



**Makale  
(Article)**

## **Cüruf, Uçucu Kül, Silis Kumu ve Pomza Esaslı Geopolimerlerin Fiziksel, Mekanik Ve Radyasyon Geçirgenlik Özellikleri**

**Hanifi BİNİCİ\***, **Mustafa EKEN\***, **Orhan AKSOĞAN\*\***

\* Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş/TÜRKİYE

\*\* Toros Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mersin/TÜRKİYE

[hbinici@ksu.edu.tr](mailto:hbinici@ksu.edu.tr)

### **Özet**

Çalışmada, yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis kumu ve pomzanın NaOH ile aktive edilerek geopolimer beton üretiminde kullanılması amaçlanmıştır. Bu amaçla 4x4x16 cm ve 10x10x10 cm boyutlarında geopolimer beton harçlar üretilmiştir. Numuneler 20 saat süresince 100 ve 150 °C sıcaklığındaki etüvde bekletilmiştir. Numuneler üzerinde su emme, birim hacim ağırlık, eğilme dayanımı, basınç dayanımı, ultrasonik ses geçirgenlik ve lineer soğurma katsayısı deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak, yüksek fırın cürufu ile elde edilen geopolimerin su emme oranı diğer numunelere göre daha düşük bulunmuştur. Su emme değerleri fazla olan örneklerin Ultrasonik ses geçirgenlik hızları daha düşük bulunmuştur. Ayrıca bu numunelerin eğilme ve basınç dayanımları diğerlerine göre çok daha yüksek bulunmuştur. Ultrasonik ses geçiş hızları ile basınç dayanımı arasında belirli bir ilişki gözlenmiştir. Sonuçlar daha boşluksuz geopolimerlerin basınç dayanımlarının daha yüksek olduğunu göstermektedir. Lineer soğurma katsayısı en yüksek olan numune yüksek fırın cürufu ile elde edilen geopolimerdir. Radyoaktif geçirgenliği en az olan bu malzeme radyasyon etkisine maruz kalan yapılarda kullanılabilir.

**Anahtar Kelimeler:** Geopolimer; Aktivasyon, Yüksek Fırın Cürufu, Uçucu Kül, Silis Kumu, Pomza

## **Physical, Mechanical and Radiation Properties of Slag, Fly Ash, Silica Sand and Pumice-Based Geopolymers**

### **Abstract**

The aim of this study is concrete production made with blast furnace slag, fly ash, silica sand and pumice were activated with NaOH geopolymer. For this purpose, ground granulated blast furnace slag, fly ash, silica sand and pumice using alkali solution is prepared by NaOH 4x4x16 cm and 10x10x10 cm in size geopolymer concrete mortars were produced. water absorption, flexural and compressive strength of unit weight, ultrasonic sound transmission and linear absorption coefficient of samples were determined. Geopolymer obtained by blast-furnace slag by water absorption ratio is lower than the other samples. Ultrasonic sound transmission rates were found lower than that of the samples with higher water absorption values. Moreover, flexural and compressive strengths of these samples were much higher than the others. With transmission speeds of ultrasonic sound a specific relationship between the compressive strength was observed. Samples has more spaces were found higher compressive strength than that of the others. Linear absorption coefficient of the sample with the highest geopolymer obtained with blast furnace slag. Permeability of radioactive material so at least these structures that are exposed to radiation may be used.

**Keywords :** Geopolymer; Activation, Blast Furnace Slag, Fly Ash, Silica Sand and Pumice

*Bu makaleye atf yapmak için*

*Binici H., Eken M., Aksoğan O., "Cüruf, Uçucu Kül, Silis Kumu ve Pomza Esaslı Geopolimerlerin Fiziksel, Mekanik Ve Radyasyon Geçirgenlik Özellikleri" Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi 2012, 8(2) 12-25*

*How to cite this article*

*Binici H., Eken M., Aksoğan O., "Physical, Mechanical and Radiation Properties of Slag, Fly Ash, Silica Sand and Pumice-Based Geopolymers" Electronic Journal of Construction Technologies, 2012, 8 (2) 12-25*

## 1. GİRİŞ

Sınıfsız uçucu küller çimento ve beton standartlarına uygun olmadığı için kullanılamamakta ve çevre kirliliğine neden olmaktadır. Uçucu küller öğütme ile yüksek sıcaklıkta kür uygulanarak, kireç katılarak veya alkaliler kullanılarak aktive edilebilmektedirler [1-2]. Bu şekilde üretilen bağlayıcı malzemeler geopolimer olarak adlandırılmaktadır [3]. Geopolimerlerde karışım aşamasında kullanılan su, işlenebilirlik için kullanılmakta, geopolimerin kür ve kurumması sırasında geopolimer içerisinde süresiz nano boşluklar bırakarak geopolimeri terk etmektedir. Bu durum geopolimere hafiflik, ısı yalıtımı ve yangın dayanımı gibi olumlu özellikler kazandırmaktadır [4]. Uçucu küllerin alkalilerle aktivasyonu ile elde edilen bağlayıcı kullanılarak üretilen harç ve betonların kuru büzülme değerleri geleneksel betona göre oldukça düşük, donatı ile aderansları ve çevre koşullarına dayanıklılıkları ise oldukça yüksektir [5 - 9].

Diğer yandan, yüksek fırın cürufunun alkali aktivasyonu ile bağlayıcı özellikler kazanmaları için 20°C kür sıcaklığı yeterli olmaktadır. Kür sıcaklıkları 60-100 °C'ye artırıldığında ise birkaç saat içerisinde geopolimerler kalıp alınacak dayanıma ulaşabilmektedir [10, 11].

Atiş vd. [13] çalışmalarında Portland çimentosu kullanmadan, cürufu aktive edecek yeni bir bağlayıcı madde kullanılmasını araştırmışlardır. Priz başlangıç ve bitiş zamanları normal Portland çimentosuna göre sıvı sodyum silikat ve sodyum hidroksitle aktive edilmiş çimentolarda daha erken, sodyum karbonatla ise normal Portland çimentosu ile aynı olduğu belirtilmiştir. Silis modülünün artmasının geopolimerin nihai dayanım kazanmasına ve eğilme dayanımına etkisinin daha yüksek olduğu belirtilmiştir.

Allahverdi vd. [14] çalışmalarında doğal puzolanların aktive edilebileceğini ve alkali aktivatör olarak sodyum silikat ve sodyum hidroksitin belli oranlarda karışımının kullanılmasıyla geopolimer çimento üretilebileceğini bildirmişlerdir.. Çalışmada, doğal puzolan esaslı geopolimer çimento kalitesinin, alkali aktivatörün bileşimine, su/bağlayıcı oranına ve doğal puzolanın kalitesine bağlı olduğu belirtilmiştir. .

Günümüzde inşaat sektöründe en çok kullanılan bağlayıcı malzeme çimentodur. Tüketimdeki bu enerji, ekonomik ve çevresel problemleri de ortaya çıkarmıştır. Dünyada toplam CO<sub>2</sub> yayılımının %7'sinin çimento üretiminden kaynaklandığı bilinmektedir. Bu yüzden Portland çimentosuna alternatif çimentolar üretmek güncel araştırma konuları arasında yer almaktadır [15].

Radyoaktivite insan sağlığına zarar verdiği için son yıllarda üzerinde ciddi çalışmalar yapılmaktadır [16, 17]. Radyasyon demeti, bir maddeden geçirildiğinde şiddetinde azalma gösterir. Bu azalma, maddenin kalınlığına, içerisinde bulunan elementlere ve elementlerin madde içerisindeki konsantrasyonuna bağlıdır. X ve  $\gamma$  ışınlarını tutabilmek için ağır elementlerden yapılan malzemeler kullanılır. Kurşun endüstride kullanılan en önemli radyasyon tutucu maddedir. Bu amaçla radyasyonla çalışan yerlerde duvarlar ve kapılar kurşun levhalar ile kaplanır. Özgül ağırlığı büyük olduğu için kurşun ağır bir elementtir. Dolayısıyla kurşuna alternatif olarak radyasyon tutucu özelliği fazla olan başka malzemelerin tespit edilerek endüstride kullanılması önem taşımaktadır [18].

Bu çalışmada ise, yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis kumu ve pomzanın, NaOH ile aktive edilerek geopolimer beton üretiminde kullanılması amaçlanmıştır. Bu amaçla öğütülmüş yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis kumu ve pomza NaOH ile hazırlanan alkali çözeltisi ile aktive edilerek 4x4x16 cm ve 10x10x10 cm boyutlarında geopolimer harçlar üretilmiş ve 20 saat süresince 100 ve 150 °C'deki etüvde bekletilmiştir. Numunelerin su emme, birim hacim ağırlık, eğilme dayanımı, basınç dayanımı, ultrasonik ses geçirgenlik hızı ve radyasyon tutuculuk özellikleri araştırılmıştır.

## 2. MALZEME ve METOT

### 2.1. MALZEMELER

Afşin – Elbistan termik santrali yılda 3.240.000 ton uçucu kül açığa çıkarmaktadır. Sınıfsız olan bu kül, çimento üretiminde kullanılmadığından ciddi depolama sorunu yaşanmaktadır [19]. Uçucu kül, yüksek fırın cürufu, silika kumu ve pomzanın ün kimyasal özellikleri Tablo 1’de, fiziksel özellikleri ise Tablo 2’de verilmiştir. Silis kumu K.maraş, Fatmalı bölgesinden temin edilmiş ve öğütülmüştür. Yüksek fırın cürufu İskenderun demir-çelik fabrikasından ve pomza Osmaniye Üç tepelerden temin edilmiştir.

**Tablo 1.** Kullanılan malzemelerin kimyasal içeriği

Oksitler	Uçucu Kül	Yüksek fırın cürufu	Silika kumu	Pomza
SiO <sub>2</sub>	18.26	41.62	78.80	51.80
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.16	13.73	2.90	22.10
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.27	7.31	9.80	7.30
CaO	53.42	28.20	1.20	6.20
MgO	1.73	4.94	1.30	8.30
SO <sub>3</sub>	11.43	0.15	0.20	0.60
K <sub>2</sub> O	0.39	0.12	0.10	0.07
Na <sub>2</sub> O	0.18	0.11	0.10	0.05
Kızdırma Kaybı	2.11	1.83	1.45	0.40

Table 2. Kullanılan malzemelerin Fiziksel özellikleri

Malzemeler	Specific gravity (g/cm <sup>3</sup> )	Elek anlızi (%)		İncelik (cm <sup>2</sup> /gr)
		200 µ Elek Üzerinde kalan Yüzde	200 µ Elek Üzerinde kalan Yüzde	
Uçucu kül	2,36	0,35	1,23	3600
Yüksek fırın cürufu	2,45	0,65	1,78	3400
Silika kumu	2,89	0,44	1,10	3400
Pomza	2,05	0,56	1,98	3350

Aktivatör olarak puzoalan cüruf ağırlığının %4±7 kadar sıvı sodyum hidroksit NaOH kullanmışlardır. Literatürde bu oranın uygun olduğu belirtilmiştir [20].

## 2.2. METOT

### 2.2.1. Harçların Hazırlanması

Geopolimer üretimi için TS 802'ye göre yapılan karışımlar Tablo 3'de verilmiştir. Kullanılan aktivatör olan NaOH %98 saflıktadır. 100 ve 150 °C de 4x4x16 cm ve 10x10x10 cm boyutlu numuneler üretilmiştir.

**Tablo 3.** Harç karışım oranları

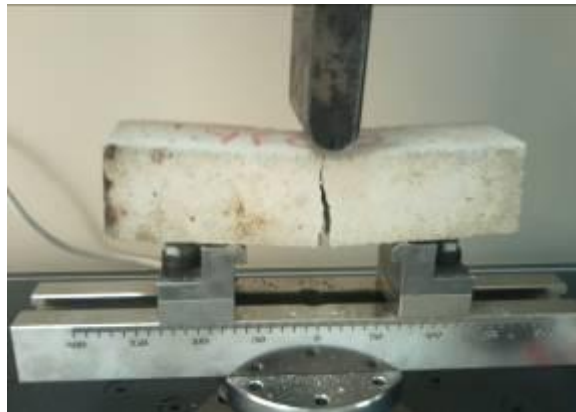
Örnekler	Bileşenler ve miktarları (g)	
	Kum	NaOH
S1(Uçucu kül esaslı geopolimer)	800	100
S2(Uçucu kül esaslı geopolimer)	900	100
S3 Uçucu kül esaslı geopolimer)	1000	100
F1(Yüksek fırın cürufu esaslı geopolimer)	800	100
F2(Yüksek fırın cürufu esaslı geopolimer)	900	100
F3(Yüksek fırın cürufu esaslı geopolimer)	1000	100
SS1(Silis kumu esaslı geopolimer)	800	100
SS2(Silis kumu esaslı geopolimer)	900	100
SS3(Silis kumuesaslı geopolimer)	1000	100
P1(pomza esaslı geopolimer)	800	100
P2(pomza esaslı geopolimer)	900	100
P3 (pomza saslı geopolimer)	1000	100

### 2.2.2. Su Emme ve Birim Hacim Ağırlık Oranı

Numune gruplarına ait ağırlıkça su emme ve birim hacim ağırlık değerleri, TS 3624'de belirtilen şekilde belirlenmiştir.

### 2.2.3. Eğilme ve Basınç Dayanımı

On iki farklı karışımın her biri için 3'er adet TS EN 196-1 standardına uygun olarak 4x4x16 cm boyutlu numuneler üretilmiş ve eğilme dayanımı testleri bu numuneler üzerinde yapılmıştır (Şekil 1). Harç numunelerin eğilme deneyi yükleme hızı saniyede 50 N ± 10 N olarak ayarlanmış ve orta noktadan yükleme yapılacak şekilde uygulanmıştır.



**Şekil 1.** Eğilme deney cihazı ve eğilme deneyi

10x10x10 cm boyutlu numuneler yükleme tablasına yerleştirildikten sonra yükleme hızı 75kg/dk olarak ayarlanıp numunelerin basınç dayanımları belirlenmiştir. Şekil 2’de numunelerin basınç altında kırılma durumları görölmektedir.



Şekil 2. Basınç dayanımı test sonrası numunenin durumu

#### 2.2.4. Ultra Ses Geçiş Hızı

Ultra ses geçiş hızı pundit cihazı ile yapılmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Pundit cihazı ve ultra ses geçiş hızı

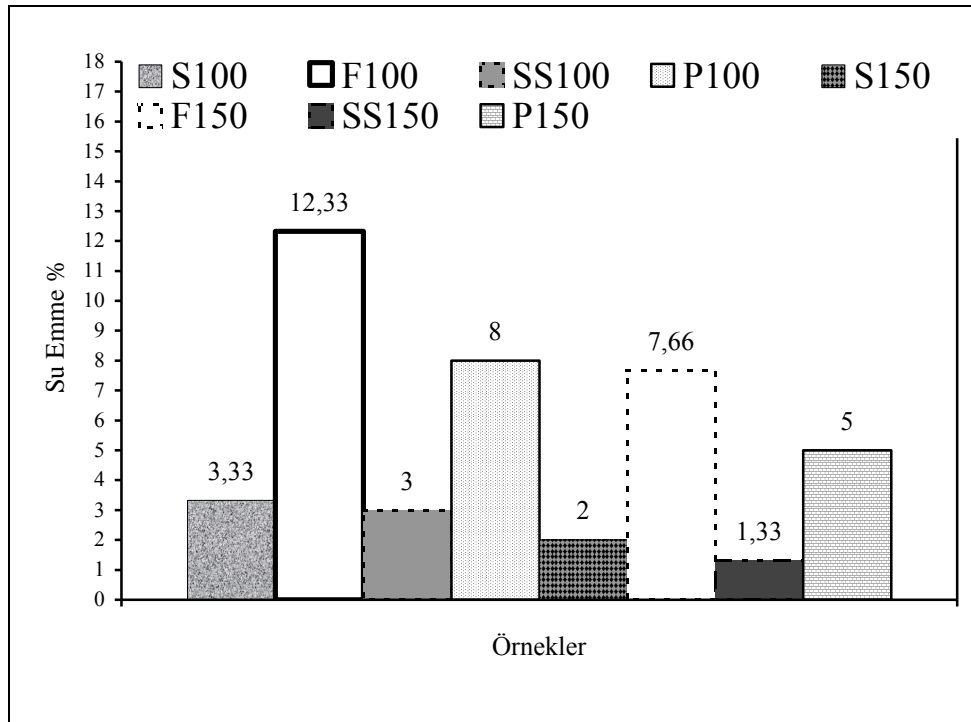
### 3. DENEYSSEL ÇALIŞMALAR

#### 3.1. Su emme ve birim hacim ağırlık değerleri

Elde edilen su emme ve birim hacim ağırlık değerleri Tablo 4’e ve ortalama su emme oranları Şekil 4’ te ve ortalama birim hacim ağırlıkları ise Şekil 5’da verilmiştir.

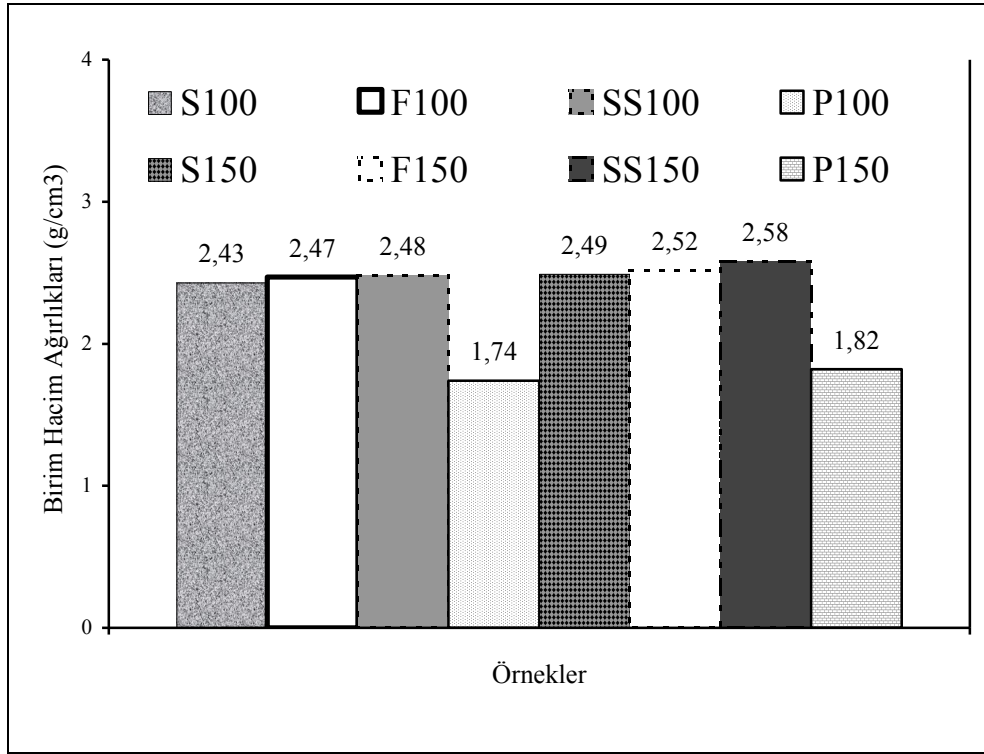
**Tablo 4.** Su emme ve birim hacim ağırlık değerleri

Aktivasyon Isısı	Numune Adı	Su Emme (%)	Birim Hacim Ağırlığı (g/cm <sup>3</sup> )
100 °C	S1	4,3	2,35
	S2	3,0	2,48
	S3	3,4	2,51
	F1	10,1	2,40
	F2	12,4	2,38
	F3	15,2	2,53
	SS1	3,1	2,43
	SS2	2,2	2,49
	SS3	1,4	2,54
	P1	6,3	1,69
	P2	8,4	1,73
	P3	10,3	1,79
150 °C	S1	3,0	2,43
	S2	2,1	2,51
	S3	1,0	2,55
	F1	6,3	2,48
	F2	8,4	2,53
	F3	9,2	2,56
	SS1	2,4	2,52
	SS2	1,3	2,58
	SS3	1,0	2,66
	P1	4,1	1,78
	P2	5,4	1,82
	P3	6,3	1,87

**Şekil 4.** Su emme oranları (%)



Ortalama su emme oranları dikkate alındığında 150 °C de aktive edilen bütün örneklerin su emme oranları daha düşük bulunmuştur. Bunun nedeni yüksek sıcaklıkta aktive edilen geopolimerlerin daha boşluksuz bir yapı oluşması ile açıklanmıştır. Uçucu küllü örneklerin su emme oranları diğerlerine göre daha yüksek bulunmuştur. Silis kumu tozunun NaOH ile aktive edilen örneklerin su emme oranları ise diğerlerine göre daha düşük bulunmuştur. Malzemelerde su emme önemli bir fiziksel özelliktir ve düşük su emme oranına sahip malzemelerin kullanılması tercih edilmektedir.



Şekil 5. Birim hacim ağırlıkları (g/cm<sup>3</sup>)

150 °C de aktive edilen bütün örneklerin birim hacim ağırlıkları daha yüksek bulunmuştur. Bu durum su emme oranları ile de desteklenmektedir. Yani daha düşük su emme oranına sahip olan örneklerin birim hacim ağırlıkları daha yüksek bulunmaktadır. Bu durum malzemenin sıkı yapısı ile açıklanabilir.

Tablo 2’de, 100 ve 150 °C de aktive edilen uçucu kül ve pomza katkılı geopolimerlerde katkı oranı arttıkça su emme yüzdeleri de artmıştır. Diğer yandan yüksek fırın cürufu ve silika kumu katkılı geopolimerlerde katkı oranı arttıkça su emme yüzdeleri düşmüştür. Bunun nedeni hem yüksek fırın cürufu hem de silis kumunun aktivasyona olumlu cevap verdiği ve daha sıkı bir dokunun oluşmasına katkı sağlaması ile açıklanabilir.

Aktivasyon sıcaklığının pomza katkılı geopolimerlerde etkisi oldukça belirgindir. Pomza amorf bir yapıya sahip olduğundan atomlarının dizilimi düzenli değildir. Yüksek sıcaklıkta çok küçük taneli kristal şeklinde bir birinden bağımsız pomza kristalleri camsı bir yapı oluşturmaktadır. Camsı yapıya sahip bir malzemenin su emmesi doğal olarak düşük düzeyde olacaktır.

Geopolimerlerde yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis kumu ve pomza miktarı arttıkça birim hacim ağırlık değerleri de artmıştır (Tablo 3). Yine aktivasyon sıcaklığı arttıkça genellikle birim hacim ağırlıklarda artmaktadır. Bu eğilim tüm örnekler için lineer bir davranış olmasa da benzerlik göstermektedir.

### 3.2. Harç Numunelerinin Eğilme ve Basınç Dayanımları

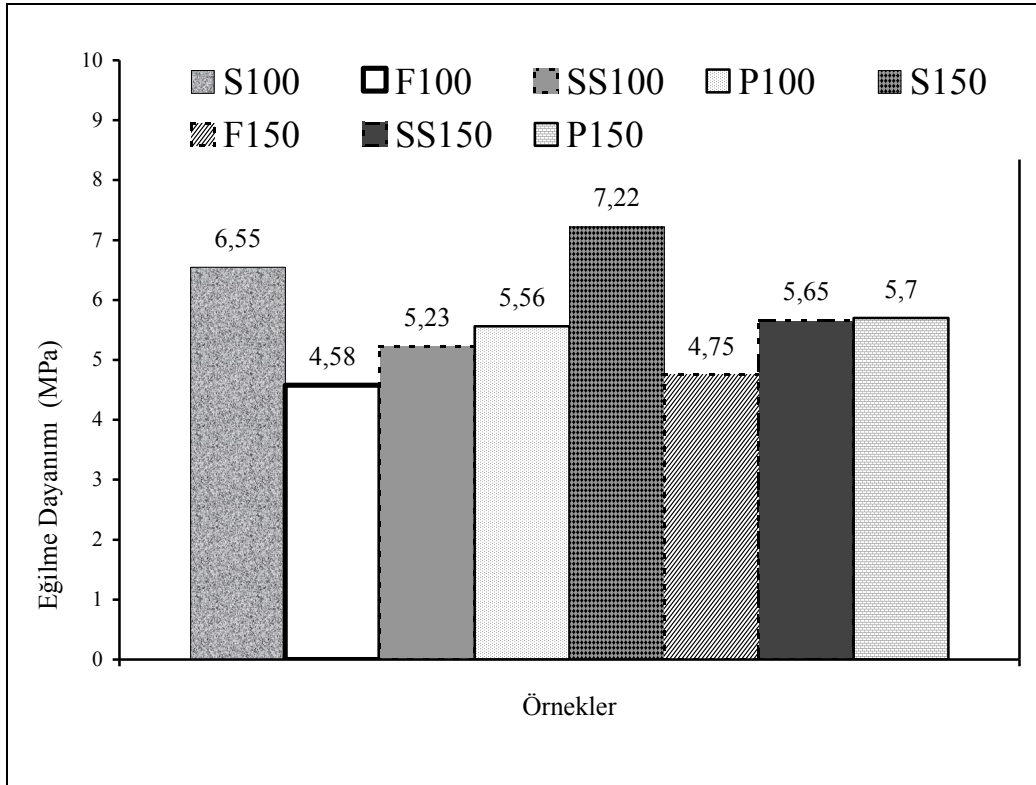
Numunelerin eğilme ve basınç dayanımları Tablo 4, Şekil 6 ve Şekil 7’de verilmiştir.

**Tablo 4.** Eğilme ve basınç dayanımları

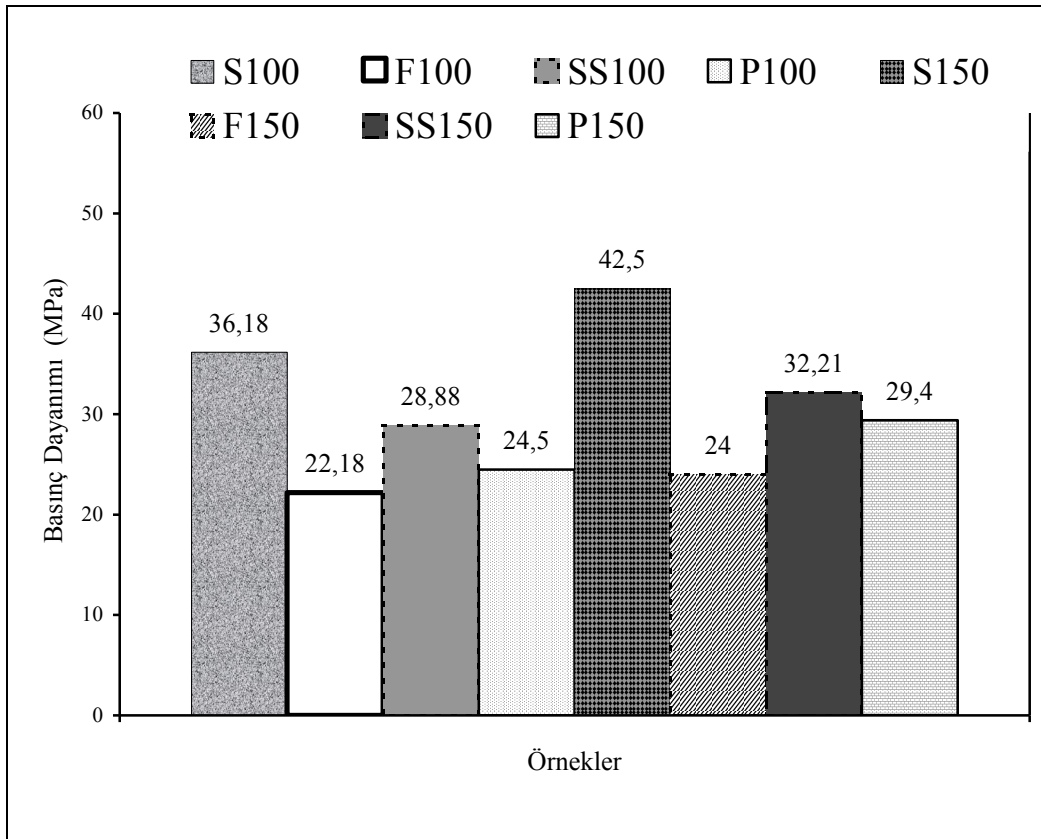
<b>Aktivasyon İSİSİ</b>	<b>Numune Adı</b>	<b>Eğilme Dayanımı (MpA)</b>	<b>Basınç Dayanımı (MpA)</b>
100 °C	<b>S1</b>	6,48	35,92
	<b>S2</b>	6,53	36,11
	<b>S3</b>	6,65	36,52
	<b>F1</b>	4,65	22,25
	<b>F2</b>	4,61	22,15
	<b>F3</b>	4,49	21,95
	<b>SS1</b>	5,16	28,36
	<b>SS2</b>	5,23	28,94
	<b>SS3</b>	5,32	29,36
	<b>P1</b>	5,78	25,03
	<b>P2</b>	5,63	24,36
	<b>P3</b>	5,33	24,11
150 °C	<b>S1</b>	7,12	42,16
	<b>S2</b>	7,24	42,54
	<b>S3</b>	7,32	42,81
	<b>F1</b>	4,81	24,15
	<b>F2</b>	4,76	24,02
	<b>F3</b>	4,69	23,88
	<b>SS1</b>	5,61	32,36
	<b>SS2</b>	5,64	32,21
	<b>SS3</b>	5,70	32,08
	<b>P1</b>	5,82	29,63
	<b>P2</b>	5,69	29,44
	<b>P3</b>	5,60	29,16

Genellikle silis kumu katkılı geopolimerlerin eğilme ve basınç dayanımları yüksek bulunurken uçucu kül katkılı geopolimerlerin değerleri daha düşük bulunmuştur. Özellikle 150 °C de aktive edilen bütün örneklerin hem eğilme hem de basınç dayanımları daha yüksek bulunmuştur. Bunun nedeni olarak daha yüksek aktivasyon ısısının daha homojen bir geopolimerin üretilmesine katkı sağladığı düşünülmektedir.





Şekil 6. Eğilme Dayanımı (MPa)



Şekil 7. Basınç Dayanımı (MPa)

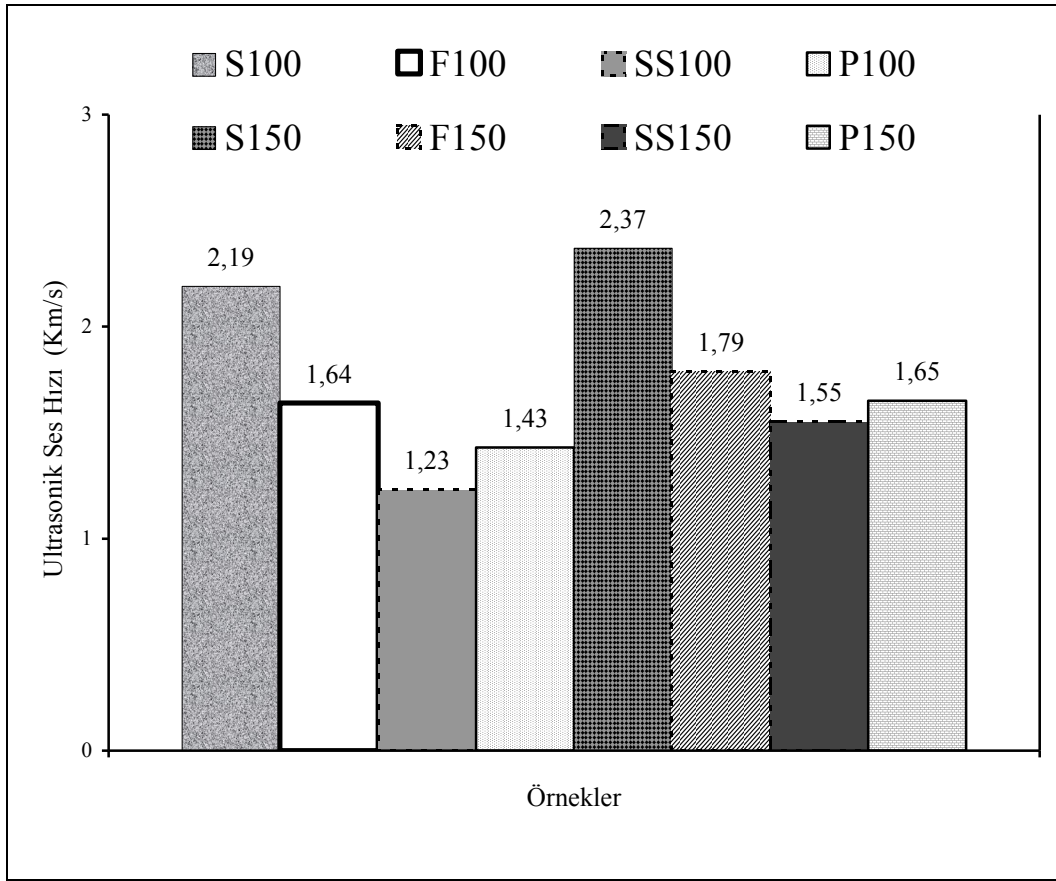
Pomza katkılı örneklerde katkı yüzdesi arttıkça hem eğilme hem de basınç dayanımı daha düşük bulunmuştur. Basınç ve eğilme dayanımlarında en yüksek değerler, 1000 gr yüksek fırın cürufu katkılı ve 150 °C de aktive edilen geopolimerlerde elde edilmiştir. Pomza katkılı geopolimerlerin basınç dayanımları bir miktar düşük bulunmuştur. Ancak en düşük basınç dayanımı bile standartlarda verilen değerlerin oldukça üstünde bulunmuştur (Yeni deprem yönetmeliğinde Min basınç dayanımı C20, yani 20 MPa). 00 °C ve 150 °C de aktive edilen örneklerin ortalama basınç dayanımları 22,18 ve 24,00 MPa civarında ve oldukça düşüktür (Şekil 7).

### 3.3. Ultra Ses Geçiş Hızı

Numunelerin ultrases geçiş hızlarına ait deney sonuçları Tablo 5’de ve ortalama dalga hızları Şekil 8’de verilmiştir.

**Tablo 5.** Ultra ses geçiş hızları

Aktivasyon ısısı	Numune Adı	Ses Geçiş Hızı (Km/s)
100 °C	S1	2,33
	S2	2,18
	S3	2,08
	F1	1,78
	F2	1,63
	F3	1,52
	SS1	1,36
	SS2	1,25
	SS3	1,08
	P1	1,35
	P2	1,45
	P3	1,50
150 °C	S1	2,45
	S2	2,38
	S3	2,29
	F1	1,98
	F2	1,76
	F3	1,64
	SS1	1,63
	SS2	1,54
	SS3	1,48
	P1	1,75
	P2	1,65
	P3	1,56



Şekil 8. Ultrasonik ses Hızı (Km/s)

Ultrasonik ses geçiş hızı deneyi, ASTM C 597 standardına uygun olarak yapılmıştır. Malzemenin içerisinde geçen P dalgasının hızı ile malzeme dayanımı arasında doğrudan bir ilişki yoktur [21]. Ancak, P dalgasının hızı ile geopolimerin yoğunluğu arasında belirli bir ilişki bulunmaktadır. Yoğunluğu az olan geopolimerde, yani içerisinde daha çok boşluk bulunan bir geopolimerde, P dalgasının geopolimerin bir yüzeyinden diğerine ulaşabilme süresi daha uzundur. Ya da geopolimer içerisindeki boşluk miktarı arttıkça P dalgasının hızı daha küçük olmaktadır.

Genellikle daha yüksek sıcaklıkta aktive edilen örneklerde Ultrasonik ses geçiş hızı daha yüksek bulunmuştur. Bu durum malzeme parçacıklarının, numuneyi doldurma kapasitesinin yüksek olması ile açıklanabilir. Yani basınç dayanımı yüksek olan örneklerin Ultrasonik ses geçiş hızları da genellikle yüksek bulunmuştur. Ultrases dalgaları ne kadar az boşluğa rastlarsa o kadar kısa sürede ilerleyeceğinden, Şekil 9'dan da anlaşıldığı gibi Ultrasonik ses geçiş deneyi sonuçları incelendiğinde geopolimer serilerinin ses üstü dalga geçiş hızlarından nasıl bir dayanım özelliği sergileyeceği konusunda genel bir yargıya varılamamaktadır.

Şekilde görüldüğü gibi dayanım değerleri arttıkça Ultrasonik ses geçirgenlik hızı da artmaktadır. Bu sonuç daha önceki çalışmalarla paralellik göstermektedir [22]. Dalga numune içerisinde ne kadar az boşluğa rastlarsa, o kadar kısa sürede ilerler böylece o numunenin Ultrasonik ses geçirgenlik hızı da yüksek olur.

Genel olarak Ultrasonik testleri de dayanım sonuçlarını desteklemiştir. Pomzanın kapalı gözenekli yapısının geopolimerin bünyesinde de gözenekli bir yapı oluşturduğu bunun da sesin geçişini engellediği (sönümlendiği) gözlenmiştir. Su emme değerleri ile Ultrasonik ses geçirgenlik hızları arasında da genellikle bir ilişki gözükmemektedir. Yani su emme oranı fazla olan örneklerin Ultrasonik ses geçirgenlik hızları daha düşüktür. Bu da bu örneklerdeki boşlukların daha fazla olduğunu açıklamaktadır.

### 3.4. Lineer Soğurma Katsayısının Tayini

59,5 keV, 26 keV, 17,3 keV ve 5,9 keV Enerji seviyelerinde örneklerin radyasyon geçirgenliklerine bakılmıştır. 17,3 keV ve 5,9 keV enerjili radyasyonları numuneler tamamen soğurmuştur yani bu enerjilerde I değerleri sıfırdır. Numunelerin 26 keV Enerji için elde edilen I ve  $\mu$  değerleri Tablo 6 da ve 59,5 keV Enerji Enerjilerinde hesaplanan I/ I<sub>0</sub> ve  $\mu$  değerleri Tablo 7 de verilmiştir.

**Tablo 6.** Numunelerin 26 keV Enerjide bulunan değerler

Numune Adı	t(cm)	I <sub>0</sub>	I	I/ I <sub>0</sub>	$\mu(\text{cm}^{-1})$
S	2,5	3573	20	0,005	2,119
F	2,5	3573	67	0,018	1,606
SS	2,10	3573	2180	0,600	0,204
P	2,5	3573	47	0,013	1,732

**Tablo 7.** Numunelerin 59,5 keV Enerjide bulunan değerler

Numune Adı	t(cm)	I <sub>0</sub>	I	I/ I <sub>0</sub>	$\mu(\text{cm}^{-1})$
S	2,5	147509	38390	0,260	0,538
F	2,5	147509	52617	0,356	0,412
SS	2,10	147509	131993	0,894	0,044
P	2,5	147509	40724	0,270	0,514

Tablodaki I , I/ I<sub>0</sub> ve  $\mu$  değerleri, radyasyon soğurma, soğurma oranı ve soğurma katsayısıdır.

Bütün numunelerin 5,9 keV ve 17,3 keV enerjili ışınları tamamen tuttuğu görülmektedir. Bu ise numunelerin tamamen endüstride 17,3 keV enerji ile çalışılabilen bütün yerlerde kullanılabilceğini göstermektedir. Tablo 5'den 26 keV enerjili ışınların en fazla S numunesini tuttuğu görülmektedir. S numunesi 26 keV enerjili ışınların binde beşini geçirmiştir. En fazla ışın geçiren numune ise SS olmuştur. Bu numuneler ışınların % 6'sını geçirmiştir. Bu sonuçlar S numunesinin 26 keV enerjili ışınlarla çalışılan yerlerde bu kalınlıkta rahatlıkla radyasyon tutucu malzeme olarak kullanılabilceğini göstermektedir.

Tablo 6 dan 59,5 keV enerjili ışınları SS numunesi % 89 oranında geçirirken S numunesinin % 26'sını geçirdiği gözlenmiştir. Burada 59,5 keV enerjide en fazla radyasyonu S numunesinin tuttuğu ancak bu enerjide tutuculuğun yeterli olmadığı anlaşılmaktadır. Bu enerjide S numunesinin endüstride kullanılabilmesi için kalınlığının artırılması gerekmektedir. Yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar daha önce Binici ve Sajedi'nin çalışmalarının sonuçları ile paralel çıkmıştır [23].

## 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

1. Su emme oranı bakımından en iyi numune yüksek fırın cürufu ile elde edilen geopolimerdir. Su emme değerleri fazla olan örneklerin Ultrasonik ses geçirgenlik hızları daha düşük bulunmuştur.
2. Yüksek fırın cürufu ile üretilen geopolimerler en yüksek eğilme ve basınç dayanımlarına sahiptir.
3. Ultrasonik ses geçiş hızları ile basınç dayanımı arasında belirli bir ilişki gözlenmiştir. Bu durum daha boşluksuz geopolimerlerin basınç dayanımlarının daha yüksek olduğunu göstermektedir.
4. Lineer soğurma katsayısı en yüksek olan numune yüksek fırın cürufu ile elde edilen geopolimer betondur. Yani radyoaktif geçirgenliği en az olan numunedir. Bu nedenle radyasyon etkisine maruz kalan yapılarda kullanılabilir.

**Teşekkür:**

*Örneklerin lineer soğurma katsayısının bulunmasında yardımcı olan Fizik Bölümü Öğretim Üyesi Prof. Dr. Adnan KÜÇÜKÖNDER'e teşekkür ederiz.*

**6. KAYNAKLAR**

1. Jaturapitakkul C and Cheerarot R, Development of bottom ash as pozzolanic material, Journal of Materials in Civil Engineering, 15 (2003) 48-53.
2. Fernandez-Jimenez and Palomo A., Composition and microstructure of alkali activated fly ash binder: effect of the activator, Cement and Concrete Research, 35(2005) 1984-1992.
3. Davidovits J, 30 Years of Successes and Failures in Geopolymer Applications. Market Trends and Potential Breakthroughs, Geopolymer 2002 Conference, October 2002, Melbourne, Australia, Proceedings, pp. 28-29.
4. Rangan B.V., Fly Ash-Based Geopolymer Concrete, Research Report, No.4, Engineering Faculty, Curtin University of Tech., Perth, Australia, 44s. 2008.
5. Jaarsveld J.G.S., Deventer J.S.J., Effect of the alkali metal activator on the properties of fly ash based geopolymers, Indian Engineering of Chemistry Research, 38 (1999) 3932-3941.
6. Zhaohui X. and Yunping X., Hardening mechanisms of an alkaline activated class F fly ash, Cement and Concrete Research, 31 (2001) 1245-1249.
7. Cioffi R, Maffucci L, and Santoro L. Optimization of geopolymer synthesis by calcination and polycondensation of a kaolinitic residue, Resources Conservation and Recycling, 40 (2003) 27-38.
8. Topçu İ.B. ve Canbaz M., Alkali aktive edilmiş yüksek fırın cürüflü harçlarda donma- çözülme, ESOGÜMüh-Mim Fak. Dergisi, 21 (2008) 1-16.
9. Topçu İ.B. ve Toprak U., Alkalilerle Aktive Edilen Uçucu Külle Hafif Tuğla Üretimi, 4. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi, 12-14 Kasım 2008, İstanbul, Türkiye, 38-45.
10. Bakharev T., Geopolymeric materials prepared usin F fly ash and elevated temperature curing, Cem and Conc. Research, 36 (2006) 1134-1147.
11. Komnitas K. and Zaharaki D., Geopolymerization: a review and prospects for the minerals industry, Mineral Engneering, 20 (2007) 1261-1277.
12. Atiş, C.D, Bilim, C., Çelik, Ö., Karahan, O., Influence of activator on the strength and drying shrinkage of alkali-activated slag mortar, Construction and Building Materials, 23 (2009) 548-555.
13. Allahverdi A., Mehrpour K., Kani E. N., Taftan Pozzolan-Based Geopolymer Cement, IUST International Journal of Engineering Science, 19 (2008) 1-5
14. Topçu İ.B. Alkalilerle Aktive Edilen Taban Küllü Hafif Harç Üretimi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi 2 (2009) 178-786.

15. Binici H, Gemci R, Küçükönder A., Investigating The Sound Insulation, Thermal Conductivity And Radioactivity Of Chipboards Produced With Cotton Waste, Fly Ash And Barite, *Construction and Building Materials*, 30 (2012) 826–832.
16. Binici H, Gemci R, Küçükönder A, Solak H, Pamuk Atığı, Uçucu Kül ve Barit İle Üretilen Sunta Panellerin Isı, Ses ve Radyasyon Geçirgenliği Özellikleri, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi* 8(2012) 16-25 .
17. Gündüz, L., Sarıışık, A., Davraz, M., Uğur, İ., Çankıran, O., *Pomza Teknolojisi*, SDÜ Yayını, 1(1998) 285-292.
18. Sevinç A.H., Yüksek Fırın Cürufu, Pomza, Barit ve Kolemanit Katkılı Harç ve Betonların Özellikleri, KSÜ, Fen Bilimleri, Yüksek Lisans Tezi, 2011.
19. Zülkadiroğlu Ö.F., Uçucu Küllerin Yol Kaplama Betonunda Kullanımı, KSÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi2006, Kahramanmaraş
20. Bakhareva T., Sanjayana J.G., Cheng Y.B., Effect of admixtures on properties of alkali-activated slag concrete, *Cement and Concrete Research*, 30 (2000) 1367-1374.
21. Binici H, Temiz H, Aksoğan O, Ulusoy A, The Engineering Properties of Fired Brick Incorporating Textile Waste Ash and Basaltic Pumice, *Journal of The Faculty of Engineering And Architecture of Gazi University* 24 (2009) 485-498.
22. Demirboğa R, Türkmen İ, Karakoç M, Relationship Between Ultrasonic Velocity and Compressive Strength for High-Volume Mineral- Admixed Concrete, *Cement and Concrete Research*, 34 (2004 ) 2329–2336.
23. Sajedi F, Mechanical activation of cement–slag mortars, *Construction and Building Materials*, 26 (2012) 41-48.