



# Kahramanmaraş Sütçü İmam University

## Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 07.01.2022  
Kabul Tarihi : 31.08.2022

Received Date : 07.01.2022  
Accepted Date : 31.08.2022

### ALÇI ESASLI KARIŞIMLARDA MİKRONİZE CAM KÜRECİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

#### EVALUATION OF GLASS MICROSPHERES IN GYPSUM-BASED MIXTURES

Orkun DEVREK<sup>1\*</sup> (ORCID: 0000-0003-4231-561X)

Ahmet Hayrullah SEVİNÇ<sup>2</sup> (ORCID: 0000-0003-3338-8366)

Muhammed Yasin DURGUN<sup>3</sup> (ORCID: 0000-0003-4656-9430)

Yusuf URAS<sup>4</sup> (ORCID: 0000-0001-5561-3275)

<sup>1</sup> Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Kahramanmaraş, Türkiye

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

<sup>3</sup> Bartın Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bartın, Türkiye

<sup>4</sup> Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

\*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Orkun DEVREK, orkundevrek@hotmail.com

#### ÖZET

Bu çalışmada mikronize cam küreciklerin alçı esaslı karışımların mühendislik özelliklerine etkileri incelenmiştir. Bu kapsamda mikronize cam kürecikleri alçı yerine ağırlıkça %10, %20 ve %30 oranında kullanılmıştır. 40x40x160 mm boyutunda prizmatik örnekler üretilerek, üretilen örneklerin sertleşmiş birim hacim ağırlık, ultrasonik ses geçiş hızı, su emme, kılcal su emme ve görünen porozite değerleri ölçülmüştür. Aynı zamanda 140x160x20 mm boyutlarına sahip örnekler üretilerek ısı iletim katsayıları ölçülmüştür. Mekanik özellikler kapsamında tek eksenli basınç dayanımı ve üç noktalı eğilme dayanımı testleri uygulanmıştır. Mikronize cam küreciklerinin kullanımı birim hacim ağırlığı değerlerini yükseltmiştir. Ultrasonik ses geçiş hızı değerleri ise düşmüştür. Görünür porozite değeri de azalmıştır. Buna bağlı olarak su emme ve kılcal su emme değerlerinde de azalmalar gözlenmiştir. Isıl iletim katsayısı değerleri referans alçı örneğinden daha iyi hale gelmiştir. Mekanik özelliklerde de bir miktar düşüş gözlenmiştir. Ancak bu azalmanın çok ciddi düzeylerde olmadığı gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlar; alçı esaslı karışımlarda mikronize cam küreciklerinin eklenmesiyle su emme direnci daha yüksek, kabul edilebilir mekanik özelliklere sahip ve ısı yalıtım özellikleri geliştirilmiş yeni alçı esaslı ürünler üretilebileceğini göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Alçı, fiziksel özellikler, mekanik özellikler, mikronize cam kürecikleri, ısı iletim katsayısı

#### ABSTRACT

In this study, the effects of glass microspheres on the engineering properties of gypsum-based mixtures were investigated. Glass microspheres were used at the rate of 10%, 20%, and 30% by weight instead of gypsum. By producing 40x40x160 mm samples, the hardened unit weight, ultrasonic pulse velocity, water absorption, capillary water absorption, and apparent porosity values were measured. Besides, the thermal conductivity coefficients were measured by producing samples with dimensions of 140x160x20 mm. As mechanical properties, compressive and bending strength tests were applied. The use of glass microspheres increased the unit weight values. On the other hand, ultrasonic pulse velocity values decreased. The apparent porosity value was also reduced. Accordingly, decreases were observed in water absorption and capillary water absorption values. The thermal conductivity coefficient values gave better results with the use of glass microspheres than the reference plaster sample. The use of glass microspheres also caused a slight decrease in the mechanical properties. However, it has been observed that this decrease is not very significant. The results show that by evaluating glass microspheres, new gypsum-based products with higher water absorption resistance, acceptable mechanical properties, and improved thermal insulation properties can be produced.

**Keywords:** Gypsum, physical properties, mechanical properties, micronized glass spheres, thermal conductivity

## GİRİŞ

Alçı bilinen en eski bağlayıcılardandır. Alçı kullanımının tarihi milattan önce 6000’li yıllara kadar dayanmaktadır. Tarih boyunca eski yapılarda, mabetlerde ve anıtlarda sıklıkla alçı kullanımına rastlanılmaktadır (Cerulli et al., 2003). Günümüzde de alçı kullanımı oldukça yaygındır. Bunun en temel nedenleri arasında alçının ucuz, yapı fiziği açısından sağlıklı, çevre dostu, uygulanması kolay, yangın dayanımı yüksek ve enerji korunumuna yardımcı bir malzeme olması bulunmaktadır (Iucolano et al., 2015; Li et al., 2003; Zhao et al., 2012). Bununla birlikte alçı esaslı malzemelerin iyi bir ısı ve ses yalıtım malzemesi olduğu bilinmektedir (Gencel et al., 2016). Priz süresi oldukça kısadır ve çimentonun aksine kür gerektirmez ve rötre yapmaz (Karni & Karni, 1995; Lushnikova & Dvorkin, 2016). Son yıllarda alçı kompozitler üzerine yapılan çalışmalar hızla artmaktadır. Bu çalışmaların bir kısmı alçının mekanik özelliklerinin iyileştirilebilmesi için lif kullanımı üzerinedir. Literatürde kenevir (Iucolano et al., 2018; Zak et al., 2016), kendir (Iucolano et al., 2015), arpa ve buğday sapları (Belayachi et al., 2016), palmye lifleri (Braiek et al., 2017) gibi doğal lifler ve karbon (Chung & Zheng, 1989), polipropilen (Durgun, 2020; Nguyen et al., 2019; Westgate et al., 2018) gibi yapay lifler kullanıldığı görülmektedir. Aynı zamanda alçı yerine pomza (Durgun, 2020; Karaipekli & Sari, 2016), soğan kabuğu, fıstık kabuğu, perlit, barit (Binici & Aksogan, 2017), vermikülit (Gencel et al., 2014), kiremit tozları (Durgun, 2021) gibi bazı katkıların kullanımının alçı esaslı malzemelerin özelliklerine yaptığı etkiler de incelenmiştir.

Son dönemde yapı malzemelerinin üretiminde kullanımı araştırılan bir başka mineral katkı da cam tozlarıdır. 2018 yılı verilerine göre Amerika Birleşik Devletleri’nde (ABD) 12,3 milyon ton cam ambalaj atığı oluşmuştur. Bu değer toplam kentsel katı atıkların %4,2’sine karşılık gelmektedir. Oluşan bu atıkları %31,3’ü tekrar geri dönüştürülebilmiştir. Buna rağmen 7,6 milyon ton cam atık katı atık sahalarına gömülmüş ve bu değer katı atık sahalarını işgal eden atıkların yaklaşık %4,8’ini oluşturmaktadır (United States Environmental Protection Agency, 2018). Dünya genelinde birçok ülkenin ABD’nin sahip olduğu altyapı ve imkanlara sahip olmadığı düşünüldüğünde geri dönüştürülemeyen ve doğada atık olarak kalan cam miktarının azımsanamayacak bir miktar olduğu görülmektedir. Camın temel yapısını amorf silika oluşturmaktadır. Bu bakımdan çok ince öğütüldüğünde çimento esaslı ürünlerin yapısında puzolanik etki göstereceği tahmin edilmiştir (Carsana et al., 2014). Bu beklenti çimentolu sistemlerde cam tozlarının kullanımı üzerine yapılan çalışma sayısını artırmıştır. Bu çalışmalardan bir kısmı cam tozunun çimento ikamesi olarak çimentolu sistemlerde kullanılması üzerine yürütülmüştür (Adesina & Das, 2020; Arivalagan & Sethuraman, 2021; Chu et al., 2022; Du et al., 2021). Bir kısım araştırmalar ise geopolimer hammaddesi olarak kullanımını incelemişlerdir (Liang et al., 2021).

Çimentolu sistemlerde cam tozu kullanımı üzerine yapılan araştırmalardan bir kısmı ise cam tozu kullanımının yüksek sıcaklık performansı, ısı iletkenlik katsayısı ve özgül ısı gibi değerleri üzerine etkileri incelenmiştir. Pan vd. (2021) %5, %10 ve %20 oranlarında cam tozu kullandığı çalışmada üretilen hamur karışımlarının termal iletkenlik katsayılarının, cam tozu miktarının artması ile azaldığı gözlemlenmiştir. Aynı zamanda özgül ısı değerlerinde de cam tozu oranının artışına bağlı olarak azalma görülmüştür (Pan et al., 2017). Jiang vd. (2022), atık cam tozlarının %10, %20 ve %30 oranlarında kullanıldığı çimento hamurlarının yüksek sıcaklık dirençlerini incelemişlerdir. Örnekler 800 °C ve 1000 °C’lik sıcaklıklara maruz bırakıldığında her üç kullanım oranında da referans örneğine göre yüksek artık dayanım değerleri verdiği rapor edilmiştir. Cam tozu kullanımının artışının artık dayanım miktarını düşürdüğünü gözlemlenmiştir (Jiang et al., 2022). Durgun ve Sevinç (2019), %10, %20 ve %30 oranlarında atık cam tozu kullanarak ürettikleri betonların 200, 400, 600, 800 ve 1000 °C sıcaklıklara maruz kaldıktan sonraki performanslarını incelenmişlerdir. Sonuç olarak %10 oranında cam tozu kullanımının 200, 400, 600 °C gibi farklı sıcaklıklarda referans örneğine göre daha iyi artık dayanımlar verdiği rapor edilmiştir (Durgun & Sevinç, 2019).

Bu çalışmada alçı esaslı karışımlarda %10, %20 ve %30 oranlarında mikronize cam kürecikleri kullanılmıştır. Kullanılan mikronize cam küreciklerin, üretilen malzemelerin sertleşmiş birim ağırlık, ultrasonik ses geçiş hızı, su emme, kılcal su emme ve görünen porozite gibi özelliklerine etkileri incelenmiştir. Aynı zamanda mekanik özelliklere etkilerinin anlaşılabilmesi için basınç dayanımı ve üç nokta eğilme dayanımı testleri uygulanmıştır. Bununla birlikte cam küreciklerinin üretilen alçı örneklerin termal özelliklerine etkilerinin incelenmesi için ısı iletim katsayıları ölçülmüştür. Çalışma kapsamında mikronize boyutta cam küreciklerinin değerlendirilmesiyle termal özellikleri geliştirilmiş alçı esaslı karışımların üretimi hedeflenmiştir.

## MATERYAL VE METOT

### Malzemeler

Çalışmada TS EN 13279 standardına uygun üretilmiş, ticari ürün olan kartonpiyer alçısı kullanılmıştır. Kullanılan alçının firma tarafından belirtilen özellikleri Tablo 1’de verildiği gibidir.

**Tablo 1.** Kullanılan Alçının Teknik Özellikleri

Özellik	Değer
Priz başlangıcı (dakika)	> 8
Priz bitişi (dakika)	≈ 30
Minimum basınç dayanımı (40x40 mm) (MPa)	10
Minimum eğilme dayanımı (40x40x160 mm) (MPa)	4,5
200 µm altı tane (min)	%99,5
100 µm altı tane (min)	%95,0
Gevşek birim hacim ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	0,75 – 0,80
Kuru birim hacim ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	1,05 – 1,10
Üretilen alçının birim ağırlığı (g/cm <sup>3</sup> )	1,254

Mikronize cam kürecik olarak karayollarında yol işaretleme malzemesi olarak kullanılan hazır ticari ürün kullanılmıştır (Şekil 1). Mikronize cam küreciklerin özellikleri ve tane büyüklüğü dağılımı TS EN 1423’e uygundur. Mikronize cam küreciklerin tane dağılımı Tablo 2’de verildiği gibidir. Kullanılan cam küreciklerinin yoğunluğu 2,60 g/cm<sup>3</sup>’tür. Tablo 3, kullanılan alçı ve cam küreciklerin kimyasal analiz sonuçlarını göstermektedir. Çalışmada karışım suyu olarak şehir şebeke suyu kullanılmıştır.



**Şekil 1.** Mikronize Cam Kürecikler

**Tablo 2.** Mikronize Cam Küreciklerin Elek Analizi

Elek Aralığı (µm)	Elekten geçen (%)
850	100
710	95
600	79
425	47
300	20
180	2

**Tablo 3.** Mikronize Cam Küreciklerin ve Alçının Kimyasal Analizi

Bileşen	Cam Kürecik	Alçı
SiO <sub>2</sub>	73.82	4,84
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.67	0,56
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.18	0,54
CaO	8.89	40,66
MgO	4.96	0,61
SO <sub>3</sub>	0.19	51,34
Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	12.84	0,41

**Metot**

Alçı örneklerinin üretilmesinde mikronize cam kürecikleri %10, %20 ve %30 oranlarında alçı ikame malzemesi olarak kullanılmıştır. Üretilen örneklere ait karışım oranları Tablo 4’te verildiği gibidir.

**Tablo 4. Karışım Oranları**

Numune Kodu	Alçı (g)	Su (g)	Cam Kürecik (g)	Yayılma Çapı (mm)
R	1200	600	-	16.7
G10	1080	540	120	17.2
G20	960	480	240	17.6
G30	840	420	360	17.8

Hazırlanan karışımlar laboratuvar tipi çimento mikserinde önce 30 s kuru olarak karıştırılmış daha sonra su ilavesi ile 120 s daha karıştırılmıştır. Elde edilen taze karışımların kıvamları yayılma tablası testi (TS EN 1015-3) uygulanarak ölçülmüş ve 16-18 mm yayılma çapı elde edilecek biçimde su oranı kullanılmıştır. Hazırlanan taze karışımlar 40x40x160 mm prizmatik ve 120x160x40 mm plak biçimli kalıplara yerleştirilmiştir. Vibrasyon uygulanan taze karışımlar 24 saat süre ile kalıpta bırakılmış daha sonra kalıptan alınmıştır. Laboratuvar ortamında 7 gün, %65 nem, 23±2 °C’de bekletilen örneklere Tablo 5’te belirtilen testler uygulanmıştır. Şekil 2’de deneylerden görseller verilmiştir.

**Tablo 5. Sertleşmiş Örneklere Uygulanan Testler**

Deney	İlgili Standart
Sertleşmiş Birim Ağırlık	TS EN 1015-10
Ultrasonik Ses Geçiş Hızı	ASTM C 597
Atmosferik Su Emme	ASTM C 20
Kılcal Su Emme	TS EN 1015-18
Görünür Porozite	ASTM C 20
Isıl İletkenlik Katsayısı Tayini	ASTM C 1113
Üç Nokta Eğilme Dayanımı Testi	TS EN 1015-11
Tek Eksenli Basınç Dayanımı	TS EN 1015-11

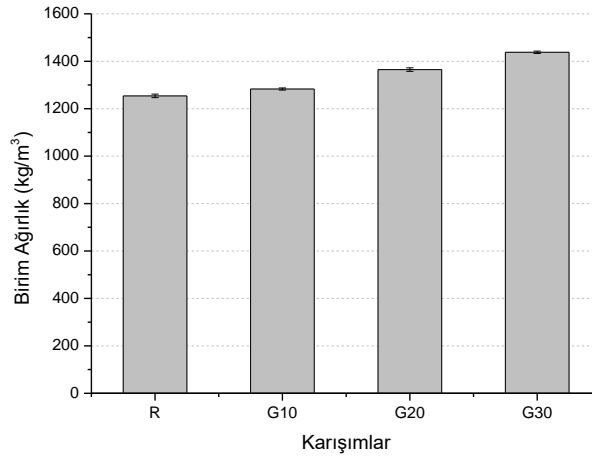




**Şekil 2.** Deneysel Çalışmadan Görüntüler **a.** Üretilen Örnekler **b.** Üç Noktalı Eğilme Deneyi **c.** Tek Eksenli Basınç Dayanımı Tayini **d.** Isıl İletkenlik Katsayısı Tayini **e.** Görünür Porozite Tayini **f.** Ultrasonik Ses Geçiş Hızı Tayini

## BULGULAR VE TARTIŞMA

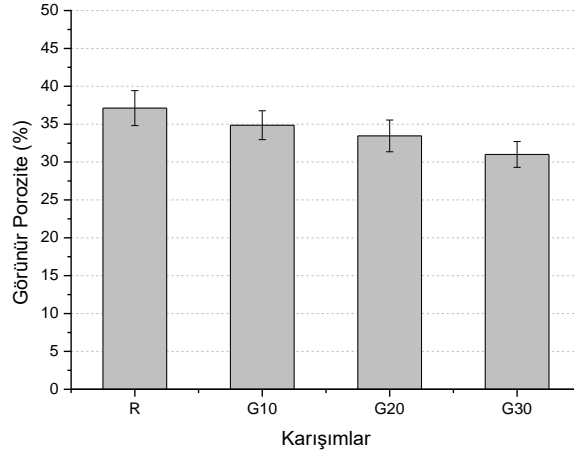
Örneklerin sertleşmiş birim ağırlık değerleri Şekil 3’te verilmiştir.



**Şekil 3.** Örneklerin Sertleşmiş Birim Ağırlık Değerleri

Referans alçı örneğinin birim ağırlığı 1254 kg/m<sup>3</sup>'tür. Cam küreciklerinin kullanımı bu değeri bir miktar yükseltmiştir. Cam kürecik miktarındaki artışla orantılı olarak birim ağırlık değerleri artmıştır. En yüksek değer 1438 kg/m<sup>3</sup> olarak %30 cam küreciği kullanılan karışımdan elde edilmiştir. Bu durum mikronize cam küreciklerinin birim ağırlığının alçının birim ağırlığından daha yüksek olması ile açıklanabilir. Aynı zamanda mikronize cam kürecik kullanımının alçının bünyesindeki boşluklarda dolgu etkisi yaptığı düşünülmektedir.

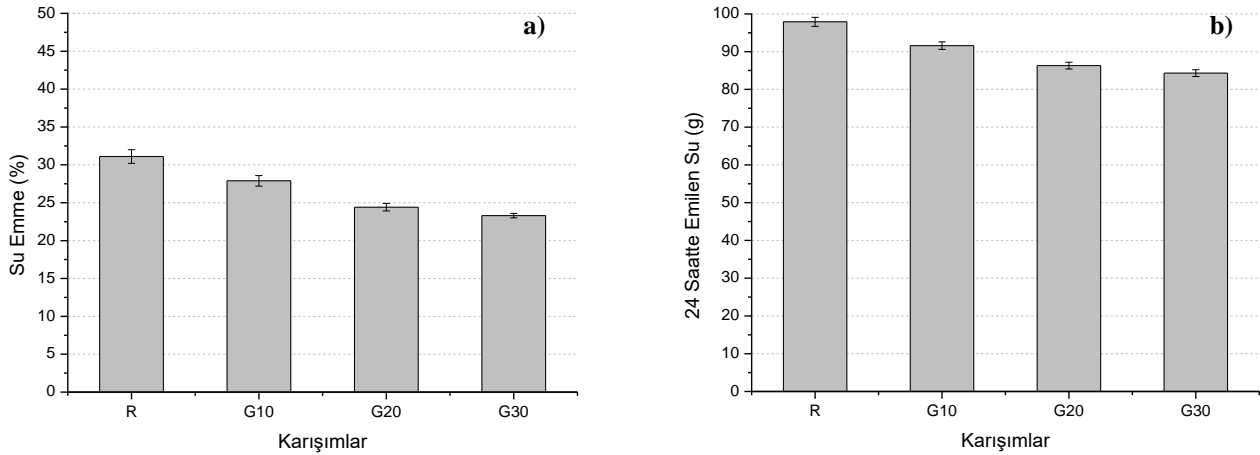
Örneklerin görünür porozite değerleri Şekil 4’te verildiği gibidir.



Şekil 4. Örneklerin Görünür Porozite Değerleri

Örneklerin görünür porozite değerleri cam kürecik kullanımı ile azalmıştır. Referans örneğinin porozite değeri %37,12 olarak hesaplanmıştır. Bu değer %30 cam kürecik kullanımı ile %31'e kadar gerilemiştir. Bunun nedeni kullanılan cam küreciklerin alçı esaslı karışımların bünyesinde bulunan boşlukları doldurarak boşluk yapısını azaltmasından ileri geldiği düşünülmektedir.

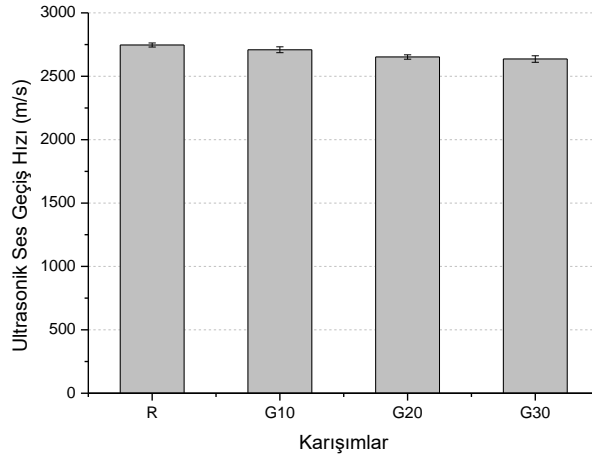
Şekil 5a, karışımların atmosferik su emme değerlerini, Şekil 5b ise kılcal su emme değerlerini göstermektedir.



Şekil 6. Örneklerin a. Su Emme Değerleri b. Kılcal Su Emme Değerleri

Referans örneğinin su emme değeri %31,11 olarak bulunmuştur. Tıpkı porozitede meydana gelen azalma gibi, cam kürecik katkısının kullanılması ve cam kürecik miktarındaki artış su emme değerlerini azaltmıştır. %10 oranında cam kürecik kullanımı su emme değerini %27,89'a düşürürken en düşük su emme oranı %23,30 ile G30 örneğinden elde edilmiştir. Kılcal yolla su emilimi incelendiğinde benzer bir eğilim görülmektedir. Referans örneği 24 saatlik kılcal su emme testi sonunda 97,9 g su emmiştir. Emilen su miktarı cam kürecik kullanımı ile azalmıştır. En düşük su emme değeri 84,3 g ile G30 örneğinden elde edilmiştir. Şekil 6'da verilen her iki durumun cam kürecik kullanımının porozite üzerinde azaltıcı bir etki göstermesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Aynı zamanda cam küreciklerin su emme değerinin düşük olması da sonuçları olumlu etkilemiştir. Davraz vd. çimento esaslı hafif sıva üretimi için cam kürecik kullanmıştır. Yapılan çalışmada cam kürecik kullanımı ile örneklerin kapiler yolla su emmesinin azaldığı gözlemlenmiştir. Bu durum cam kürecik kullanımı ile kılcal kanalların tıkanmasına bağlanmıştır (Davraz et al., 2020).

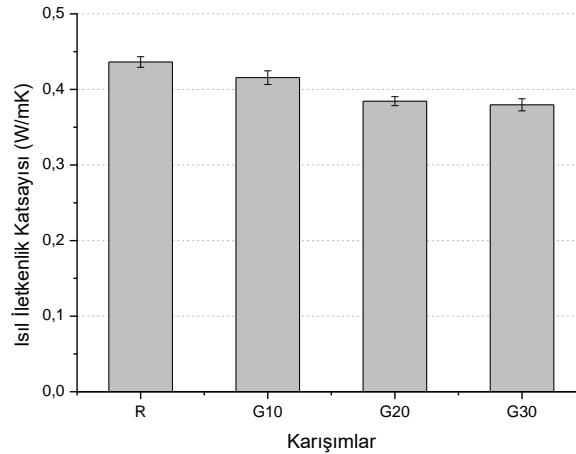
Şekil 7, örneklerin ultrasonik ses geçiş hızı değerlerini göstermektedir.



Şekil 7. Örneklerin Ultrasonik Ses Geçiş Hızı Değerleri

Örneklerin ultrasonik ses geçiş hızları 2636 m/s ve 2747 m/s arasında değişmektedir. En yüksek ultrasonik ses geçiş hızı değeri referans alçı örneğinden elde edilmiştir. En düşük değer ise G30 örneğinden elde edilmiştir. Ultrasonik ses geçiş hızı ile malzeme iç yapısındaki boşlukluluk arasında bir ilişki olduğu bilinmektedir. Malzemenin içerisinde bulunan hava dolu boşluklar ve çatlaklar ses dalgasının bünye içerisinde hareketini yavaşlatmaktadır (Concu & Trulli, 2018). Buna göre genel beklenti porozite değerlerinde meydana gelen azalmanın, ultrasonik ses geçiş hızlarında yükselmeye neden olması şeklindedir. Ancak Şekil 7’de cam kürecik kullanımının ultrasonik ses geçiş hızını hafifçe azalttığı görülmektedir. Bu durum genel beklentinin aksine bir durumdur. Ancak oluşan azalmanın çok belirgin olmadığı, ultrasonik ses geçiş hızının referansa kıyasla en düşük olduğu G30 örneğinde bile meydana gelen düşüşün mertebesi sadece %4’tür. Bu nedenle ortaya çıkan sonucun ciddi bir farklılık meydana getirmediğini belirtmek gerekir.

Şekil 8, örneklerin ısı iletim katsayılarını göstermektedir.

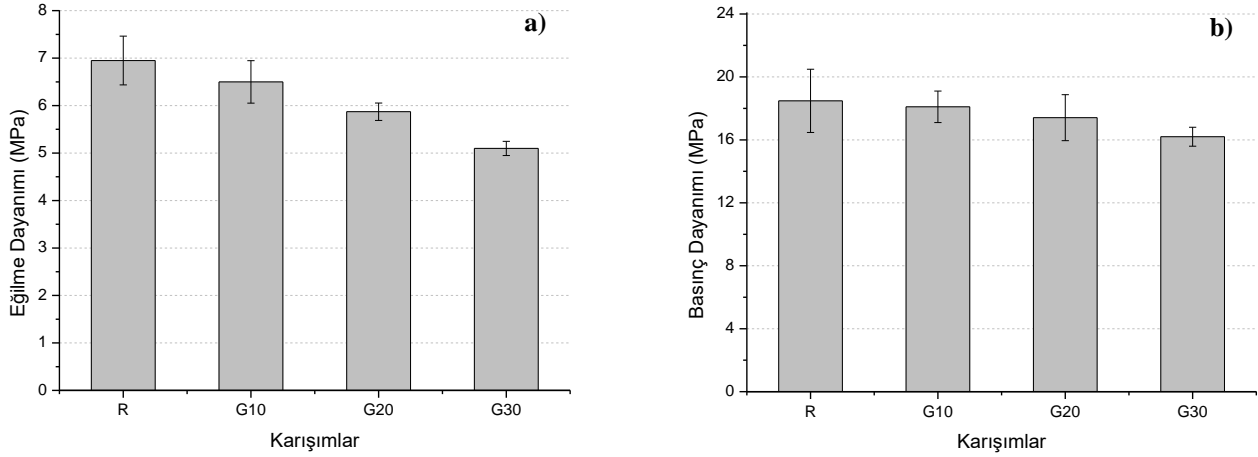


Şekil 8. Örneklerin Isıl İletkenlik Katsayıları

Örneklerin ısı iletim katsayıları 0,380 W/mK ve 0,436 W/mK arasında değişmektedir. En yüksek ısı iletim katsayısı referans örneğinden elde edilmiştir. Cam kürecik kullanımı ısı iletkenlik katsayısını düşürmüştür. Kullanılan cam kürecik miktarındaki artış, ısı iletkenlik katsayılarında azalmaya neden olmuştur. %10 oranında cam kürecik kullanılması ısı iletim katsayısını %4,75 oranında azaltırken %30 oranında cam kürecik kullanımı %13 oranında azaltmıştır. Malzemelerin ısı iletim katsayılarını etkileyen en önemli parametrelerden biri o malzemenin boşluk yapısıdır. Hatta son yıllarda ısı yalıtım performansı geliştirmek amacıyla açık boşluk yapısına sahip bir çok yeni ürün geliştirilmiştir (Skibinski et al., 2019). Ancak bu çalışmada porozite ile ısı iletkenlik katsayısı arasında beklenenin aksine bir ilişki gözlenmiştir. Porozite değerleri cam kürecik katkısı ile düşerken, ısı iletkenlik katsayısı da aynı şekilde düşmektedir. Bununla birlikte cam küreciklerin ısı iletkenliği düşürdüğüne dair literatürde de bazı çalışmalar bulunmaktadır. Chung, betonda içi boş cam kürecik kullanımının ısı iletkenlik katsayısını düşürdüğünü rapor etmiştir (Chung et al., 2016). Fındık, harçlarda %10 ve %20 oranlarında cam tozu kullanımı ile ısı iletim katsayısını %1 ve %4 oranında azaltmanın mümkün olduğunu rapor etmiştir (Fındık, 2007). Bu durumun camın yapısal

özelliklerinden ileri geldiği düşünülmektedir. Cam her ne kadar makro ölçekte içerisinde sıkışmış hava bulundurmasa da, yapısal olarak kristal bir düzene sahip değildir. Mikro yapısının amorf ve düzensiz olması, kristal yapıya sahip katılara göre çok daha iyi bir ısı yalıtım malzemesi olmasını sağlamaktadır (Kittel, 1949; Salama et al., 1987).

Şekil 9, örneklerin eğilme ve basınç dayanımı değerlerini göstermektedir.



Şekil 9. Örnekleri a. Eğilme Dayanımı Değerleri b. Basınç Dayanımı Değerleri

Mikronize cam küreciği kullanımı hem eğilme hem de basınç dayanımı sonuçlarını olumsuz etkilemiştir. Örneklerin eğilme dayanımları 5,1 – 6,9 MPa arasında değişirken, basınç dayanımı değerleri 16,2 – 18,5 MPa arasında değişmektedir. En yüksek dayanımlar referans örneğinden elde edilmiştir. En düşük dayanımlar ise %30 cam kürecik kullanılan örneklerden elde edilmiştir. Cam tozunun %10, %20 ve %30 oranında kullanılması eğilme dayanımında sırasıyla, %5,8, %14,5 ve %26,1 azalmaya, basınç dayanımında ise sırasıyla %2,2, %5,9 ve %12,4 azalmaya neden olmuştur. Davraz vd. yaptığı çalışmada cam küre kullanımı ile üretilen köpük sıva karışımlarının bazılarında basınç dayanımı değerlerinin referans örneğin üzerine çıktığını gözlemlemiştir (Davraz et al., 2020). Ancak bu çalışmada üretilen üründe bağlayıcı malzeme olarak çimento kullanıldığı görülmektedir. Önceki çalışmalarda cam tozlarının ince öğütülmüş vaziyette kullanıldığında yeterli puzolanik etkiye sahip olduklarını ifade edilmektedir (Carsana et al., 2014). Çimento esaslı bir karışımda ince öğütülmüş cam kullanımı ile daha yüksek dayanım elde etmek, puzolanik etki sayesinde mümkün olabilir. Bu çalışmada ise alçı esaslı bir karışımda mikronize cam kürecik kullanılmıştır ve alçı ile ince öğütülmüş cam arasında bilinen bir reaksiyon bulunmamaktadır. Dolayısıyla bağlayıcı malzemeden yapılan ikame miktarının artması, hamur fazında azalmaya ve dayanımın düşmesine neden olmaktadır. Bir başka neden ise cam küreciklerin dış yüzeylerinin oldukça pürüzsüz olmasından ileri gelmektedir. Bu durumun cam kürecikler ile alçı matrisinin kenetlenmesini zayıflattığı düşünülmektedir. Aktürk vd. yaptıkları çalışmada cam kürecikleri harç karışımlarında agrega yerine kullanmışlar ve nitekim cam kürecik miktarının artışına bağlı olarak basınç dayanımlarında azalmalar gözlemlemişlerdir (Aktürk et al., 2020).

## SONUÇLAR

Bu çalışmada alçı esaslı karışımlarda %10, %20 ve %30 oranlarında mikronize cam kürecikler, alçı ikamesi olarak kullanılmış ve üretilen örneklerin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir;

- Alçı esaslı karışımlarda cam kürecik kullanımının artışı, örneklerin sertleşmiş birim ağırlık değerlerini artırmıştır. Bu durumun kullanılan cam küreciklerin dolgu etkisi yapmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.
- Cam kürecik kullanımı porozite değerlerinde bir azalmaya neden olmuştur. Bu durum düşünülen dolgu etkisinin doğan bir sonucudur. Aynı zamanda boşluklarda meydana gelen azalma veya kılcal yolların tıkanmasına bağlı olarak su emme ve kılcal yolla su emme değerlerinde de bir azalma gözlenmiştir.
- Cam kürecik kullanımının ultrasonik ses geçiş hızı değerleri üzerinde belirgin bir etkisi görülmemiştir.
- Cam kürecik kullanımı ve kullanım oranının artışı örneklerin ısı iletkenlik katsayılarında azalmaya neden olmuştur. Bu durum her ne kadar porozite sonuçları ile ters düşse de, camın düzensiz ve amorf mikro yapısı göz önüne alındığında anlamlı olmaktadır.
- Cam kürecik kullanımı mekanik özellikleri olumsuz etkilemiştir. Hem basınç hem de eğilme dayanımı değerleri kullanılan cam kürecik miktarına bağlı olarak azalmıştır.



## KAYNAKLAR

- Adesina, A., and Das, S. (2020). Influence of glass powder on the durability properties of engineered cementitious composites. *Construction and Building Materials*, 242, 118199. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118199>
- Aktürk, B., Dayı, M., ve Aruntaş, H. Y. (2020). Genleştirilmiş Cam Küre Agrega Katkılı Harçların Bazı Özelliklerinin İncelenmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 9(1). <https://doi.org/10.29130/dubited.729582>
- Arivalagan, S., and Sethuraman, V. (2021). Experimental study on the mechanical properties of concrete by partial replacement of glass powder as fine aggregate: An environmental friendly approach. *Materials Today: Proceedings*, 45, 6035–6041. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.722>
- Belayachi, N., Hoxha, D., and Slaimia, M. (2016). Impact of accelerated climatic aging on the behavior of gypsum plaster-straw material for building thermal insulation. *Construction and Building Materials*, 125, 912–918. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.08.120>
- Binici, H., and Aksogan, O. (2017). Insulation material production from onion skin and peanut shell fibres, fly ash, pumice, perlite, barite, cement and gypsum. *Materials Today Communications*, 10(112), 14–24. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2016.09.004>
- Braiek, A., Karkri, M., Adili, A., Ibos, L., and Ben Nasrallah, S. (2017). Estimation of the thermophysical properties of date palm fibers/gypsum composite for use as insulating materials in building. *Energy and Buildings*, 140, 268–279. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.02.001>
- Carsana, M., Frassoni, M., and Bertolini, L. (2014). Comparison of ground waste glass with other supplementary cementitious materials. *Cement and Concrete Composites*, 45, 39–45. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2013.09.005>
- Cerulli, T., Pistolesi, C., Maltese, C., and Salvioni, D. (2003). Durability of traditional plasters with respect to blast furnace slag-based plaster. *Cement and Concrete Research*, 33(9), 1375–1383. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(03\)00072-3](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(03)00072-3)
- Chu, S. H., Li, L., Shen, P. L., Lu, J. X., & Poon, C. S. (2022). Recycling of waste glass powder as paste replacement in green UHPFRC. *Construction and Building Materials*, 316, 125719. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125719>
- Chung, D. D. L., and Zheng, Q. J. (1989). Electronic properties of carbon fiber reinforced gypsum plaster. *Composites Science and Technology*, 36(1), 1–6. [https://doi.org/10.1016/0266-3538\(89\)90012-2](https://doi.org/10.1016/0266-3538(89)90012-2)
- Chung, S. Y., Han, T. S., Kim, S. Y., Kim, K. H. J., Youm K. S., and Lim J. H., (2016). Evaluation of effect of glass beads on thermal conductivity of insulation concrete using micro CT images and probability functions. *Cement and Concrete Composites*, 65, 150-162. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2015.10.011>
- Concu, G., and Trulli, N. (2018). Concrete Defects Sizing by Means of Ultrasonic Velocity Maps. *Buildings*, 8(12), 176. <https://doi.org/10.3390/buildings8120176>
- Davraz, M., Gökçe, Y., Koru, M., ve Akdağ, A. E. (2020). Çimento Esaslı Köpük Sıvanın Fiziksel, Mekanik ve Termal Özellikleri. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8(1), 42–53. <https://doi.org/10.21923/jesd.567408>
- Du, Y., Yang, W., Ge, Y., Wang, S., and Liu, P. (2021). Thermal conductivity of cement paste containing waste glass powder, metakaolin and limestone filler as supplementary cementitious material. *Journal of Cleaner Production*, 287, 125018. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125018>
- Durgun, M. Y. (2020). Effect of wetting-drying cycles on gypsum plasters containing ground basaltic pumice and polypropylene fibers. *Journal of Building Engineering*, 32, 101801. <https://doi.org/10.1016/j.job.2020.101801>
- Durgun, M. Y. (2021). Experimental research on gypsum-based mixtures containing recycled roofing tile powder at ambient and high temperatures. *Construction and Building Materials*, 285, 122956. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122956>

- Durgun, M. Y., and 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>
- Fındık, S. B. (2007). Yüksek Sıcaklık Etkisinde Kalan Mineral Katkılı ve Genleşmiş Perlit Agregalı Harçların Bazı Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzurum 98 s.
- Gencil, O., Del Coz Diaz, J. J., Sutcu, M., Koksall, F., Álvarez Rabanal, F. P., and Martínez-Barrera, G. (2016). A novel lightweight gypsum composite with diatomite and polypropylene fibers. *Construction and Building Materials*, 113, 732–740. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.03.125>
- Gencil, O., Del Coz Diaz, J. J., Sutcu, M., Koksall, F., Alvarez Rabanal, F. P., Martinez-Barrera, G., and Brostow, W. (2014). Properties of gypsum composites containing vermiculite and polypropylene fibers: Numerical and experimental results. *Energy and Buildings*, 70, 135–144. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.11.047>
- Iucolano, F., Caputo, D., Leboffe, F., and Liguori, B. (2015). Mechanical behavior of plaster reinforced with abaca fibers. *Construction and Building Materials*, 99, 184–191. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.09.020>
- Iucolano, F., Liguori, B., Aprea, P., and Caputo, D. (2018). Thermo-mechanical behaviour of hemp fibers-reinforced gypsum plasters. *Construction and Building Materials*, 185, 256–263. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.07.036>
- Jiang, X., Xiao, R., Bai, Y., Huang, B., and Ma, Y. (2022). Influence of waste glass powder as a supplementary cementitious material (SCM) on physical and mechanical properties of cement paste under high temperatures. *Journal of Cleaner Production*, 340, 130778. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130778>
- Karaipekli, A., and Sari, A. (2016). Development and thermal performance of pumice/organic PCM/gypsum composite plasters for thermal energy storage in buildings. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 149, 19–28. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2015.12.034>
- Karni, J., and Karni, E. (1995). Gypsum in construction: origin and properties. *Materials and Structures*, 28(2), 92–100. <https://doi.org/10.1007/BF02473176>
- Kittel, C. (1949). Interpretation of the Thermal Conductivity of Glasses. *Physical Review*, 75(6), 972–974. <https://doi.org/10.1103/PhysRev.75.972>
- Li, G., Yu, Y., Zhao, Z., Li, J., and Li, C. (2003). Properties study of cotton stalk fiber/gypsum composite. *Cement and Concrete Research*, 33(1), 43–46. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(02\)00915-8](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(02)00915-8)
- Liang, G., Li, H., Zhu, H., Liu, T., Chen, Q., and Guo, H. (2021). Reuse of waste glass powder in alkali-activated metakaolin/fly ash pastes: Physical properties, reaction kinetics and microstructure. *Resources, Conservation and Recycling*, 173, 105721. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105721>
- Lushnikova, N., and Dvorkin, L. (2016). Sustainability of gypsum products as a construction material. In *Sustainability of Construction Materials* (pp. 643–681). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100370-1.00025-1>
- Nguyen, H., Kinnunen, P., Carvelli, V., Mastali, M., and Illikainen, M. (2019). Strain hardening polypropylene fiber reinforced composite from hydrated ladle slag and gypsum. *Composites Part B: Engineering*, 158, 328–338. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.09.056>
- Pan, Z., Tao, Z., Murphy, T., and Wuhler, R. (2017). High temperature performance of mortars containing fine glass powders. *Journal of Cleaner Production*, 162, 16–26. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.003>
- Salama, S. N., Salman, S. M., and Gharib, S. (1987). Thermal conductivity of some silicate glasses and their respective crystalline products. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 93(1), 203–214. [https://doi.org/10.1016/S0022-3093\(87\)80039-X](https://doi.org/10.1016/S0022-3093(87)80039-X)

Skibinski, J., Cwieka, K., Haj Ibrahim, S., and Wejrzanowski, T. (2019). Influence of Pore Size Variation on Thermal Conductivity of Open-Porous Foams. *Materials*, 12(12), 2017. <https://doi.org/10.3390/ma12122017>

Waste and Recycling Report (2018). United States Environmental Protection Agency.

Westgate, P., Paine, K., and Ball, R. J. (2018). Physical and mechanical properties of plasters incorporating aerogel granules and polypropylene monofilament fibres. *Construction and Building Materials*, 158, 472–480. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.09.177>

Zak, P., Ashour, T., Korjenic, A., Korjenic, S., and Wu, W. (2016). The influence of natural reinforcement fibers, gypsum and cement on compressive strength of earth bricks materials. *Construction and Building Materials*, 106, 179–188. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.031>

Zhao, F. Q., Liu, H. J., Hao, L. X., and Li, Q. (2012). Water resistant block from desulfurization gypsum. *Construction and Building Materials*, 27(1), 531–533. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.07.011>