



## POLİMER BAĞLAYICILI HAFİF BETONLARIN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Ali Nadi KAPLAN<sup>1\*</sup>, Cengiz ÖZEL<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Polimer Beton, Hafif Beton, Pomza, Genleştirilmiş Perlit, Fiziksel Özellikler, Mekanik Özellikler.</i>	<p>Bu çalışmada, polimer bağlayıcı olarak vinilester reçine ve hafif agregata olarak pomza ile geliştirilmiş perlit agregalarının kullanıldığı polimer beton kompozitleri üretilmiştir. Beton karışımlarında kullanılan agregalar hacimce %0, %15, %30 ve %45 oranlarında belirlenmiş ve belirlenen karışım oranlarında üretilen polimer beton numuneleri üzerinde bir dizi deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda polimer beton numunelerinin teorik yoğunlukları ile görünür yoğunlukları karşılaştırılmış, boyuna dalga hızı deneyi yapılmıştır. Numunelerin mekanik özellikleri için eğilme ve basınç deneyleri yapılarak polimer betonların dayanımları belirlenmiştir. Mekanik ve fiziksel özelliklerin kullanılan agregata tipine ve oranına göre değiştiği ortaya çıkmıştır. Her iki agregalı polimer beton serileri incelendiğinde pomza kullanılarak üretilen numunelerin eğilme ve basınç dayanımlarının geliştirilmiş perlit kullanılarak üretilen numunelerden daha yüksek değerlerde olduğu görülmüştür. Çalışmada en yüksek dayanım değerlerini %30 pomza agregası kullanılarak üretilen polimer beton numuneleri sağlamıştır. Bu numunelerde eğilme dayanımı 44 MPa, basınç dayanımı 122 MPa'dır. Son olarak agregata oranının artışına bağlı olarak eğilme dayanımları pomzalı serilerde önce artıp sonra azalışa geçmişken, geliştirilmiş perlitli serilerde azalış göstermiştir. Basınç dayanımları ise her iki agregalı serilerde de önce artmış daha sonra azalışa geçmiştir.</p>

## INVESTIGATION OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF LIGHTWEIGHT CONCRETES WITH POLYMER BINDERS

Keywords	Abstract
<i>Polymer Concrete, Lightweight Concrete, Pumice, Expanded Perlite, Physical Properties, Mechanical Properties.</i>	<p>In this study, polymer concrete composites were produced using vinylester resin as polymer binder and pumice and expanded perlite aggregates as lightweight aggregate. Aggregates used in concrete mixtures were determined as 0%, 15%, 30% and 45% by volume. A series of experimental studies were carried out on polymer concrete samples produced at the determined mix ratios. In this context, the theoretical and apparent densities of the polymer concrete samples were compared and compressional wave velocity tests were performed. The strengths of polymer concretes were determined by performing flexural and compressive tests for the mechanical properties of the samples. Mechanical and physical properties were found to vary depending on the type and ratio of aggregate used. When the polymer concrete series with both aggregates were examined, it was observed that the flexural and compressive strengths of the samples produced using pumice were higher than the samples produced using expanded perlite. Polymer concrete samples produced using 30% pumice aggregate provided the highest strength values in this study. These samples had a flexural strength of 44 MPa and a compressive strength of 122 MPa. Finally, depending on the increase in aggregate ratio, the flexural strengths first increased and then decreased in the pumice series, while it decreased in the expanded perlite series. Compressive strengths first increased and then decreased in both aggregate series.</p>

\* İlgili yazar / Corresponding author: nadikaplan@isparta.edu.tr, +90-246-214-6781

**Alıntı / Cite**

Kaplan, A.N., Özel, C., (2023). Polimer Bağlayıcılı Hafif Betonların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(4), 1475-1485.

**Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)**

A. N. Kaplan, 0000-0002-0433-7386

C. Özel, 0000-0002-2715-1680

**Makale Süreci / Article Process**

**Başvuru Tarihi / Submission Date** 12.06.2023

**Revizyon Tarihi / Revision Date** 11.09.2023

**Kabul Tarihi / Accepted Date** 09.10.2023

**Yayın Tarihi / Published Date** 30.12.2023

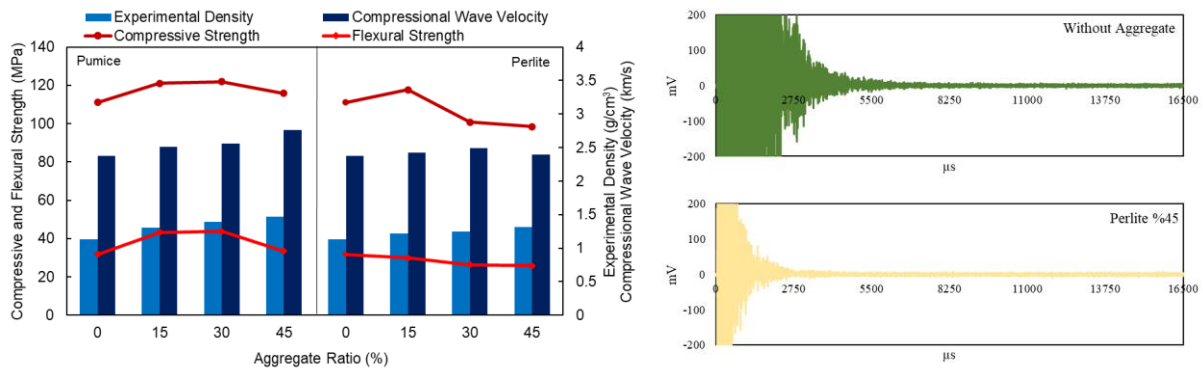
## INVESTIGATION OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF LIGHTWEIGHT CONCRETES WITH POLYMER BINDERS

Ali Nadi Kaplan<sup>1†</sup>, Cengiz ÖZEL<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

**Highlights**

- The physical and mechanical properties of lightweight concretes with polymer binders were determined.
- The experiments were carried out on seven different samples.
- The effects of different aggregate usage on the performance of polymer concretes were revealed.
- Aggregate ratio variation affected the experimental results.

**Graphical Abstract**

**Figure.** All experimental results of lightweight concretes with polymer binders.

**Purpose and Scope**

It has been observed that there are not enough studies on the use of lightweight aggregate materials in polymer concretes. For this reason, it is aimed to investigate the effects of the use of different lightweight aggregates at various rates on polymer concrete performance.

**Design/methodology/approach**

Experimental studies were carried out to determine the relationship of changing aggregate parameters to polymer concrete performance. With these experimental studies, the engineering properties of lightweight aggregate polymer concretes were determined.

**Findings**

As a result of the experimental analysis, it was concluded that lightweight aggregates could be used in polymer concretes. In addition, it was found that the use of pumice aggregate had a positive effect on mechanical properties compared to expanded perlite aggregate.

**Originality**

The results obtained from the study will shed light on future studies on lightweight concretes with polymer binders. In addition, the findings obtained from the study can also be used in the field of civil engineering.

<sup>†</sup> Corresponding author: nadikaplan@isparta.edu.tr, +90-246-214-6781

## 1. Giriş (Introduction)

Gelişen yaşam koşulları beraberinde yeni yapı malzemelerinin kullanımını kaçınılmaz hale getirmiştir. Bu açıdan günümüzde farklı amaçlar için kullanılan yapı malzemelerinin çeşitliliği geniş bir yelpazeye yayılmıştır. Kullanılan bu yapı malzemelerini daha da geliştirmek, üretim yöntemlerini ve teknik özelliklerini iyi belirlemekten geçmektedir.

Kompozit malzemeler yapı malzemeleri çeşitliliği içerisinde önemli bir yer tutmaktadır. Birbirinden farklı özelliklere sahip iki veya daha fazla malzemenin fiziksel olarak karıştırılması veya birleştirilmesi yoluyla üretilen, mevcut bileşenlerin tek başına sahip olmadığı daha üstün özellikli yeni bir malzeme olarak tanımlanmaktadır. Kısaca birden fazla malzemeyle kullanım amacı ve ihtiyaçlara uygun olarak yeni bir malzeme ortaya çıkarmaktır (Pişkin, 2010).

Çimento, su, agrega ve gerektiğinde katkı maddelerinin belirli şartlar ve oranlarda karıştırılmasıyla elde edilen geleneksel beton, inşaat endüstrisinde en yaygın olarak kullanılan kompozit yapı malzemesidir (Özel, 2007). Beton var olan birçok özelliğinden dolayı, inşaat mühendisliği alanında kullanılan en popüler malzemelerden biri olsa da düşük çekme ve eğilme mukavemetleri, zayıf dayanıklılık, yüksek gözeneklilik ve asidik ortamlara karşı savunmasızlık gibi eksikliklere de sahiptir (Toufigh vd., 2016).

Geleneksel betonlara alternatif sunması açısından polimerik malzemelerin betonda olumlu etkilere sahip olacağı düşüncesiyle son zamanlarda pek çok araştırma yapılmıştır (Şimşek ve Uygunoğlu, 2016).

Polimer betonlar, polimerlerin beton üretiminde kullanılan çimento bağlayıcısının tümü veya bir kısmı yerine kullanılması ile elde edilmektedir (Özden, 2010). Yani polimer beton, faz malzeme ile polimerin karıştırılıp, daha sonra katalizör ve sertleştirici eklenmesiyle polimerizasyon işleminin gerçekleşmesi sonucu, karışımın katılaşması ile elde edilen kompozit bir yapı malzemesidir (Baydar, 2016).

Polimer bağlayıcılı betonlar geleneksel betonlara kıyasla sağlamlık, esneklik, hafiflik, çevre şartlarına dayanıklılık, agresif kimyasallara direnç, darbe dayanımı, sertlik, ısıl genişleme katsayıları, yorulma, çatlama ve kırılma, çekme, eğilme dayanımları vb. özelliklerinden dolayı tercih edilmektedirler. Söz konusu bu özelliklerinden dolayı polimer betonlar çelik ve beton yüzeyler için inşaat ve onarım çalışmalarında yaygın olarak kullanılan bir yapı malzemesidir (Topsakal, 2013; Douba vd., 2017).

Polimer betonların yapısında en çok kullanılan matris malzemeler; epoksi, polyester, vinilester, fenolik ve silikon reçineli matrislerdir (Soykan vd., 2015). Polimer betonlarda matris malzemelerin yanı sıra faz malzeme olarak da agrega ve/veya fiber malzemeler kullanılabilir.

Betonlarda faz malzeme olarak kullanılacak olan agregalar birim hacim ağırlıklarına göre hafif ve ağır agrega olarak kategorize edilmektedir. Bu agregaların betonlarda kullanımını düşündüğümüz zaman çeşitli avantajlar sağlamakla birlikte birtakım olumsuzluklara da sebebiyet verebilmektedir (Gökçe vd., 2010).

Hafif agregalar, doğal ve yapay agrega olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Doğal hafif agregalar volkanik kayaların veya tortul taşların kırılmasıyla elde edilen agregalardır. Yapay hafif agregalar ise doğal taşların ısıl işlem görmesi sonucunda veya endüstriyel atıklar sonucunda elde edilen agregalardır. Pomza, volkanik tüf, volkanik cüruf gibi agregalar doğal hafif agregalara, genişletilmiş kil, genişletilmiş perlit, vermikülit gibi agregalar ise yapay hafif agregalara örnek verilmektedir (Chandra ve Berntsson, 2002; Yolcu, 2017; Sağlam, 2022).

Taşıdığı yüke oranla ağır bir malzeme olan betonun yapı üzerine etkidiği ölü yüklerini ve dolayısıyla deprem etkilerini azaltması, yapısal hafif betonun üretilmesiyle mümkün olmaktadır. Hafif yapı malzemeleri, binanın ölü yükünü azaltmasından dolayı, bina hafifletmekte, binanın taşıyıcı sistem elemanlarının kesitlerinde meydana gelen küçülme ise maliyetlerin önemli oranda azalmasına neden olmaktadır. Bu da işçilik ve zamandan tasarruf sağlaması nedenleriyle, özellikle çok katlı ve büyük açıklıklı yapılarda çevrenin daha az kirlenmesine neden olmaktadır. Tüm bunlara ek olarak hafif yapı malzemelerinin yüksek oranda su emme ve yüksek porozite değerleri handikap gibi görünse de hem ses hem de ısı ve yangın yalıtımında üstün özelliklerinin bulunması, enerji maliyetlerindeki artış ve yasal düzenlemelerin yalıtımı zorunlu hale getirmesiyle inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılmasının sebepleri olarak sıralanmaktadır. (Subaşı, 2009; Beycioğlu vd., 2010; Kozak ve Ünal, 2010; Davraz vd., 2011; Çelik vd., 2014; Kılınçarslan vd., 2018; Akyüncü, 2019; Gençten ve Gül, 2019; Fidan vd., 2020; Davraz vd., 2021; Kılıçaltan, 2021; Toprak, 2021; Yıldırım, 2021).

Sonuç olarak, polimer betonların günümüz teknolojisinde ve gelecek dönemlerde kullanımının inşaat mühendisliği açısından büyük bir öneme sahip olacağı aşikardır. Bu açıdan kompozit bir malzeme olan polimer

betonların kendine özgü mühendislik özelliklerin bilinmesi gerekmektedir. Bununla birlikte matris malzeme olarak kullanılan reçine türü ile faz malzemesi olarak kullanılan agregaların özellikleri ve bileşenlerin karışım oranları performansa etki etmektedir. Literatür incelendiğinde, hafif agrega malzemelerin polimer betonlarda kullanımı üzerine yeter düzeyde araştırma çalışmaları görülmemektedir.

Bu sebeple, bu çalışmada polimer bağlayıcı olarak vinilester reçine ile birlikte hafif agrega olarak pomza ve geliştirilmiş perlit agregaları kullanılarak üretilen polimer beton kompozitlerinin fiziksel ve mekanik özellikleri araştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Çalışma kapsamında üretilen polimer beton numuneleri üzerinde bir dizi deneysel çalışma yürütülmüştür. Bu kapsamda polimer betonların taze haldeki kıvamları göz önünde bulundurularak ve üretimde bir standardın sağlanması amacıyla, numunelerde kullanılan en büyük agrega tane boyutu 150 µm olacak şekilde optimum agrega oranları reçineye göre hacimce %0 - %15 - %30 - %45 olarak belirlenmiştir. Agregaların 150 µm altı boyuta getirilmesi süreçlerinde pomza agregası önce çeneli kırıcıda kırılmış sonra bilyeli değirmende öğütülerek eleme işlemine tabi tutulmuştur. Geliştirilmiş perlit agregası ise doğrudan öğütme işlemine alınmış ve sonrasında eleme işlemi ile boyutlandırılmıştır.

### 2.1. Malzemeler ve Özellikleri (Materials and Properties)

Polimer beton üretiminde bağlayıcı polimer malzeme olarak Poliya marka Polives 701-TA Bisfenol-A epoksi vinilester reçine kullanılmıştır. Vinilester reçine seçilmesindeki temel sebep yüksek kimyasal ve mekanik dayanımın yanı sıra gıda temasına da uygun olduğu için insan sağlığına olumsuz etkide bulunmamasıdır. Vinilester reçinenin teknik özellikleri ise Tablo 1’de gösterilmiştir.

**Tablo 1.** Vinilester reçinesinin fiziksel ve mekanik özellikleri (Physical and mechanical properties of vinilester resin)

Parametreler	Değer
Yoğunluk	1.044 g/cm <sup>3</sup>
Viskozite	600 – 800 cps
Monomer Oranı	%41 - %44
Çekme Dayanımı	80 MPa
Eğilme Dayanımı	160 MPa
Barkol Sertliği	35

Türkiye’nin değişik yörelerinde farklı karakteristik özelliklere sahip birçok pomza türü mevcuttur. Isparta Karakaya pomzasının feldspat, sanidin, amfibol ve piroksen gibi abrasif mineralleri daha fazla içerdiği ve daha gözenekli bir yapıya sahip olduğu ve bazik bir pomza olduğu bilinmektedir (Kılınc Aksay, 2016). Çalışmada kullanılan Isparta-Karakaya pomzası Isparta Belediyesi Bims Yapı Elemanları San. ve Tic. A.Ş. (ISBAŞ) bünyesinde bulunan ISBAŞ Bimsblok Fabrikasından temin edilmiştir. Polimer beton numuneleri üretiminde kullanılacak bir diğer hafif agrega olan geliştirilmiş perlit ise Pomza Export Madencilik San. ve Tic. A.Ş. İzmir ili Menderes ilçesi fabrikasından temin edilmiştir. Her iki agreganın da teknik özellikleri Tablo 2’de sunulmuştur.

**Tablo 2.** Hafif agregaların fiziksel ve kimyasal özellikleri (Physical and chemical properties of lightweight aggregates)

Bileşen	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	Özkütle (g/cm <sup>3</sup> )
Ağırlıkça Pomza	58.88	18.74	5.93	2.95	4.25	3.66	2.16	0.45	2.480
Yüzde (%) Geliştirilmiş Perlit	73	14	0.98	0.12	0.35	0.13	3.45	4.50	2.300

### 2.2. Deneysel Çalışma (Experimental Study)

Polimer betonların görünür yoğunluklarını belirlemek için üretilen her karışımdaki numunelerin kuru kütle, suya doygun kütle ve Arşimet terazisi ile sudaki kütleleri ölçülmüştür. Ölçüm TS EN 12390-7 standardındaki tel sepet metodu kullanılarak yapılmış, hesaplamalarda kullanılan denklem aşağıda gösterilmiştir.

$$\rho_{pc} = \rho_w \frac{M_0}{M_1 - M_2} \quad (1)$$

Burada;

- $\rho_{pc}$  : Polimer betonların görünür yoğunluğu  
 $\rho_w$  : Suyun ölçüm sıcaklığındaki yoğunluğu  
 $M_0$  : Numunenin kuru kütlesi  
 $M_1$  : Numunenin suya doymuş kütlesi  
 $M_2$  : Numunenin sudaki kütlesi (Arşimet terazisi ile ölçülen)

Eğilme dayanımı tayini TS EN 12390-5'e uygun olarak, her polimer beton serisi için 40x40x160 mm boyutlarında, 3'er adet üretilen beton örnekleri ile yapılmıştır. Gerçekleştirilen üç noktalı eğilme testinde eğilme dayanımı, numunelerden bulunan üç değerlerin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Eğilme dayanımını hesaplamada aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$f_{cf} = \frac{3 F_{cf} \cdot L}{2 b \cdot h^2} \quad (2)$$

Burada;

- $f_{cf}$  : Eğilme dayanımı, (MPa)  
 $F_{cf}$  : Eğilme kuvveti, (N)  
 $L$  : Mesnet silindirleri arasındaki açıklık, (mm)  
 $B$  : Numune eni, (mm)  
 $H$  : Numune yüksekliği, (mm)

Basınç dayanımı tayini TS EN 196-1'e uygun olarak her polimer beton serisi için 40x40x160 mm boyutlarındaki numunelerden eğilme deneyi sonucu iki eşit parçaya ayrılmış, 6 adet örnek ile yapılmıştır. Deney sonucunda bulunan altı adet dayanım değerinin ortalaması alınarak basınç dayanımı değeri hesaplanmıştır. Basınç dayanımları hesaplanırken aşağıdaki formülden yararlanılmıştır.

$$f_c = \frac{F_c}{A} \quad (3)$$

Burada;  $f_c$  basınç dayanımı,  $F_c$  basınç kuvveti,  $A$  ise deneyin uygulandığı numunenin kesit alanını göstermektedir.

Polimer beton numuneleri üzerine uygulanan eğilme ve basınç dayanımı deney görselleri Şekil 1'de gösterilmiştir.

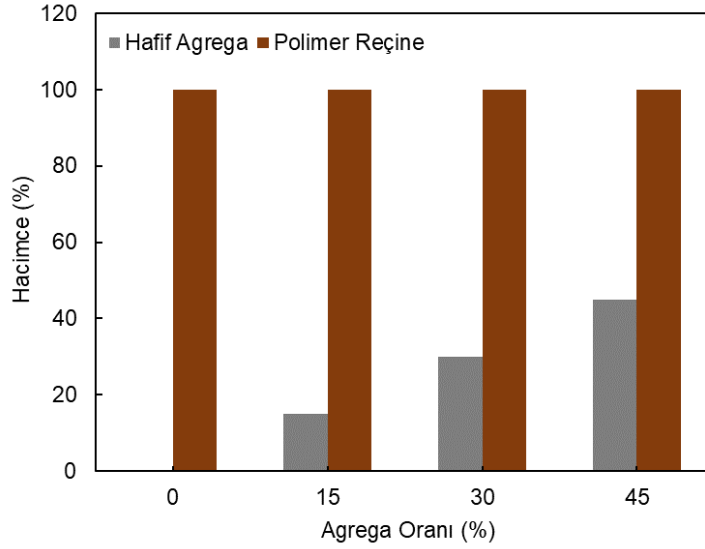


Şekil 1. Basınç ve eğilme dayanımı deneylerinden görseller (Images from compressive and flexural strength tests)

Boyuna dalga hızı ( $V_p$ ) tayini TS EN 12504-4'e göre 70x70x70 mm boyutlarında polimer beton örnekleri üzerinde yapılmıştır. Cihaz iki adet 55 kHz piyezometrik P dalga boyu ölçen proplara sahiptir. Cihaz tarafından üretilen sinyal, 200 V'lik bir genliğe ve 1  $\mu$ s'lik bir genişliğe sahiptir. Ölçümlere geçilmeden önce cihaz, kalibrasyon çubuğu kullanılarak kalibre edilmiştir. Doğru bir şekilde ölçüm yapabilmek için proplar ile test numunesi arasında tam temas sağlamak amacıyla jel kullanılmıştır. Cihazdan elde edilen boyuna dalga geçiş süresi mikro saniye olarak ölçülmüş ve ölçülen değerler, ölçümün alındığı mesafeye bölünerek boyuna dalga hızı değerleri hesaplanmıştır (Miturski vd., 2021; Viana vd., 2021).

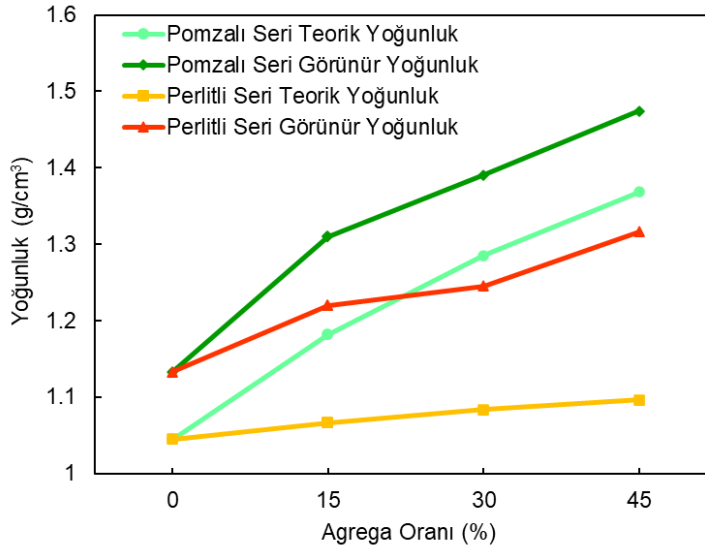
### 3. Araştırma Bulguları ve Tartışma (Research Findings and Discussion)

Laboratuvar deneylerinde kullanılan polimer beton numuneleri üretilirken optimum pomza ve genleştirilmiş perlit oranları vinilester reçineye göre hacimce %0 – %15 – %30 – %45 şeklinde belirlenmiştir. Polimer beton numunelerinin hacimce karışım oranları Şekil 2’de gösterilmektedir.



Şekil 2. Polimer beton numunelerinin hacimce karışım oranları (Mixing ratios of polymer concrete samples by volume)

Belirlenen hacimce karışım oranları agregat yoğunluklarının farklı olması sebebiyle her seri için ağırlıkça farklı oranlara karşılık gelmektedir. Bu nedenle üretilen tüm polimer beton örneklerinin yoğunlukları da birbirinden farklı olmaktadır. Şekil 3’te hem pomza hem de genleştirilmiş perlit agregalı polimer betonların teorik ve görünür yoğunlukları gösterilmektedir. Teorik yoğunluklar numune üretiminde kullanılan malzemelerin karışım oranlarına göre üretim öncesi ağırlıklarından hesaplanmışken, görünür yoğunluklar sertleşmiş beton numuneleri üzerinde Başlık 2.2’de anlatıldığı gibi Eşitlik (1)’den hesaplanmıştır.

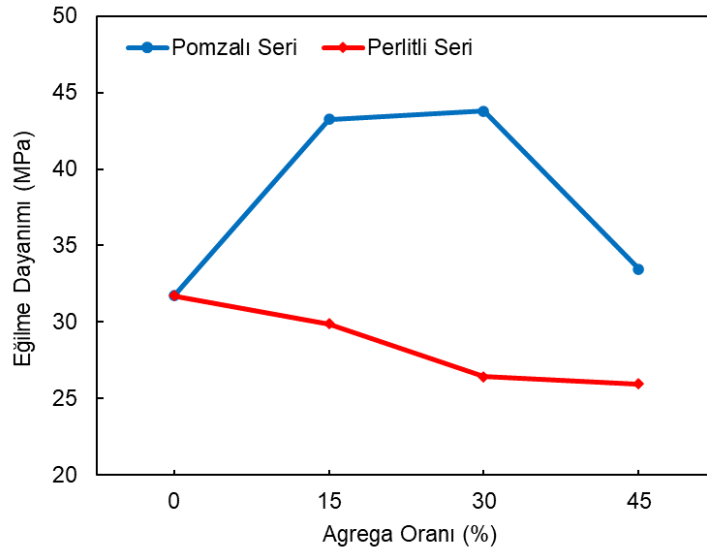


Şekil 3. Agregat tipine ve karışım oranlarına göre polimer betonların teorik ve görünür yoğunlukları (Theoretical and apparent densities of polymer concretes according to aggregate type and mix ratios)

Pomza agregasının özkütlesi genleştirilmiş perlit agregasının özkütlesinden büyük olduğu için, tüm polimer beton numunelerinde hem teorik hem deneysel yoğunlukları pomza agregalı serilerde daha büyük bulunmuştur. Agregaların karışım oranlarındaki artış tüm serilerde hem teorik hem de görünür yoğunlukları arttırmıştır. Tüm yoğunluk değerleri bir arada değerlendirildiğinde görünür ve teorik yoğunlukların birbirleri ile uyum içerisinde olduğu görülmüştür. Her iki seride de görünür yoğunluklar teorik yoğunluklardan büyük ölçülmüştür. Bu farklılıktaki temel sebep, teorik yoğunluğun bileşenlerin ayrı ayrı ağırlıklarından hesaplanması, görünür yoğunluğun ise kompozit bir malzeme halini alan polimer beton numunelerinin Arşimet terazisi ile daha hassas

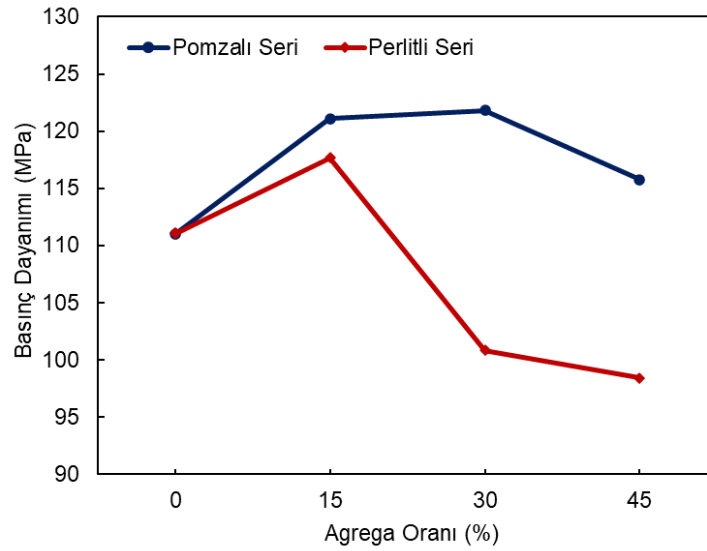
bir şekilde ölçülerek hesaplanmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca bu durum bir miktar rötre yapan numunelerin hacimsel değişimlerinden de kaynaklanmaktadır.

Üretilen polimer betonların, agrega oranı artışına göre eğilme ve basınç dayanımlarındaki değişiklikler Şekil 4 ve Şekil 5'te gösterilmiştir.



**Şekil 4.** Polimer bağlayıcılı hafif betonların eğilme dayanımları (Flexural strength of lightweight concretes with polymer binders)

Agregasız polimer betonda eğilme mukavemeti 31.71 MPa olarak ölçülmüştür. Hafif agregalı serilerde en yüksek eğilme dayanımı %30 pomza içeren numunede 43.78 MPa olarak, en düşük eğilme dayanımı ise %45 genleştirilmiş perlit içeren numunede 25.93 MPa olarak elde edilmiştir.



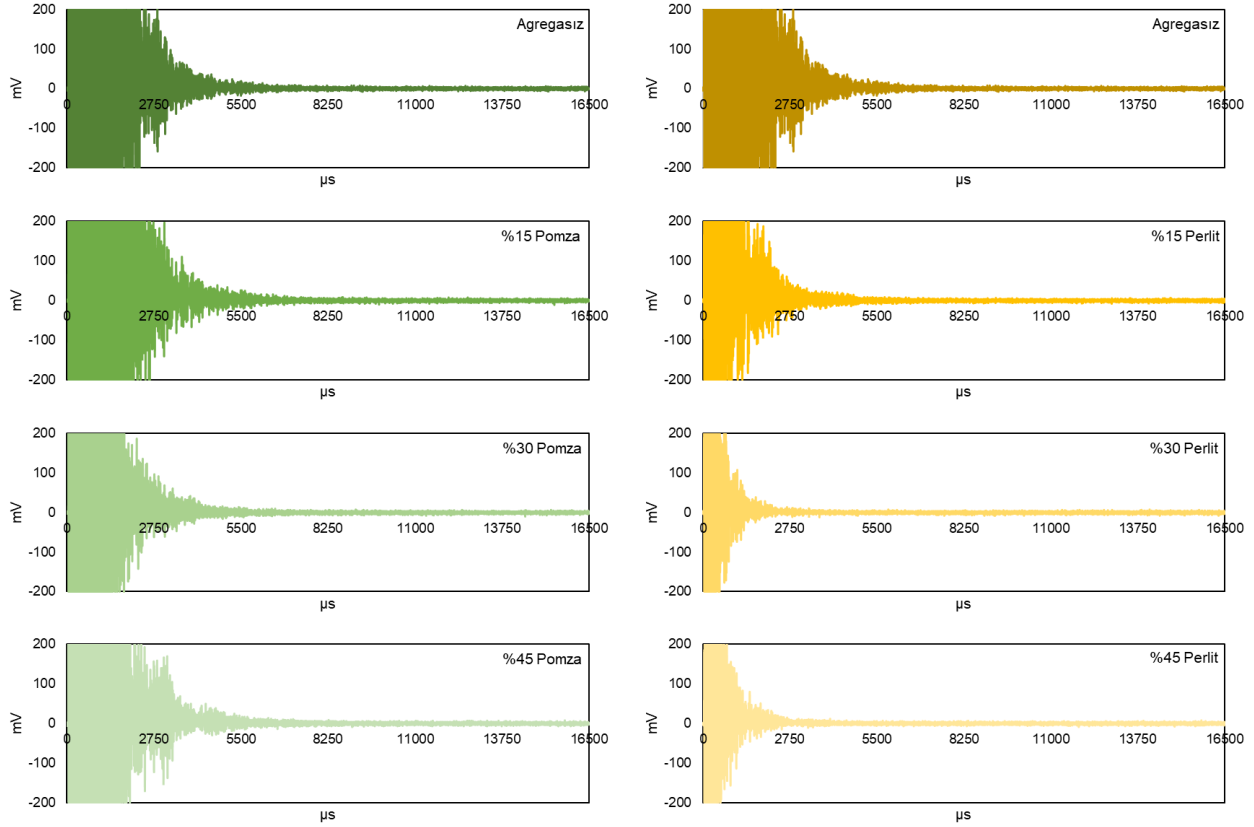
**Şekil 5.** Polimer bağlayıcılı hafif betonların basınç dayanımları (Compressive strength of lightweight concretes with polymer binders)

Basınç dayanımları agregasız numune için 111.01 MPa olarak ölçülmüştür. Hafif agregalar kullanılarak üretilen polimer betonlarda ise en yüksek basınç dayanımı değeri eğilme dayanımında olduğu gibi %30 pomza içeren numunede 121.80 MPa olarak, en düşük basınç dayanımı ise yine %45 genleştirilmiş perlit içeren numunede 98.42 MPa olarak elde edilmiştir.

Katılarda boyuna dalgaların hızı, atomlar arasındaki etkileşim kuvvetlerine ve dalga hareketini ileten atomların kütlelerine bağlı olarak değişmektedir. Kompozit malzemeleri oluşturan matris ve faz malzemelerin tipine, oranlarına, yoğunluklarına ve kompozitin kürlenme durumlarına göre ortamdaki dalga yayılma hızının değişmesi de bu sebeptir. Ayrıca kompozit malzeme içerisindeki bağlayıcı miktarı arttıkça boyuna dalga hızı da

artmaktadır. Bu değişim malzemelerin arasındaki bağlanmadan kaynaklanmaktadır. Sünek malzemelerde ise dalganın hareket yolu boyunca daha yumuşak bölge oluşacağı için dalganın enerjisi sürekli azalmaktadır (Phillipidis ve Aggelis, 2005; Miturski vd., 2021).

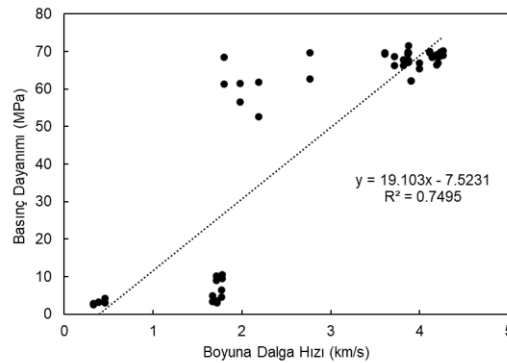
Polimer betonların boyuna dalga hızı sonuçları cihazın numuneler üzerine gönderdiği sinyalin genlik ve genişlik değerlerine göre grafiğe aktarılmış ve Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Boyuna dalgalarının numunelere göre değişimi (Variation of compressional waves according to samples)

Dayanım azaldıkça boyuna dalgalarının gecikmesi artar ve genlikler azalır. Bu durum agregasız örnek ve %45 agregalı örnekler kıyaslandığında oldukça belirgindir. Ayrıca boyuna dalga hızında gözlenen değişiklikler, mikro çatlakların ve boşluk oranlarının varlığından kaynaklanan beton gözenekliliğinin artması ve dolayısıyla sinyal zayıflamasından kaynaklanmaktadır. Agregasız oranındaki artış genellikle dalga hızında azalma meydana getirmektedir. Bu azalmaya dalgaların yayılma yolunda artan ara yüzey sayısından sebep olmaktadır.

Beton basınç dayanımı ile ultrasonik ses geçiş hızı arasında bir bağlantı olmasına karşın bu bağlantı tek bir korelasyondan dolayı olmamaktadır. Korelasyon beton karışım özelliklerine (bağlayıcı tipi, agregasız tipi, karışım oranları vs.) göre değişmektedir (Zebari vd., 2016). Şekil 7'de tüm polimer bağlayıcılı hafif betonların basınç dayanımları ve boyuna dalga hızları arasındaki ilişki gösterilmiştir.

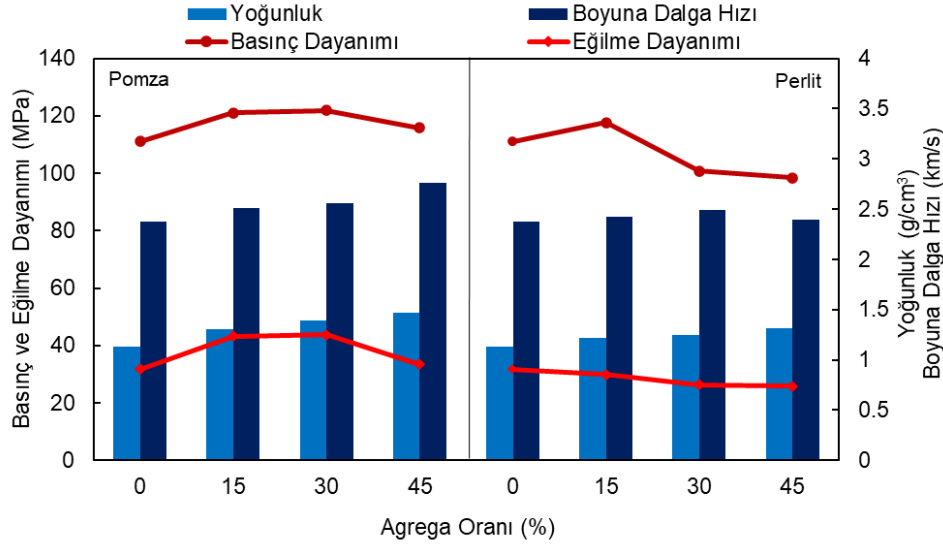


Şekil 7. Polimer bağlayıcılı hafif betonların basınç dayanımı ve boyuna dalga hızı ilişkisi (Relationship between compressive strength and compressional wave velocity of lightweight concrete with polymer binder)



Şekil 7’de görüldüğü gibi tüm numuneler üzerinde yapılan basınç dayanımı ve boyuna dalga hızı deneyleri sonucu ortaya çıkan ilişkiler grafik üzerinde gösterilmiştir. Bu ilişkinin önemi regresyon katsayısı ( $R^2$ ) ile doğrulanmaktadır. Üretilen hafif agregalı polimer betonların basınç dayanımları ile boyuna dalga hızı arasındaki ilişkide  $R^2=0.7495$  olarak elde edilmiştir.  $R^2$  değerinin 1’e çok yaklaşmamasının nedeninin, bazı numunelerin üretim sürecindeki güçlüklerle beraber ortaya çıkan problemlerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Şekil 8’de ise polimer betonlar üzerinde uygulanan tüm deneysel çalışmalar tek bir grafik üzerinde gösterilerek mekanik özellikler ile fiziksel özellikler arasındaki ilişkiler ortaya konulmuştur.



**Şekil 8.** Polimer bağlayıcılı hafif betonlar üzerinde gerçekleştirilen tüm deneysel çalışmaların birbirleri ile ilişkisi (The relationship between all experimental studies carried out on lightweight concretes with polymer binders)

Tüm numuneler göz önüne alındığında pomza kullanılarak üretilen polimer beton numunelerinin tüm mühendislik özellikleri geliştirilmiş perlit kullanılarak üretilen numunelerden daha yüksek çıkmıştır. Pomza agregasının %30, geliştirilmiş perlit agregasının ise %15 oranı basınç dayanımı için eşik değeri oluşturmuştur. Özellikle geliştirilmiş perlit kullanılarak üretilen serilerde eşik değerini aşılmasıyla basınç dayanım değerleri belirgin biçimde düşmektedir.

#### 4. Sonuçlar ve Öneriler (Results and Recommendations)

Pomza ve geliştirilmiş perlit hafif agregaları kullanılarak üretilen vinilester reçineli polimer beton kompozitlerinin mühendislik özelliklerinin araştırılması amacıyla yapılan çalışmalar neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

- Agregasyon oranı artışına bağlı olarak polimer betonların yoğunlukları artmıştır. Agregaların aralarındaki yoğunluk farklılığı nedeniyle pomza agregası kullanılarak üretilen polimer beton numunelerinin yoğunlukları geliştirilmiş perlit agregası kullanılarak üretilen numunelerden daha yüksek bulunmuştur.
- Hafif agregalar kullanılarak üretilen polimer beton numunelerinde en yüksek eğilme dayanımları pomza içeren örneklerden alınmıştır. Bu kapsamda %30 pomza içeren numunede eğilme dayanımı 43.78 MPa olarak en yüksek değeri almışken, en düşük eğilme dayanımı ise %45 geliştirilmiş perlit içeren numunede 25.93 MPa olarak elde edilmiştir. Agregasyon kullanılmadan üretilen numune ise 31.71 MPa dayanım değerine sahiptir.
- Basınç dayanımı sonuçları agregasyon oranının %15’ten %45’e artması durumunda önce bir miktar artış ve daha sonra azalış göstermiştir. Agregasız örnekte 111.01 MPa olarak bulunan basınç dayanımı en yüksek %30 pomza içeren örnekte 121.80 MPa olarak elde edilmiştir. Ayrıca geliştirilmiş perlit agregası kullanılarak üretilen örneklerde de en yüksek dayanım değeri %15 geliştirilmiş perlitli örnekte 117.68 MPa olarak elde edilmiştir.

- Agregası türleri kendi aralarında karşılaştırıldığında pomzalı polimer betonlarda geliştirilmiş perlitli polimer betonlara göre daha yüksek boyuna dalga hızları ölçüldüğü görülmüştür. Bu durum dayanım değerleri ile de örtüşmektedir. Dayanım azaldıkça boyuna dalgaların gecikmesi artmış ve genlik değerleri azalmıştır. Agregası kullanılmadan üretilen örnek, %45 agregalı örnekler ile kıyaslandığında genlik ve genişlik değerlerinin oldukça belirgin olduğu görülmektedir.
- Tüm deneysel çalışmalarda pomza agregası kullanılarak üretilen numuneler geliştirilmiş perlit agregası kullanılarak üretilen numunelerden daha performanslı sonuçlar vermiştir. Bu durumun üretim aşamasında pomzanın daha kararlı bir yapıda olması, üretim ve işlenebilirlik açısından daha iyi özellikler göstermesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.
- TS EN 206+A2 Standardına göre hafif beton yoğunluk sınıfları Tablo 3'te gösterilmiştir.

**Tablo 3.** Hafif betonun yoğunluğa göre sınıflandırılması (Classification of lightweight concrete by density)

Yoğunluk Sınıfı	D 1.0	D 1.2	D 1.4	D 1.6	D 1.8	D 2.0
Yoğunluk	≥ 800	> 1000	> 1200	> 1400	> 1600	> 1800
Aralığı	ve	ve	ve	ve	ve	ve
(kg/m <sup>3</sup> )	≤ 1000	≤ 1200	≤ 1400	≤ 1600	≤ 1800	≤ 2000

Tablo 3'teki yoğunluk sınıflarına göre, üretilen agregasız polimer beton numuneleri yaklaşık 1100 kg/m<sup>3</sup> yoğunluk ile D 1.2 sınıfında kendine yer bulmuştur. Geliştirilmiş perlit agregalı numuneler ise yaklaşık 1200 - 1300 kg/m<sup>3</sup> aralığındaki yoğunluklarıyla D 1.4 sınıfına ait olmaktadır. Son olarak pomza kullanılarak üretilen polimer beton numuneleri de 1300 - 1500 kg/m<sup>3</sup> aralığındaki yoğunluklarıyla D 1.4 ve D 1.6 yoğunluk sınıflarına karşılık gelmiştir. Ayrıca üretilen polimer betonların basınç dayanım değerleri, boyut etkisi ile birlikte düşünüldüğünde LC 70/77 - LC 80/88 hafif beton dayanım sınıflarına karşılık gelmektedir. Bu durum geleneksel bağlayıcı betonlara göre polimer bağlayıcı hafif betonların benzer yoğunluklarda fiziksel ve mekanik özellikler açısından sağladığı avantajları ortaya koymaktadır.

- Hafif agregalar kullanılarak üretilen polimer betonların mühendislik özelliklerinin belirlenmesi açısından farklı agregası türleri ve farklı polimer reçine çeşitleri ile yeni çalışmalar yapılması önerilmektedir.
- Son olarak hafif agregaların üstün yalıtım kabiliyetleri olması sebebiyle hafif agregalar kullanılarak üretilen polimer betonların ses, ısı ve yangın yalıtım malzemesi olarak kullanılabilirliklerinin de araştırılması gerektiği önerilmiştir.

### Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

### Kaynaklar (References)

- Akyüncü, V., 2019. Pomza Agregalı Hafif Beton Blokların Mekanik Özelliklerinin ve Yangın Etkisi Altındaki Davranışının İncelenmesi. Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 8, (1), 147-157.
- Baydar, U., 2016. Polimer Betonların Yüzey Yapışma Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Beycioğlu, A., Başyigit, C., Kılınçarslan, Ş., 2010. Pomza Agregalı Hafif Beton Özelliklerine Silis Dumanının Etkisi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 14, (2), 200-205.
- Chandra, S., Berntsson, L., 2002. Lightweight Aggregate Concrete: Science, Technology, and Applications. William Andrew Applied Science Publishers.
- Çelik, A.G., Kılıç, A.M., Akkurt, F., 2014. Yapı Malzemesi Üretiminde Geliştirilmiş Perlit Agregası Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 29, (3), 451-458.
- Davraz, M., Gündüz, L., Başpınar, E., 2011. Lightweight Aggregated Foam Plaster for Thermal Insulation in Buildings. Journal of Engineering Science and Design, 1, (3), 150-155.
- Davraz, M., Koru, M., Yanardağ, B., 2021. Kalsiyum Alüminat Çimentolu Hafif Betonun Fiziko-Mekanik ve Termal Özelliklerinin Araştırılması, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9, (1), 217-229.
- Douba, A., Genedy, M., Matteo, E.N., Kandil, U.F., Stormont, J., Reda Taha, M.M., 2017. The Significance of Nanoparticles on Bond Strength of Polymer Concrete to Steel. International Journal of Adhesion and Adhesives, 74, 77-85.
- Fidan, Ş., Oktay, H., Polat, S., 2020. Hafif Yapı Malzemelerinin Isıl İletkenlik Özelliklerinin Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Tahmin Edilmesi. Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi, 10, (1), 28-41.
- Geçten, O., Gül, R., 2019. Hafif ve Normal Agregalı Betonlarda Atmosferik Kürün Su Emme, Rötme ve Isı İletkenliği Üzerine Etkileri. TÜBAV Bilim Dergisi, 12, (3), 20-31.

- Gökçe, H.S., Şimşek, O., Durmuş, G., Demir, İ., 2010. Ham Perlit Agregalı Hafif Beton Özelliklerine Alternatif Genleştirilmiş Perlit Kullanımının Etkisi. *Politeknik Dergisi*, 13, (2), 159-163.
- Kılıçtan, S., Demir, U., 2021. Hafif Blok Üretiminde Çanakale Ayvıcık Volkanik Tüfünün Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 12, (5), 821-828.
- Kılınc Aksay, E., Akar, A., Cöcen, İ., 2016. Pomza Cevherinin Hazırlanması ve Zenginleştirilmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16, 384-390.
- Kılıncarslan, S., Davraz, M., Akça, M., 2018. Pomza Agregalı Köpük Betonların Özelliklerinin Araştırılması. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6, (1), 148-153.
- Kozak, M., Ünal, O., 2010. Hafif Agregalı Blokların Özelliklerinin Araştırılması. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6, (2), 17-30.
- Miturski, M., Sas, W., Radzevicius, A., Šadzevicius, R., Skominas, R., Stelmaszczyk, M., Głuchowski, A., 2021. Effect of Dispersed Reinforcement on Ultrasonic Pulse Velocity in Stabilized Soil. *Materials*, 14, (22), 6951, 1-18.
- Özden, Ç.A., 2010. Polimer Betonların Donma - Çözülme Etkisine Dayanıklılığı. Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Özel, C., 2007. Katkılı Betonların Reolojik Özelliklerinin Beton Deney Yöntemlerine Göre Belirlenmesi. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Phillipidis, T.P., Aggelis, D.G., 2005. Experimental Study of Wave Dispersion and Attenuation in Concrete, *Ultrasonics*, 43, (7), 584-595.
- Pişkin, A., 2010. Polyester Polimer Beton Üretiminde Cam Tozu Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Sağlam, R.N., Açıkgenç Ulaş, M., Alyamaç, K.E., 2022. Hafif Beton Üretimi İçin Gerekli Olan Hafif Agregası Miktarının Yapay Sinir Ağı ile Tahmin Edilmesi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 34, (2), 889-898.
- Soykan, O., Öcal, C., Özel, C., Eren, A., Çelik, O., 2015. Deprem Sonrası Betonarme Elemanların Polimer Beton ile Onarım ve Güçlendirilmesi. *Uluslararası Burdur Deprem ve Çevre Sempozyumu*, 227-232.
- Subaşı, S., 2009. Genleştirilmiş Kil Agregası ile Taşıyıcı Hafif Beton Üretimi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 24, (3), 559-567.
- Şimşek, B., Uygunoğlu, T., 2016. Multi-Response Optimization of Polymer Blended Concrete: A TOPSIS Based Taguchi Application. *Construction and Building Materials*, 117, 251-262.
- Toprak, M.U., Mercan, C., 2021. Kütahya Bölgesi Kırmızı Topraklarından Hızlı Sinterleme Yöntemi ile Hafif Agregası Üretimi. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8, (2), 523-530.
- Topsakal, A., 2013. Polimer Betonların Bazı Durabilite Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Toufigh, V., Hosseinali, M., Shirkhorshidi, S.M., 2016. Experimental Study and Constitutive Modeling of Polymer Concrete's Behavior in Compression. *Construction and Building Materials*, 112, 183-190.
- TS EN 12390-5, 2019. Beton - Sertleşmiş Beton Deneylemleri - Bölüm 5: Deney Numunelerinin Eğilme Dayanımının Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12390-7, 2019. Beton - Sertleşmiş Beton Deneylemleri - Bölüm 7: Sertleşmiş Betonun Yoğunluğunun Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12504-4, 2012. Beton Deneylemleri - Bölüm 4: Ultrasonik Atımlı Dalga Hızının Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 196-1, 2016. Çimento Deney Metotları - Bölüm 1: Dayanım Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 206+A2, 2021. Beton - Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Ünal, O., Uygunoğlu, T., 2007. Diatomit Hafif Beton Üretiminde Kullanılması. *İMO Teknik Dergi*, 18, (86), 4025 - 4034.
- Viana, A.C.C., Moraes, P.D., Padaratz, I.J., 2022. Ultrasonic Wave Propagation in Thermally Treated Concrete up to 400 °C. *IBRACON Structures and Materials Journal*, 15, (3), 1-16.
- Yıldırım, K., Sümer, M., Subaşı S., 2018. Hafif Beton Üretiminde Granüle Edilmiş Fındık Kabuğunun Kullanılabilirliğinin Araştırılması. *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 5, (2), 501-511.
- Yolcu, C., Girgin, Z.C., 2017. Dünyada Yapay Hafif Agregalı Yapısal Beton Uygulamaları ve Doğal Pomza Agregasının Kullanılabilirliği. *Aurum Mühendislik Sistemleri ve Mimarlık Dergisi*, 1, (2), 59-67.
- Zebari, Z., Bedirhanoglu, İ., Aydın, E., 2016. Beton basınç Dayanımının Ultrasonik Ses Dalgası Yayılma Hızı ile Tahmin Edilmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 8, (1), 43-52.