

# GENLEŞTİRİLMİŞ KİL AGREGASI İLE TAŞIYICI HAFİF BETON ÜRETİMİ

**Serkan SUBAŞI**

Yapı Eğitimi Bölümü, Teknik Eğitim Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce  
[serkansubasi@duzce.edu.tr](mailto:serkansubasi@duzce.edu.tr)

(Geliş/Received: 15.01.2009 ; Kabul/Accepted: 15.05.2009)

## ÖZET

Bu araştırmada genişletilmiş kil agregası ile farklı çimento dozajlarında taşıyıcı hafif beton üretim olanakları ve betonun mekanik ve fiziksel özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla genişletilmiş kil agregası ve doğal kumun kullanıldığı beton karışımları dizayn edilmiştir. Karışımlarda 0-2, 2-4 ve 4-8 mm boyutlarında genişletilmiş kil agregası ve 0-2 mm boyutlarında doğal kum kullanılmıştır. Çimento dozajı 350, 400, 450 kg/m<sup>3</sup> olan üç farklı hafif beton üretilmiştir. Hazırlanan taze beton karışımlarında slump ve ve-be deneyi, sertleşmiş beton numuneleri üzerinde ise beton yoğunluğu, görünür boşluk oranı, basınç dayanımı yarmada çekme dayanımı ve ultrases geçiş hızı deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Sonuç olarak, genişletilmiş kil agregası ile 1,7 kg/m<sup>3</sup> gibi düşük bir yoğunluğa sahip basınç dayanımı 41,27 MPa olan taşıyıcı hafif beton elde etmenin mümkün olduğu belirlenmiştir. Üretimi gerçekleştirilen hafif beton karışımlarında 450 kg/m<sup>3</sup> çimento dozlu betonların en yüksek basınç ve yarmada çekme dayanımı değerlerine sahip olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Genleştirilmiş kil agregası, hafif beton, çimento, dayanım.

## PRODUCTION OF STRUCTURAL LIGHTWEIGHT CONCRETE WITH EXPANDED CLAY AGGREGATE

### ABSTRACT

In this study, the manufacturing possibility of the high strength lightweight concrete having different amount of the cement by using expanded clay aggregate and its physical and mechanical properties were investigated. For this purpose, concrete mixtures used expanded clay aggregate and natural sand was designed. 0-2, 2-4 and 4-8 mm expanded clay aggregate and 0-2 mm natural sand were used in the concrete mixtures. Three different lightweight concrete having 350, 400 and 450 kg/m<sup>3</sup> amount of the cement were produced. Slump and ve-be tests were performed on the fresh concrete samples and the unit weight, porosity, compressive strength, split tensile strength and ultrasonic pulse velocity tests were performed on the hardened concrete specimens.

As a result, it is seen that production of the structural lightweight concrete having 1,7 kg/m<sup>3</sup> unit weight and 41,27 MPa compressive strength could be possible. Besides the maximum compressive strength and split tensile strength values were obtained from the concrete mixture having 450 kg/m<sup>3</sup> cement dosage.

**Keywords:** Expanded clay aggregate, lightweight concrete, cement, strength.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Özellikle ısı yalıtımı ve birim hacim ağırlığı bakımından normal betona nazaran oldukça önemli üstünlüklere sahip olan hafif beton, gittikçe yükselen bir eğilimle kullanım alanı bulmaya başlamıştır [1-3].

Betonarme yapılarda önemli sorun olarak görülen yapı ağırlığının azaltılabilmesi için günümüze kadar çeşitli malzemeler kullanılmıştır. Bu malzemelerde hafifliğin temel aranılan özellik olmasının yanında, dayanım, yüksek sıcaklıklara karşı direnç, yüksek ısı yalıtımı gibi özelliklerin de elde edilmesi tercih

edilmiştir. Hafif ve ısı yalıtımı özellikleri iyi olan malzemelerin kullanılması giderek yaygınlaşmaktadır [4,5]. Normal ağırlıklı beton inşaat sektöründe en yaygın olarak kullanılan taşıyıcı malzemedir. Çok iyi bir taşıyıcı malzeme olmasına karşın birim ağırlığı yüksektir. Bu nedenle yapılarda zati ağırlıklar çok yüksek boyutlara ulaşmaktadır. Normal ağırlıklı betonun birim ağırlığının azaltılmasıyla, yapı veya yapı elemanının ağırlığını azaltarak, ekonomi ve emniyet avantajları sağlamak olanaklıdır [6-8].

Pomza taşı, volkanik tüf ve volkanik cüruf ülkemizde yaygın olarak kullanılan hafif agregalardır. Özellikle pomza taşının, Orta ve Doğu Anadolu'da oldukça büyük rezervleri olduğu bilinmektedir [9,10]. Ancak doğal hafif agregalarla taşıyıcı hafif beton üretimi yüksek oranda çimento kullanımı gerektirmektedir. Bu durum maliyet artışına ve betonda segregasyon problemlerine neden olmaktadır [11]. Daha az çimento miktarı ile daha yüksek dayanımlı beton üretimine imkân sağlayan yapay agregaların üretimi ülkemizde henüz yapılamamaktadır. Genleştirilmiş kil agregası (GKA) birçok ülkede üretilmekte ve yapay agrega olarak kullanılmaktadır. GKA'nın dayanımı pomza, volkanik tüf ve cüruf gibi doğal agregalara göre oldukça yüksektir [8,12].

Isıtıldığında gaz kabarcıklarıyla dolu bir kütle oluşturan killere genleşen kil adı verilir. Genleştirilmiş killer hafif yapı malzemelerinin basınç mukavemeti en yüksek olanıdır. Bu killer pişme sırasında önemli ölçüde hacim artışı gösterirler. Genleşen killerin 1000-1300°C'de pişirilmesi ile oluşan granüller, poroz seramik ürünleri olup homojen, kapalı ve küçük boşluklar halinde hücreler ihtiva ederler ve sinterleşmiş sert bir kabuk yapısına sahiptirler. Genleştirilmiş kilin en önemli özellikleri hafif olması, yüksek dayanımlı ve ısı izolasyonu sağlaması olarak sıralanabilir [13]. GKA kullanımı ile yapı ağırlığı azaldığından yapılaraya etki eden deprem kuvvetleri de azalmaktadır [8,14].

Bu çalışmada GKA kullanılarak elde edilen farklı çimento dozajlarına sahip yüksek dayanımlı genleştirilmiş kil agregalı beton üretimi gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan beton karışımlarına ait çeşitli mekanik ve fiziksel özellikler belirlenmiştir.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

### 2.1. Materyal (Material)

Çalışmada kullanılan GKA, Almanya, Liapor firmasından temin edilmiştir. GKA, 0-2, 2-4 ve 4-8 mm çapındaki eleklerden elenerek sınıflandırılmıştır. Ayrıca karışım içerisinde 0-2 mm dane çapında dere kumu kullanılmıştır. Beton karışımlarında kullanılan genleştirilmiş kil agregasına ait fiziksel özellikler Çizelge 1'de, GKA'ya ait resim ise Şekil 1'de verilmiştir.



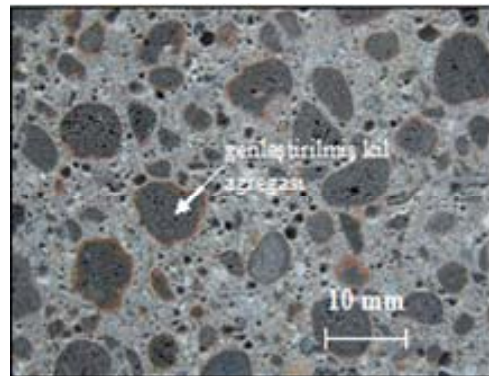
**Şekil 1.** Beton karışımlarında kullanılan 4-8 mm dane çapındaki GKA (4-8 mm expanded clay aggregate used in the concrete mixtures)

Bağlayıcı olarak CEM I 42,5 R tipi çimento kullanılmıştır. Çimentoya ait kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikler Çizelge 2'de verilmiştir. Karışım suyu olarak, Düzce şehir içme suyu şebekesinden sağlanan su kullanılmıştır. Karışımlarda, istenilen işlenebilirliği sağlamak amacıyla İksa firmasına ait İksament MR-25 akışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır.

### 2.2. Yöntem (Method)

#### 2.2.1. Hafif beton karışımının hazırlanması ve dökümü (Preparation and casting of the lightweight concrete mixtures)

Beton karışımlarında 0-2, 2-4 ve 4-8 mm dane çapındaki genleştirilmiş kil agregası ve toplam agrega hacminin %20 si oranında 0-2 mm dane çapındaki dere kumu kullanılmıştır. 350, 400 ve 450 kg/m<sup>3</sup> çimento dozlu olacak şekilde 3 farklı beton karışımı hazırlanmıştır. Karışımlara çimento ağırlığının %1,2'si oranında akışkanlaştırıcı katılmıştır. Karışımın Su/Çimento (S/Ç) oranı 0,45'dir. Hafif beton karışım oranları Çizelge 3'te verilmiştir. Hazırlanan beton karışımları 15x15x15 cm ebadında küp numuneler içerisine her bir karışım grubu için 7 adet dökülmüştür. Numuneler 28 gün kür edildikten sonra deneysel çalışmalara tabi tutulmuştur. Üretimi gerçekleştirilen genleştirilmiş kil agregalı betona (GKB) ait kesit görünümü Şekil 2'de verilmiştir.



**Şekil 2.** Üretimi gerçekleştirilen genleştirilmiş kil agregalı betona ait kesit görünümü (Cross section image of produced expanded clay aggregate lightweight concrete)

**Çizelge 1.** Deneylerde kullanılan genleştirilmiş kil agregasının fiziksel özellikleri (Physical properties of the expanded clay aggregate used in the experiments)

Agrega Boyutu (mm)	Etiv Kurusu Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	DYK Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Su Emme Oranı (%)	Gevşek Birim Hacim Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	Sıkışık Birim Hacim Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	Nem Oranı (%)
0-2	0,96	1,18	22,4	0,82	1,04	0,01
2-4	1,22	1,44	18,00	0,62	0,7	0,09
4-8	1,47	1,36	20,20	0,68	0,74	0,02

**Çizelge 2.** CEM I 42,5 R çimentosuna ait özellikler (Properties of CEM I 42,5 R cement)

Bileşenler	(%)	Ana bileşenler	
CaO	63,98	C <sub>3</sub> S	52,48
SiO <sub>2</sub>	20,64	C <sub>2</sub> S	19,63
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,06	CaA	8,02
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,14	C <sub>4</sub> AF	9,15
MgO	1,20	S.CaO	1,12
SO <sub>3</sub>	2,38	<b>Fiziksel ve mekanik özellikler</b>	
K <sub>2</sub> O	0,8	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	3,15
Na <sub>2</sub> O	0,31	Özgül yüzey (cm <sup>2</sup> /g)	3350
Cl	0,035	Priz Başl. (sa: dak.) Sonu	2:30 3:16
Kızdırma kaybı	1,72	Basınç dayanımı 7 Gün (MPa)	41,3
Çöz. kalıntı	0,46	Basınç dayanımı 28 Gün (MPa)	51,2

**Çizelge 3.** Hafif beton karışım oranları (1m<sup>3</sup>) (Mix design of lightweight concrete (1 m<sup>3</sup>))

Çimento Miktarı (kg/m <sup>3</sup> )	0-2 kum	0-2 GKA	2-4 GKA	4-8 GKA	Su Miktarı (lt/m <sup>3</sup> )	Akışkanlaştırıcı (kg/m <sup>3</sup> )
350	%20	%26	%22	%32	157,5	4,2
400	%20	%26	%22	%32	180	4,8
450	%20	%26	%22	%32	202,5	5,4

### 2.2.2. Slump ve Ve-be deneyi (Slump and Ve-be tests)

Farklı oranlarda çimento miktarına sahip olan taze haldeki GKB'nin işlenebilirlik parametrelerini belirleyebilmek için TS EN 12350-2 standardına uygun olarak slump ve TS EN 12350-3 standardına uygun olarak ve-be deneyleri gerçekleştirilmiştir [15,16].

### 2.2.3. Beton yoğunluğu ve görünür boşluk oranı tayini (Unit weight and porosity test of the concrete)

Beton yoğunluğu ve görünür boşluk oranı deneyleri kür edilen küp numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Beton yoğunluğunun tayini TS 12390-7 "Sertleşmiş Betonun Yoğunluğunun Tayini" standardına uygun olarak, Görünür boşluk oranı tayini ise TS 3624 "Sertleşmiş Betonda Özgül Ağırlık Su Emme ve Boşluk Oranı Tayin Metodu" standardına uygun olarak yapılmıştır [17,18].

### 2.2.4. Beton basınç dayanımı deneyi (Compressive strength test of the concrete)

Basınç dayanımı deneyi, hazırlanan küp numuneler üzerinde TS EN 12390-3 "Sertleşmiş beton numunelerinde basınç dayanımı tayini" standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir [19]. Deneyde 3000 kN yükleme kapasiteli, dijital kumanda ünitesi ve yükleme hızı ayarlanabilen tek eksenli beton basınç test cihazı kullanılmıştır (Şekil 3).

### 2.2.5. Yarmada çekme dayanımı deneyi (Split tensile strength test)

Yarmada çekme dayanımı deneyi, hazırlanan küp numuneler üzerinde TS EN 12390-6 "Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Deney Numunelerinin Yarmada Çekme Dayanımı Tayini" standardında belirtilen esaslara uygun olarak yapılmıştır [20]. Yarmada çekme deney aparatı ve deney sonunda kırılan numune Şekil 4'te görülmektedir.

### 2.2.6. Ultrases geçiş hızı deneyi (Ultrasonic pulse velocity test)

Ultrases geçiş hızı ölçümü; numunelerin kalıpla temas eden yüzeylerine dik doğrultuda yapılmıştır. Numune, verici ve alıcı uçların arasına yerleştirilmiş ve örnek boyunca ultrases geçiş süresi mikro saniye cinsinden ölçülmüştür. Deney ASTM C597-83 "Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete", standardında belirtilen esaslara uygun olarak yapılmıştır [21].

## 3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

### 3.1. Slump ve Ve-be Değerleri (Slump and Ve-be values)

Taze beton karışımları üzerinde gerçekleştirilen slump ve ve-be deneyi sonuçlarına göre 350 dozlu karışım 4 cm ile en düşük çökme ve 9 sn ile en büyük ve-be süresine sahip olduğu. Çimento dozajı arttıkça beton işlenebilirliğinde iyileşmenin olduğu, 450 dozlu karışım 22 cm çökme ve 2 sn ve-be süresi ile en iyi işlenebilirliğin sağlandığı görülmüştür.

**Şekil 3.** Beton basınç dayanımı test cihazı (Test machine of the concrete compressive strength)



Şekil 4. Yarmada çekme deneyi ve deney sonunda kırılan numuneye ait resim (Split tensile strength test and the image of the broken sample after the test)

### 3.2. Beton Yoğunluğu ve Görünür Boşluk Oranı Değerleri (Unit weight and porosity values of concrete)

GKA'lı farklı çimento miktarlarına sahip beton karışımları üzerinde gerçekleştirilen beton yoğunluğu ve görünür boşluk oranı deney sonuçlarına ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 4'te verilmiştir. Ayrıca ortalama değerlere ait grafikler Şekil 5'te görülmektedir.

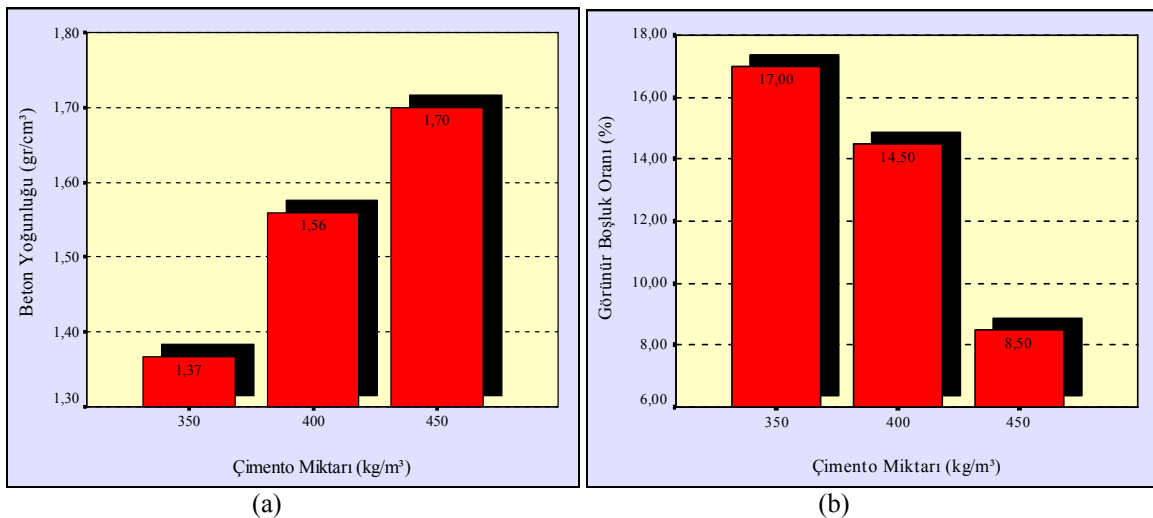
Hafif beton karışımlarındaki çimento miktarının beton yoğunluğu ve görünür boşluk oranı değerleri üzerin-

deki etkilerini belirleyebilmek amacıyla çimento miktarları arasında varyans analizi gerçekleştirilmiştir. Varyans analizi sonucunda beton yoğunluğu ve görünür boşluk oranı değerlerinin çimento miktarına bağlı olarak istatistiksel olarak önemli düzeyde değiştirdiği görülmüştür ( $p \leq 0,05$ ). Farklılığının hangi çimento gruplarında olduğunu tespit edebilmek için gerçekleştirilen Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 5'te verilmiştir.

Gerçekleştirilen çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına

Çizelge 4. Beton yoğunluğu ve görünür boşluk oranı deney sonuçlarına ait açıklayıcı istatistikler (Descriptive statistics of unit weight and porosity test results)

Deney Türü	Çimento Miktarı (kg/m <sup>3</sup> )	N	Ortalama	Std. Hata	%95 Güven Aralığında Ortalamannın		Minimum	Maksimum
					Alt Sınırı	Üst Sınırı		
Beton Yoğunluğu (g/cm <sup>3</sup> )	350	4	1,367	$2,016 \cdot 10^{-2}$	1,3034	1,4316	1,31	1,40
	400	4	1,560	$1,732 \cdot 10^{-2}$	1,5049	1,6151	1,51	1,59
	450	4	1,700	$1,472 \cdot 10^{-2}$	1,6532	1,7468	1,67	1,73
Görünür Boşluk Oranı (%)	350	4	17,000	0,5774	15,1626	18,8374	16,00	18,00
	400	4	14,500	0,2887	13,5813	15,4187	14,00	15,00
	450	4	8,500	0,9574	5,4530	11,5470	7,00	11,00



Şekil 5. Beton yoğunluğu (a) ve görünür boşluk oranı (b) ortalama değerlerine ait grafikler (Mean value graph of the concrete unit weight (a) and porosity (b))



**Çizelge 5.** GKB türleri arasında gerçekleştirilen çoklu karşılaştırma testi sonuçları (Multiple comparison test results between expanded clay aggregate types)

Deney Türü	Çimento Miktarı (kg/m <sup>3</sup> )	N	Farklı olan gruplar (p≤0,05)		
			1	2	3
Beton Yoğunluğu (g/cm <sup>3</sup> )	350	4	1,3675		
	400	4		1,5600	
	450	4			1,7000
Görünür Boşluk Oranı (%)	450	4	8,5000		
	400	4		14,5000	
	350	4			17,0000

göre; beton yoğunluğu ve boşluk oranlarının çimento miktarına bağlı olarak önemli düzeyde değiştiği, çimento miktarındaki artış ile doğru orantılı olarak beton yoğunluğunun da arttığı, çimento miktarındaki artış ile ters orantılı olarak görünür boşluk oranının azaldığı belirlenmiştir.

350 dozlu GKB 1,367 g/cm<sup>3</sup> ile en küçük beton yoğunluğuna, 450 dozlu GKB'nin ise 1,7 g/cm<sup>3</sup> ile en büyük beton yoğunluğuna sahip olduğu, 450 dozlu GKB'nin 350 dozlu GKB'ye göre %20 oranında daha fazla beton yoğunluğuna sahip olduğu görülmüştür.

450 dozlu karışımın %8,5 ile en küçük boşluk oranına, 350 dozlu karışımın ise %17 ile en büyük boşluk oranına sahip olduğu, 450 dozlu GKB'nin 350 dozlu GKB'ye göre %50 oranında daha az görünür boşluk oranına sahip olduğu görülmüştür.

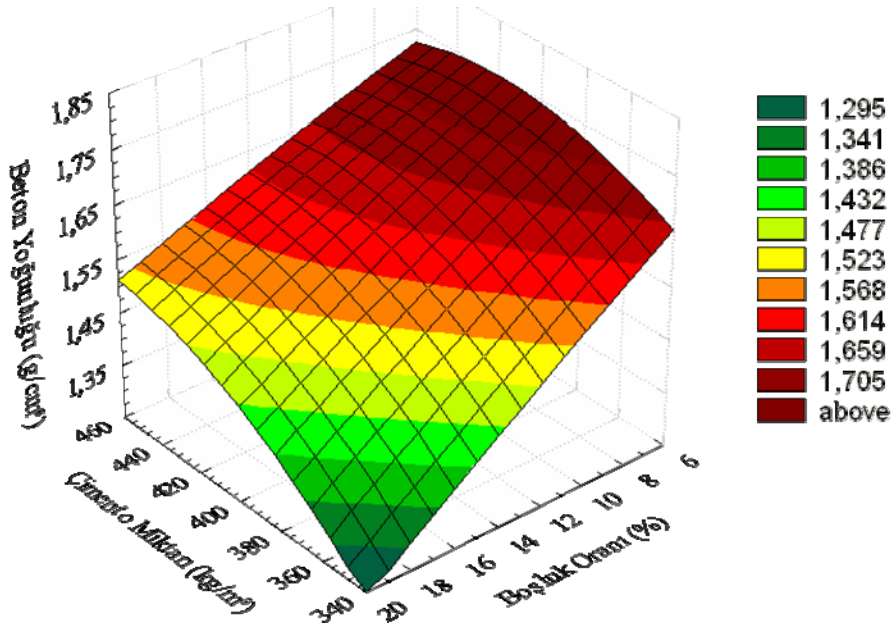
Beton yoğunluğunun, görünür boşluk oranına ve çimento miktarına bağlı olarak değişimini gösteren ilişki grafiği Şekil 6'da görülmektedir. Grafik incelendiğinde çimento miktarı arttıkça GKB'deki görünür boşluk oranları azalmakta ve bununla ters orantılı bir şekilde beton yoğunluğu değerlerinin

arttığı görülmektedir.

### 3.3. Basınç ve Yarmada Çekme Dayanımı Değerleri (Concrete Unit Weight and Split Tensile Strength values)

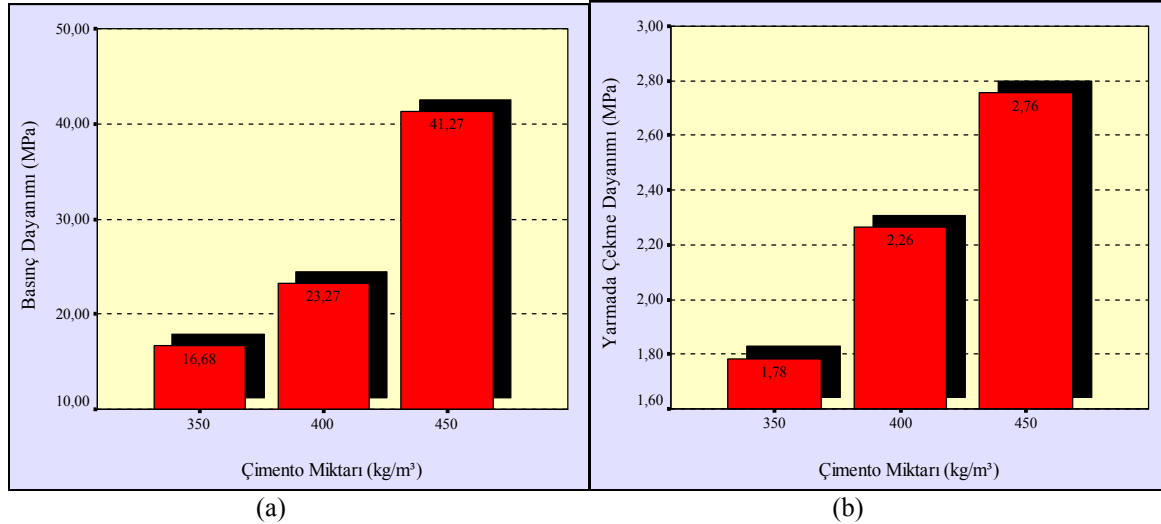
GKA'lı farklı çimento miktarlarına sahip beton karışımları üzerinde gerçekleştirilen beton basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı deney sonuçlarına ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 6'da verilmiştir. Ayrıca ortalama değerlere ait grafikler Şekil 7'de görülmektedir.

GKB karışımlarındaki çimento miktarının beton basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı değerleri üzerindeki etkilerini belirleyebilmek amacıyla çimento miktarları arasında varyans analizi gerçekleştirilmiştir. Varyans analizi sonucunda gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde fark olduğu belirlenmiştir (p≤0,05). Diğer bir ifadeyle beton basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı değerlerinin çimento miktarına bağlı olarak önemli düzeyde değiştiği görülmüştür. Farklılığının hangi çimento gruplarında olduğunu tespit edebilmek için gerçekleştirilen Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 7'de verilmiştir.

**Şekil 6.** Beton yoğunluğunun, görünür boşluk oranına ve çimento miktarı arasındaki ilişki grafiği (Correlation graph of concrete unit weight, porosity and amount of the cement)

**Çizelge 6.** Beton yoğunluğu ve görünür boşluk oranı deney sonuçlarına ait açıklayıcı istatistikler (Descriptive statistics of concrete unit weight and porosity)

Deney Türü	Çimento Miktarı (kg/m <sup>3</sup> )	N	Ortalama	Std. Hata	%95 Güven Aralığında Ortalamanın		Minimum	Maksimum
					Alt Sınırı	Üst Sınırı		
Yarmada Çekme Dayanımı (MPa)	350	3	1,7840	1,87.10 <sup>-2</sup>	1,7031	1,8648	1,75	1,82
	400	3	2,2646	2,65.10 <sup>-3</sup>	2,2532	2,2760	2,26	2,27
	450	3	2,7565	3,24.10 <sup>-3</sup>	2,7425	2,7704	2,75	2,76
Basınç Dayanımı (MPa)	350	3	16,6783	0,4721	14,6472	18,7095	16,08	17,61
	400	3	23,2700	1,2759	17,7801	28,7599	21,06	25,48
	450	3	41,2733	0,3266	39,8680	42,6786	40,87	41,92

**Şekil 7.** Beton basınç dayanımı (a) ve yarmada çekme dayanımı (b) ortalama değerlerine ait grafikler (Mean value graph of compressive strength (a) and split tensile strength (b))

Gerçekleştirilen çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre; beton basınç ve yarmada çekme dayanımlarının çimento miktarına bağlı olarak önemli düzeyde değiştiği, çimento miktarındaki artış ile doğru orantılı olarak beton basınç ve yarmada çekme dayanımlarının da arttığı belirlenmiştir.

350 dozlu GKB 16,67 MPa ile en küçük, 450 dozlu GKB'nin ise 41,27 MPa ile en büyük beton basınç dayanımına sahip olduğu, 450 dozlu GKB'nin 350 dozlu GKB'ye göre %60 oranında daha fazla beton basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür.

350 dozlu GKB 1,75 MPa ile en küçük, 450 dozlu GKB ise 2,75 MPa ile en büyük yarmada çekme dayanımına sahip olduğu, 450 dozlu GKB'nin 350 dozlu GKB'ye göre %35 oranında daha fazla yarmada

çekme dayanımına sahip olduğu görülmüştür. 400 dozlu GKB'nin 350 dozlu GKB'ye göre beton basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı değerlerinde sırasıyla %28 ve %21 oranlarında artışın olduğu tespit edilmiştir.

Sancak [22] pomza agregası kullanarak 430 kg/m<sup>3</sup> çimento dozlu üretmiş olduğu 1,87 g/cm<sup>3</sup> yoğunluğundaki hafif betonlarda 18,51 MPa basınç dayanımı değerlerine ulaşabilmiştir. Aynı çalışmada karşılaştırma yapmak amacıyla üretilen 2,44 g/cm<sup>3</sup> yoğunluğundaki normal betonlarda ise 36 MPa basınç dayanımı elde edilmiştir. Görüldüğü gibi genleştirilmiş kil agregası ile üretilen hafif betonlarda diğer hafif agregalı betonlara kıyasla daha düşük yoğunluk ve yüksek dayanım elde edilebilmektedir. Normal betonlar ile karşılaştırıldığında ise daha düşük

**Çizelge 7.** GKB türleri arasında gerçekleştirilen çoklu karşılaştırma testi sonuçları (Multiple comparison test of expanded clay aggregate types)

Deney Türü	Çimento Miktarı (kg/m <sup>3</sup> )	N	Farklı olan gruplar (p≤0,05)		
			1	2	3
Basınç Dayanımı (MPa)	350	3	16,6783		
	400	3		23,2700	
	450	3			41,2733
Yarmada Çekme Dayanımı (MPa)	350	3	1,7840		
	400	3		2,2646	
	450	3			2,7565

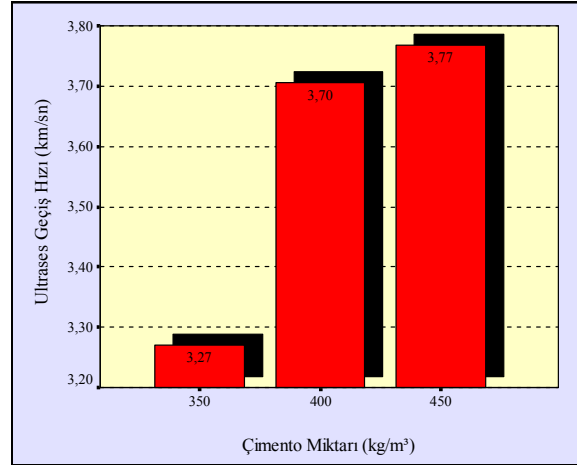
yoğunluklu ve normal beton dayanımına benzer dayanımda hafif betonların elde edilmesi mümkün olmaktadır.

### 3.4. Ultrases Geçiş Hızı Değerleri (Ultrasonic Pulse Velocity Results)

Hazırlanan farklı dozajlı GKB'lerin üzerinde gerçekleştirilen ultrases geçiş hızı deneyi küp numunelerin kalıba temas eden yüzeylerinden iki farklı doğrultuda gerçekleştirilmiş ve ortalamaları alınarak o numuneye ait ultrases geçiş hızı belirlenmiştir. Elde edilen deney sonuçlarına ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 8'da verilmiştir. Ayrıca ortalama değerlere ait grafikler Şekil 8'de görülmektedir.

GKB karışımlarındaki çimento miktarının ultrases geçiş hızı değerleri üzerindeki etkilerini belirleyebilmek amacıyla çimento miktarları arasında varyans analizi gerçekleştirilmiştir. Varyans analizi sonucunda gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde fark olduğu belirlenmiştir ( $p \leq 0,05$ ). Diğer bir ifadeyle beton ultrases geçiş hızı değerlerinin çimento miktarına bağlı olarak önemli düzeyde değiştiği görülmüştür. Farklılığının hangi çimento gruplarında olduğunu tespit edebilmek için gerçekleştirilen Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 9'da verilmiştir.

Gerçekleştirilen çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre; çimento miktarındaki artış ile doğru orantılı olarak ultrases geçiş hızı değerlerinin arttığı, 400 ve



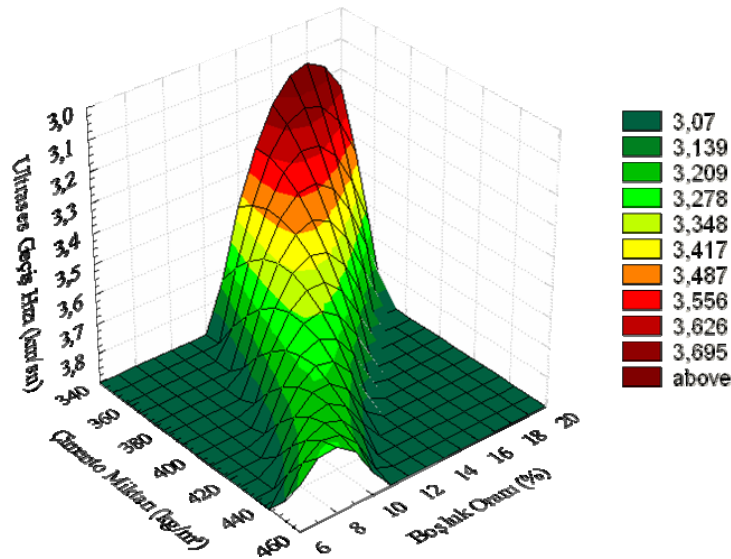
Şekil 8. Ortalama ultrases geçiş hızı değerlerine ait grafik (Mean value graph of ultrasonic pulse velocity)

450 dozlu GKB'lerin istatistiksel anlamda birbirinden farklı olmadığı, 350 dozlu GKB'nin diğer betonlardan farklı olduğu belirlenmiştir. 350 dozlu GKB 3,27 km/sn ile en küçük, 450 dozlu GKB'nin ise 3,76 km/sn ile en büyük ultrases geçiş hızına sahip olduğu, 450 dozlu GKB'nin 350 dozlu GKB'ye göre %14 oranında daha fazla ultrases geçiş hızına sahip olduğu görülmüştür.

Beton ultrases geçiş hızının, görünür boşluk oranına ve çimento miktarına bağlı olarak değişimini gösteren ilişki grafiği Şekil 9'da görülmektedir. Grafik incelendiğinde çimento miktarı arttıkça GKB'deki görü-

Çizelge 8. Ultrases geçiş hızı deney sonuçlarına ait açıklayıcı istatistikler (Descriptive statistics of ultrasonic pulse velocity)

Çimento Miktarı (kg/m³)	N	Ortalama Ultrases Geçiş Hızı (km/sn)	Std. Hata	%95 Güven Aralığında Ortalamanın		Minimum	Maksimum
				Alt Sınırı	Üst Sınırı		
350	4	3,2700	$5,93 \cdot 10^{-2}$	3,0813	3,4587	3,12	3,41
400	4	3,7050	$4,21 \cdot 10^{-2}$	3,5709	3,8391	3,62	3,80
450	4	3,7675	$2,62 \cdot 10^{-2}$	3,6839	3,8511	3,72	3,84



Şekil 9. Ultrases geçiş hızının, görünür boşluk oranına ve çimento miktarına bağlı olarak değişimi (The variation of ultrasonic pulse velocity depended on the porosity and cement concrete)

nür boşluk oranları azalmakta ve bununla ters orantılı bir şekilde ultrases geçiş hızı değerlerinin arttığı görülmektedir.

**Çizelge 9.** Ultrases geçiş hızı değerlerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları (Multiple comparison test of ultrasonic pulse velocity results)

Çimento Miktarı (kg/m <sup>3</sup> )	N	Farklı olan gruplar (p≤0,05)	
		1	2
350	4	3,2700	
400	4		3,7050
450	4		3,7675

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Çalışmada genleştirilmiş kil agregası kullanılarak 350, 400, 450 kg/m<sup>3</sup> çimento miktarlarına sahip üç farklı hafif beton üretimi gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan taze beton karışımlarında slump ve ve-be deneyi, sertleşmiş beton numuneleri üzerinde ise beton yoğunluğu, görünür boşluk oranı, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve ultrases geçiş hızı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda elde edilen veriler üzerinde istatistiksel değerlendirmeler yapılmıştır.

Üretimi gerçekleştirilen genleştirilmiş kil agregalı hafif betonların; çimento dozajı arttıkça beton işlenebilirliğinde iyileşmenin olduğu, çimento miktarındaki artış ile beton yoğunluğunun arttığı, görünür boşluk oranının azaldığı, 450 dozlu GKB'nin 350 dozlu GKB'ye göre beton yoğunluğunun %20 oranında daha fazla, görünür boşluk oranının ise %50 oranında daha az, ultrases geçiş hızı değerlerinin %14 oranında daha fazla olduğu belirlenmiştir.

GKB mukavemet özellikleri bakımından değerlendirildiğinde ise; beton basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı değerlerinin çimento miktarındaki artış ile doğru orantılı olarak arttığı, 450 dozlu GKB'nin 350 dozlu GKB'ye göre beton basınç dayanımının %60 oranında, yarmada çekme dayanımının ise %35 oranında daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

450 kg dozlu GKB betonunda 41,27 MPa gibi hafif betonlar için oldukça yüksek basınç dayanımı değerine ulaşılmıştır. Bazı araştırmacılar tarafından pomza vb. diğer doğal hafif agregalarla 500-650 dozlu karışımlarda ancak elde edilebilen dayanım değerlerine GKA ile üretilen hafif betonda 450 dozlu bir karışımla ulaşıldığı, GKB'lerin çimento dozajındaki az bir artış ile büyük mukavemet kazanımlarının sağlanabildiği görülmüştür.

Sancak [22] tarafından pomza agregası kullanarak 430 kg/m<sup>3</sup> çimento dozlu üretilmiş olan 1,87 g/cm<sup>3</sup> yoğunluğundaki hafif betonlarda 18,51 MPa basınç dayanımı değerlerine ulaşılabilmektedir. Aynı

araştırmada karşılaştırma yapmak amacıyla üretilen 2,44 g/cm<sup>3</sup> yoğunluğundaki normal betonlarda ise 36 MPa basınç dayanımı elde edilmiştir. Çalışma kapsamında genleştirilmiş kil agregası ile üretilen hafif betonların pomza ile üretilen hafif beton yoğunluk değerinden %10 oranında daha az olmasına rağmen, basınç dayanımı değerlerinin %56 oranında daha fazla olduğu görülmektedir. Normal betonlar ile karşılaştırıldığında ise benzer dayanım değerlerine sahip %30 oranında daha düşük yoğunluklu taşıyıcı hafif beton elde edilmesinin mümkün olduğu görülmektedir.

Beton yoğunluğu 1,7 g/cm<sup>3</sup>, basınç dayanımı 41,7 MPa olan bir GKB'nin betonarme yapı imalatında taşıyıcı beton olarak kullanılabilmesi ve böylece yapı ağırlığı azaltılarak yapının depremden dolayı göreceği hasar miktarının azaltılması mümkün olacaktır.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Yazıcıoğlu, S., Bozkurt, N., "Pomza ve Mineral Katkılı Taşıyıcı Hafif Betonun Mekanik Özelliklerinin Araştırılması", **Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.**, Cilt 21, No 4, 675-680, 2006.
2. Sancak, E., Sarı, Y.D., Şimşek, O., "Effects of elevated temperature on compressive strength and weight loss of the lightweight concrete with silica fume and superplasticizer", **Cement & Concrete Composites**, 30: 715-721, 2008.
3. Haque, M.N., Al-Khaiat, H., Kayali, O., "Strength and Durability of Lightweight Concrete", **Cement and Concrete Composites**, No. 26, 307-314, 2004.
4. Kok, S.C., Min-Hong, Z., "Water Permeability and Chloride Penetrability of High-Strength Lightweight Aggregate Concrete", **Cement and Concrete Research**, No. 32, 639-645, 2002.
5. Sari, D., Paşamehmetoğlu, A.G., "The Effects of Gradation and Admixture on the Pumice Lightweight Aggregate Concrete", **Cement and Concrete Research**, No. 35(5), 936-942, 2005.
6. Uğur, L., "Ankara İli ve Çevresinde Eşdeğer Jeolojik Formasyonlardan Sağlanan Kırmataş Agregaların Beton Yapımına Uygunluğu", **Politeknik**, Cilt 7, Sayı 4, s.341-351, 2004.
7. Topçu, I. B., "Semi-Lightweight Concretes Produced by Volcanic Slags", **Cement and Concrete Research**, 27, 15-21, 1997.
8. **Serkan Subaşı**, Tuncay Kap, "Genleştirilmiş Kil Agregalı Hafif Betonun Yapı Davranışı ve Kaba Yapı Maliyetine Etkisi", **e-Journal of New World Sciences Academy Technological Applied Sciences**, Volume: 4, Number: 1, 48-54, 2009.
9. Sancak, E., Şimşek, O., "Effect of high temperature on the lightweight structural pumice aggregate concrete with silica fume" **7th International Congress Concrete: Construction's Sustainable Option**, Concrete Fire Engineering



- Section, pp.89-102, Dundee, Scotland, July 8-10, 2008.
10. Mouli M., Khelafi H., “Performance characteristics of lightweight aggregate concrete containing natural pozzolan”, **Building and Environment**, 43, 31–36, 2008.
  11. Al-Khaiat, H., Haque, M.N., “Effect of Initial Curing on Early Strength and Physical Properties of Lightweight Concrete”, **Cement And Concrete Research**, No. 28, 859-866, 1998.
  12. Lo T. Y., Tang W. C., Cui H. Z., “The effects of aggregate properties on lightweight concrete” **Building and Environment**, 42, 3025–3029, 2007.
  13. Gündüz, L., Şapçı, N., Bekar, M., “Genleşmiş kilin hafif agrega olarak kullanılabilirliği”, **Kil Bilimi ve Teknolojisi Dergisi**, 1(2), 43–49, 2006.
  14. Yasar, E., Atis, C. D., Kilic, A., Gulsen, H., “Strength Properties of Lightweight Concrete Made with Basaltic Pumice and Fly Ash”, **Materials Letters**, No. 57, 2267-2270, 2003.
  15. TS EN 12350-2. “Taze Beton Deneyle-Bölüm3: Slump Deneyi (Çökme Hunisi Metodu İle)”, **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, 2004.
  16. TS EN 12350-3, “Beton – Taze Beton Deneyle-Bölüm 3: Ve-Be Deneyi”, **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, 2002.
  17. TS 12390-7, “Beton-Sertleşmiş Beton Deneyle-Sertleşmiş Betonun Yoğunluğunun Tayini”, **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, 2002.
  18. TS 3624, “Sertleşmiş Betonda Özgül Ağırlık, Su Emme ve Boşluk Oranı Tayin Metodu”, **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, 1981.
  19. TS EN 12390-3, “Beton-Sertleşmiş Beton Deneyle-Deney numunelerinde basınç dayanımının tayini”, **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, 2002.
  20. TS EN 12390-6, Beton – Sertleşmiş Beton Deneyle, Bölüm 6: Deney Numunelerinin Yarmada Çekme Dayanımının Tayini, **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, 2003.
  21. ASTM C597-97, “Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete”, **American Society For Testing And Materials**, USA, 1997.
  22. Sancak, E., Şimşek, O., “Yüksek Sıcaklığın Silis Dumanı Ve Süperakışkanlaştırıcı Katkılı Hafif Betona Etkileri”, **Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.**, Cilt 21, No 3, 443-450, 2006.