

## Keten Lifin Genleştirilmiş Kil Agregası ile Üretilen Harçların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkisi

Elif Tuğçe KOCABEYOĞLU<sup>1\*</sup> ve Fuat KÖKSAL<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*İnşaat Teknolojisi /Meslek Yüksekokulu, Yozgat Bozok Üniversitesi, Türkiye*

<sup>2</sup>*İnşaat Mühendisliği Bölümü / Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Yozgat Bozok Üniversitesi, Türkiye*

*\*(elifugce.kocabeyoglu@yobu.edu.tr) Başlıca yazarın mail adresi*

**Özet** – Binalarda enerji kayıplarının azaltılması amacıyla ısı yalıtım özelliğine sahip hafif yapı malzemelerinin kullanımı giderek önem kazanmaktadır. Bunlar genellikle zayıf yük taşıma özelliklerine sahip gözenekli malzemelerdir [1]. Bu malzemeler inşaat sektöründe hafif yapı elemanları üretmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada farklı agregalar kullanılarak keten lifi ilavesiyle hazırlanan harçların fiziksel ve mekanik davranışları araştırılmıştır. Agregası olarak kırma kum ve genleştirilmiş kil agregaları ve 0 ve 15 kg/m<sup>3</sup> miktarlarında keten lifler ilave edilerek karışımlar hazırlanmıştır. Fiziksel özelliklerin belirlenebilmesi amacıyla standart olarak kürlenmiş numuneler üzerinde; kuru birim hacim ağırlık, porozite, su emme ve ultrases geçiş hızı deneyleri yapılmıştır. Mekanik özelliklerin belirlenebilmesi için de numuneler eğilme ve basınç dayanımı testlerine tabii tutulmuştur. Keten liflerin ilave edilmesi ile birlikte numunelerin kuru birim hacim ağırlıklarında azalma gözlenirken bununla birlikte porozite ve su emme değerlerinde ise artış tespit edilmiştir. Porozite değeri yüksek olan genleştirilmiş kil agregası kullanılarak üretilen numunelerin kırma kum agregası kullanılarak üretilen numunelere kıyasla daha yüksek gözenekliliğe sahip olmasına bağlı olarak ultrases geçiş hızının daha düşük olduğu saptanmıştır. Keten lif ilave edilen numunelerin kuru birim hacim ağırlıklarının azalması ile eğilme ve basınç dayanım değerlerinde azalma elde edilmiştir. Genleştirilmiş kil agregası kullanılarak üretilen numunelerin tamamında eğilme ve basınç dayanım değerleri kırma kum agregası kullanılarak üretilen numunelere kıyasla daha düşük çıktığı görülmüştür.

*Anahtar Kelimeler – Genleştirilmiş Kil, Harç, Porozite, Keten Lif, Mekanik Dayanım.*

### I. GİRİŞ

Son yıllarda fosil kaynakların hızla tükenmesi nedeniyle enerji verimliliğinin sağlanması amacıyla inşaat alanında yalıtım malzemelerinin kullanımı her geçen gün artmaktadır. [1,2]

Binalarda enerji kayıplarının azaltılması amacıyla ısı yalıtım özelliğine sahip hafif yapı malzemelerinin kullanımı giderek önem kazanmaktadır. Bunlar genellikle zayıf yük taşıma özelliklerine sahip gözenekli malzemelerdir [1]. Bu malzemeler inşaat sektöründe hafif yapı elemanları üretmek için yaygın olarak kullanılmaktadır.

Beton yapılarında yapıya gelen toplam yüklerin azaltılması arzu edilir ve bu yüklerden en önemlisi ölü yüküdür. Bu nedenle hafif beton kullanımı bu ölü

yükleri azaltır ve destek elemanlarının boyutlarını küçülterek ekonomik verimliliği artırır [3]. Hafif beton üretmenin birçok yolu vardır. Hafif beton üretmenin en bilinen yöntemi hafif agregaların kullanılmasıdır [4]. Beton ağırlığının azaltılması için geleneksel betonlarda kullanılan doğal iri agregaların yerine çeşitli gözenekli agregalar kullanılmaktadır. Genleştirilmiş kil agregası çok az kireç içeren veya hiç kireç içermeyen özel plastik kilden üretilen bir hafif agregası türüdür. Elde edilme sürecinde önce kil kurutulur, ısıtılır ve ani olarak döner fırınlarda 1000°C - 1300°C yüksek sıcaklık etkisine maruz kalmalarıyla, kimyasal yapılarında mevcut olan gazlar açığa çıkarak içleri gaz ile dolu olan gözenekler oluşmaktadır [5]. Oluşum nedeni itibari ile hacimleri 1.5 kattan 6 kata kadar çıkabilmektedir. Ani sıcaklık etkisi ile sinterlenmiş

sert bir dış kabuk oluşmaktadır. Kil içerisine mazot, kireç, kok kömürü gibi maddeler eklenerek geliştirme arttırılabilmektedir [6]

Taşıyıcı hafif beton uygulamalarında ACI 213-03' e [7] göre geliştirilmiş kil, cüruf, uçucu kül, şist, arduvaz yapay hafif agregalar olarak kullanılabilmesi belirtilmiştir. Taşıyıcı hafif betonlarda ASTM C 330'a [8] göre iri hafif agregalar için gevşek kuru birim ağırlık, en fazla 880 kg/m<sup>3</sup>, ince hafif agregalar için ise en fazla 1120 kg/m<sup>3</sup> olması gerektiği ifade edilmiştir. İri agregalar için gevşek birim ağırlık; geliştirilmiş kil agregası için 700 - 1050 kg/m<sup>3</sup>; geliştirilmiş cüruf, şist ve arduvaz agregası için 800 - 950 kg/m<sup>3</sup> olması gerekmektedir [9].

Genleştirilmiş kil agregasının 350, 400, 450 kg/m<sup>3</sup> olan üç farklı çimento dozajında üretilen taşıyıcı hafif betonun fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Basınç ve yarmada çekme dayanımı değeri 450 kg/m<sup>3</sup> çimento dozlu hafif beton karışımlarından en yüksek dayanım değeri elde edilmiştir [10]. Genleştirilmiş kil agregasının dayanımının cüruf, volkanik tüf ve pomza gibi doğal agregalara kıyasla daha yüksek olduğu belirlenmiştir. [11, 12].

Genleştirilmiş kil agregasının kullanılmasıyla ısı iletkenlik katsayısı 0.459 W/mK – 0.222 W/mK değerine düştüğü görülmüştür. Birçok yapı malzemesi ile karşılaştırıldıklarında, geliştirilmiş kil agregası kullanılarak üretilen betonların ısı iletim katsayılarının çok düşük olduğu ifade edilmiştir [6].

Mısırlılar tarafından günümüze kadar kullanılmakta olan keten, Türkiye'de de restorasyon işlerinde ve kireç sıva karışımlarında kullanılmaktadır. Keten yapısında kabaca %70 oranında selüloz bulunmaktadır. Keten lifleri havayı hapsederek iyi bir yalıtım özelliği göstermektedirler [13].

Bu çalışma, keten liflerinin farklı agregalar türlerinden hazırlanan harçların fiziksel ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisini ele almaktadır.

## II. MATERYAL VE YÖNTEM

### A. Numunelerin Üretimi

Çalışmada harç üretiminde yoğunluğu 3.15 g/cm<sup>3</sup> olan CEM I tipi 42.5 R çimento, TS EN 1008 [14] standardına uygun olarak karışım suyu ve 2 farklı

agrega türü kullanılmıştır. Referans harcı üretmek için 0-2 mm boyutunda özgül ağırlığı 2.65 g/cm<sup>3</sup> olan kırma kum agregası ve 0-2 mm boyutunda özgül ağırlığı 2.28 g/cm<sup>3</sup> olan Söğüt Toprak Madencilik Sanayi A.Ş' den temin edilen geliştirilmiş kil agregası kullanılmıştır.

Tablo 1. Kullanılan Lifin Özellikleri

Çekme Dayanımı, MPa	800 - 1500
Elastik Modülü, GPa	50 - 70
Yoğunluk, g/cm <sup>3</sup>	1.54
Isıl İletkenlik Katsayısı, W / (mK)	0.118 - 0.344
Uzunluk, mm	12 - 18
Çap, µm	17

Kırma kum ve geliştirilmiş kil agregaları ile 0 ve 15 kg/m<sup>3</sup> miktarlarında keten lifler ilave edilerek numuneler hazırlanmıştır. Tüm karışımlar için işlenebilirlik sabit tutulmuştur. Karışımlar agregalar tipine ve lif ilavesine göre kodlanmıştır. Örneğin; agregalar türü kırma kum olan keten lif ilave edilmiş karışım KK-K karışım kodu ile gösterilmektedir. Harç karışımlarında kullanılan malzeme miktarları ve yayılma tablasının deney sonuçları Tablo 2'te gösterilmektedir.

Tablo 2. Harç Karışımında kullanılan malzeme miktarları (kg/m<sup>3</sup>)

Agrega Türü	Kırma Kum		Genleştirilmiş Kil	
	KK	KK-K	GK	GK-K
Karışım Kodu	0	15	0	15
Lif Miktarı, kg	0	15	0	15
Çimento, kg	416	416	386	386
Agrega, kg	1525	1525	1031	1031
Su, kg	227	254	277	328
YT, cm	15,5	15,5	15,5	15,5

Üretilen numuneler, 24 saat sonra kalıptan çıkarılarak 28 gün süresince standart kürlenmeye bırakılmıştır. Fiziksel ve mekanik deneylerde kullanılmak üzere toplam 4 seri harç üretimi ve her bir seri için de 6 adet olmak üzere toplamda 24 adet 40x40x160 mm boyutlarında prizmatik numuneler üretilmiştir.

### B. Deneysel Çalışma

Çalışmada TS EN 1015-3'te [15] belirtilen şartlara uygun olarak yayılma tablası (YT) ölçümleri ile taze harçların işlenebilirlikleri belirlenmiştir.

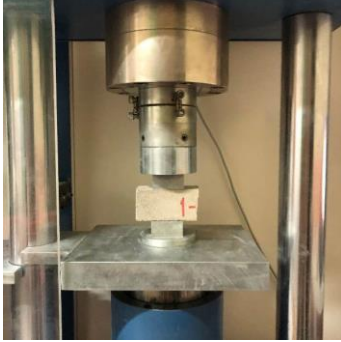
Çalışmada üretilen sertleşmiş harç numuneler üzerinde ultrases geçiş hızının (UGH) tayini deneyi TS EN 12504 - 4 [16] standardına uygun olarak, eğilme deneyi ve eğilme dayanımı testinden elde

edilen numuneler üzerinde yapılan basınç deneyi TS EN 196-1 [17] standartına uygun olarak yapılmıştır.

Eğilme dayanımı testi her bir karışım grubu 50 N/s yükleme hızında ve 6 adet numune üzerinde gerçekleştirilmiştir. Test sonucu altı adet numunenin ortalama değeri alınarak belirlenmiştir. Basınç dayanımının testi 2400 N/s yükleme hızında ve eğilme deneyi sonrası iki parçaya ayrılmış olan toplam 12 adet numune üzerinde gerçekleştirilmiştir. Test sonucu on iki adet numunenin ortalama değeri alınarak belirlenmiştir.



Şekil 1. Eğilme dayanımı deney düzeneği.



Şekil 2. Basınç dayanım deney düzeneği.

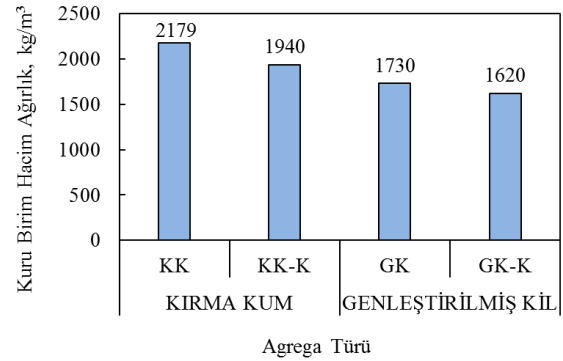
### III. BULGULAR

Bu bölümde fiziksel ve mekanik deneylerin sonuçları yer almaktadır. Kuru birim hacim ağırlık (KBHA), su emme oranı, porozite, ultrases geçiş hızı (UGH), eğilme ve basınç dayanımı testlerinin sonuçları Tablo 3'de gösterilmektedir.

Tablo 3. Numunelerin Deney Sonuçları

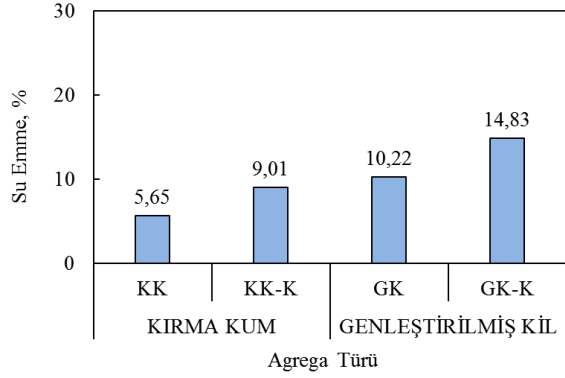
Karışım Kodu	KK	KK-K	GK	GK-K
<b>KBHA</b> kg/m <sup>3</sup>	2179	1940	1730	1620
<b>Porozite</b> %	12,27	17,48	17,67	24
<b>Su Emme</b> %	5,65	9,01	10,22	14,83
<b>UGH</b> km/sa	4,07	3,8	3,31	3,12
<b>Eğilme</b> <b>Dayanımı</b> MPa	10,6	8,92	8,8	7,8
<b>Basınç</b> <b>Dayanımı</b> MPa	49,91	44,19	40,6	36,16

Kırma kum ve genişletilmiş kil agregası kullanılarak hazırlanan keten lif ilavesi yapılmayan karışımlarda kuru birim hacim ağırlık değerleri sırası ile 2179 ve 1730 kg/m<sup>3</sup>, keten lif ilavesi yapılan numunelerin kuru birim ağırlık değerleri ise sırası ile 1940 ve 1620 kg/m<sup>3</sup> olarak saptanmıştır. En düşük kuru birim ağırlık değeri genişletilmiş kil agregası ile hazırlanan keten lif ilavesi yapılan numunelerde 1620 kg/m<sup>3</sup>, en yüksek kuru birim hacim ağırlık değeri ise kırma kum agregası kullanılarak keten lif ilavesi yapılmayan numunelerde 2179 kg/m<sup>3</sup> (Şekil 3) olarak elde edilmiştir.

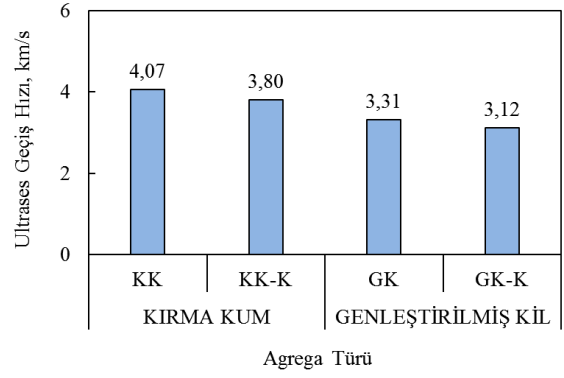


Şekil 3. Kuru Birim Hacim Ağırlık Deney Sonuçları

Kırma kum ve genişletilmiş kil agregası kullanılarak hazırlanan keten lif ilavesi yapılmayan karışımlarda su emme değerleri sırası % 5.65 ve 10.22, keten lif ilavesi yapılan numunelerin su emme değerleri ise sırası ile % 9.01 ve 14.83 olarak saptanmıştır. En düşük su emme değeri kırma kum agregası ile hazırlanan keten lif ilavesi yapılmayan numunelerde % 5.65, en yüksek su emme değeri ise genişletilmiş kil agregası kullanılarak keten lif ilavesi yapılan numunelerde % 14.83 (Şekil 4) olarak elde edilmiştir.

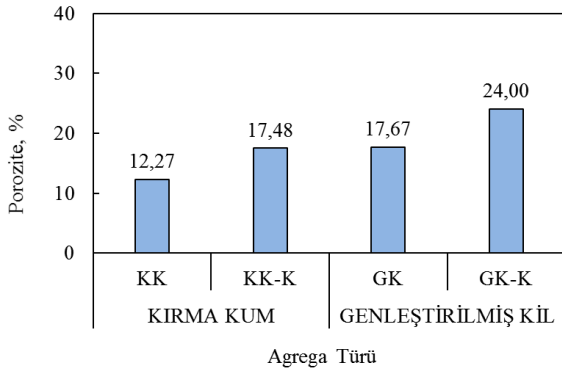


Şekil 4. Su Emme Deney Sonuçları



Şekil 6. Ultrases Geçiş Hızı Deney Sonuçları

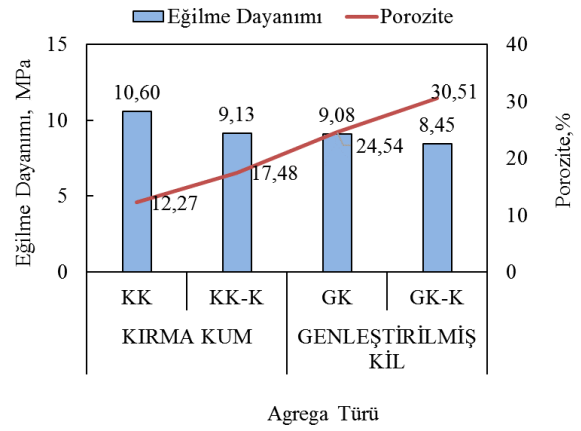
Kırma kum ve genleştirilmiş kil agregası kullanılarak hazırlanan keten lif ilavesi yapılmayan karışımlarda porozite değerleri sırası ile % 12,27 ve 17,67 keten lif ilavesi yapılan numunelerin porozite değerleri ise sırası ile % 17,48 ve 24,00 olarak saptanmıştır. En düşük porozite değeri kırma kum agregası ile hazırlanan keten lif ilavesi yapılmayan numunelerde % 12,27, en yüksek porozite değeri ise genleştirilmiş kil agregası kullanılarak keten lif ilavesi yapılan numunelerde % 24,00 (Şekil 5) olarak elde edilmiştir.



Şekil 5. Porozite Deney Sonuçları

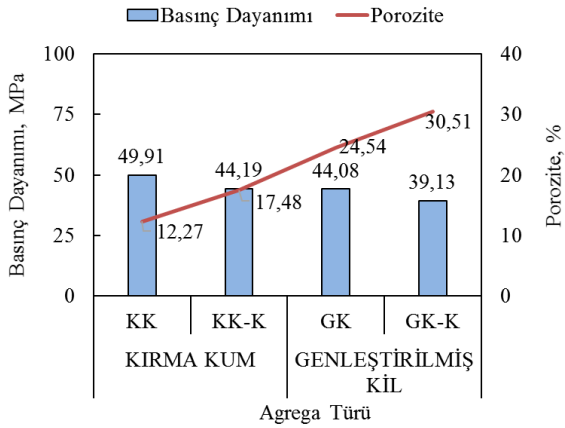
Kırma kum ve genleştirilmiş kil agregası kullanılarak hazırlanan keten lif ilavesi yapılmayan karışımlarda ultrases geçiş hızı değerleri sırası ile 4,07 ve 3,31 km/s, keten lif ilavesi yapılan numunelerin ultrases geçiş hızı değerleri ise sırası ile 3,80 ve 3,12 km/s olarak saptanmıştır. En düşük ultrases geçiş hızı değeri genleştirilmiş kil agregası ile hazırlanan keten lif ilavesi yapılan numunelerde 3,12 km/s, en yüksek ultrases geçiş hızı değeri ise kırma kum agregası kullanılarak keten lif ilavesi yapılmayan numunelerde 4,07 km/s (Şekil 6) olarak elde edilmiştir.

Kırma kum ve genleştirilmiş kil agregası kullanılarak hazırlanan keten lif ilavesi yapılmayan karışımlarda eğilme dayanım değerleri sırası ile 10,60 ve 9,80 MPa, keten lif ilavesi yapılan numunelerin eğilme dayanım değerleri ise sırası ile 9,13 ve 8,45 MPa olarak saptanmıştır. En düşük eğilme dayanım değeri genleştirilmiş kil agregası ile hazırlanan keten lif ilavesi yapılan numunelerde 8,45 MPa, en yüksek eğilme dayanım değeri ise kırma kum agregası kullanılarak keten lif ilavesi yapılmayan numunelerde 10,60 MPa (Şekil 7) olarak elde edilmiştir.



Şekil 7. Eğilme Dayanımı-Porozite Arasındaki İlişki

Kırma kum ve genleştirilmiş kil agregası kullanılarak hazırlanan keten lif ilavesi yapılmayan karışımlarda basınç dayanım değerleri sırası ile 49,91 ve 44,08 MPa, keten lif ilavesi yapılan numunelerin basınç dayanım değerleri ise sırası ile 44,19 ve 39,13 MPa olarak saptanmıştır. En düşük basınç dayanım değeri genleştirilmiş kil agregası ile hazırlanan keten lif ilavesi yapılan numunelerde 39,13 MPa, en yüksek basınç dayanım değeri ise kırma kum agregası kullanılarak keten lif ilavesi yapılmayan numunelerde 49,91 MPa (Şekil 8) olarak elde edilmiştir.



Şekil 8. Basınç Dayanımı-Porozite Arasındaki İlişki

#### IV. TARTIŞMA

Genleştirilmiş kil agregasının kısmi ikamesi ile hafif geopolimer harcın yoğunluğunda ve basınç dayanımında azalma olduğu ifade edilmiştir [18]. Genleştirilmiş kil agregası diğer hafif agregalarla karşılaştırıldığında büyük bir basınç dayanımına sahip olduğu vurgulanmıştır [19]. Hafif agregaların kullanımı ve çimento katkı malzemeleri (cam tozu ve silis dumanı) ile su azaltıcının birleştirilmesiyle 28 günlük hidratasyon sonrasında 19,8 MPa basınç dayanımına ulaşmak mümkün olduğu belirtilmiştir [20].

Agrega olarak genleştirilmiş kil kullanılarak yoğunluğu  $1.7 \text{ kg/m}^3$  ve basınç dayanımı 41.27 MPa olan numuneler üretilebileceği ifade edilmiştir. Bununla birlikte taşıyıcı hafif betonla yapı ağırlığı azaltılmış buna bağlı olarak da yapıda depremden dolayı oluşacak hasarın da azaltılabileceği ifade edilmiştir [10].

Genleştirilmiş kil agregası kullanılarak hazırlanan keten lif ilavesi yapılmayan karışımlarda kuru birim hacim ağırlık değeri  $1730 \text{ kg/m}^3$  olarak tespit edilmiştir.

Literatürdeki çalışmalara benzer şekilde genleştirilmiş kil agregası kullanılarak hazırlanan keten lif ilavesi yapılmayan karışımlarda basınç dayanım değerleri 44.08 MPa olarak elde edilmiştir.

Keten lif katkısının eğilme dayanımını olumsuz etkileyebildiği görülmüştür [21]. Buna paralel olarak bu çalışmada her iki agregada çeşitinde de karışıma keten lif ilave edilmesi eğilme ve basınç dayanım değerlerinde azalmalar tespit edilmiştir.

Literatürdeki çalışmaların bu çalışmadaki verilerin paralel olduğu görülmüştür.

#### V. SONUÇLAR

Bu çalışmada, keten liflerinin farklı agregalar kullanılarak hazırlanan harçların fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisine ilişkin sonuçlar aşağıda sunulmuştur:

- Keten lif ilavesi tüm harçlarda kuru birim hacim ağırlık ve ultrases geçiş hızı değerlerinde azalma, buna karşılık porozite ve su emme değerlerinde artış meydana getirmiştir.
- Kuru birim hacim ağırlığı azalan harçların buna bağlı olarak gözenek miktarının artması ile porozite ve su emme değerlerinin de daha yüksek çıktığı gözlemlenmiştir. Diğer taraftan harçların kuru birim hacim ağırlık değerlerinin azalması ile eğilme ve basınç dayanım değerlerinde azalmalar olduğu belirlenmiştir.
- Keten liflerin ilavesi ile kuru birim hacim ağırlık, su emme, porozite, ultrases geçiş hızı, eğilme ve basınç dayanım değerlerinde en fazla değişim kırma kum agregası kullanılarak hazırlanan numunelerde meydana gelmiştir.
- Porozite değeri yüksek olan genleştirilmiş kil agregası kullanılarak üretilen numunelerin kırma kum agregası kullanılarak üretilen numunelere kıyasla daha yüksek gözenekliliğe sahip olmasına bağlı olarak ultrases geçiş hızınının daha düşük olduğu saptanmıştır.
- Genleştirilmiş kil agregası kullanılarak üretilen numunelerin tamamında eğilme ve basınç dayanım değerleri kırma kum agregası kullanılarak üretilen numunelere kıyasla daha düşük çıktığı görülmüştür.
- Her iki agregada çeşitinde de karışıma keten lif ilave edilmesi eğilme ve basınç dayanım değerlerinde azalmalar tespit edilmiştir.

Keten liflerin farklı boyutları kullanılarak hazırlanan yalıtım harçlarının maksimum eğilme ve basınç dayanımı için optimum lif boyutları belirlenebilir.

## KAYNAKLAR

- [1] N. Mendes, C. P. Fernandes, P. C. Philippi, R. Lamberts. (2001). Moisture Content Influence On Thermal Conductivity Of Porous Building Materials, Seventh International Ibsa Conference, Rio De Janeiro, Brazil, August 13- 15.
- [2] F. Balo. (2017). Ekolojik Yalıtım Malzemesi Üretiminin Analitik Hiyerarşi Prosesi ile Değerlendirilmesi. *Politeknik Dergisi*, 20:733-742.
- [3] A. M. Neville, J. J. Brooks. (1987). *Concrete Technology*. Longman Group UK Limited, pp.346.
- [4] R. Demirboğa, İ. Özüng, R. Gül. (2001). Effects of expanded Perlite aggregate And Mineral Admixtures On The Compressive Strength Of Low-Density Concretes, *Cement and Concrete Research*, 31:1627-1632.
- [5] A. M. Rashad. (2018). Lightweight expanded clay aggregate as a building material – An overview, Volume 170, 10 May 2018, Pages 757-775. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.009>.
- [6] A. G. Devecioğlu, Y. Biçer. (2012). “Genleştirilmiş Kil Agregalı Betonların Isıl Özelliklerinin İncelenmesi”. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi*, 3(2), 75-81, Aralık.
- [7] ACI 213R-03. (2003). “Guide for structural lightweight-aggregate concrete. ACI Manual of Concrete Practice, Part 1: Materials and General Properties of Concrete”. *American Concrete Institute*, Michigan: Farmington Hills.
- [8] ASTM C330-05, (2012). Standard Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete.
- [9] ACI 301-05, (2005 ) Specifications for Structural Concrete, *American Concrete Institute*, Michigan: Farmington Hills.
- [10] S. Subaşı. (2009). Genleştirilmiş Kil Agregasi İle Taşıyıcı Hafif Beton Üretimi, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., Cilt: 24, No: 3, 559-567.
- [11] T. Y. Lo, W. C. Tang, H. Z. Cui. (2007). “The Effects of Aggregate Properties on Lightweight Concrete”. *Building and Environment*, 42, 3025–3029.
- [12] S. Subaşı, T. Kap. (2009). Genleştirilmiş Kil Agregalı Hafif Beton Kullanımının Yapı Davranışı ve Kaba Yapı Maliyetine Etkisi, *Technological Applied Sciences*, 2009, Volume: 4, Number: 1.
- [13] H. R. Kymäläinen, A. M. Sjöberg. (2008). “Flax and hemp fibres as raw materials for thermal insulations” *Building and Environment*, 43: 1261–1269.
- [14] TS EN 1008, (2013). Beton Karma Suyu, Beton-Karma Suyu-Numune Alma, Deneyler ve Beton Endüstrisindeki İşlemlerden Geri Kazanılan Su Dâhil, Suyun, Beton Karma Suyu Olarak Uygunluğunun Tayini Kuralları.
- [15] TS EN 1015-3, (2000). Kâğır harcı- Deney metotları- Bölüm 3: Taze harç kıvamının tayini (yayıma tablası ile).
- [16] TS EN 12504-4, (2012). Beton deneyleri - Bölüm 4: Ultrasonik atımlı dalga hızının tayini
- [17] TS EN 196-1, (2016). Çimento deney metotları - Bölüm 1: Dayanım tayini.
- [18] M. Aljanabi, A. Çevik, A. Niş, D. Bakbak, S. Kadhim. (2022). Residual mechanical performance of lightweight fiber-reinforced geopolymer mortar composites incorporating expanded clay after elevated temperatures, *Journal of Composite Materials*, Volume 56, Issue 11, <https://doi.org/10.1177/00219983221088902>.
- [19] A. Özgüven, L. Gündüz. (2012). Genleştirilmiş kil agrega üretimine etkili parametrelerin incelenmesi. *Cem. Kons. Kompostolar*. 34 :781–787. doi: 10.1016/j.cemconcomp.2012.02.007.
- [20] A. Augonis, E. Ivanauskas, V. Bocullo, A. Kantautas, D. Vaičiukynienė. (2022). The Influence of Expanded Glass and Expanded Clay on Lightweight Aggregate Shotcrete Properties, *Materials (Basel)*, 15, 1674. <https://doi.org/10.3390/ma15051674>.
- [21] Bozkurt, T. S. (2019). Tarihi Mekânlarda Kullanılan Sıva Yüzey Kaplamalarının Ses Yutma Katsayısının İncelenmesi ve Geliştirilmesi, (doktora tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi. İstanbul.