-	6 67	2 00				
	120	23 08	31 5024	337	2 63	4 00	120	20 97	27 9248	337	2 82	3 25	120	23 32	30 3923	336	3 48	3 25				
	220	23 02	31 3918	338	1 02	5 75	220	20 80	27 7075	337	0 99	4 00	220	22 89	29 8325	336	1 55	2 50				
	320	22 99	31 3249	337	0 80	7 25	320	20 68	27 5318	336	0 86	5 50	320	22 70	29 5711	335	0 78	5 00				
	400	22 74	30 9871	336	2 07	3 00	400	20 48	27 2373	336	1 55	3 75	400	22 47	29 2777	335	1 38	3 25				
	500	22 64	30 8667	338	1 21	5 50	500	20 29	27 0147	337	0 86	4 00	500	22 35	29 1420	337	0 91	3 75				
	600	22 59	30 7721	338	0 77	5 50	600	20 21	26 9065	337	0 66	5 50	600	22 26	29 0395	336	0 70	8 50				
	800	22 56	30 7569	338	0 58	12 75	800	20 20	26 8901	338	0 58	16 25	800	22 24	29 0158	337	0 58	16 75				
	1000	22 55	30 7453	339	0 39	21 50	1000	20 18	26 7377	338	0 39	20 50	1000	22 23	28 9983	338	0 36	41 25				
		Cıla	-	-	339	-	79 25	Cıla	-	-	338	-	80 75	Cıla	-	-	338	-	90			
t=40 sn		Numune Çapı= 25 05 mm							Numune Çapı= 24 95 mm							Numune Çapı= 24 95 mm						
	60	22 55	30 4910	-	6 25	2 00	60	22 88	30 6036	-	7 54	2 00	60	22 30	29 7837	-	4 98	2 00				
	120	22 22	30 1463	337	2 68	4 00	120	22 38	29 9988	336	2 89	3 00	120	21 52	28 8430	336	3 49	3 00				
	220	22 09	29 9302	336	1 02	6 00	220	22 09	29 6671	337	1 08	4 25	220	21 03	28 1806	336	1 35	3 50				
	320	22 01	29 7990	336	0 81	6 75	320	21 94	29 3804	336	0 83	5 25	320	20 69	27 6460	334	0 84	4 00				
	400	21 77	29 4784	338	1 79	2 75	400	21 61	28 9428	336	1 57	3 25	400	20 28	27 1303	335	1 63	3 75				
	500	21 65	29 3194	338	1 38	4 00	500	21 35	28 5650	337	0 90	4 00	500	19 98	26 7305	336	0 95	4 75				
	600	21 57	29 1934	338	0 71	5 25	600	21 17	28 3377	337	0 76	5 50	600	19 86	26 5521	336	0 66	6 00				
	800	21 52	29 1589	338	0 56	14 75	800	21 15	28 2934	337	0 60	18 25	800	19 83	26 5035	338	0 59	12 75				
	1000	21 51	29 1386	338	0 34	24 25	1000	21 13	28 2579	339	0 35	21 00	1000	19 81	26 4726	338	0 40	34 00				
	Cıla	-	-	338	-	81 00	Cıla	-	-	338	-	73 50	Cıla	-	-	338	-	83 25				
t=55 sn		Numune Çapı= 25 00 mm							Numune Çapı= 25 05 mm							Numune Çapı= 24 80 mm						
	60	21 29	28 5979	-	7 05	2 00	60	22 19	29 8090	-	3 24	4 00	60	23 82	31 0390	-	3 43	2 00				
	120	20 81	28 0880	337	2 91	3 00	120	21 53	28 9929	336	3 28	3 25	120	22 75	29 7097	336	3 95	2 50				
	220	20 64	27 8125	338	1 02	5 50	220	21 19	28 5366	337	1 18	5 00	220	22 17	28 9427	336	1 20	3 50				
	320	20 52	27 6272	337	0 78	6 75	320	20 91	28 1257	336	0 77	5 50	320	21 42	27 9139	334	1 00	4 00				
	400	20 07	27 0367	336	2 22	3 25	400	20 29	27 2730	336	1 95	3 00	400	20 68	26 9353	336	1 64	3 50				
	500	19 94	26 8125	338	1 49	3 50	500	19 93	26 7943	337	1 24	3 50	500	20 32	26 4621	337	1 18	3 50				
	600	19 75	26 6121	338	0 74	4 75	600	19 65	26 4209	337	0 75	4 50	600	20 05	26 1205	336	0 77	6 25				
	800	19 69	26 5422	338	0 68	8 50	800	19 56	26 3113	338	0 68	7 00	800	19 98	26 0173	337	0 70	14 00				
	1000	19 67	26 3042	339	0 33	20 50	1000	19 51	26 2525	339	0 38	19 75	1000	19 94	25 9719	336	0 33	29 00				
	Cıla	-	-	339	-	80 00	Cıla	-	-	338	-	73 50	Cıla	-	-	337	-	89 25				

1. Aşındırma süresi, 2. Aşındırıcı No, 3. Numune Uzunluğu (mm), 4. Ağırlık (gr),
5. Devir (dev/dak), 6. Ortalama Ra (µm), 7. Ortalama Parlaklık (%)



Şekil 3 Aşındırma süresi ve uygulanan baskıya bağlı olarak Ra (im) ve parlaklık (%) değerlerinin aşındırma aşamalarındaki değişimi (Muğla beyaz)

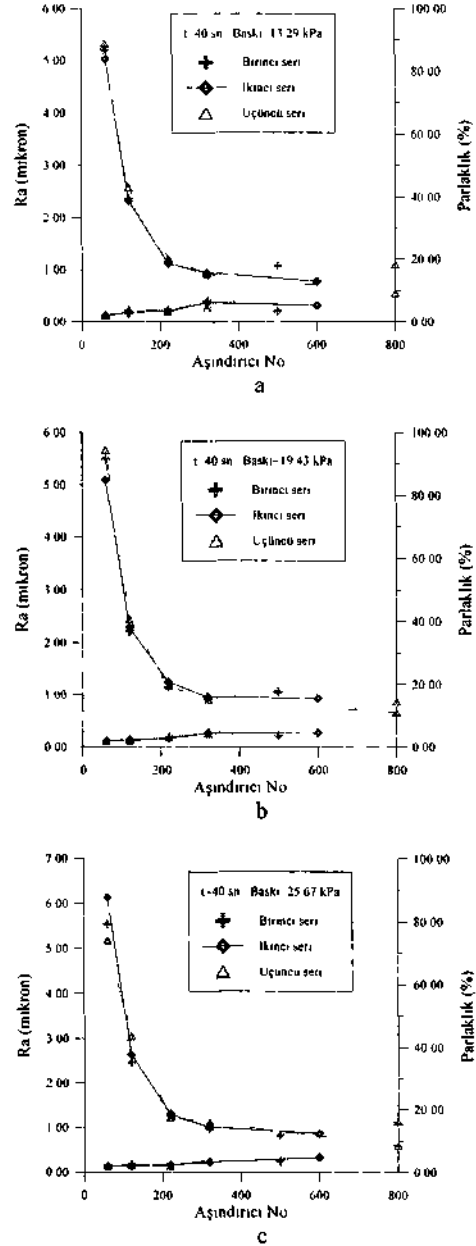
Şekil 4 Aşındırma süresi ve uygulanan baskıya bağlı olarak kumulatif boyut kaybının (%) ve numune boyutunun (mm) aşındırma aşamalarındaki değişimi (Muğla beyaz)

3.3 İkinci adım deney sonuçları ve değerlendirilmesi

Birinci adım deneylerinde görülen yüzey kalitesindeki bozulmanın farklı aşındırıcı serilerinin kullanımı ile ortadan kaldırılabileceği düşünülerek iki değişik mermer biriminde üç farklı aşındırıcı serisinin denenmesine karar verilmiştir. İkinci adım deneylerinde aşındırma süresi 40 sn olarak sabit tutulmuş, uygulanan baskı değerlerinin de birinci adım deneylerdeki gibi 13.29, 19.43 ve 25.67 kPa olmasının uygun olacağı düşünülmüştür. Bu deneylerde Muğla beyaz ve Yıldız siyah mermer birimlerine ait numuneler kullanılmıştır. Birinci aşındırıcı serisi 120, 220, 320 ve 500 numaralı, ikinci aşındırıcı serisi 120, 220, 320 ve 600 numaralı, üçüncü aşındırıcı serisi ise 120, 220, 320 ve 800 numaralı aşındırıcı kağıtlardan oluşturulmuştur. Yer darlığı nedeniyle yine örnek olarak Muğla beyaz mermer biriminde gerçekleştirilen deney sonuçları verilmiştir (Çizelge 2). Şekil 5.a, b ve c bu birimde gerçekleştirilen deneyler sonucunda sabit aşındırma süresinde uygulanan baskıdaki ve aşındırıcı serisindeki değişime bağlı olarak aşındırma aşamalarında elde edilen Ra ve parlaklık değerlerinin değişimini göstermektedir. Şekilden de görüleceği gibi en iyi Ra ve parlaklık değerleri üçüncü aşındırıcı serisinde sağlanmıştır. Birinci serinin 500 numaralı aşındırıcısı 13.29 ve 19.43 kPa'lık baskı değerlerinde, ikinci serinin ise 600 numaralı aşındırıcısı 19.43 kPa'lık baskı değerinde yüzey kalitesini bozmuştur. Bu deneyler sonucunda yüzey kalitesi açısından en uygun üçüncü serinin olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca en düşük aşınma değerleri üçüncü serinin uygulandığı deneylerde elde edilmiştir (Çizelge 2).

3.4 Genel değerlendirme

Muğla beyaz, Zile bej, Afyon gök ve Yıldız siyah mermer birimlerine ait kübik numunelerle yapılan ön aşındırma deneylerinde 120, 220, 360, 500 ve 800 numaralı aşındırıcılardan oluşan seri kullanılmış ve son aşamada sıvı cila ile parlatma işlemi gerçekleştirilmiştir. 20, 30, 40 sn'lik aşındırma süreleri ve 15.21, 20.11, 25.02 kPa'lık baskıların denendiği bu aşındırma deneylerinde 360 numaralı aşındırıcıdan sonra kullanılan 500 numaralı aşındırıcının pürüzlülüğü (Ra değerini) artırdığı, parlaklık değerini ise düşürdüğü saptanmıştır. Ra ve parlaklık değerlerinin uygulanan aşındırma deney



Şekil 5. Sabit aşındırma süresinde uygulanan baskıya ve kullanılan aşındırıcı serisine bağlı olarak Ra (um) ve parlaklık (%) değerlerinin aşındırma aşamalarındaki değişimi (Muğla beyaz).

Çizelge 2 Laboratuvar yüzey aşındırma ikinci adım deney sonuçları (Muğla beyaz).

Numune Adı= Muğla Beyaz															
Uygulanan Yük= 650 gr						Uygulanan Yük= 950 gr					Uygulanan Yük= 1250 gr				
Numune Çapı= 25.05 mm						Numune Çapı= 25.05 mm					Numune Çapı= 24.9560 mm				
I	2	3	4	5	6	2	3	4	5	6	2	3	4	5	6
t=40 Sn	60	23.44	-	5.21	2.00	60	23.60	-	5.50	2.00	60	23.75	-	5.55	2.00
	120	23.19	337	2.38	2.75	120	23.10	337	2.22	2.00	120	22.88	337	2.47	2.50
	220	23.04	339	1.14	4.00	220	22.73	338	1.16	3.25	220	22.34	337	1.29	2.50
	320	22.99	339	0.91	6.75	320	22.57	338	0.93	4.50	320	22.05	338	0.98	3.50
	500	22.78	338	1.07	3.50	500	22.32	337	1.06	3.50	500	21.64	337	0.83	3.50
t=40 Sn	Numune Çapı= 25.00 mm					Numune Çapı= 24.90 mm					Numune Çapı= 25.00 mm				
	60	22.77	-	5.03	2.00	60	23.37	-	5.09	2.00	60	24.02	-	6.14	2.00
	120	22.58	338	2.33	3.25	120	22.85	338	2.30	2.50	120	23.11	338	2.64	2.00
	220	22.40	339	1.12	3.50	220	22.49	338	1.25	2.75	220	22.48	338	1.31	2.50
	320	22.30	339	0.95	6.25	320	22.32	338	0.97	4.50	320	22.16	337	1.02	3.25
600	22.13	338	0.78	5.25	600	22.08	336	0.93	4.50	600	21.87	335	0.87	4.75	
t=40 Sn	Numune Çapı= 25.05 mm					Numune Çapı= 25.00 mm					Numune Çapı= 24.90 mm				
	60	22.25	-	5.33	2.00	60	24.32	-	5.67	2.00	60	23.23	-	5.19	2.00
	120	22.01	338	2.58	4.00	120	23.74	338	2.45	2.00	120	22.41	337	3.06	2.50
	220	21.83	338	1.22	3.50	220	23.36	338	1.19	3.25	220	21.72	338	1.24	2.00
	320	21.74	339	0.93	4.50	320	23.18	338	0.92	4.25	320	21.33	337	1.11	4.00
800	21.70	337	0.55	18.25	800	23.14	337	0.67	14.50	800	21.28	337	0.60	16.25	

1. Aşındırma süresi, 2. Aşındırıcı No, 3. Numune Uzunluğu (mm), 4. Devir (dev/dak),
5. Ortalama Ra (µm), 6. Ortalama Parlaklık (%)

süresi ve baskı değişiminden çok fazla etkilenmedikleri belirlenmiştir. Bu nedenle, silindirik numunelerde üç değişik aşındırma süresi 25, 40 ve 55 saniye ve herbir aşındırma süresindeki baskılar ise 13.29, 19.43 ve 25.67 kPa olarak seçilmiştir. Ön deneylerde ölçülen aşınma değerleri karşılaştırıldığında; Muğla beyaz mermerinin daha az aşınma değerleri verdiği, baskı ve aşındırma süresi artışından daha az etkilendiği, Zile bej ve Afyon gök mermer birimlerinin aşınma değerlerinin birbirine oldukça yakın olduğu, baskı ve aşındırma süresi artışından hemen hemen aynı oranda etkilendikleri, Yıldız siyah mermer biriminin ise en fazla aşınma değeri verdiği, baskı ve aşındırma süresi artışından en fazla etkilenen birim olduğu belirlenmiştir. Kübik numunelerin deney cihazına yerleştirilmesi sırasında karşılaşılan bazı güçlükler, istenen ölçülerde kesme zorluğu ve numune köşelerinde kırılmaların olması nedeniyle deneylerin silindirik numunelerle sürdürülmesine karar verilmiştir.

Silindirik numunelerle yapılan aşındırma deneyleri 60 numaralı aşındırıcı ile numunelerin hazırlanmasından sonra iki adımda gerçekleştirilmiştir. Birinci adım deneyler yedi değişik mermer biriminde 120, 220, 320, 400, 500, 600, 800 ve 1000 numaralı aşındırıcıların kullanımını müteakip cilalama işlemiyle tamamlanmıştır. Elde edilen ilk adım deney sonuçlarının değerlendirilmesinden sonra üç değişik aşındırıcı serisi kullanılarak Muğla beyaz ve Yıldız siyah mermer birimlerinde ikinci adım aşındırma deneyleri gerçekleştirilmiştir. *

Birinci adım aşındırma deneylerinde uygulanan herbir aşındırma süresi ve baskıda 320 numaralı aşındırıcıdan sonra kullanılan 400 numaralı aşındırıcının pürüzlülüğü (Ra değerini) artırdığı, parlaklık değerini ise düşürdüğü belirlenmiştir. Bu durum sadece sarı traverten mermer biriminde baskının 25.67 kPa olarak uygulandığı aşındırma deneylerinde görülmüştür. Birinci adım deneylerde ölçülen aşınma değerleri karşılaştırıldığında; Muğla beyaz mermerinin en az aşınma değerleri verdiği, baskı ve aşındırma süresi artışından daha az etkilendiği, Afyon şeker, Akköy bej ve Afyon gök mermer birimleri ile Yıldız siyah, Zile bej ve sarı traverten mermer birimlerinin birbirlerine yakın değerlerde aşınma davranışı gösterdiği tespit edilmiştir. Bu birimler içerisinde en fazla % aşınma değeri verenler Zile bej ile sarı traverten mermer birimleridir. Baskı ve zaman artışından en fazla etkilenen mermer birimi Yıldız siyah olup bu birimi sırasıyla sarı traverten, Zile bej,

Akköy bej, Afyon gök ve Afyon şeker mermer birimleri takip etmiştir.

İkinci adım deneylerinde aşındırma süresi 40 sn olarak sabit tutulmuş, uygulanan baskı değerlerinin de birinci adım deneylerdeki gibi 13.29, 19.43 ve 25.67 kPa olmasının uygun olacağı düşünülmüştür. Birinci aşındırıcı serisi 120, 220, 320 ve 500 numaralı, ikinci aşındırıcı serisi 120, 220, 320 ve 600 numaralı, üçüncü aşındırıcı serisi ise 120, 220, 320 ve 800 numaralı aşındırıcı kağıtlarından oluşturulmuştur. Bu deneyler sonucunda yüzey kalitesi ve aşınma değerleri açısından her iki mermer birimi için de (Muğla beyaz ve Yıldız siyah) en uygun üçüncü serinin olduğu anlaşılmıştır.

Aşındırıcı tane boyutunun büyük olduğu küçük aşındırıcı numaralarında aşınma miktarının arttığı, aşındırıcı tane boyutunun küçülmesine paralel olarak da aşınma miktarının azaldığı görülmüştür. Diğer yandan, aşındırıcı seride fazla sayıda aşındırıcı kullanımı yüzey kalitesini olumsuz yönde etkilemiştir. Ayrıca, serideki aşındırıcı sayısının artması mermer birimlerinde meydana gelen aşınma miktarını artırmıştır. Aşındırma süresinin ve numune üzerine uygulanan baskının artışına paralel olarak aşınma değerleri genellikle lineer bir artış göstermiştir. Aşındırma süresi ve baskı değişiminin yüzey kalitesi değerleri üzerindeki etkisi kesin bir şekilde belirlenememiştir. Ancak Muğla beyaz, Afyon şeker, Yıldız siyah ve Akköy bej mermer birimleri için 13.29 kPa'lık baskı ve 25 sn'lik aşındırma süresinin uygun olduğu, diğer birimler için daha düşük aşındırma süresi ve baskı değerlerinde daha iyi sonuçlar alınabileceği söylenebilir.

Uygulanan aşındırma süresinin ve baskının aşınma miktarı üzerindeki etkisini ortaya koymak amacıyla, birinci adım deney verileri kullanılarak Statgraph V.5 paket programı ile çoklu regresyon analizleri yapılmış ve oldukça yüksek korelasyonlu ilişkiler elde edilmiştir (Çizelge 3).

4 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Deney sonuçları değerlendirildiğinde; aşındırıcı tane boyutunun büyük olduğu küçük aşındırıcı numaralarında aşınma miktarının arttığı, aşındırıcı tane boyutunun küçülmesine paralel olarak da aşınma miktarının azaldığı görülmüştür. Diğer yandan, aşındırıcı sende fazla sayıda aşındırıcı kullanımı yüzey kalitesini olumsuz yönde etkilemiştir. Ayrıca, serideki aşındırıcı sayısının artması mermer birimlerinde meydana gelen aşınma miktarını artırmıştır. Aşındırma süresinin ve numune

üzerine uygulanan baskının artışına paralel olarak aşınma değerleri genellikle lineer bir artış göstermiştir. Aşınma miktarı ile uygulanan aşındırma süresi ve baskı arasında oldukça yüksek korelasyonlu ($r > 0.89$) ilişkiler elde edilmiştir (Çizelge 3). Aşındırma süresi ve baskı değişiminin yüzey kalitesi değerleri üzerindeki etkisi kesin bir şekilde belirlenmemiştir. Ancak Muğla beyaz, Afyon şeker, Yıldız siyah ve Akköy bej mermer birimleri için 13.29 kPa'lık baskı ve 25 sn'lik aşındırma süresinin uygun olduğu, diğer birimler için daha düşük aşındırma süresi ve baskı değerlerinde daha iyi sonuçlar alınabileceği anlaşılmıştır. Aşındırma aşamalarında; pürüzlülük (Ra) değerleri başlangıçta hızlı, sonraki aşamalarda giderek azalan, parlaklık değerleri ise başlangıçta az sonraki aşamalarda giderek artan bir davranış göstermiştir. Yüzey kalitesi ve aşınma miktarları açısından denenen koşullar içinde en uygun aşındırıcı serisinin 120, 220, 320 ve 800 numaralı aşındırıcıları ihtiva eden seri olduğu belirlenmiştir.

Laboratuvar ölçekli bir bantlı silme-cilalama makinası geliştirilerek (baskı, aşındırma süresi ve devri değiştirilebilen ve elektronik çeviricilerle sayısal olarak ölçülebilen) mermer birimleri için farklı aşındırıcı türleri ve senlerinin değişik koşullardaki performansları ortaya konulmalıdır. Ayrıca su, enerji ve aşındırıcı tüketimlerinin bu makinaya eklenecek elektronik sistemlerle ölçülmesi aşındırma-cilalama değişken birim maliyetlerinin daha sağlıklı ortaya konulmasını sağlayabilecektir. Benzer çalışmaların mermer fabrikalarında da yapılmasında büyük yarar görülmektedir. Ayrıca mermer fabrikalarında çalışma koşullarının uygunluğunun ve üretimin kontrolü için gerek aşındırma aşamalarında gerekse nihai üründe yüzey kalitesini belirleme ölçümleri yapılmalı ve bu ölçümleri daha güvenilir ve hızlı gerçekleştirebilecek ölçüm sistemleri ve/veya aletleri geliştirilmelidir.

Çizelge 3 Aşınma miktarı ile aşındırma süresi ve baskı arasındaki ilişkiler

Mermer Birimi	Regresyon Denklemi Y : Aşınma miktarı (mm) t : Aşındırma süresi (sn) P : Baskı (kPa)	Korelasyon Katsayısı (r)
Muğla Beyaz	$Y = 0.024405 \times t + 0.054489 \times P$	0.9750
Afyon Şeker	$Y = 0.034941 \times t + 0.038427 \times P$	0.9235
Afyon Gök	$Y = 0.036750 \times t + 0.068969 \times P$	0.9374
Akköy Bej	$Y = 0.035811 \times t + 0.048515 \times P$	0.9384
Zile Bej	$Y = 0.065406 \times t + 0.084469 \times P$	0.9552
Yıldız Siyah	$Y = 0.030507 \times t + 0.083614 \times P$	0.8942
Sarı Traverten	$Y = 0.052241 \times t + 0.151343 \times P$	0.9486

TEŞEKKÜR

Yazarlar, TÜBİTAK ve C.Ü. Araştırma Fonuna maddi destekleri nedeniyle teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

- Akkurt, M 1985. Takımı tezgahlan talaş kaldırma yöntemleri ve teknolojisi. *Birsen Yayınevi İstanbul* 671
 Anon, 1992 Surrtronic 3+ operating instructions *Rank Taylor Hobson Limited Leicester* 53

- Anon, 1997 Handy gloss checker IG-330 Instruction Manuel *Honba Ltd Japan* 15
 Ceylanoğlu, A Görgülü, K. Arpa/, E & Duruturk, Y S 1999 Bazı mermer birimleri için optimum aşındırma-cilalama koşullarını belirleme çalışmaları *TUBITAK-MISAG Proje No 108 Sivas*, 252
 Gorgulu, K 1998. Bazı mermer birimleri için optimum aşındırma-cilalama koşullarının araştırılması ve malzeme özellikleri ile ilişkilendirilmesi *C U Fen Bil Ens Doktora Tezi Sivas* 178
 Önder, A , 1995. Silindirik parçaların yüzey tornalanmasında elde edilen yüzey pürüzlülüğünün aşınmaya etkisi. *C Ü Fen Bil Ens Yuk Lis Tezi Sivas* 72

Bazı Mermer Birimlerinin Malzeme ve Yüzey Aşındırma Özelliklerinin ve Aralarındaki İlişkilerin Belirlenmesi

A.Ceylanoğlu & K.Görgülü

Cumhuriyet Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye

ÖZET: Bu çalışma kapsamında, öncelikle aşındırma deney yöntemleri ve yüzey kalitesinin belirlenmesi konularına ilişkin literatür araştırması yapılmış ve mermer birimleri için laboratuvar yüzey aşındırma deney sistemi oluşturulmuştur. Daha sonra yedi değişik mermer biriminin bazı malzeme özellikleri belirlenmiş ve belirli koşullarda laboratuvar yüzey aşındırma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Mermer malzeme özellikleri ile yüzey aşındırma deney sonuçları arasında oldukça yüksek korelasyonlu ilişkiler elde edilmiştir.

ABSTRACT: Within the scope of this study, initially a literature survey was conducted on abrading test methods and assessment of surface quality and a laboratory-scale surface abrading test system for marble units was set up. Then some material properties of seven different marble types were determined and under particular conditions laboratory surface abrading experiments were performed. High correlations were obtained between marble material properties and the results of laboratory surface abrading tests.

1 GİRİŞ

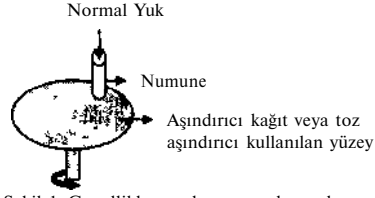
Yaşam standartlarının yükselmesine ve teknolojinin gelişmesine paralel olarak mermer kullanımının artması sonucunda mermer işletmeciliği madencilik sektörünün en önemli alanlarından biri olmuştur. Son yıllarda bu sektörün önemi giderek artmış ve mermer sektörü üretici ülkelerin belirgin bir gelir kaynağı haline gelmiştir. Mermer ocaklarından blok olarak kazanılan mermerler, mermer fabrikalarında çeşitli makineler kullanılarak plakalar halinde kesilmekte ve kesilen yüzeylerdeki pürüzler aşındırma ve cilalama işlemleri sonucunda ortadan kaldırılmaktadır.

Bilindiği gibi, mermer aşındırma işlemi üzerinde etkili olan birçok parametre (aşındırma makinasının tipi, kapasitesi, gücü ve enerji tüketimi, aşındırıcı ve matrisinin özellikleri, aşındırma baskısı ve süresi, aşındırılan malzemenin özellikleri) sözkonusudur. Bu nedenle, aşındırma işlemlerinin verimliliğinin artırılmasında aşındırılan malzemenin gerek mekanik ve fiziksel özelliklerinin gerekse yüzey aşındırma özelliklerinin de dikkate alınması gerekmektedir.

Aşındırma deneyleri için en çok uygulanan yöntem, yatay bir disk üzerinde aşındırma işleminin yapılması şeklindedir. Numune düşey olarak bir tutma ünitesi tarafından sabitlenmekte ve üzerine değişik mekanizmalarla yük uygulanmaktadır.

Aşındırıcı olarak ya toz haldeki aşındırıcılar ya da aşındırıcı kağıtları kullanılmaktadır. Genel olarak uygulanan yöntem numunenin dönen disk üzerinde kuru ya da sulu aşındırılması şeklindedir (TS 699/1987, Göktan & Emir 1996; Spero vd. 1991, Axen & Jacobson 1994, Hisakado vd. 1992, Khruschov 1974, Moore 1974, Sın vd. 1979, Önder 1995). Bu sistemin şematize edilmiş hali Şekil 1'de verilmiştir.

Yukarıda değinilen aşındırma deneyleri, istem dışı oluşan aşınma miktarlarının belirlenmesinde uygulanmaktadır ve genellikle metal malzemelerin aşınmaya karşı dirençlerini, malzemelerin mekanik ve fiziksel özellikleriyle aşınmaya karşı dirençleri arasındaki ilişkileri, aşındırıcı tane boyutunun aşınma üzerindeki etkilerini vb. belirlemeye yönelik olarak kullanılmaktadır. Bu deneylerde kullanılan malzemelerin yüzeyleri pürüz içermemekte veya minimum düzeyde pürüz içermektedir (TS 699/1987, Spero vd. 1991, Axen & Jacobson 1994, Hisakado vd. 1992, Khruschov 1974, Moore 1974, Sınavd. 1979).



Şekil 1. Genellikle uygulanan aşındırma deney yöntemi

2 ÇALIŞILAN MERMER BİRİMLERİ VE MALZEME ÖZELLİKLERİ

Bu araştırmada çalışılan yüksek rezervli değişik mermer birimlerini temsil ve karakterize eden blok numuneler, Çizelge 1'de verilen kuruluşlardan sağlanarak C.Ü. Maden Mühendisliği Bölümü Kaya Mekanikliği Laboratuvarı'na getirilmiştir.

Temsili blok numuneler, Uluslararası Kaya Mekanikliği Derneği standartlarının (ISRM 1981) öngördüğü şekilde deneylere hazır hale getirilmiştir. Mermer birimlerinin ISRM, 1981 standartlarına uygun olarak belirlenen bazı önemli malzeme özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir. Ayrıca bu birimlerde sertlik belirleme deneyleri gerçekleştirilmiştir (Çizelge 3).

3 MERMER BİRİMLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

Mermer birimlerinin sınıflandırılması amacıyla laboratuvar deney sonuçları kullanılarak literatürdeki bazı önemli malzeme sınıflama sistemlerine göre mermer birimleri ayrı ayrı değerlendirilmiş ve sonuçlar Çizelge 4'de verilmiştir.

4 LABORATUVAR YÜZEY AŞINDIRMA DENEY SONUÇLARI

4.1 Deney düzeneği

Laboratuvar aşındırma deney düzeneği iki ana cihazı içermektedir (Görgülü 1998, Ceylanoğlu, vd. 1999) Bunlar; aşındırma cihazı ve pürüzlülük ölçerdir.

i. *Aşındırma cihazı:* Aşındırma deneylerinde C.Ü. Sivas Meslek Yüksek Okuluna ait aşındırma deney cihazı kullanılmıştır. Cihaz 220 volt ile çalışmakta olup, boş devri 340 dev./dak.'dır. Numune tutma kolu deney sırasında sabittir. Numune üzerine yük bir yay aracılığıyla uygulanabildiği gibi ölü ağırlık kullanılarak ta uygulanabilmektedir. Disk çapı 203.2 mm'dir. Cihaz

üzerinde sulu çalışmaya uygun su tertibatı ve disk üzerinde aşındırıcı kağıdını sıkıştırmak için bir çember mevcuttur. Cihazda numunenin yerleştirildiği yuvanın iç çapı mermer numunelerini yerleştirmeye uygun olmadığından cihaza iç çapı 25.4 mm olan bir numune tutma ünitesi eklenmiştir. Ayrıca, cihaz üzerinde devir sayacı bulunmadığından, devir ölçümleri için Kane-May marka KM 6002 model Microprocessor Tachometer kullanılmıştır.

ii. *Pürüzlülük ölçer:* Pürüzlülük ölçümleri C.Ü. Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'ne ait Taylor Hobson marka Surtronic 3+ model Talysurf ile yapılmıştır. Cihazın maksimum ölçüm uzunluğu 25 mm'dir. Ölçüm sonuçları cihazın monitöründen okunabildiği gibi yazıcısından da alınabilmektedir.

4.2 Deney yöntemi ve sonuçları

Laboratuvar yüzey aşındırma deney düzeneği kullanılarak aşağıda verilen koşullarda yedi değişik mermer birimi için gerçekleştirilen deneylerin sonuçları Çizelge 5'de verilmiştir.

- Herbir mermer birimi için yaklaşık 25 mm çapında (480 mm^2), 20 mm uzunluğunda ve aşındırılacak yüzeyinin pürüzlülüğü (Ra) 0.2-0.6 μm arasında olan en az üç silindirik numune hazırlanmıştır.
- Tüm deneylerde 120 numaralı aşındırıcı kağıt kullanılmıştır.
- Deneylerin tümünde numune üzerine 1000 gr yük ve 60 sn aşındırma süresi uygulanmıştır. Ayrıca aşındırma diskinin devri sabit tutulmuştur.
- Aşındırma işleminden önce ve sonra numunelerin uzunluğu komparatör (dial gage) kullanılarak 0.01 mm hassasiyetle belirlenmiştir.
- Aşındırma öncesinde ve sonrasında yüzey pürüzlülüğü ölçülerek yüzey pürüzlülüğünün değişimi belirlenmiştir. Pürüzlülük değerleri pürüzlülere dik olarak 8 mm'lik uzunluklarla gerçekleştirilen en az dört ölçümün ortalaması alınarak bulunmuştur.

5 MALZEME VE AŞINDIRMA ÖZELLİKLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİLER

Laboratuvarda belirli koşullarda (120 numaralı aşındırıcı kağıt, 1000 gryük, 60 sn aşındırma süresi) gerçekleştirilen yüzey aşındırma deney sonuçları (Çizelge 5) ve mermer birimlerinin malzeme özellikleri (Çizelge 2 ve Çizelge 3) arasında ilişkiler araştırılmıştır. Statgraph V 5 paket programı

kullanılarak basit (doğrusal, üssel, eksponansiyel, reciprocal ve logaritmik fonksiyon yaklaşımları) ve çoklu regresyon analizleri yapılmıştır. Öncelikle aşınma miktarı ve mermer malzeme özellikleri arasında birebir basit regresyon analizleri yapılmış, ancak yalnız sertlik değerleri ile anlamlı ilişkiler elde edilebilmiştir (Çizelge 6). Daha sonra, aşınma miktarı ve mermer malzeme özellikleri arasında çoklu regresyon analizleri gerçekleştirilmiş ve oldukça yüksek korelasyonlu ilişkiler bulunmuştur. Sırasıyla iki, üç, dört ve daha fazla bağımsız

değişkenin kullanıldığı çoklu regresyon analizleri sonucunda yüksek korelasyon katsayıları veren ($r>0.87$) ilişkiler (80 adet) elde edilmiştir. Bu nedenle, Çizelge 6'da kolay, hızlı ve düşük maliyetle bulunabilir malzeme özellikleriyle temel malzeme özelliklerini içeren ve daha yüksek korelasyonla sonuçlanan ilişkiler verilmiştir. Aynı şekilde pürüzlülük artışı ve mermer malzeme özellikleri arasında da basit ve çoklu regresyon analizleri yapılmıştır (Çizelge 7).

Çizelge 1 Mermer ve traverten rezerv durumu (DPT 1991)

Mermer Birimi	Numunenin Alındığı Kuruluş	Renk	Bölge	Rezerv (m ³) x(1 000)			
				Görünür	Muhtemel	Mümkün	Toplam
Afyon Şeker	Akün İnşaat ve San. Tic. Lti. Şti.	Açık ve koyu sarı tonlarında, yer yer kahverengi çizgili.	Afyon	63 000	266 000	300 000	629 000
Afyon Gök	Akün İnşaat ve San. Tic. Lti. Şti.	Genellikle koyu gri (mavi tonunda), bazen açık gri.	Afyon				
Muğla Beyaz	Akün İnşaat ve San. Tic. Lti. Şti.	Beyaz, yer yer siyah çizgili.	Muğla			200 000	200 000
Zile Bej	Emmioğlu Mermer Ltd. Şti.	Açık krem.	Tokat - ^Amasya	10 000	100 000	300 000	410 000
Akköy Bej	Hartaş A.Ş.	Genellikle krem, yer yer krem.	açık Bilecik		15 000	25 000	40 000
Yıldız Siyah	Emmioğlu Mermer Ltd. Şti.	Siyah, füme siyah.	Sivas			50 000	50 000
Sarı Traverten	Ak Mermer A.Ş.	Sarı, Çankırı Travert enine benzemektedir	Sivas				

Çizelge 2 Kaya mekaniği laboratuvar deney sonuçları

Ozellikler	Min Tare (Tabii)	Toplam (Etikili)	Nem Oranı (%)	Suya Dayanım İndeksi (I _{d2})(%)	Darbe Dayanımı (kgf cm/cm ³)	Dolaylı Çekme Dayanımı (MPa)	Eğilme (Bukulme) Dayanımı (MPa)	Nokta Yuku Day (MPa)	Tek Eks Basınç Dayanımı (MPa)	Kohezyon (MPa)	İçsel Sürtünme Açısı (Derece)	Elastisite Modülü (GPa)	Poisson Oranı
Mermer Birimi	Yoğunluğu (gr/cm ³)	Gozeneklilik (%)											
Muğla Beyaz	2.711 (2.709)	0.190 (0.120)	0.105	99.18	9.14 ±4.19	6.56 ±1.56	21.06	5.69 ±1.10	61.14 ±11.60	25.82	33.22	28.79	0.256
Afyon Şeker	2.725 (2.708)	0.734 (0.191)	0.096	99.48	10.19 ±4.77	5.93 ±1.89	27.24	6.78 ±0.78	66.44 ±7.54	25.93	32.85	35.16	0.265
Afyon Gök	2.709 (2.697)	0.509 (0.077)	0.076	99.31	4.61 ±1.90	5.02 ±1.44	13.72	5.44 ±0.98	49.74 ±4.48	17.32	35.06	34.70	0.289
Akköy Bej	2.694 (2.689)	0.327 (0.152)	0.153	99.62	3.22 ±2.32	5.97 ±2.11	12.27	5.76 ±1.23	52.82 ±15.58	16.60	48.58	33.84	0.288
Zile Bej	2.695 (2.693)	0.195 (0.115)	0.109	99.75	3.44 ±2.39	7.27 ±1.13	13.86	5.65 ±0.79	91.60 ±14.54	19.84	49.73	35.37	0.316
Yıldız Siyah	2.708 (2.700)	0.417 (0.039)	0.116	99.64	3.74 ±2.06	6.82 ±1.93	11.91	5.93 ±0.86	68.34 ±14.86	26.17	43.82	35.81	0.273
Sarı Traverten	2.676 (2.411)	10.190 (5.555)	0.329	99.32	9.15 ±2.14	5.18 ±0.78	6.998	5.72 ±0.78	37.80 ±1.30	19.16	26.14	29.55	0.292

Çizelge 3 Sertlik deney sonuçları.

Deneyler	Schmidt Sertliği	Shore Sertliği C2 Model	EquoTip Sertlik Ölçme Cihazı (Standart D Tipi Dijital)			Statik Sertlik (Rockwell Sertliği)		Mohs Sertliği ***
			Shore Sert.	Vickers Sert.	Brinell Sert.	*B Skalası	**C Skalası	
Mermer Birimi								
Muğla	56.10	59.17	51.21	362.79	348.67	71.18	17.83	3
Beyaz	±1.73	±5.53	±5.29	±48.68	±42.60	±14.99	±3.18	
Afyon	57.20	59.88	48.67	361.53	351.65	72.40	17.87	3
Şeker	±1.03	±3.96	±3.44	±27.11	±32.11	±7.95	±4.78	
Afyon	57.90	52.91	47.27	349.71	341.63	57.10	8.30	3
Gök	±0.88	±4.40	±5.35	±35.42	±44.95	±8.46	±5.72	
Akköy	60.40	73.65	57.33	445.61	406.50	104.97	41.01	3.5-4
Bej	±1.78	±3.28	±5.48	±47.59	±64.43	±7.87	±6.53	
Zile	61.00	69.88	58.87	450.56	429.00	95.37	34.13	≤3
Bej	±0.82	±3.75	±4.57	±35.45	±29.53	±11.05	±7.83	
Yıldız	59.80	74.53	65.20	501.48	471.44	102.77	38.59	3
Siyah	±1.03	±4.04	±4.69	±55.16	±50.16	±8.27	±7.77	
Sarı	47.10	51.70	43.43	340.36	316.46	44.74	--	≤3
Traverten	±2.13	±6.33	±3.28	±31.21	±47.48	±12.67		

* Çelik bilya, Çap 1/16 inç, Yük 100 kg, Skalanın en üst değeri 100'dür.

** Elmas uç, Yük 150 kg.

***ODTÜ, Jeoloji-Jeoftzik Araştırma Merkezi, 1998.

Çizelge 4. Mermer birimlerinin bazı malzeme sınıflamalarına göre değerlendirme sonuçları

Mermer Birimi	Sınıflama	*T.E.B.D.	Schmidt Sertliği	Modülüs Oranı	Suda Dağ. Dayanımı	Deere ve Miller	
						Dayanım	Deformabilite
Muğla Beyaz	Orta dayanımlı	Orta	Oldukça sert	Orta sağlam	Çok yüksek	Orta Dayanım	Az derecede deforme olan
Afyon Şeker	Orta dayanımlı	Orta	Oldukça sert	Sağlam	Çok yüksek	Orta Dayanım	Az derecede deforme olan
Afyon Gök	Orta düşük dayanımlı	Orta	Oldukça sert	Sağlam	Çok yüksek	Düşük - Orta Arası Dayanım	Az derecede deforme olan
Akköy Bej	Orta dayanımlı	Orta	Çok sert	Sağlam	Çok yüksek	Orta Dayanım	Az derecede deforme olan
Zile Bej	Orta dayanımlı	Orta	Çok sert	Orta sağlam	Çok yüksek	Orta Dayanım	Az derecede deforme olan
Yıldız Siyah	Orta dayanımlı	Orta	Oldukça sert	Sağlam	Çok yüksek	Orta Dayanım	Az derecede deforme olan
Sarı Traverten	Orta düşük dayanımlı	Orta	Sert	Sağlam	Çok yüksek	Düşük - Orta Arası Dayanım	Az derecede deforme olan

* T.E.B.D. : Tek eksenli basınç dayanımı

Çizelge 5. Belirli koşullarda gerçekleştirilen yüzey aşındırma deney sonuçları.

Mermer Birimi	Num. No	Çap (mm)	Devir (rpm)	L ₀ (mm)	L ₁ (mm)	Aşınma Miktarı DL (mm)	Başlangıç Ra (µm)	Bitiş Ra (µm)	Pürüzlülük Değişimi DRa (µm)
Muğla Beyaz	1	25.05	337	22.55	21.44	1.15	0.39	2.19	1.83
	2	24.95	338	21.13	19.91		0.35	2.25	
	3	24.80	337	19.94	18.82		0.33	2.11	
Afyon Şeker	1	24.45	337	19.87	18.61	1.25	0.43	2.01	1.77
	2	24.40	338	19.82	18.57		0.35	2.43	
	3	24.60	337	20.28	19.03		0.32	1.97	
Afyon Gök	1	24.20	339	22.30	20.83	1.54	0.45	2.29	1.89
	2	24.30	339	21.04	19.38		0.45	2.55	
	3	24.55	336	20.14	18.66		0.46	2.20	
Akköy Bej	1	24.95	337	23.25	22.17	0.94	0.45	1.89	1.45
	2	24.80	337	22.16	21.31		0.25	1.81	
	3	25.10	337	21.83	20.95		0.30	1.65	
Zile Bej	1	24.65	336	20.85	19.51	1.24	0.36	2.65	2.04
	2	24.55	336	20.94	19.88		0.26	2.04	
	3	24.65	336	20.44	19.13		0.32	2.36	
Yıldız Siyah	1	24.85	336	21.67	20.70	0.90	0.32	2.09	1.67
	2	24.80	335	22.13	21.20		0.25	1.99	
	3	24.80	336	21.72	20.91		0.28	1.78	
Sarı Traverten	1	24.55	336	22.22	20.07	2.10	0.53	2.50	2.23
	2	24.50	336	19.39	17.27		0.47	2.66	
	3	24.60	335	19.55	17.52		0.59	3.11	

Diğer koşullar: 120 numaralı aşındırıcı kağıt, 1000 gr yük ve 60 sn aşındırma süresi.

Çizelge 6. Aşınma miktarı ve mermer malzeme özellikleri arasındaki ilişkiler

Regresyon Denklemi DL(mm) = Aşınma Miktarı	Korelasyon Katsayısı (r)
Basit Regresyon Analizi	
DL= 5.4203-0.0720012x ₁₃	0.8509
DL= 1329.53x ₁₄ ^{-1.68475}	0.8805
DL= 1547.77x ₁₅ ^{-1.79594}	0.8720
DL= 9390.01x ₁₆ ^{-1.149043}	0.7835
DL= 19224.5x ₁₇ ^{-1.62434}	0.8008
DL= 48.9327x ₁₈ ^{-0.848252}	0.9327
Çoklu Regresyon Analizi	
DL= 2.123067x ₁ -0.077714x ₁₃	0.9872
DL= 0.11866x ₃ +0.01905x ₁₃	0.9860
DL= 0.457912x ₇ -0.02444x ₁₃	0.9511
DL= 1.299338x ₁ -0.035019x ₁₄	0.9828
DL= 0.123691x ₃ +0.01661x ₁₄	0.9686
DL= 0.473931x ₇ -0.023583 ₁₄	0.9615
DL= 1.566146x ₁ -0.12649x ₇ -0.034712x ₁₄	0.9794
DL= 5.642294x ₂ -0.149408x ₅ +0.287463x ₇ -0.253223x ₁₃	0.9728
DL= 0.07884x ₃ -0.00462x ₈ +0.004453x ₉ +4.767085x ₁₇	0.9814
DL= 0.431792x ₇ +0.105632x ₃ -0.001035x ₈ +0.000867x ₁₁	0.9796
DL= 1.939302x ₂ -0.103883x ₆ +11.086327x ₁₂ -0.111288x ₁₃	0.9979
DL= -0.025012x ₆ -0.037657x ₁₀ +13.922657x ₁₂ -0.01807x ₁₃	1
DL= 0.05977x ₁ -0.020695x ₆ +0.001877x ₈ +4.698261x ₁₂ +0.015459x ₁₃ -0.012804x ₁₈	1

Tane Yoğunluğu (gr/cm³)=X₁; Tabii Yoğunluk (gr/cm³)=x₂; Toplam Gözeneklilik (%)=x₃;
Etkili Gözeneklilik (%)=X₄; Darbe Dayanımı (kgf.cm/cm²)=x₅; Dolaylı Çekme Dayanımı (MPa)=x₆;
Nokta Yükleme Dayanımı (MPa)=x₇; Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)=x₈; Kohezyon (MPa)=x₉;
İçsel Sürtünme Açısı (Derece)=x₁₀; Elastisite Modülü (GPa)=x₁₁; Poisson Oranı=X₁₂; Schmidt Sertliği=x₁₃;
Shore Sertliği (C2 Model)=X₁₄; Shore Sertliği (Standart D Tipi)=x₁₅; Vickers Sertliği=X₁₆; Brinell Sertliği=X₁₇;
Rockwell Sertliği (B Skalası)=x₁₈.

Çizelge 7. Pürüzlülük değişimi ve mermer malzeme özellikleri arasındaki ilişkiler.

Regresyon Denklemi DRa (um) = Pürüzlülük Değişimi	Korelasyon Katsayısı (r)
Basit Regresyon Analizi	
DRa= 9.10926-1.79801*log(x ₁)	0.6458
DRa= 4.28866-0.566876*log(x ₁)	0.7207
Çoklu Regresyon Analizi	
DRa= 1.470458x ₁ -0.037396x ₁₀	0.9945
DRa= 0.06465 1x ₁ +0.025014x ₁₀	0.9869
DRa= 0.312365x ₁ -0.00001x ₁₀	0.9852
DRa= 1.072088x ₁ -0.016766x ₁₀	0.9939
DRa= 0.088527x ₁ +0.020093x ₁₀	0.9825
DRa= 0.388599x ₁ -0.007108x ₁₀	0.9861
DRa= 0.084118x ₁ -0.24732x ₁₀ +9.780977x ₁₀	0.9977
DRa=0.007427x ₁₀ -0.033968x ₁₀ +9.529128x ₁₀	0.9990
DRa= 3.2996x ₁ -0.153134x ₁₀ +0.010451x ₁₀ -0.117007x ₁₀	0.9903
DRa= 0.168835x ₁ +0.007548x ₁₀ -0.005098x ₁₀ +0.02437x ₁₀	0.9917

Bağımsız değişken sembollerinin tanımları ve birimleri Çizelge 6'da verildiği gibidir.

6 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yüksek rezervli yedi değişik mermer biriminin mekanik ve fiziksel özellikleri belirlenmiş ve literatürdeki bazı önemli malzeme sınıflamalarına göre mermer birimleri sınıflandırılmıştır. Aşındırma deney yöntemleri ve yüzey kalitesinin belirlenmesi konuları ile ilgili yapılan literatür araştırması ışığında; yüzey aşındırma deney cihazı ve pürüzlülük ölçerden oluşan laboratuvar deney düzeneği kurulmuş ve belirli koşullarda (Numune yüzey pürüzlülüğü (Ra) 0.2-0.6 μ m, aşındırma diskinin devri sabit (335-340 rpm), 120 numaralı aşındırıcı kağıt, 1000 gr yük, 60 sn aşındırma süresi) bu mermer birimleri üzerinde yüzey aşındırma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Mermer malzeme özellikleri ile aşınma miktarı ve pürüzlülük değişimi arasında oldukça yüksek korelasyonlu ilişkiler elde edilmiştir.

Aşındırıcı türü ve numarası, aşındırma baskısı ve süresi değiştirilerek farklı koşullarda değişik mermer erimlerinde benzer deneylerin yapılarak bir standart oluşturulmasında büyük yarar görülmektedir. Verinde mermer aşındırma işlemi koşulları mermer malzeme özellikleri ve laboratuvar yüzey aşındırma deney sonuçları da dikkate alınarak belirlenmelidir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, TÜBİTAK ve C.Ü. Araştırma Fonuna maddi destekleri nedeniyle teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

- Axen, N , Jacobson, S 1994 A model for the abrasive wear resistance of multiphase materials *Wear* 174 187-199
- Ceylanoğlu, A , Gorgülü, IC, Arpaz, E & Durutürk, Y S 1999 Bazı mermer birimleri için optimum aşındırma-cıllama koşullarını belirleme çalışmaları *TVBİTAK-MİSAG Proje No 108 Sivas*, 252
- DPT, 1991 Mermer *Endüstriyel Hammaddeler Özel İhtisas Komisyonu Mermer Raporu* Yayın No DPT 2293-ÖİK405 109
- Goktan, RM & Emir, E 1996 Rockwell sertlik deneyinin mermerlerde sürtünme ile aşınma dayanımı kestirimi amacıyla kullanılabilirliği *Türkiye'de Mermer Yapı ve Dekorasyon S 46 Mart-Nisan* 16-20
- Görgülü, K. 1998 Bazı mermer birimleri için optimum aşındırma-cıllama koşullarının araştırılması ve malzeme özellikleri ile ilişkilendirilmesi *C U Fen Bil Ens Doktora Tezi Sivas* 178
- Hısakado, T, Suda, H & Tsukui, T 1992 Effects of dislodgment and size of abrasive grains on abrasive wear *Wear* 155 297-307
- ISRM, 1981 Rock characterization testing and monitoring, ISRM suggested methods *International Society for Rock Mechanics* 211
- IChruschov, M M 1974 Principles of abrasive wear *Wear* 28 69-88
- Moore, MA 1974 A review of two-body abrasive wear *Wear* 11 1-17
- Onder, A 1995 Silindirik parçaların yüzey tornalanmasında elde edilen yüzey pürüzlülüğünün aşınmaya etkisi *C U Fen Bil Ens Yuk Lis Tezi Sivas* 72
- Sın, H, Saka, N & Suh, NP 1979 Abrasive wear mechanisms and grit size effect *Wear* 55 163-190
- Spero, C , Hargreaves, DJ , Kirkealdie, R K. & Fhitt, H J 1991 Review of test methods for abrasive wear in ore grinding *Wear* 146 389-408
- TS 699 1987 Yüzey kaplama taşlarında yapılan fiziksel kimyasal ve jeomekanik testlerin yapılışı Ankara