



# Kahramanmaraş Sütçü İmam University Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 07.07.2022  
Kabul Tarihi : 01.08.2022

Received Date : 07.07.2022  
Accepted Date : 01.08.2022

## İKİ FARKLI POMZA AGREGASI İÇEREN CAM TOZU KATKILI BETONLARIN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

### INVESTIGATION OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF GLASS POWDER ADDITIVE CONCRETES CONTAINING TWO DIFFERENT PUMICE AGGREGATES

Ali CEYHAN<sup>1\*</sup> (ORCID: 0000-0003-4751-9689)  
Ahmet Hayrullah SEVİNÇ<sup>2</sup> (ORCID: 0000-0003-3338-8366)  
Yusuf URAS<sup>3</sup> (ORCID: 0000-0001-5561-3275)

<sup>1</sup>Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı, Kahramanmaraş, Türkiye

<sup>2</sup>Kahramanmaraş İstiklal Üniversitesi, İnşaat Teknolojisi Programı, Kahramanmaraş, Türkiye

<sup>3</sup>Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

\*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Ali CEYHAN, muhaliceyhan@gmail.com

#### ÖZET

Bu çalışmada, farklı oranlarda bazaltik ve asidik pomza kullanılarak üretilen betonların fiziksel ve mekanik özelliklerini incelenmiştir. Pomza agregaları normal agregaya %50 ve %100 oranında ikame edilmiştir. Ayrıca daha çevreci bir beton üretmek amacıyla atık olan cam tozu çimentodan %10 oranında ikame edilerek 5 farklı karışım üretilmiştir. Üretilen numunelere birim hacim ağırlığı, su emme, porozite, ultrasonik ses geçiş hızı ve basınç dayanımı deneyleri uygulanmıştır. Çalışmanın sonucunda %100 oranında ikame edilen asidik pomza agregası en düşük yoğunluk, ultrasonik ses geçiş hızı ve basınç dayanımı değerleri verirken su emme ve porozite değerleri ise en yüksek çıkmıştır. %100 asidik pomza agregası içeren beton karışımı hariç diğer hafif beton karışımların tamamında TS 2511 standardında belirtilen taşıyıcı hafif betonu basınç dayanımı değerinden (17,2 MPa) daha yüksek basınç dayanım değerleri elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Bazaltik pomza, atık cam tozu, asidik pomza, hafif beton

#### ABSTRACT

In this study, the physical and mechanical properties of concretes produced using basaltic and acidic pumice at different rates were investigated. Pumice aggregates have been replaced by 50% and 100% of normal-weight aggregates. In addition, in order to produce a more environmentally friendly concrete, 5 different mixtures were produced by replacing waste glass powder from cement at the rate of 10%. Unit volume weight, water absorption, porosity, ultrasonic pulse velocity and compressive strength tests were applied to the produced samples. As a result of the study, while the 100% substituted acidic pumice aggregate gave the lowest density, ultrasonic sound transmission velocity and compressive strength values, the water absorption and porosity values were the highest. Except for the concrete mixture containing 100% acidic pumice aggregate, all of the other lightweight concrete mixtures have higher compressive strength values than the compressive strength value of the structural light-weight concrete (17,2 MPa) specified in the TS 2511 standard.

**Keywords:** Basaltic pumice (scoria), waste glass powder, acidic pumice, light-weight concrete

## GİRİŞ

Son zamanlarda, yapı ağırlığını azalması ile depreme karşı daha dayanıklı hale gelmesi nedeni ile hafif betonun üretimine talep giderek artmaktadır. Ayrıca hafif betonlar, normal ağırlıklı betonlara nazaran daha iyi termal özelliklere sahiptir. Bu durum yapıların enerji tüketimini önemli ölçüde azaltabilmektedir (Bahrami ve Nematzadeh, 2021). Hafif betonlar; yalıtım amacıyla kullanılan düşük dayanımlı betonlar, 7-17 MPa basınç dayanıma sahip orta dayanımlı betonlar ve taşıyıcı yapısal hafif betonlar olmak üzere 3 farklı amaçla kullanılmaktadır (Serin vd., 2007). ACI 213R-14'e göre yapısal olarak kullanılacak taşıyıcı hafif betonların 28 günlük basınç dayanımının 21 MPa'dan yüksek olması istenmektedir. Ayrıca etüv kurusu olarak ölçülen birim hacim ağırlığının ise 1,12-1,96 t/m<sup>3</sup> olması gerekmektedir (ACI 213, 2014). TS 2511 standardında ise taşıyıcı hafif betonların ağırlıkları 1,4-2,0 t/m<sup>3</sup> ve basınç dayanımının ise en az 17.2 MPa olması gerektiği belirtilmiştir (TS 2511, 2017).

Pomza, volkanik patlamalar sonucu oluşan lavların hızlı soğuması ve bünyesindeki gazların ani olarak terk etmesi ile boşluklu bir yapıya sahip olmaktadır. Pomza rengi genellikle beyaz ve gri olmakla birlikte kırmızıdan siyaha olmak üzere farklı renk tonları bulunmaktadır. Bu renk farklılıkları kimyasal içeriğine bağlıdır (Rashad, 2019). Açık renkli olan pomza asidik, koyu renkli olan pomza ise bazik olarak adlandırılmaktadır (Çimen vd., 2020). Dünya'da tespit edilen pomza rezervi yaklaşık olarak 18 milyon ton ve Türkiye'nin bu rezerv içerisindeki payı ise %15,8'ine karşılık gelmektedir (Bilgil ve Özdel, 2017). Pomza agregası düşük yoğunluk, iyi ısı yalıtım ve yüksek yangın direnci gibi birçok avantajlı özelliklere sahiptir (Rashad, 2019).

Gündüz ve Uğur (2005), yaptıkları çalışmada farklı oranlarda iri ve ince agregaların çimentoya oranının yapısal olarak kullanılacak hafif betonlarının mühendislik özellikleri üzerine etkilerini araştırmışlardır. Bu amaçla toplam agregası/çimento oranlarının 2:1 oranı ile 4:1 oranlarında değişen beş farklı karışım hesabı yapılmıştır. Çimento oranı ise ağırlıkça 245 ile 440 kg/m<sup>3</sup> arasında değişmektedir. Çalışmada elde edilen bulgulara göre üretilen hafif betonların normal betonlara oranla %30-40 oranlarında daha hafif olduğu belirtilmiştir. 28 günlük betonların fırın kurusu ağırlıkları 1150-1271 kg/m<sup>3</sup> arasında ve basınç dayanımları ise 14,6-26,1 MPa arasında değişmektedir. Agregası oranı düşüldükçe ve çimento oranı arttıkça basınç dayanımı, elastisite modülü ve basınç dayanımının iyileştiğini bildirmişlerdir. Yapısal hafif beton herhangi bir katkı kullanılmadan üretilmesi için yüksek çimento içeriğini olması gerektiğini vurgulamışlardır (Gündüz ve Uğur, 2005).

Hafif beton üretiminde kullanılan hafif agregalar boşluklu yapıya sahip olması nedeni ile daha düşük birim ağırlığa sahiptir. Bu durum mekanik özellikleri olumsuz etkilemektedir. Bu dezavantaj özellikleri giderebilmek amacı ile uçucu kül, silis dumanı vb. mineral katkıları kullanılabilmektedir (Dündar vd., 2020; Ahmad vd., 2019). İnce taneli atık cam tozları (GP), yüksek oranda silikat içeren kimyasal bileşimleri nedeniyle betonda kullanılacak puzolanik malzemeler olarak kabul edilmektedir (Elaçra ve Rustom, 2018).

Endüstrinin gelişmesi ile birlikte şehirlerde büyük miktarlarda katı atık oluşmaktadır. Bu katı atıkların bir kısmı geri dönüştürülmekte ve geri dönüşümü olmayan atıklar ise çevre için ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Cam atıkları bu tehditlerden biridir. 2015 verilerine göre Türkiye'de yaklaşık olarak 696 bin ton cam ambalaj üretilmiş ve bunların sadece %31'i geri dönüştürülmüştür (Sevinç ve Durgun, 2020; Elaçra ve Rustom, 2018).

Mineral katkıları, puzolanik özellikleri ve filler etkisi nedeniyle taşıyıcı hafif betonun mekanik ve dayanıklılık özelliklerini iyileştirmektedir (Mo vd., 2017). Ayrıca mineral katkıların çimento ile ikame edilmesi daha az çimento kullanılması ve atıkların değerlendirilmesi ile ekolojik fayda sağlamaktadır (Nayır vd., 2021). Durgun ve Sevinç (2019), yaptıkları çalışmada betonda cam tozu kullanımı için en optimum oranın %10 olduğunu belirtmişlerdir (Durgun ve Sevinç, 2019).

Türkel ve Kadiroğlu (2007), yaptıkları çalışmada pomza agregaları taşıyıcı betonların mekanik özelliklerini iyileştirmek için farklı oranlarda silis dumanı ve uçucu kül kullanmışlardır. Çalışmada elde edilen verilere göre 28 günlük basınç dayanımı 25,7 ile 28,5 MPa arasında ve kuru birim ağırlıkları ise 1,44-1,85 t/m<sup>3</sup> arasında değişmektedir (Türkel ve Kadiroğlu, 2007) Pomza agregalı hafif betonlarda cam tozu kullanımı üzerine yapılmış yeterli sayıda araştırma bulunmamaktadır.

Bu çalışmada; iki farklı pomza agregaları kullanılarak üretilen hafif ve yarı hafif betonların fiziksel ve mekanik etkileri incelenmiştir. Ayrıca, çimento yerine %10 oranında cam tozu ikame edilerek üretilmiştir. Üretilen numuneler üzerinde birim hacim ağırlığı, su emme, porozite, ultrasonik ses geçiş hızı ve basınç dayanımı testleri gerçekleştirilmiştir.

## MATERYAL VE METOT

### Malzemeler

Deneysel çalışmada çimento CEM I 42,5 R kullanılmıştır. Cam tozu Kahramanmaraş bölgesinde temin edilmiştir. Cam tozunun görüntüsü Şekil 1’de, fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 1’te verilmiştir. Asidik pomza Kayseri, bazik pomza Osmaniye ve normal ağırlıklı agregalar ise Kahramanmaraş bölgesinden temin edilmiştir. Agregaların görüntüsü Şekil 2’de, fiziksel özellikleri ve elek analizleri Tablo 2 ve Tablo 3’te verilmiştir.



Şekil 1. Cam Tozu

Tablo 1. Hammaddelerin Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri

Oksitler	İçerik (%)	
	Çimento	Cam tozu
CaO	62,69	11,52
SiO <sub>2</sub>	18,56	70,06
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,70	0,78
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,14	1,29
K <sub>2</sub> O	0,63	0,31
Na <sub>2</sub> O	0,44	12,88
SO <sub>3</sub>	3,04	0,24
Kızdırma Kaybı (%)	3,15	2,39
Özgül Ağırlık	3,10	2,65
İncelik (cm <sup>2</sup> /g)	3376	4189



Şekil 2. Bazik ve Asidik Pomza

Tablo 2. Agregaların Fiziksel Özellikleri

Agrega Çeşidi	Özgül	Su Emme
	Ağırlık	(%)
Normal ince agrega (0-4 mm)	2,55	1,80
Normal iri agrega (4-11,2 mm)	2,71	1,03
Asidik ince pomza (0-4 mm)	1,62	24,28
Asidik iri pomza (4-11,2 mm)	1,16	37,43
Bazik ince pomza (0-4 mm)	2,01	11,19
Bazik iri pomza (4-11,2 mm)	1,67	21,92

**Tablo 3.** Agregaların Elek Analizleri

Elek no (mm)	Geçen (%)			
	Karışım	A	B	C
16	100	100	100	100
8	75,1	60	76	88
4	54,7	36	56	74
2	40,7	21	42	62
1	31,9	12	32	49
0,25	6,9	3	8	18

Normal ağırlıklı ve hafif ağırlıklı agregaların su emme ve özgül ağırlıkları TS EN 1097-6 standardına, elek analizleri TS 3530 EN 933 – 1 standardına ve tane dağılımları TS 2511 ve TS 706 EN 12620+A1 standartlarına uygun olarak belirlenmiştir. Agregaların maksimum tane çapı 11,2 mm olarak seçilmiştir. Karışım hesapları TS 802 standardına ve TS 2511 standardına göre tasarlanmıştır. Beton karışım hesabı Tablo 4’te verilmiştir. Referans karışımın %50 ve %100 oranlarında ince ve iri agregalarından ikame edilerek asidik ya da bazik pomza agregalar ile yer değiştirilerek 5 farklı karışım hazırlanmıştır. Karışımlarda su/bağlayıcı oranı 0,45 olarak sabit tutulmuştur. Bağlayıcı miktarının %1’i oranında polikarboksilat esaslı süper akışkanlaştırıcı katkı ilave edilmiştir.

**Tablo 4.** 1 m<sup>3</sup> Beton Karışım Hesabı

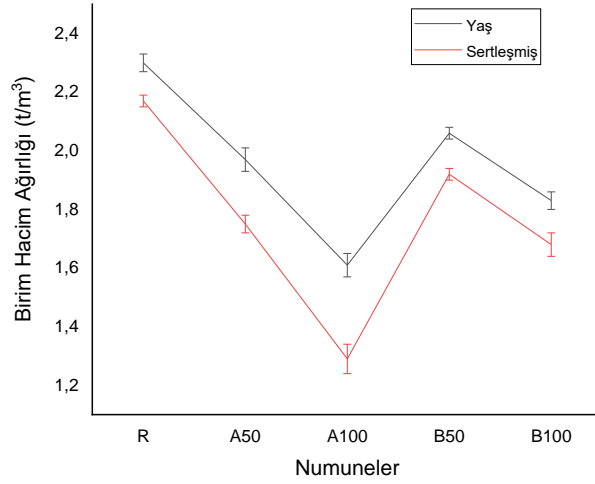
Karışım	Bileşenler (kg/m <sup>3</sup> )									
	Çimento	Cam Tozu	Normal Agregata	Normal Kum	Hafif Agregata	Hafif Kum	Su	Kimyasal Katkı	Slump (cm)	Teorik Ağırlık
R	450	50	879	743	-	-	200	5	17,7	2327
A50	450	50	439,5	371,5	188	236,5	200	5	12,4	1966
A100	450	50	-	-	376	473	200	5	9,2	1604
B50	450	50	439,5	371,5	259,5	293,5	200	5	15,3	2087
B100	450	50	-	-	519	587	200	5	12,6	1846

Beton karışımları hazırlanırken malzemeler hassas terazide tartılmıştır. Hafif agregalar miksera konulup kuru halde 60 saniye karıştırılmış ve doyma suyu ilave edilerek 30 dakika süre ile belirli aralıklarla karıştırılmıştır. Bu işlem sonunda bağlayıcı malzeme, bir miktar su ile akışkanlaştırıcı eklenerek 120 saniye daha karıştırılmış ve geri kalan su eklenerek 180 saniye karıştırılarak karışımlar hazırlanmıştır. Taze beton karışımın birim hacim ağırlığı TS EN 12350-6 standardına ve akıcılığını belirlemek amacıyla slump değerleri TS EN 12350-2 standardına uygun olarak belirlenmiştir. Beton karışımlar 100x200 mm silindir kalıplara yerleştirilmiş ve 24 sonra kalıptan çıkarıldıktan sonra kür havuzuna konulmuştur. Sertleşmiş beton numunelerin Ultrases geçiş hızı testi ASTM C 597 standardına, su emme ve görünür porozite testi ASTM C 642 standardına ve basınç dayanımı TS EN 12390-3 standardına uygun olarak yapılmıştır.

## BULGULAR VE TARTIŞMA

### *Birim Hacim Ağırlıkları*

Beton numunelerin taze ve sertleşmiş birim hacim ağırlıkları Şekil 3’te verilmiştir.

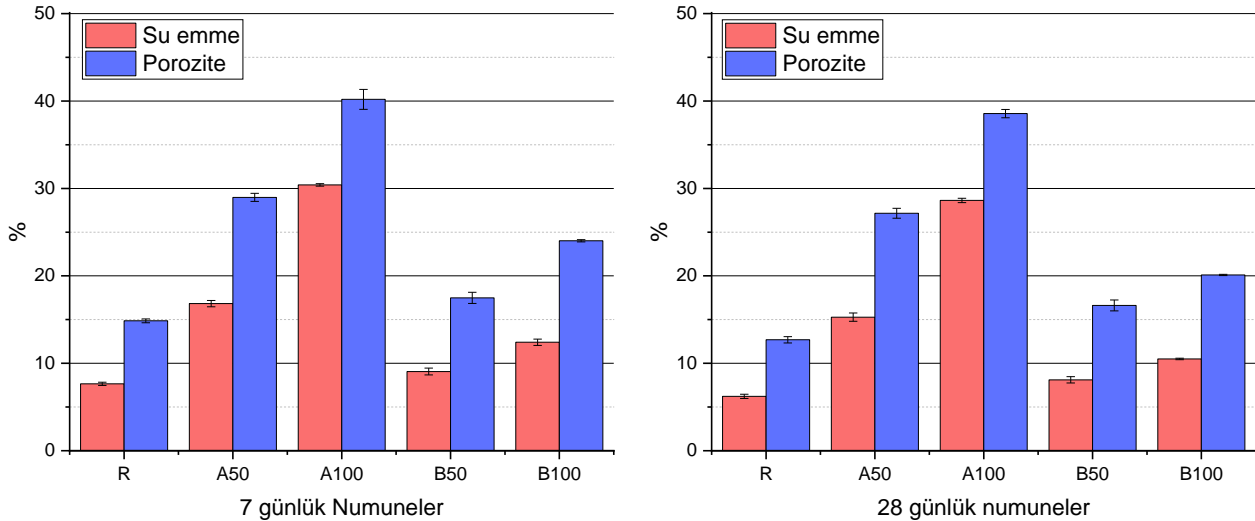


Şekil 3. Numunelerin Taze ve Sertleşmiş Birim Hacim Ağırlıkları

Beton numunelerin taze birim hacim ağırlıkları  $1,61-2,30 \text{ t/m}^3$  arasında değişmektedir. En yüksek taze birim hacim ağırlığı R numunesi verirken en düşük değeri ise A100 numunesi vermiştir. Numunelerin sertleşmiş birim hacim ağırlık değerleri  $1,29-2,17 \text{ t/m}^3$  arasındadır. En büyük sertleşmiş birim hacim ağırlığı R numunesi vermiştir. En düşük sertleşmiş birim hacim ağırlığını A100 numunesi vermiştir. Asidik pomza oranı arttıkça (%50 ve %100) referans numunesine oranla sertleşmiş birim hacim ağırlık değerleri sırasıyla %19,4 ve %40,6 oranlarında azalmıştır. Asidik ve bazik pomza agregalarında boşluk miktarı normal agregalara oranla yüksektir. Bu durum bu tip agregaların kullanımı ile ağırlığın düşme sebebi açıklamaktadır. Kılıç vd., (2009), asidik pomza agregası kullanımı ile %44,4 oranlarına kadar sertleşmiş ağırlık değerlerinin düştüğünü bildirmiştir (Kılıç vd., 2009). Sertleşmiş birim hacim ağırlık değerleri %50 oranında bazaltik pomza agregası kullanımı ile %11,5 oranında ve %100 oranda ise %22,6 oranında azalmıştır. Betonların birim hacim ağırlık değerlerinde düşüşler kullanılan agregaların yoğunlukları ile ilişkilidir. ACI 213R-14 standardına göre yapısal olarak kullanılacak taşıyıcı hafif betonların 28 günlük birim hacim ağırlık değerlerinin  $1,12-1,96 \text{ t/m}^3$  olması gerektiğini bildirmiştir (ACI 213, 2014) Beton numunelerin sertleşmiş ağırlıkları incelendiğinde; referans numunesi hariç geri kalan numunelerin tamamı bu değerler arasında çıkmıştır.

### Su Emme ve Porozite Değerleri

Beton numunelerin su emme ve porozite sonuçları Şekil 4'te verilmiştir.



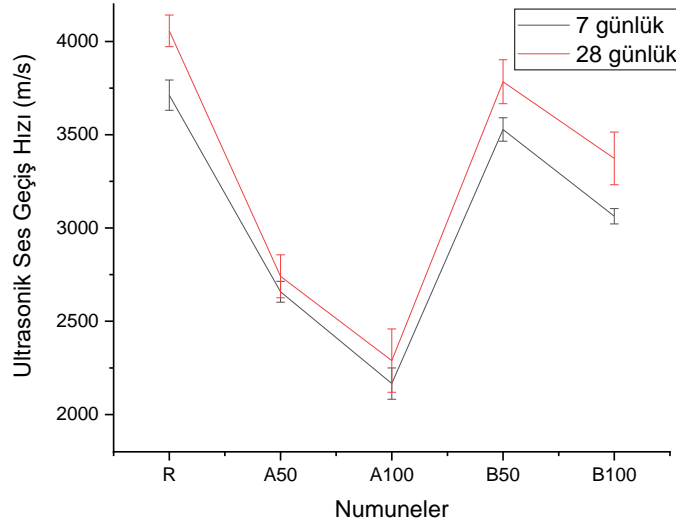
Şekil 4. 7 ve 28 Günlük Numunelerin Su Emme ve Porozite Değerleri

7 günlük numunelerin görünür su emme ve porozite sonuçları incelendiğinde sırasıyla; %7,65-30,41 ve %14,86-40,19 arasında değiştiği görülmüştür. 7 günlük A100 numunesi referans numunesine kıyasla %297,5 oranında daha fazla su emmiş ve %170,5 oranında daha fazla boşluk hacmine sahip olmuştur. B50 ve B10 numunelerinde su emme oranı %18 ve %62,2 oranlarda daha fazla olmuştur. 28 günlük numuneler incelendiğinde; görünür porozite ve su emme değerleri sırasıyla %6,22-28,63 ve %12,69-38,56 arasında çıkmıştır. Tablo 2'deki su emme değerleri

incelendiğinde asidik pomza ve bazik pomzanın normal agregaya oranla daha fazla su emme değerleri olduğu görülmekte ve bu durum boşluk yapısı ile ilişkili olduğu bilinmektedir. B50, B100, A50 ve A100 numuneleri referans numuneye oranla sırasıyla %145,1-%360,3-%30,4-%68,8 oranlarda daha fazla su emmiştir. Bu durum agrega çeşidinin boşluk kapasitesi ile ilişkilidir. Hossain vd., (2011), %50 ve %100 oranlarda bazik pomza kullanımı ile su emme değerleri sırasıyla %16,22 ve %29,73 daha fazla su emmiş ve Kurt vd., (2015), %20-100 oranlarında asidik pomza kullanımı ile %27,79-196,6 oranlarda daha düşük su emme değerleri çıkmıştır (Kurt vd., 2015; Hossain vd., 2011).

### Ultrases Geçiş Hızları

Beton numunelerin ultrasonik ses geçiş hızları Şekil 5'te verilmiştir.

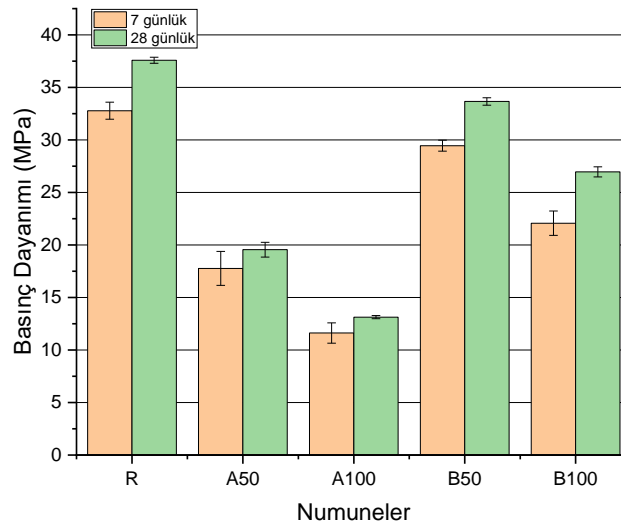


Şekil 5. 7 ve 28 Günlük Numunelerin Ultrasonik Ses Geçiş Hızları

Beton numunelerin ultrasonik ses geçiş hızları incelendiğinde; 7 günlük sonuçlar 2166-3712 m/s arasında ve 28 günlük sonuçlar ise 2289-4057 m/s arasında değişmektedir. Her iki kür sürelerinde eğilim A100 numunesi en düşük ses hız değerine sahip iken R numunesi en yüksek ses hızı değeri elde edilmiştir. Şekil 4 incelendiğinde numunelerin boşluk oranları görülmekte ve ses hızı ile boşluk yapısı ilişkisi bilinmektedir. Bu durum boşluk miktarı arttıkça ses hızının daha düşük olduğu numunelerde açıkça görülmektedir. UPV değerleri, mekanik özelliklerle aynı faktörlerden etkilenir. Numunelerin boşluk yapısı mekanik özellikleri etkiler ve UPV değerleri ile mekanik özellikler arasında güçlü bir ilişki olduğunu ortaya çıkarır (Benaicha vd., 2015).

### Basınç Dayanımları

Beton numunelerin basınç dayanımları Şekil 6'da verilmiştir.





### Şekil 6. 7 ve 28 Günlük Numunelerin Basınç Dayanımları

7 günlük basınç dayanımları 11,62-32,78 MPa arasında değişmektedir. Referans numuneye oranla A50, A100, B50 ve B100 numunelerin basınç dayanımları sırası ile %45,8-64,6-10,2 ve %32,7 oranlarında daha az çıkmıştır. 28 günlük değerler ise 13,13-37,58 MPa çıkmıştır. B100 ve A100 numunelerin basınç dayanımı R numunesine kıyasla sırasıyla %10,4 ve %65,1 oranlarında daha az çıkmıştır. Agregaların boşluk miktarı arttıkça daha az basınç dayanımı sergilemesi ile açıklanabilir. ACI 213R-14 standardına göre yapısal olarak kullanılacak taşıyıcı hafif betonların 28 günlük basınç dayanımının 21 MPa'dan yüksek olması gerektiğini bildirmiştir (ACI 213, 2014). A50 ve A100 numuneleri ACI 213R-14 standardında verilen değerleri sağlamazken B50 ve B100 numuneleri ise 21 MPa'dan daha yüksek çıkması ile taşıyıcı betonlarda kullanılabilir.

### SONUÇLAR

Bu çalışmada iki farklı pomza agregaları kullanılarak üretilen hafif ve yarı hafif betonların fiziksel ve mekanik etkileri incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir;

- 28 günlük numunelerin sertleşmiş birim hacim ağırlık değerleri 1,29-2,17 t/m<sup>3</sup> arasındadır. Referans numunesi hariç numunelerin tamamı ACI 213R-14 standardına göre yapısal olarak kullanılacak taşıyıcı hafif betonların 28 günlük birim hacim ağırlık değerlerini sağlamaktadır (1,12-1,96 t/m<sup>3</sup>). En hafif beton A100 numunesidir.
- 28 günlük porozite ve su emme değerleri sırasıyla %6,22-28,63 ve %12,69-38,56 arasında çıkmıştır. En düşük değerleri 100 oranda asidik pomza agregası kullanılan numune (A100) vermiştir.
- 28 günlük ultrasonik ses hızları 2289-4057 m/s arasında değişmektedir. En yüksek değeri R numunesi verirken en düşük değeri ise A100 numunesi vermiştir.
- 28 günlük basınç dayanımları 13,13-37,58 MPa arasında değişmektedir. ACI 213R-14 standardı 21 MPa üzeri değerleri taşıyıcı hafif beton olarak tanımlamaktadır. Bu durumda B50 ve B100 numuneleri taşıyıcı hafif beton olarak kullanılacak şartları sağlamaktadır.

### TEŞEKKÜR

Yazarlar araştırmayı destekleyen, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinasyon Birimine (Proje No: 2021/6-12 YLS) teşekkür eder.

### KAYNAKLAR

ACI Committee 213. 2014. Guide for structural lightweight-aggregate concrete. American Concrete Institute.

Ahmad, M. R., Chen, B., Farasat Ali Shah, S. (2019). Investigate the influence of expanded clay aggregate and silica fume on the properties of lightweight concrete. *Construction and Building Materials*, 220, 253–266. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.05.171>

ASTM C 597. 1997. Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete, American Society for Testing and Materials.

ASTM C642-13. 2013. Standard Test Method for Density, Absorption, And Voids in Hardened Concrete, American Society for Testing and Materials.

Bahrami, A., Nematzadeh, M. (2021). Effect of rock wool waste on compressive behavior of pumice lightweight aggregate concrete after elevated temperature exposure. *Fire Technology*, 57(3), 1425–1456. <https://doi.org/10.1007/s10694-020-01070-1>

Benaicha, M., Jalbaud, O., Hafidi Alaoui, A., Burtschell, Y. (2015). Correlation between the mechanical behaviour and the ultrasonic velocity of fiber-reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, 101, 702–709. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.10.047

Bilgil, A., Özdel, H. (2017). Pomza esaslı ve ignimbirit katkılı hafif yapı malzemesinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin incelenmesi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6 (2), 475-482. DOI: 10.28948/ngumuh.341291

Çimen Ö., Dereli B., Keleş E. (2020). Üç farklı bölgeye ait pomzanın yüksek plastisiteli kile etkisinin karşılaştırılması. *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 9 (1), 427-433.

- Dündar, B., Çınar, E., & Çalışkan, A. N. (2020). An investigation of high temperature effect on pumice aggregate light mortars with brick flour. *Research on Engineering Structures and Materials*, 6(3), 241–255. <https://doi.org/10.17515/resm2019.163ma1121>
- Durgun, M. Y., Sevinç, A. H. (2019). High temperature resistance of concretes with GGBFS, waste glass powder, and colemanite ore wastes after different cooling conditions. *Construction and Building Materials*, 196. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.11.087>
- Elaqra, H., Rustom, R. (2018). Effect of using glass powder as cement replacement on rheological and mechanical properties of cement paste. *Construction and Building Materials*, 179, 326–335. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.263>
- Gündüz, L., Uğur, I. (2005). The effects of different fine and coarse pumice aggregate/cement ratios on the structural concrete properties without using any admixtures. *Cement and Concrete Research*, 35(9), 1859–1864. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.08.003>
- Hossain, K. M. A., Ahmed, S., & Lachemi, M. (2011). Lightweight concrete incorporating pumice based blended cement and aggregate: Mechanical and durability characteristics. *Construction and Building Materials*, 25(3), 1186–1195. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.09.036>
- Kiliç, A., Atış, C. D., Teymen, A., Karahan, O., Ari, K. (2009). The effects of scoria and pumice aggregates on the strengths and unit weights of lightweight concrete. *Scientific Research and Essays*, 4(10), 961-965.
- Kurt, M., Cüneyt Aydın, A., Said Gül, M., Gül, R., Kotan, T. (2015). The effect of fly ash to self-compactability of pumice aggregate lightweight concrete. *Sadhana*, 40, 1343–1359.
- Mo, K. H., Ling, T. C., Alengaram, U. J., Yap, S. P., Yuen, C. W. (2017). Overview of supplementary cementitious materials usage in lightweight aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 139, 403–418. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.02.081>
- Nayır, S., Bahadır, Ü., Erdoğan, Ş., Toğan, V. (2021). Evaluation of structural lightweight concrete in terms of energy performance: A case study. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 27(6), 696–702. <https://doi.org/10.5505/pajes.2021.27628>
- Rashad, A. M. (2019). A short manual on natural pumice as a lightweight aggregate. *Journal of Building Engineering*, 25, 100802. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100802>
- Sarıışık, A., Coşkun, A. (2021). Bor atıklarının pomza agregalı hafif harçların mineralojik ve termal özelliklerine etkisi. *Afyon Kocatepe University Journal of Sciences and Engineering*, 21(2), 408-425. <https://doi.org/10.35414/akufemubid.851881>
- Serin, G., Çankiran, O., Başıyigit, C., Taş, H. H., Fenkli, M. (2007). Normal, hafif ve yarı hafif beton blokların fiziksel ve mekanik özelliklerinin karşılaştırılması, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*.1, 15-22.
- Sevinç, A. H., Durgun, M. Y. (2020). Properties of high-calcium fly ash-based geopolymer concretes improved with high-silica sources. *Construction and Building Materials*, 261. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120014>
- TS 706 EN 12620+A1 (2009). Beton agregaları, Türk Standartları Enstitüsü.
- TS 802 (2009). Beton karışım tasarımı hesap esasları”, Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 933-1 (2012). Agregaların geometrik özellikleri için deneyler bölüm 1: Tane büyüklüğü dağılımı tayini- eleme metodu, Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 1097-6 (2013). Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler bölüm 6: Tane yoğunluğu ve su emme oranının tayini, Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 12350-2 (2019). Beton- Taze beton deneyleri- Bölüm 2: Çökme (slump) deneyi, Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 12390-3 (2003) Türk Standardı Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini.
- TS EN 12350-6 (2019). Beton- Taze beton deneyleri- Bölüm 6: Birim hacim kütlesi, Türk Standartları Enstitüsü.



Türkel, S., Kadiroğlu, B. (2007). Pomza agregali taşıyıcı hafif betonun mekanik özelliklerinin incelenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 13, 353-359.