

Gözenekli Ve Hafif Doğal Kayaçlardan Elde Edilen Blok Malzemelerin Kaya Mekanik 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 mekanik 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 ölçeklerle ilişkilendirilerek tartışılmıştır.

2 GÖZENEKLİ HAFİF DOĞAL KAYAÇLARDAN ELDE EDİLMİŞ BETONLARIN KAYA MEKANİĞİ 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 mekanik 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.

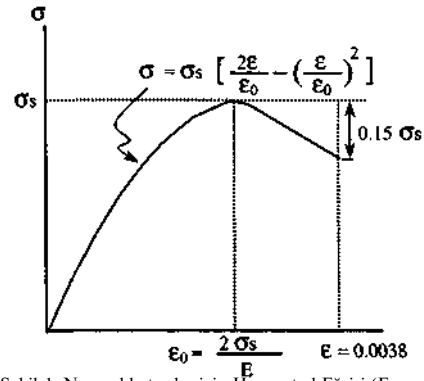
Hafif betonların kullanıldığı tüm yerlerde, mühendislik parametreleri olarak şu değişken değerler detay olarak irdelenmelidir:

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 kayalar 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+çakıl) 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 E0 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:

$$\sigma = \sigma_s \left[\frac{2\varepsilon}{E_0} - \left(\frac{\varepsilon}{E_0} \right)^2 \right] \quad (1)$$

Burada;

o : Betonun dayanım değeri, MPa,

o_s : Silindirik beton örneği dayanımı, MPa,

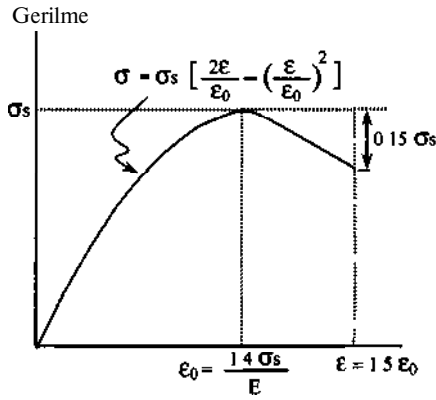
e : Betonun birim şekil değiştirme değeri,

8o : 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 agregalar 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 matris yapı arasında sağlanan yüksek yapışma kuvvetine ilaveten, hafif betonun sertleşmesi sürecinde, agregalar-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 içerisindeki ince agregalar 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 bileşimli 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;

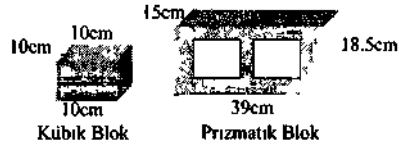
E : Hafif betonun elastisite modülü, MPa,

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:

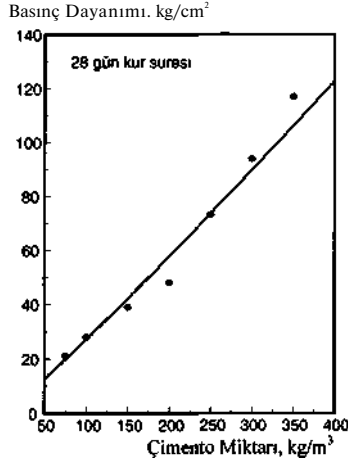
- 16 mm - 8 mm (iri agregalar),
- 8 mm - 4 mm (orta agregalar),
- < 4 mm (ince agregalar)

Karışım değerleri için, farklı yüzde oranlarında iri/orta/ince agregalar 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 elemanının 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 eleman örneklerinin dayanım değerleri arasındaki ilişki araştırılmış olup, analiz çalışmaları sırasında 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

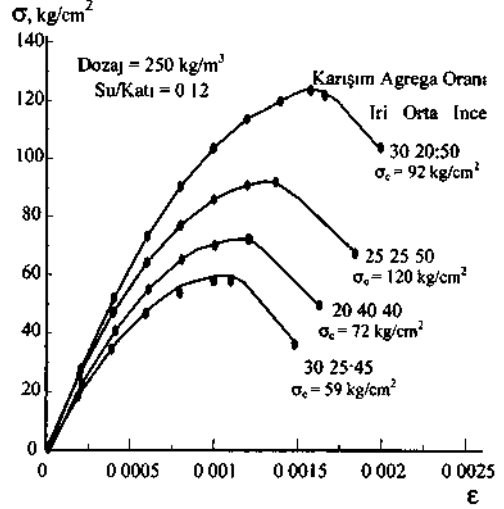
olup, bağıntının Sperman Rank Korelasyon yöntemine göre istatistiksel anlamlılık düzeyi, kabul edilebilir sınır değerler içindedir:

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

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

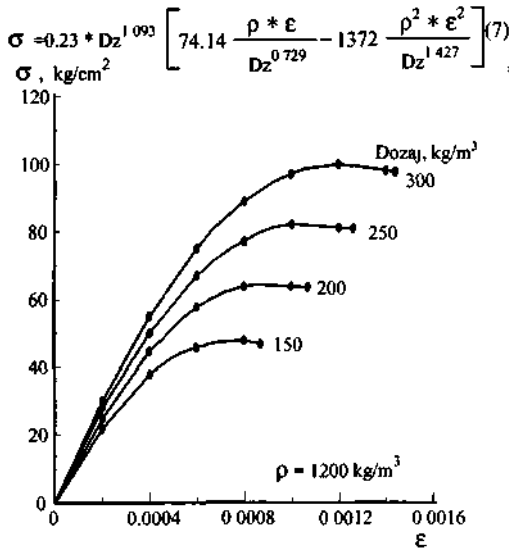
Şekil 5 irdelendiğinde, pomza blokların gerilme - birim şekil değiştirme karakteristik değişiminin, yukarıda tanımlaması verilen Hognestad eğrisel ilişki şekline benzediği görülmektedir. Ayrıca, karışım kombinasyonunda yer alan pomza granülometresinin, bloğun dayanımına ne denli etki ettiği de açıkça 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 oluştuğu 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.

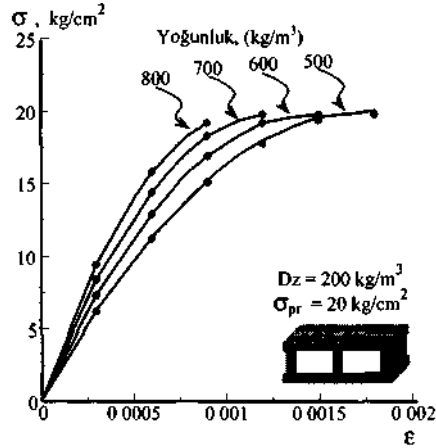
Şekil 6 irdelendiğinde, matris yapıdaki çimento dozajı arttıkça, dayanım karakteristiğinde bir iyileşme gözlenmektedir. Ancak, fazla oranda çimento kullanımı, bloğun yüksek maliyette eldesi anlamına geldiğinden, en uygun çimento kullanım oranının belirlenmesi gerekmektedir. Bu açıdan, Şekil 6'da verilen 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.

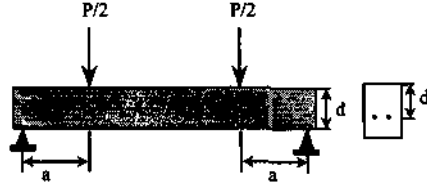


Şekil 7. Pomza blokların gerilme-birim şekil değiştirme karakteristiği

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.

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

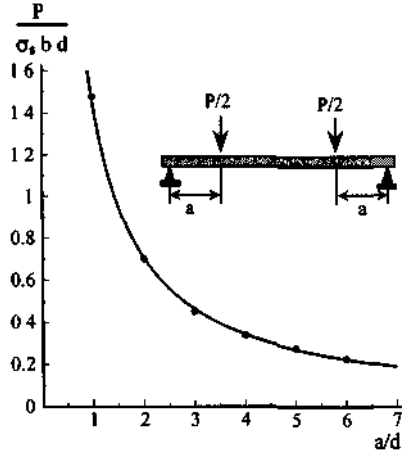
Hafif doğal agregalı betonlar için diğer bir analiz türü ise, hafif betonun kesme davranışı ve buna bağımlı dayanım olgusudur. Bu inceleme için kullanılan analiz modelinin sembolik gösterimi Şekil 8'de verilmiştir.



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.

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



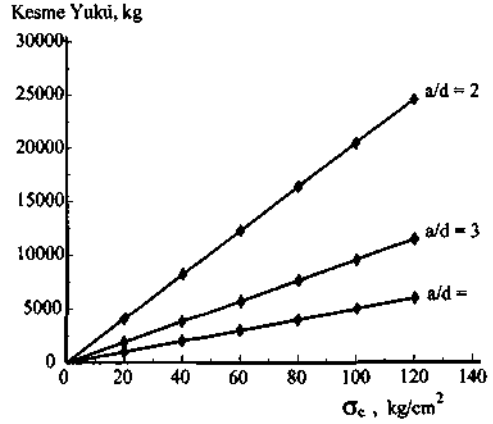
Şekil 9. Hafif betonun kesme yükü değişim değerleri.

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,

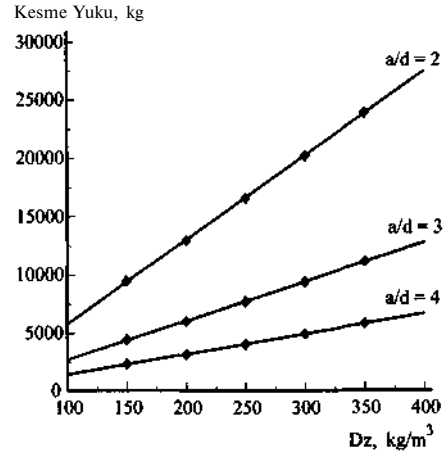
pomza beton için kesme yük değişimleri, Eşitlik 10-Eşitlik 1 Tdeki gibi tanımlanmıştır.

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

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



Şekil 10 Pomza betonun kesme yükü değişim değerleri.

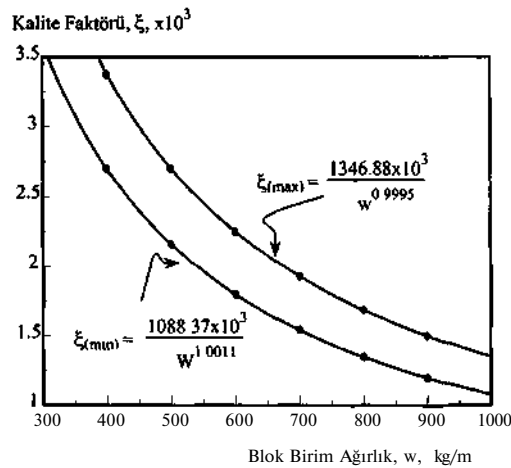


Şekil 11 Pomza betonun kesme yükü değişim değerleri.

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.

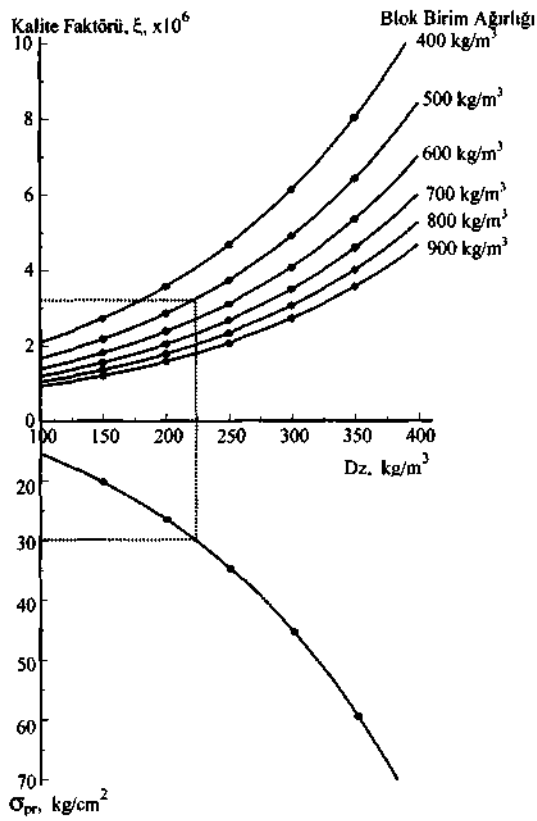
Blok elemanlarının kalitesi, yapısal bir malzeme olarak yük taşıma verimliliğinin değerlendirilmesi ile yapılabilmektedir. Özgül dayanım olarak da ifade edilebilen bu olgu, bloğun dayanımının bağlı yoğunluğuna veya diğer bir deyişle, kuru birim hacim ağırlık değerine oranı olarak tanımlanmaktadır. Bu 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/cm² ve ortalama basınç dayanımı 25 kg/cm² değerleri ile, en büyük yoğunlukları olarak tanımlanan (400-500-600-700-

800-1000 kg/m³) 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.

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

Burada;

ξ : Pomza bloğun kalite faktörü,
 ρ : Pomza bloğun birim hacim ağırlığı, kg/m³,
 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,

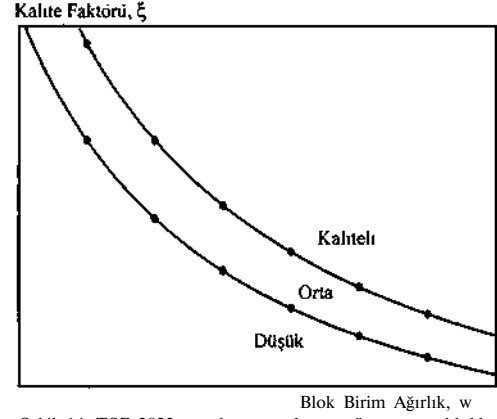
pomza blok elemanının, yük taşıma verimliliği açısından en uygun olduğu kabul edilir. Konu üzerine uygulayıcıların, TS 2823 standardına göre değerlendirebilecekleri bir analiz abağı, Şekil 14'de verilmiştir. Bu abak yardımı ile, pomza blokların yük taşıma verimliliği veya özgül dayanım kapasite analizi 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 betondan mamul yapı elemanları, UDK 622.353 691 327, Ankara