

# POMZA AGREGALI HAFİF BETON ISIL ÖZELLİKLERİNE POLİSTİREN KÖPÜK VE UÇUCU KÜL KATKISININ ETKİLERİ

İsmail DEMİR  
M. Serhat BAŞPINAR  
Gökhan GÖRHAN  
Erhan KAHRAMAN  
Orhan AKYOL

## ÖZET

Bu çalışmada pomza agregalı hafif beton blok özelliklerine uçucu kül ve taneli polistiren köpük katkısının etkileri araştırılmıştır. Hazırlanan karışımlarda TS 802 standardına göre, çimento dozajı 300 olacak şekilde malzeme miktarları belirlenmiştir. Örnekler 100 x 100 x 100 mm<sup>3</sup>’lük metal kalıplara vibrasyon yöntemiyle yerleştirilmiştir. Örnekler 24 saat sonra kalıptan çıkarılmıştır. Örnekler atmosferik buhar basıncında 6 saat süre ile buhar kürü uygulanmıştır. Sonuç olarak, TS EN 206-1’e göre referans (A) örnek grubu “D 1,4”, diğer örnekler ise “D 1,2” sınıfına uygun yoğunluk değerlerine sahiptir. A örnekleri 13,2 MPa basınç dayanım değeriyle hafif beton olarak kullanılabilen bir yapıdır. Strafor tanesi katkılı pomza blok örneklerde uçucu kül ikame oranının artması örneklerin basınç dayanımını artırıcı bir etki oluşturmuştur. Taneli polistiren köpük katkısı örneklerin birim ağırlık değerlerini azalttığı ve buna bağlı olarak ısı yalıtım değerlerinde artışa neden olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Hafif beton blok, Pomza, Uçucu kül, Polistiren köpük, Isıl iletkenlik katsayısı.

## ABSTRACT

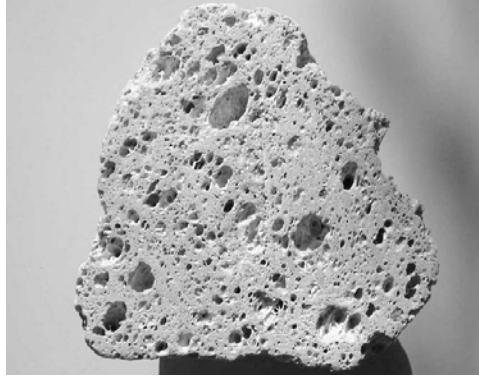
The main objective of this study is to investigate the effect of polystyrene and fly ash addition on the properties of light weight pumice aggregate concrete. Mixes were designed according to TS802, with a cement dosage of 300. Samples were cast into 100 x 100 x 100 mm<sup>3</sup> steel moulds with vibration. Samples were taken from the mould after 24 hour. Steam curing was applied to the samples for 6 hour at an atmospheric pressure. As a conclusion, samples sample groups (a) was found to be appropriate to “D 1,4” according to the TS EN 206-1 and other samples was appropriate to “D 1,2” class. A series were considered to be used as light weight concrete when 13,2 MPa compressive strength of the A series samples were taken into account. Strength of the polystyrene containing samples were increased when the fly ash content was increased. It was observed that polystyrene addition decreased the bulk density of the samples and consequently decrease in the thermal conductivity was observed.

**Key Words:** Lightweight concrete block, Pumice, Fly ash, Polystyrene foam, coefficient of thermal conductivity.

## 1. GİRİŞ

Pomza, birbirine bağlantısız boşluklu, süngerimsi, silikat esaslı, fiziksel ve kimyasal etkenlere karşı dayanıklı, birim hacim ağırlığı  $1 \text{ gr/cm}^3$ 'ten küçük, gözenekli, camsı, asidik ve bazik karakterli volkanik faaliyetler sonucu oluşmuş magmatik (volkanik) bir kayadır. Magmanın yeryüzünde veya yeryüzüne oldukça yakın derinliklerde katılması sonucu oluşmuşlardır. Köpük veya sünger şeklinde bol miktarda gaz boşluğu içerirler. Boşluklar genellikle birbirleri ile bağlantılı değildir ve bu yüzden suya atıldığı zaman dibe batmazlar. Bileşimleri asit-ortaç bir bileşime sahiptir ve hiç veya çok az miktarda kristal suyu içerirler. Bu özelliklerinden dolayı ısıtıldıklarında genleşmezler [1].

Pomza, volkanik, camsı bir yapıdadır. Yeryüzünde en yaygın olarak bulunan ve kullanım türü en geniş olan asidik pomza, beyaz ve kirli renkte olanıdır. Bazik pomza ise siyahımsı renkteki pomza türüdür. Asidik karakterli pomzalarda silis oranı daha yüksek olup, inşaat sektöründe yaygın kullanım alanı bulabilmektedir. Diğer taraftan bazik karakterli pomzalar da alüminyum, demir, kalsiyum ve magnezyum bileşenleri daha yüksek oranda bulunması nedeniyle diğer endüstriyel alanlarda kullanım alanı bulabilmektedir. Her iki pomza türü de oluşum sırasında ani soğuma ve gazların bünyeyi ani olarak terk etmesi sonucu oldukça gözenekli bir yapı kazanmışlardır (Şekil 1). Pomza bulunduğu yerlere göre farklılık gösterebildiği gibi, her bölgenin pomzası kendi içinde de farklılık gösterebilmektedir.



Şekil 1. Pomzanın Genel Görünümü [1].

Genellikle endüstride kullanılmayan düşük kalorili linyit kömürlerinin termik santrallerde yakılması sonucu bacadan çıkma eğilimi gösteren ince taneli küllere uçucu kül denilmektedir ve 2020 yılına kadar termik santrallerde yıllık 50 milyon ton atık külün ortaya çıkması beklenmektedir [2-4]. Uçucu küller kendi başlarına bağlayıcılık özelliği bulunmayan yapay bir puzolandır. Genellikle çimento üretiminde mineral katkı olarak kullanılabilir. Yapılan araştırmalarda % 20 oranında çimentoda kullanılan uçucu kül betonunun basınç dayanımları açısından olumlu sonuç verirken betonun erken yaşlardaki basınç ve eğilme dayanımlarını düşürerek prizi geciktirmektedir [2].

Portland çimentosu, kalker ve kil karışımı hammaddelerin pişirilmeleri ile ortaya çıkan ve "klinker" olarak adlandırılan malzemenin çok az miktarda alçıtaşı ile birlikte öğütülmesi sonunda elde edilen bir üründür; su ile birleştirildiğinde hidrolik bağlayıcılık özelliği kazanmaktadır. (Su altında sertleşebilen ve suda erimeyen bağlayıcıya "hidrolik bağlayıcı" denilmektedir. Alçı ve kireç gibi bağlayıcılar hidrolik bağlayıcı özellik gösterememektedirler.) Portland çimentosu toz gibi ince tanelidir; tanelerin boyutları 1-200  $\mu\text{m}$  arasında değişmektedir. Portland çimentosunun özgül ağırlığı 3.10–3.15 kadardır. Torbalanmış durumdaki çimentonun birim ağırlığı  $1,5 \text{ t/m}^3$  civarındadır [3].

Beton sıcaklık artışı ile doğru orantılı olarak hidrasyon reaksiyonlarında da artış gerçekleşir ve betonun mukavemet değerleri kısa sürede yüksek değerlere ulaşır. Betonda dayanım artışının fazla olması için sıcaklık artışının yanında ortamın yeterince nemli ve doygun olması da gereklidir. Ortamı ısıtmak için gerekli ısı, buhar küre ile de sağlanabilir. Bu süreç  $100^\circ\text{C}$  'nin altında ve atmosferik basınçta gerçekleşirse nem kürelesinin özel bir durumu olarak sayılabilir [4, 5].

Bu çalışmada pomza agregalı hafif beton blok özelliklerine uçucu kül ve polistiren köpük katkısının etkileri araştırılmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOT

Hafif agrega olarak Isparta bölgesinden elde edilen pomza kullanılmıştır. Pomza malzemesinin sertliği Mohs skalasına göre 5-6 arasında olduğu ve kimyasal olarak % 75'e varan silis içeriğinin bulunduğu literatürde belirtilmektedir [6].

Çalışmada kullanılan pomza malzemesinin kimyasal analiz sonuçlarına göre malzemede bulunan oksitler ve miktarları Tablo 1'de verilmiştir.

Örneklerin üretiminde kullanılan pomzanın özgül ağırlığı 0.84 gr/cm<sup>3</sup>'tür. Pomza malzemesi laboratuvar tipi seramik bilyalı değirmende öğütüldükten sonra TS 802 [7] standardında 0-8 mm'lik agregalar için belirtilen değer aralıkları dikkate alınarak tane dağılımı belirlenmiş ve çalışmada kullanılan pomzanın elek analizi değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Pomza Malzemesinin Kimyasal Bileşimi.

Bileşik	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Kız.Kayı	Toplam
% Miktar	54,48	15,72	4,55	4,27	1,02	0,88	5,38	4,16	2,51	93,97

**Tablo 2.** 0-8 mm Tane Boyutuna Sahip Pomzanın Elek Analizi Değerleri.

Elek Aralığı (mm)	Elekte Kalan (gr)	Elekten Geçen (gr)	Elekte Kalan (%)	Elekten Geçen (%)
8	-	3125	-	100,0
4	1031	2094	33,0	67,0
2	1130	964	69,2	30,8
1	665	299	90,4	9,6
0,5	239	60	98,1	1,9
0,25	55	5	99,8	0,2

Çalışmada; 0-8 mm tane boyutuna sahip pomza, CEM I 42.5 R tipi çimento, granüler halde polistiren köpük ve uçucu kül katkısının farklı oranlarda karıştırılması ile karışımlar hazırlanmıştır. Kullanılan uçucu kül, Tunçbilek termik santralinden temin edilmiştir. Polistiren köpük (strafor) ise granüler (taneli) halde karışımlara eklenmiştir. Hazırlanan karışımlarda TS 802 standardına göre, çimento dozajı 300 olacak şekilde malzeme miktarları belirlenerek kullanılan malzemeler ve miktarları Tablo 3'de verilmiştir.

**Tablo 3.** Kullanılan Malzemeler ve Karışım Oranları (Gr).

Örnek grubu	Pomza	Çimento	Strafor	Uçucu Kül	Su/Bağlayıcı oranı
A	4688	2250	0	0	0,83
B	4688	2250	36	0	0,72
C	4688	2138	36	112	0,86
D	4688	2025	36	225	0,96
E	4688	1800	36	450	1,04

Hazırlanan karışımlar 100 x 100 x 100 mm<sup>3</sup>'lük metal kalıplara vibrasyon yöntemiyle yerleştirilmiş ve 24 saat sonra kalıplardan çıkarılmıştır. Deney örneklerine buhar kürü cihazında 85 °C'de 6 saat süre

ile atmosferik buhar basıncı uygulanmıştır. Kür sonrası ortam sıcaklığına kadar soğutulan örnekler etüve konularak değişmez ağırlığa kadar kurutulmuşlardır.

Örneklerin fiziksel özelliklerinin belirlenmesi amacıyla her bir örnek grubundan seçilen örneklerin; etüv kuru ağırlığı ( $W_1$ ), su içerisinde asılı ağırlığı ( $W_2$ ) ve yüzey kuru suya doygun ağırlığı ( $W_3$ ) belirlenmiştir. Örneklerin su emme değerleri TS EN 771-1'e göre [8]; görünür porozite ve birim hacim ağırlık değerleri ise TS EN 772-4'e göre [9] aşağıda verilen formüller (eşitlik 1-3) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\text{Su emme (\%)} = ((W_3 - W_1) / (W_3)) \times 100 \quad (1)$$

$$\text{Gör. Por. (\%)} = ((W_3 - W_1) / (W_3 - W_2)) \times 100 \quad (2)$$

$$\text{Bir. Hac. Ağ. (gr/cm}^3\text{)} = ((W_1) / (W_3 - W_2)) \quad (3)$$

Deney örneklerinin basınç dayanım değerleri, TS EN 772-1'e göre [10] bilgisayar kontrollü otomatik basınç presinde ve otomatik yükleme hızında gerçekleştirilmiştir. Her karışım grubundan dört adet örnek kullanılmıştır.

Yalıtım özelliğinin bir ölçüsü olan ısı iletkenlik değerlerinin ölçülmesinde, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Müh. Laboratuvarında bulunan "Shotherm QTM-D2" cihazı kullanılmıştır.

Numuneler ısı iletim katsayısını ölçen cihazın probuna uygun olarak 100 mm uzunluğunda, 50 mm genişliğinde ve 17 mm kalınlığında hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerin ısı iletim katsayılarının ölçümü, "Hot Wire" yönteminden yararlanılarak geliştirilmiş olan "Shotherm QTM-D2" cihazı ile yapılmıştır. Shotherm QTM-D2 cihazının ölçme yönteminde ısıtıcı tel, ısı iletim katsayısı bilinen yalıtkan bir malzemeye, ısı iletim katsayısı ölçülmek istenen malzeme arasına yerleştirilerek ölçüm yapılmaktadır [11].

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmadan elde edilen bulgular ve tartışma bu bölümde verilmiştir. Örneklerin basınç dayanım değerleri ikinci bölümde verilen basınç presinde kırılarak belirlenmiştir. Buna göre referans örnekler (A), 13,2 MPa ile en yüksek basınç dayanım değerine ulaşmıştır. Strafor katkılı B serisi örneklerin dayanım değerleri strafor katılmayan A serisi örneklere göre çarpıcı biçimde azalmıştır. Bu azalmanın strafor taneciklerinin hidratasyon reaksiyonuna katılmayıp beton bünyede inert kaldıkları ve bu nedenle dayanım değerlerinin azaldığı düşünülmektedir.

Strafor oranı aynı kaldığı halde uçucu külün çimento ile ikame edildiği C, D ve E serilerinde basınç dayanımlarında artışlar gerçekleşmiştir. Bu serilerde porozite ve buna bağlı olarak su emme değerlerinde uçucu kül katkı oranına bağlı olarak azalma gerçekleşmiştir (Tablo 4). Bunun puzolanik özelliğe sahip olan uçucu külün ikincil faz reaksiyonları sonucunda bünyede oluşan CSH fazlarının daha yüksek oranda gelişmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Burada çimento su ile karşılaştığında kalsiyum silikatlar bağlayıcı özellikteki CSH jelini oluştururlar ve bir miktar CH ortaya çıkar, puzolanik (uçucu kül) malzeme bu CH ile tekrar reaksiyona girerek yeni CSH fazları üreterek gözenek miktarını azaltacaktır. Dolayısı ile zamana ve basınçlı otoklav kür şartlarına bağlı olarak dayanım ve dayanıklılık değerlerinde artış gerçekleşmiştir.

Strafor katkılı örneklerin birim hacim ağırlık değerlerinde kontrol (A) serisine göre azalma gerçekleşmiştir. Buna göre birim hacim ağırlık değerleri kontrol (A) serisinde  $1358 \text{ kg/m}^3$  iken, strafor katkılı örneklerde  $1019$  ile  $1075 \text{ kg/m}^3$  arasında değişmektedir (Tablo 4). Birim hacim değerlerindeki azalmanın strafor katkının pomza agregasına göre daha düşük birim hacim ağırlığa sahip olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Strafor katkılı örneklerin ısı iletkenlik katsayıları ticari bims blok standartları ile karşılaştırılmıştır. Strafor katkısız kontrol serisinde ısı iletkenlik katsayısı 0,60 W/mK iken strafor katkılı örneklerde 0,34 W/mK olarak gerçekleşmiştir. Buna göre strafor katkılı örneklerin ticari bims bloklara göre daha düşük ısı iletkenlik değerleri elde edilmiştir. Buna strafor taneciklerinde havanın durgun ve kuru olarak bulunmasının etkili olduğu düşünülmektedir.

**Tablo 4.** Örneklerden Elde Edilen Bulgular.

Örnek grubu	Su Emme (%)	Porozite (%)	Birim Hac. Ağ. (kg/m <sup>3</sup> )	Basınç Dayanımı (MPa)	Isıl iletkenlik değerleri (W/mK)
A	9,4	12,8	1358	13,2	0,60
B	19,1	19,5	1019	2,4	0,43
C	13,5	14,2	1047	5,8	0,38
D	13,9	14,3	1028	6,0	0,40
E	7,9	8,3	1075	6,5	0,34
Bims Blok*	-	-	1000	-	0,46
	-	-	1200	-	0,54
	-	-	1400	-	0,63

\*TS 825 Binalarda ısı yalıtım kuralları [12].

## SONUÇ

Sonuç olarak, örneklerden elde edilen yoğunluk değerleri TS EN 206-1'de belirtilen hafif beton yoğunluklarıyla karşılaştırıldığında A örnek grubu "D 1.4", diğer örnekler ise "D 1.2" sınıfına uygun yoğunluk değerlerine sahiptir [13].

Basınç dayanım değerlerine göre A örnekleri atmosferik buhar kürü sonunda; 13.2 Mpa dayanım değerine ulaşmıştır. Bu basınç dayanım değerine göre A örneklerinin hafif beton olarak kullanılabilirliği düşünülmektedir.

Pomza agregalı hafif beton bloklarda uçucu kül ikame oranının artması örneklerin basınç dayanımını artırıcı bir etki oluşturmuştur. Uçucu külün sağladığı ikincil hidratasyon reaksiyonları sonucu daha yoğun bir içyapı oluşmasına ve mukavemet artışına neden olmuştur. Karışımlara katılan taneli strafor katkının örneklerin birim hacim ağırlık değerlerini azalttığı ve buna bağlı olarak ısı iletkenlik değerlerinde azalma gerçekleştiği düşünülmektedir. Strafor katkı ile üretilen örneklerin bina enerji tüketimine dikkate değer katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] ÜNAL, O., ERGÜN, A., UYGUNOĞLU, T., KÜRKLÜ, G., "Hafif Agregalı Elemanların Fiziko-Mekanik Özelliklerinin Araştırılması ve Modellenmesi", Proje No: 109M391, Ocak 2008, TÜBİTAK projesi, 2008.
- [2] TOPÇU, İ. B., CANBAZ, M., "Uçucu kül Kullanımının Betondaki Etkileri", Osmangazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi C. XIV, S. 2, 2001 Eng.& Arch. Fac. Osmangazi University, Vol. XIV, No: 2, 2001.
- [3] ERDOĞAN, T. Y., "Beton", Metu Press, 1. Baskı, 2003.
- [4] TÜTÜNLÜ, F., ATALAY, Ü., "Utilization of Fly Ash in Manufacturing of Building Bricks", 2001 International Ash Utilization Symposium, Kentucky, USA, 2001.
- [5] NEVILLE, A.M., "Properties of Concrete", Pitman Publishing, London, 1997.
- [6] YAZICIOĞLU, S., ARICI, E., GÖNEN, T., "Pomza Tasinin Kullanım Alanları ve Ekonomiye Etkisi", F.Ü. DAUM Dergisi, 1, 118-123, Mayıs, 2003.
- [7] TS 802, "Beton Karışım Hesap Esasları", TSE, Ankara, 1985

- [8] TS EN 771–1, “Kagir Birimler, Özellikler- Bölüm 1: Kil kâgir birimler (Tuğlalar)”. TSE, Ankara, 2005.
- [9] TS EN 772–4, Kagir Birimler, deney metotları- Bölüm 4: Tabii taş kâgir birimlerin toplam ve görünen porozitesi ile boşluksuz ve boşluklu birim hacim kütlelerinin tayini”, TSE, Ankara, 2000.
- [10] TS EN 772–1, “Kagir Birimler, deney metotları- Bölüm 1: Basınç Dayanımının Tayini”, TSE, Ankara, 2002.
- [11] ESEN, Y., “Poliakrilonitril Lifi Takviyeli Betonların Isıl İletkenliğinin Deneysel Olarak İncelenmesi”, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları, 3: 93-96, 2003.
- [12] TS 825 Binalarda ısı yalıtım kuralları, TSE, Ankara, 2000.
- [13] TS EN 206-1, “Beton- Bölüm 1: Özellik, performans, imalat ve uygunluk”, Türk Standardı, TSE, 2002.

Teşekkür: Bu çalışma Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından desteklenmiştir (BAP Proje no:09.TEF.04).

## ÖZGEÇMİŞ

### İsmail DEMİR

1961 Konya doğumludur. 1983 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı eğitimi Bölümünü bitirmiştir. Aynı Üniversitede 1996 yılında Yüksek Lisans ve 2001 Yılında Doktora derecesi almıştır. 1984–1994 Yılları arasında öğretmenlik, 1994–2001 yılları arasında Öğretim görevlisi, 2002–2006 yılları arasında Yrd. Doç. Dr. ve 2006 yılında Doçent unvanı almıştır. Uçucu küllerin tuğla üretimi ve gaz beton üretiminde kullanımı, endüstriyel atıkların geri dönüşümü ve yalıtım malzemeleri konularında çalışmaktadır.

### M. Serhat BAŞPINAR

1971’de Adapazarı’nda doğmuştur. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Metalurji Mühendisliğinden 1993 yılında mezun olduktan sonra Afyon Kocatepe Üniversitesi’nde Seramik A.B.D.’da yüksek lisansını 1996’da tamamladı. 2005 yılında Anadolu Üniversitesi Seramik Mühendisliği A.B.D.’da doktora eğitimini tamamladı. Seramikler, refrakterler, gözenekli malzemeler ve bağlayıcı sistemler temel bilimsel çalışma alanlarını oluşturmaktadır.

### Gökhan GÖRHAN

1981 yılında Ankara’da doğmuştur. Afyon Kocatepe Üniversitesinde; 2003 yılında Yağı öğretmenliği bölümünde Lisans, 2006 yılında ise Yapı Eğitimi A.B.D.’da Yüksek Lisans Eğitimini tamamlamıştır. Aynı üniversitede 2004–2009 yılları arasında Arş. Grv. olarak ve 2009 yılından itibaren Öğr. Grv. olarak görevini sürdürmektedir. Uçucu küllerin tuğla üretimi ve gaz beton üretiminde kullanımı, endüstriyel atıkların geri dönüşüm, yalıtım malzemeleri ve tuğla konularında çalışmaktadır.

### Erhan KAHRAMAN

1979 yılı Eskişehir doğumludur. 2002 yılında Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Öğretmenliği Bölümünü bitirmiştir. Aynı üniversitede 2005 yılında Yüksek Lisansını tamamlamıştır. 2004 yılından beri Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Öğretmenliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır. Yapı Malzemeleri, Gaz beton, Hafif Yapı Blokları konularında çalışmaktadır."

### Orhan AKYOL

1979 Yılında Çanakkale`ye bağlı Çan ilçesinde doğdu. 2005 Yılında Trakya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Öğretmenliği Bölümünden mezun oldu. 2008 Yılında Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi ABD`nda başladığı yüksek lisans eğitimine devam etmektedir. 2005 Yılından beri Afyon Kocatepe Üniversitesi Yapı İşleri Teknik Daire Başkanlığı`nda teknik eleman olarak iş hayatına devam etmektedir.