

**HAFIF BETON ÜRETİMİNDE HAM VE GENLEŞTİRİLMİŞ  
PERLİTİN KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Hacı Süleyman GÖKÇE**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
YAPI EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAZİRAN 2010**

**ANKARA**



**HAFIF BETON ÜRETİMİNDE HAM VE GENLEŞTİRİLMİŞ  
PERLİTİN KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Hacı Süleyman GÖKÇE**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
YAPI EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAZİRAN 2010**

**ANKARA**

Hacı Süleyman GÖKÇE tarafından hazırlanan “HAFİF BETON ÜRETİMİNDE HAM VE GENLEŞTİRİLMİŞ PERLİTİN KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Osman ŞİMŞEK .....  
Tez Danışmanı, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Yapı Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. H. Yılmaz ARUNTAŞ .....  
Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Osman ŞİMŞEK .....  
Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Doç. Dr. İ. Özgür YAMAN .....  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, ODTÜ

Tarih: 07.07.2010

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU .....  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Hacı Süleyman GÖKÇE

# **HAFİF BETON ÜRETİMİNDE HAM VE GENLEŞTİRİLMİŞ PERLİTİN KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hacı Süleyman GÖKÇE**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Haziran 2010**

## **ÖZET**

**Bu çalışmada, perlit agregasının hafif beton üretiminde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Kırılmış ve elenmiş olarak temin edilen 5 farklı boyuttaki ham perlit agregası ile 16 farklı hafif beton üretilmiştir. Ham perlit agregasına 3 farklı genleştirilmiş perlit agregası ilave edilerek 8 genleştirilmiş perlit agregalı hafif beton üretilmiştir. Ham perlit agregasıyla hazırlanan %0, 5, 10 ve 15 oranlarında silis dumanı (SD) ikameli ve genleştirilmiş perlit agregalı karışımlara süper akışkanlaştırıcı kullanımı ile 5 farklı yüksek dayanımlı hafif beton üretilmiştir. Taze betonların çökme miktarları belirlenmiştir. Toplamda 117 tane 100x100x100 mm küp numune üretilmiştir. Sertleşmiş beton numunelerin birim hacim ağırlık (BHA), su emme (SE) ve basınç dayanımları belirlenmiştir.**

**Çalışmadaki betonların küp basınç dayanımları 10 ile 86.4 MPa arasında değişmektedir. Betonların BHA'ları 1.779 ile 2.047 kg/dm<sup>3</sup> arasında ve SE oranları %2.6 ile 13.2 arasında değişmektedir. Hafif betonların mekanik ve fiziksel özellikleri üzerinde farklı agrega karışımı ve genişletilmiş perlit agregası kullanımının etkili olduğu belirlenmiştir. Kür süresi ve SD ikamesindeki artışın betonların basınç dayanımı artırdığı belirlenmiştir.**

**Bilim Kodu : 714.1.143**  
**Anahtar Kelimeler : Perlit, hafif beton, mekanik ve fiziksel özellikler**  
**Sayfa Adedi : 43**  
**Tez Yöneticisi: : Yrd. Doç. Dr. Osman ŞİMŞEK**

**INVESTIGATION OF USABILITY OF RAW AND EXPANDED  
PERLITE IN LIGHTWEIGHT CONCRETE PRODUCTION**

**(M.Sc. Thesis)**

**Hacı Süleyman GÖKÇE**

**GAZI UNIVERSITY  
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

**June 2010**

**ABSTRACT**

**In this study, usability of perlite aggregate was researched in production of lightweight concrete. 16 different raw perlite aggregate lightweight concrete were produced with five different sized raw perlite aggregate which is supplied as crushed and sieved. 8 different expanded perlite aggregate lightweight concrete were produced by adding three different expanded perlite aggregate into raw perlite aggregate. 5 different high strength lightweight concrete were produced with use of super plasticizer in mixtures which is at 0, 5, 10 and 15% ratios silica fume replaced and expanded perlite aggregate used. Slump values of fresh concrete were determined. In totally, 117 pieces 100x100x100 mm cubic sample were produced. Unit volume weight, water absorption ratio and compressive strength of hardened concrete sample were determined.**



**Cube compressive strength of concrete ranged from 10 to 86.4 MPa in the study. Unit volume weight of concrete ranged from 1.779 to 2.047 kg/dm<sup>3</sup> and water absorption ratios of concrete ranged from 2.6% to 13.2%. It was determined that different aggregate mixtures and use of expanded perlite aggregate is effect on the mechanical and physical properties of lightweight concrete. To increase the compressive strength of concrete was determined with this increase in the curing time and replacement of silica fume.**

**Science Code : 714.1.143**  
**Key Words : Perlite, lightweight concrete, properties of mechanical and physical**  
**Page Number : 43**  
**Adviser : Assist. Prof. Dr. Osman ŞİMŞEK**

## TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım süresince ilgisini ve desteğini esirgemeyen, bilgi ve tecrübeleriyle beni yönlendiren değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Osman ŞİMŞEK'e, değerli katkıları ile tezimi yönlendiren, çalıőmalarımı teşvik eden ve laboratuvarı kullanmama izin veren Bölüm Başkanım Prof. Dr. Metin ARSLAN ve Yapı Eğitimi Bölümü'nün değerli öğretim üyelerine, deneysel çalıőmalarımda yardımlarından dolayı kardeőim Ertürk İslam GÖKÇE'ye ve diğer çalışma arkadaşlarıma, ayrıca meslek hayatım ve çalıőmalarım boyunca her türlü desteğiyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme teşekkürü bir borç bilirim.

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	vi
TEŞEKKÜR .....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ .....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ .....	xii
RESİMLERİN LİSTESİ .....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	xiv
1. GİRİŞ .....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI .....	4
2.1. Geleneksel Hafif Beton .....	4
2.2. Mineral ve Kimyasal Katkılı Hafif Beton .....	6
2.3. Yapay Agregalı Hafif Beton .....	8
2.4. Yeni Nesil Hafif Beton .....	10
3. MATERYAL VE METOT .....	12
3.1. Materyal .....	12
3.1.1. Agregat .....	12
3.1.2. Çimento .....	12
3.1.3. Silis dumanı (SD) .....	13
3.1.4. Akışkanlaştırıcı .....	13
3.1.5. Karışım Suyu .....	13
3.2. Metot .....	13
3.2.1. Agregat üzerinde yapılan deneyler .....	14

**Sayfa**

3.2.2. Hafif betonların tasarımı .....	15
3.2.3. Taze betonlar üzerinde yapılan deneyler.....	19
3.2.4. Sertleşmiş betonlar üzerinde yapılan deneyler .....	19
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	21
4.1. Agregaların Özellikleri.....	21
4.1.1. Agregata tane büyüklüğü dağılımı .....	21
4.1.2. Agregaların yoğunluk ve SE oranları .....	23
4.2. Taze Betonun Özellikleri.....	24
4.2.1. Çökme Miktarı (ÇM) .....	24
4.3. Sertleşmiş Betonun Özellikleri .....	25
4.3.1. Birim hacim ağırlık (BHA) ve su emme (SE) oranı .....	25
4.3.2. Basınç dayanımı.....	29
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	34
5.1. Sonuçlar .....	34
5.2. Öneriler .....	34
KAYNAKLAR.....	36
EKLER.....	40
EK 1. Sertleşmiş betonların özellikleri .....	41
ÖZGEÇMİŞ.....	42

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 3.1. Agregaların kimyasal özellikleri .....	12
Çizelge 3.2. CEM I 42.5 R kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri.....	13
Çizelge 3.3. SD'nin özellikleri .....	13
Çizelge 3.4. Çalışma planı.....	14
Çizelge 3.5. Perlit agregalı hafif beton karışımları.....	16
Çizelge 3.6. Genleştirilmiş perlit agregalı hafif beton karışımları .....	17
Çizelge 3.7. Yüksek dayanımlı hafif beton karışımları .....	18
Çizelge 4.1. Perlit agregalarının yoğunluk ve SE oranları.....	23
Çizelge 4.2. Ham ve genleştirilmiş perlit agregaların yoğunlukları.....	23
Çizelge 4.3. Perlit agregalı hafif betonların ÇM .....	24
Çizelge 4.4. Genleştirilmiş perlit agregalı hafif betonların ÇM.....	24
Çizelge 4.5. Yüksek dayanımlı hafif betonların ÇM .....	25
Çizelge 4.6. Perlit agregalı hafif betonların BHA ve SE değerleri.....	26
Çizelge 4.7. Genleştirilmiş perlit agregalı hafif betonların BHA ve SE değerleri.....	27
Çizelge 4.8. Yüksek dayanımlı hafif betonların KBHA değerleri (kg/dm <sup>3</sup> ).....	28
Çizelge 4.9. Yüksek dayanımlı hafif betonların DBHA değerleri (kg/dm <sup>3</sup> ).....	28
Çizelge 4.10. Yüksek dayanımlı hafif betonların SE değerleri (%) .....	29
Çizelge 4.11. Perlit agregalı hafif beton basınç dayanımı ve standart hataları .....	30
Çizelge 4.12. Genleştirilmiş perlit agregalı hafif beton basınç dayanımı ve standart hataları.....	31
Çizelge 4.13. Yüksek dayanımlı hafif beton basınç dayanımı (MPa) ve standart hataları .....	32

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 4.1. Tasnif edilmiş perlit agregalarının elek analiz sonuçları.....	21
Şekil 4.2. Hafif beton üretiminde kullanılan agregaların elek analiz sonuçları .....	22
Şekil 4.3. Perlit agregalı hafif betonların basınç dayanımı .....	30
Şekil 4.4. Genleştirilmiş perlit agregalı hafif betonların basınç dayanımı.....	32
Şekil 4.5. Yüksek dayanımlı hafif betonların basınç dayanımı.....	33

**RESİMLERİN LİSTESİ**

<b>Resim</b>	<b>Sayfa</b>
Resim 4.1. $K_{ABE}$ ve geniştirilmiş perlit agregalarına ait resimler .....	22

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

### Simgeler

### Açıklama

$D_{max}$

En büyük tane boyutu

N

Örnek Sayısı

### Kısaltmalar

### Açıklama

A

2.0-4.75 mm arası kırma perlit agregası

ASTM

Amerikan Standardı

ACI

Amerikan Beton Enstitüsü

B

1.0-2.0 mm arası kırma perlit agregası

BHA

Birim hacim ağırlık

C

0.15-1.0 mm arası kırma perlit agregası

ÇM

Çökme miktarı

D

0.0-1.0 mm arası kırma perlit agregası

DBHA

Doygun birim hacim ağırlık

E

0.0-0.5 mm arası kırma perlit agregası

KBHA

Kuru birim hacim ağırlık

$K_{ABC}$

A, B ve C agregalı beton karışımı

$K_{ABD}$

A, B ve D agregalı beton karışımı

$K_{ABE}$

A, B ve E agregalı beton karışımı

$K_{ABDE}$

A, B, D ve E agregalı beton karışımı

$K_{ABE-1}$

Genleştirilmiş perlit 1 katkılı  $K_{ABE}$  betonu

$K_{ABE-2}$

Genleştirilmiş perlit 2 katkılı  $K_{ABE}$  betonu

$K_{ABE-3}$

Genleştirilmiş perlit 3 katkılı  $K_{ABE}$  betonu

$K_{ABE-12}$

Genleştirilmiş perlit 1 ve 2 katkılı  $K_{ABE}$  betonu



<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama (Devamı)</b>
<b>K<sub>ABE</sub>-13</b>	Genleştirilmiş perlit 1 ve 3 katkılı K <sub>ABE</sub> betonu
<b>K<sub>ABE</sub>-23</b>	Genleştirilmiş perlit 2 ve 3 katkılı K <sub>ABE</sub> betonu
<b>K<sub>ABE</sub>-123</b>	Genleştirilmiş perlit 1, 2 ve 3 katkılı K <sub>ABE</sub> betonu
<b>S/Ç</b>	Su/çimento
<b>SD</b>	Silis dumanı
<b>SE</b>	Su emme
<b>TS</b>	Türk Standardı
<b>TSE</b>	Türk Standartları Enstitüsü
<b>0-K<sub>ABE</sub></b>	%0 SD ikameli K <sub>ABE</sub> betonu
<b>0-K<sub>ABE</sub>-2</b>	%0 SD ikameli K <sub>ABE</sub> -2 betonu
<b>5-K<sub>ABE</sub></b>	%5 SD ikameli K <sub>ABE</sub> betonu
<b>10-K<sub>ABE</sub></b>	%10 SD ikameli K <sub>ABE</sub> betonu
<b>15-K<sub>ABE</sub></b>	%15 SD ikameli K <sub>ABE</sub> betonu
<b>300</b>	300 kg/m <sup>3</sup> çimento dozlu beton
<b>400</b>	400 kg/m <sup>3</sup> çimento dozlu beton
<b>500</b>	500 kg/m <sup>3</sup> çimento dozlu beton
<b>600</b>	600 kg/m <sup>3</sup> çimento dozlu beton

## 1. GİRİŞ

Petrografik anlamda perlit; riyolitten dasite kadar değişebilen kimyasal bileşimde olan, % 2-5 oranında bağlı su içeren ve tipik soğan kabuğu dokusu (perlitik doku) gösteren camsı volkanik kayalara denir. Ticari tanıma göre perlit, yüksek sıcaklıkta ani ısıtıldığında hacmi oldukça artan ve genleşebilen bir volkanik camdır. Her ne kadar perlitin ticari anlamı oldukça geniş ise de, perlit özelliği gösteren volkanik camların kesinlikle riyolit-dasit bileşiminde olduğu saptanmıştır [Perlite, 1974; Freidman and et al, 1966].

Perlit, magmanın asit fazında oluşan lavların soğuyup gözle ve mikroskopla görülebilecek bir yapıda kırılmasının meydana getirdiği kütle bünyesinde su damlacıkları bulunan volkanik bir cam türünü ifade eder. Perlit belirli bir tane iriliğinde özel formlarda 900-1100 °C arasında ısıtıldığında hacmini yaklaşık 7 ile 20 katı kadar genişletmekte ve mısır gibi patlayarak yoğunluğu çok hafif bir malzeme haline gelmektedir [Ulus, 2007].

### Hafif Agregalar

Normal ve hafif betonlar ile yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde agrega beton hacminin yaklaşık % 45-70 arasındaki bir kısmını kapsadığı gözükmektedir [Selçuk ve ark., 2010; Gökçe ve ark., 2010; Gökçe ve Can, 2009]. Buda agreganın beton içerisinde ne derece önemli olduğunu göstermektedir.

Agregalar kaynağına göre doğal ve yapay olarak ayrılırken, ağırlıklarına göre hafif, normal ve ağır olarak üçe ayrılırlar. Agregalar tane büyüklüğüne göre iri ve ince agrega olarak iki gruba ayrılırlar. Bu grupların dışında; tane şekillerine, yüzey dokusuna, elde edilişlerine, jeoloji orijinlerine ve reaktif özelliklerine göre sınıflandırılmaktadır [Şimşek, 2009; Erdoğan, 2007].

Yoğunluğu 2.0-2.8 kg/dm<sup>3</sup> arasında olan agregalar normal agrega, 2.8 kg/dm<sup>3</sup>'den büyük olan agregalar ağır agrega ve 2.0 kg/dm<sup>3</sup>'den küçük olan agregalar hafif agrega olarak sınıflandırılmaktadır [Şimşek, 2009].

Hafif agregalar, doğal, yapay veya atık malzemeden elde edilirler. Hafif doğal agregaların kaynağını volkanik orijinli kayalar oluşturmaktadır. Volkanik hareketlilik sırasında yüzeye çıkarak soğuyan lav, sinterize boşluklu ve gözenekli bir malzeme oluşturmaktadır. Volkanik orijinli kayalar, bu magma eriğinin, kristal yapı oluşturmamadan ani soğuması ve bünyesindeki gazın açığa çıkması sonucu oluşan amorf yapılı süngerimsi bir yapı oluşturan camsı malzemedir. Başka bir deyişle lavın soğuması sonucu boşluklu, hafif ve reaktif yapıda bir malzemedir. Bu malzemeler, volkanik agregalar, ponza, volkan tüfü ve perlit agregası gibi isimler almaktadır [Chandra and Berntsson, 2003].

### Hafif Betonlar

Teknolojinin ilerlemesiyle kullanım yerlerine göre farklı beklentileri karşılamak amacıyla özel betonların üretilmesi hız kazanmıştır. Ham ve genişletilmiş perlit agregası ile taşıyıcı olmayan yalıtım betonu ve harçları, yarı taşıyıcı olan yalıtım özelliğine sahip betonlar ile taşıyıcı özelliği olan ve aynı zamanda yalıtım özelliği diğer normal ve ağır agregalarla üretilen betonlara göre daha iyi olan hafif betonlar üretilmektedir [Taşdemir, 2003].

ASTM, ACI, TSE ve benzeri standartlar hafif betonu, perlit, pomza, kil, şeyl, şist gibi hafif agregalar kullanılarak kuru birim hacim ağırlığı  $2.0 \text{ kg/dm}^3$ ' ün altında üretilen betonlar olarak tanımlamaktadır. Basınç dayanımlarına göre hafif betonları 20 MPa altı düşük dayanımlı, 20 - 50 MPa normal dayanımlı, 50 MPa ve daha yukarı olan betonlar yüksek dayanımlı hafif beton olarak tanımlanır. Bazı araştırmacılar ise birim hacim ağırlıklarına kıyasla yüksek dayanıma sahip olan betonların da yüksek dayanımlı hafif beton olarak kabul edilebilir olduğunu söylemişlerdir [Kayali, 2005; Anwar Hossain, 2004; Aitcin, 1998].

## 2. LİTERATÜR TARAMASI

Hafif beton sürecini gelişimine göre; geleneksel hafif beton, mineral ve kimyasal katkılı hafif beton, yapay agregalı hafif beton ve yeni nesil hafif beton olarak sınıflandırılabilir.

### 2.1. Geleneksel Hafif Beton

Geleneksel hafif beton günümüz hafif beton üretiminin başlangıç evresini oluşturmaktadır. Doğadan elde edilen hafif agregaların üzerinde değişiklik yapmadan beton karışımlarında kullanılmasıyla elde edilen hafif beton çeşididir.

Yapılarda hafif inşaat malzemelerinin kullanımı; deprem etkisi, ekonomiklik, ısı ve ses izolasyonu, ateşe karşı dayanıklılık, donma-çözülme gibi birçok problemin çözümünde önemli rol oynamıştır [Bingöl ve Gül, 2004].

Hafif agregalarla birim hacim ağırlığı  $2.0 \text{ kg/dm}^3$  civarında ve basınç dayanımı 50 ile 60 MPa arasında değişen hafif betonu üretmek mümkündür [Hoff, 1990]. Malhotra ise basınç dayanımı 50-60 MPa arasında değişen yüksek dayanımlı hafif beton üretiminin mümkün olduğunu ve bu betonlarda basınç dayanımında üst limitin 100 MPa ile sınırlı olduğunu belirtmiştir [Malhotra, 1990]. Berra ve Ferrara benzer görüşleri savunmuş ve birim hacim ağırlığı  $1.7 \text{ kg/dm}^3$  ve 150 mm'lik küp basınç dayanımını 60 MPa olan hafif beton üretiminin mümkün olduğunu belirtmiştir [Berra and Ferrara, 1990].

Faust ve Gert König farklı hafif agrega, granülometri ve dozaj kullanarak yüksek dayanımlı hafif beton üretilebilirliği üzerinde araştırma yapmışlardır. Sonuç olarak; birim hacim ağırlığı  $1.0\text{-}2.0 \text{ kg/dm}^3$  ve basınç dayanımı 15-100 MPa arasında değişen hafif beton üretiminin mümkün olduğunu belirtmişler [Faust and Gert König, 1997].

Wasserman ve Bentur ise diğerlerinden farklı olarak yüksek dayanımlı hafif beton üretiminde mutlaka uygun hafif agrega kullanımının zorunlu olduğunu ve her hafif agrega ile yüksek dayanımlı hafif beton üretiminin mümkün olmadığını belirtmiştir

[Wasserman and Bentur, 1996]. Yüksek dayanımlı betonda en önemli faktörlerden birisi iri agreganın dayanımıdır. Hafif agregalar boşluklu, çok dayanımlı değil ve kolayca kırılabilir [Aitcin, 1998]. Aynı zamanda; yüksek dayanımlı hafif betonlarda kırılmanın iri agregaların kesilmesiyle oluştuğunu ve bu nedenden kırılmanın normal betonlara göre daha gevrek olduğunu söylemektedirler [Faust and Gert König, 1997].

Yüksek dayanımlı hafif betonların mekanik ve fiziksel özelliklerini etkileyen faktörlerden en önemlisi, hafif agrega tanelerinin su emme kapasiteleridir [Zhang and Gjordv, 1991]. Agregaya, düşük birim hacim ağırlığı ve istenilen mukavemeti sağlayacak özelliklerde olsa da, su emme özellikleri direkt betonun çökme ve islenebilirliğini etkilediği belirtilmektedir. Aitcin ve bazı araştırmacıların, agregayı tamamen kuru kullanmayı ve karıştırma, taşıma ve yerleştirme süresince agregalar tarafından emilecek miktardaki suyun karışım suyuna eklenmesini önerdiklerini belirtmiştir [Gökçe ve Can, 2009; Aitcin, 1998]. Novokshchenov ve Whitcomb bu durumun, su emme kapasitesi düşük olan agregalar için uygun olmadığını belirtmişlerdir [Novokshchenov ve Whitcomb, 1990]. Malhotra, Hoff ve Elimov gibi bazı araştırmacılar ise agregayı karışımından önce, ön bir ıslatmaya tabi tutarak agreganın; karıştırma, taşıma ve yerleştirme sırasında betonun suyunu emmesinin önlenmesini önermişlerdir.

Su/çimento (s/ç) oranının belirli değerin altında olması durumunda, otojen rötrenin oluşumuna neden olan kendiliğinden çökelmenin oluşumu ihtimali yüksektir [Aitcin, 1998; Neville, 1994]. Bu durum özellikle düşük s/ç oranında elde edilen yüksek dayanımlı betonlarda görülmektedir. Kuruma rötresinden dolayı içyapıda oluşan gerilmeler, çimento matrisinin o andaki çekme gerilmesini geçmesi durumunda, matris içerisinde kılcal çatlaklar oluşmaktadır. Bu da bu betonların durabilitesini düşürmektedir [Paillere et al, 1998]. Birçok araştırmacı yüksek dayanımlı hafif betonda oluşma ihtimali yüksek olan otojen rötrenin önlenmesi için üretimde kullanılacak hafif agreganın suya doygun olmasını önermişler. Yüksek performanslı hafif agrega elde edilmesinde farklı görüşler ortaya çıkmıştır. Novokshchenov ve Whitcomb doğal kumun, Nielsen ve Aitcin doğal hafif kumun, Berra ve Ferrara, Malhotra, Novokshchenov ve Whitcomb doğal ve hafif kum karıştırılmasını

önermişlerdir [Novokshchenov and Whitcomb, 1990; Nielsen and Aitcin, 1992; Berra and Ferrara, 1990; Malhotra, 1990]. Doğal veya hafif kumun kullanımı direkt olarak üretilecek betonun dayanımına, birim hacim ağırlık ve işlenebilirliğine etki etmektedir. Hafif kum ile üretilen betonların işlenebilirliği, yüzey dokuları ve pürüzlülüklerinden dolayı, diğer kumlar ile üretilen betonların işlenebilirliğinden daha düşüktür. İnce veya iri hafif agreganın bir kısmının veya tamamının yerine doğal normal agreganın kullanımı ile birim hacim ağırlığı  $2.0 \text{ kg/dm}^3$  veya daha düşük beton üretimi oldukça güçleşmektedir [Aitcin, 1998].

## **2.2. Mineral ve Kimyasal Katkılı Hafif Beton**

Betonda kullanılan mineral katkıları; mikro boşlukları azaltır, beton geçirgenliğini azaltır, ilerleyen yaşlardaki dayanımı artırır, kohezifliği artırır, aşınmaya karşı direnci artırır, donma-çözülme dayanımı artırır, alkali-silika reaksiyonu hasarlarını azaltır ve sülfat direncini artırır. Kimyasal katkıları ise; taze betonda işlenebilirliği artırır, s/ç oranını azaltır, basınç dayanımı artırır ve farklı özelliklerinin iyileştirilmesi için mevcut kimyasal katkıları bulunmaktadır.

Yüksek dayanımlı hafif beton üretebilmek için yüksek miktarda bağlayıcı kullanılması zorunludur [Weber and Reinhardt, 1997]. Yüksek dayanımlı hafif beton üretiminde çok farklı bağlayıcı karışımları kullanılmıştır. Bu betonlarda bağlayıcı olarak, yüksek dayanımlı çimento veya yüksek dayanımlı çimento ile yüksek puzolanik aktivite gösteren mineral katkıların karışımından elde edilen bağlayıcılar kullanılmıştır. Puzolanik madde olarak en çok önerilen silis dumanı ve uçucu küldür [Aitcin 1998]. Aitcin, Chandra ve Berntsson, Kayali, Wilson ve Malhotra ve birçok araştırmacı silis dumanını toplam bağlayıcının %7 ile %10 arasında kullanılmasını önermiştir [Kayali, 2005; Chandra and Berntsson, 2003; Aitcin 1998; Wilson and Malhotra, 1998]. Silis dumanının kullanımı, yüksek dayanımlı hafif betonun basınç dayanımı ve kohezifliğini artırmakta ve geçirgenliğini ise azaltmaktadır [Wilson and Malhotra, 1998]. Yüksek dayanımlı hafif beton üretiminde  $400$  ile  $600 \text{ kg/m}^3$  arasında değişen miktarlarda bağlayıcı kullanılması önerilmiştir. Araştırmacılar bağlayıcı miktarının üst limitini, basınç dayanımında artık önemli bir artış yapmayan miktar olarak alınmasını önermişlerdir. Çimento miktarının belli bir değerinden

sonra, çimento miktarının artması, artık betonun basınç dayanımında artışa neden olmaz ve bu noktadan sonra dayanım üzerinde etkin faktör iri hafif agreganın dayanımı olur [Faust and Gert König, 1998]. Çimento maksimum miktarı, hafif agrega tipine bağlı olarak değişmekte ve bu limit değer, deneme karışımları yapılarak belirlenmelidir [Aitcin, 1998].

Friedemann ve arkadaşları yüksek dayanımlı hafif betonların durabilitesi üzerinde araştırma yapmışlardır. Çalışmada farklı kürün ve mineral katkıların etkisini araştırmışlardır. En yüksek dayanım ve donma-çözülme dayanıklılığının silis katkılı yüksek dayanımlı hafif betonlarda oluştuğunu gözlemlemişler. Numuneler üzerinde yapılan ultrases ölçümlerinin donma çözülme öncesi ve sonrası aynı olmasının, betonun mineralojik içyapısında herhangi bir hasarın olmadığına bir işaret olarak kabul etmişlerdir. Yüksek dayanımlı betonlarda dozajın yüksekliği, beton içerisindeki sıcaklığın 70 °C kadar yükselmesine neden olduğunu belirtmektedirler. Bu yüksek sıcaklığın etkisiyle beton içerisinde mikro çatlakların oluştuğunu belirtmektedirler. Bu olumsuz durumun kaldırılması için farklı kür yöntemlerinin uygulanmasını önermektedirler [Friedemann et al, 1999].

Chia ve Zhang yüksek dayanımlı hafif betonların klor ve su geçirgenliği üzerinde bir araştırma yapmışlardır. Çimento matrisi ile hafif agreganın elastiklik modüllerinin bir birine çok yakın olmasının, çimento matrisi içerisinde mikro çatlakların oluşma ihtimalini azalttığı için bu betonların geçirgenliklerinin normal betonlardan daha düşük olduğunu belirtmektedirler. Silis dumanının kullanılmasının su ve klor iyonlarının geçişini azalttığını belirtmektedirler [Chia and Zhang, 2002].

Kılıç ve arkadaşları scoria agregası ve mineral katkı kullanarak yüksek dayanımlı hafif beton üretilebilirliği üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Hava kurusu birim hacim ağırlıkları 1.8 ile 1.85 kg/dm<sup>3</sup> arasında değişen ve uçucu kül katkılı betonların 28 günlük basınç mukavemeti 30 MPa, silis dumanı katkılı betonların basınç mukavemeti 40 MPa olarak bulunmuştur [Kılıç et al, 2003].

Hwang ve Hung kendiliğinden yerleşen hafif betonların performansları ve durabiliteleri üzerine bir araştırma yapmışlardır. Beton içerisinde boşluk ve çatlak

oluşma ihtimali büyük oranda çimento ve su miktarı ile küre bağlıdır. Normal betonlarda istenilen durabiliteyi sağlamanın yolu çimento miktarını azaltmak ve su miktarını sınırlandırmaktır. Hafif betonda yüksek dayanımın elde edilmesinin şartlarından biri çimento miktarını çoğaltmaktır. Bu durum normal betonların durabilite şartıyla çelişmektedir. Otojen rötrenin oluşumunu engellemek için önerilen minimum s/ç oranı ise 0.42'dir. Sonuç olarak bu tür betonlarda durabiliteyi artırmak için mutlaka mineral katkının kullanılmasının zorunlu olduğudur [Hwang and Hung, 2005].

Perlit agregası kullanarak birim ağırlığı 1.830 ile 1.915 kg/dm<sup>3</sup> arasında değişen yüksek dayanımlı hafif beton üretimi için mineral katkının zorunlu olmadığı, fakat süper akışkanlaştırıcının kullanımının zorunlu olduğu görülmüştür. En yüksek basınç dayanımı olan 110 MPa'ya 90 gün sonunda 660 kg/m<sup>3</sup> 'lük bağlayıcı miktarıyla ulaşılmıştır. Araştırma sonucuna göre; betonun mekanik ve fiziksel özellikleri üzerinde en etkili parametrelerden biri su-çimento oranı, diğeri ise bağlayıcı miktarıdır. Çelik lif; betonun basınç dayanımında bir artış sağlamazken, çekme dayanımlarında %70'e varan bir artış sağlamıştır. Lif aynı zamanda betonun daha sünek davranmasına neden olmuştur. Bu betonların elastiklik modülleri 17.5 ile 25.5 GPa arasında değişmiştir [Ulus, 2007].

### **2.3. Yapay Agregalı Hafif Beton**

Doğal yoldan elde edilen perlit, kil, vermikülit, arduvaz gibi agregaların ısıtma işlemine tabi tutulması ile elde edilen yapay agregaların ve uçucu kül gibi atık malzemelerden elde edilen, kille benzer şekilde sinterleştirilen yapay agregaların betonda hafif agrega olarak kullanımları mevcuttur.

Genleştirilmiş perlit agregası ve silis dumanı ülkemizde yeterli miktarda bulunmaktadır. Ayrıca beton için genleştirilmiş perlit agregası ve silis dumanı'nın bir çok avantaj sağladığı çoğu makalede belirtilmiştir [Demirboğa ve Gül, 2002; Demirboğa ve ark., 2001].



Farklı kür şartlarında normal agregası ve genişletilmiş perlit agregası ile üretilen Kendiliğinden yerleşen betonların basınç mukavemeti ve geçirimsizlik katsayıları zamana bağlı olarak belirlenmiştir. Betonun bağlayıcı dozajı (çimento + silis dumanı)  $450 \text{ kg/m}^3$  olarak sabit tutulmuştur. Su/bağlayıcı oranı 0.35 alınmıştır. Üretilen beton örnekleri, deney gününe kadar 5 farklı ortamda kür edilmiştir. Sonuçta genişletilmiş perlit agregası oranı arttıkça numunelerin birim ağırlıkları azalmıştır. Beton numunelerin geçirimsizlik katsayısı ise, ortamın nem durumuna ve genişletilmiş perlit agregası oranına bağlı olarak değişmiştir. Genel olarak genişletilmiş perlit agregası oranı arttıkça sertleşmiş beton numunelerin geçirimsizlik katsayısı artmış basınç mukavemetleri ise azalmıştır [Kantarıcı ve Türkmen, 2005].

Japonya'da perlit agregasından yeni bir hafif agregası elde edilmiş olup, ASL denilen bu agreganın doğalından farkı, düşük su emmeye ve yüksek dayanıma sahip olmasıdır. Doğal perlit agregası silikon-karpit (SiC) denilen köpüklü bir sıvı ve bentonit denilen bir bağlayıcı ile karıştırılması sonucu bu yeni malzeme oluşmaktadır. Bu işlem sonucu elde edilen yeni agreganın birim ağırlığı  $0.6$  ile  $1.5 \text{ kg/dm}^3$  arasında değişmiştir. 24 saat sonrası su emme oranı %5 veya daha az, yoğunluğu ise  $1.21 \text{ kg/dm}^3$  olmuştur. Perlit agregası kullanarak birim ağırlığı  $1.7$  ile  $2.0 \text{ kg/dm}^3$  ve basınç dayanımı ortadan yükseğe değişen hafif beton üretimi mümkündür [Chandra and Berntsson, 2003].

Bai ve arkadaşları lytag, yüksek fırın cürufu ve uçucu kül kullanarak yüksek dayanımlı hafif beton üretilebilirliği üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Birim hacim ağırlığı  $1.56-1.96 \text{ kg/dm}^3$  ve basınç dayanımı  $20-40 \text{ MPa}$  arasında değişen hafif beton üretiminin mümkün olduğunu, çimentonun bir kısmının yerine uçucu külün kullanılmasının basınç dayanımı ve su geçirgenliğinde düşüşe neden olduğunu belirtmişlerdir. Cüruf ve lytag kullanılması betonun porozitesinde artmaya, uçucu külün kullanılması ise porozitede bir azalmaya neden olduğunu belirtmektedirler. Çekme dayanımı bakımından uçucu kül, cüruf ve lytag orta sınıf betonlarda olumlu etki oluştururken, yüksek dayanımlı betonlarda tam tersi bir etki oluşturduğunu söylemektedirler [Bai et al, 2005].

Dhir ve arkadaşları aglite agregası kullanarak taşıyıcı hafif beton üretimi üzerinde bir çalışma yapmışlardır. Çalışmanın amaçlarından biri su azaltıcı katkı kullanarak istenilen kohezifliğe ve işlenebilirliğe sahip 28 günlük basınç dayanımı 50 MPa olan bir beton üretmek, diğeri ise çimento miktarı 250 ile 600 kg/m<sup>3</sup> arasında değişen betonların mekanik özelliklerini belirlemektir. Aglite betonlarının normal betonlara göre daha gevrek olduğu ve kuruma rötrelerinin daha düşük olduğunu belirtmektedirler. Havada kür edilen betonların basınç dayanımları 29 ile 53 MPa, suda kür edilen betonların basınç dayanımları 43 ile 60 MPa arasında değiştiğini gözlemlemişlerdir [Dhir et al, 1984].

Gökçe genleştirilmiş kil agregası kullanılarak 28 günlük basınç dayanımları 45 MPa olan kendiliğinden yerleşen hafif beton üretilebileceğini yaptığı çalışmada bulmuştur [Gökçe, 2007].

#### **2.4. Yeni Nesil Hafif Beton**

Hafif betonun günümüzde düşük birim hacim ağırlığa, yüksek durabilite ve ısı yalıtımına sahip olduğundan dolayı yaygınlaştığı görülmektedir [Chandra and Berntsson, 2003]. Yüksek katlı yapıların inşasının yaygınlaşması, küçük kesit, hafif, yüksek enerji yutma kapasitesi ve durabiliteye sahip betonlara ihtiyacı zorunlu hale getirmiştir. Aynı zamanda hafif betonlar yapıların ölü yüklerinde önemli oranda düşme sağladığı için deprem etkilerinden önemli derecede azalma ve elastik modüllerindeki düşüklükten dolayı iyi bir deprem davranışı göstermelerine neden olmaktadır [Kayali and Zhu, 2004; Chandra and Berntsson, 2003].

Sadrekarami s/ç oranı %11.8 ile %16.2 arasında, silis dumanı/çimento oranı 0.30 ile 1.0 arasında olan, süper akışkanlaştırıcı kullanım oranı %3 ve toplam bağlayıcı miktarı 1400 kg/m<sup>3</sup> olan reaktif pudra hafif betonun üretilebilirliğini araştırmıştır. Taze betonlar üzerinde sıkıştırma ve farklı sıcaklıklarda kür uygulamıştır. Sonuçta yoğunluğu 1.93 kg/dm<sup>3</sup> olan 280 MPa basınç dayanımında reaktif pudra hafif betonu üretilebilmiştir [Sadrekarami, 2004].

Bu çalışmada Ankara'nın Çubuk ilçesinden PERTAŞ A.Ş.'den getirilen perlit agregasıyla üretilen betonların özelliklerinin iyileştirilmesi ve yüksek dayanımlı hafif betonların üretilebilirliğinin araştırılması amaçlanmıştır.

Bu amaç kapsamında;

Optimum kırma ham perlit agregaları ve çimento miktarıyla en uygun beton karışım oranlarının belirlenmesi,

En uygun karışım oranında genleştirilmiş perlit kullanılarak düşük birim hacim ağırlığa sahip en yüksek basınç dayanımı sağlayan hafif betonun üretilmesi araştırılmıştır.

### 3. MATERYAL VE METOT

#### 3.1. Materyal

Çalışmada perlit agregası, çimento, silis dumanı (SD), süper akışkanlaştırıcı ve karışım suyu kullanılmıştır.

##### 3.1.1. Agregas

Çalışmada kullanılan ham perlit agregası Ankara ilinin Çubuk ilçesinden PERTAŞ A.Ş.'den 0.00 - 4.75 mm arasında kırılmış ve 5 ayrı grupta getirilmiş, A (2.0-4.75 mm), B (1.0-2.0 mm), C (0.15-1.0 mm), D (0.0-1.0 mm) ve E (0.0-0.5 mm) olarak isimlendirilmiştir. Genleştirilmiş perlit agregaları ise 3 farklı özellikte Etiper ve Persa İşletmelerinden temin edilmiş, genleştirilmiş perlit 1, genleştirilmiş perlit 2 ve genleştirilmiş perlit 3 olarak isimlendirilmiştir. Ankara Çubuk perlit agregasına ait kimyasal özellikler Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Agregaların kimyasal özellikleri

Bileşen %	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Kız. Kaybı
perlit	71.36	13.72	3.31	1.58	-	1.24	-	8.23	2.5

##### 3.1.2. Çimento

Karışımlarda Ankara Set Çimento fabrikasından temin edilen CEM I 42.5 R tipi çimento kullanılmıştır. Üretici firmadan alınan çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. CEM I 42.5 R kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri

Kimyasal özellikleri		Fiziksel Özellikleri			
Bileşen	%				
SiO <sub>2</sub>	20.35	Özgül yüzey (cm <sup>2</sup> /g)	3350		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.98	Genleşme (mm)	3		
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.06	Su ihtiyacı (%)	27.2		
CaO	63.35	Priz baş (dak.)	106		
MgO	1.89	Priz sonu (dak.)	189		
SO <sub>3</sub>	2.89	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	3.1		
Na <sub>2</sub> O	0.58	Mekanik Özellikleri (MPa)	Gün	Basınç	Eğilme
K <sub>2</sub> O	0.88		7	39.8	7.3
Kız. Kaybı	0.50		28	51.9	10.1

### 3.1.3. Silis dumanı (SD)

Çalışmada kullanılan SD Antalya Etibank Ferrokrom İşletmesinden temin edilmiş, kimyasal ve fiziksel özellikleri BAŞTAŞ A.Ş.'de yapılmıştır. SD'nin kimyasal ve fiziksel özellikleri Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.3. SD'nin özellikleri

Bileşen	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
%	82.61	0.71	0.92	1.29	4.75	0.38	0.4	3.41
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	2.37		Özgül yüzey (cm <sup>2</sup> /g)		200 000			

### 3.1.4. Akışkanlaştırıcı

Çalışmada POLYCAR-100 adlı ASTM C 494'e uygun F tipi süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılmıştır [ASTM C 494, 2008].

### 3.1.5. Karışım Suyu

Çalışmada karışım suyu olarak Ankara ili şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

## 3.2. Metot

Çalışmada ham perlit agregaları, genleştirilmiş perlit agregaları ve bunların kullanımı ile hazırlanacak hafif beton numunelerinin üzerindeki testler Çizelge 3.4'de çalışma planına uygun olarak verilmiştir.

Çizelge 3.4. Çalışma planı

Deney	Metot	Numune	Açıklama
<b>Agrega</b>			
tane büyüklüğü dağılımı	ts 3530 en 933-1	ham ve genişletilmiş perlit agregaları	5 farklı ham ve 3 farklı genişletilmiş perlit agregası kullanılmıştır
yoğunluk-su emme	ts en 1097-6		
kimyasal analiz	Shimadzu EDX-720	perlit	75 µm elek altı malzeme kullanılmıştır
<b>I. Aşama ham perlit agregalı hafif beton</b>			
çökme	ts en 12350-2	taze beton	farklı dozaj ve agregası karışımlarıyla üretilmiştir
birim hacim ağırlık-su emme	ts en 12390-7	100x100x100 mm küp	
basınç	ts en 12390-3	numune	
<b>II. Aşama genişletilmiş perlit agregalı hafif beton</b>			
çökme	ts en 12350-2	taze beton	farklı özellikteki genişletilmiş perlit ile üretilmiştir
birim hacim ağırlık-su emme	ts en 12390-7	100x100x100 mm küp	
basınç	ts en 12390-3	numune	
<b>III. Aşama yüksek dayanımlı hafif beton</b>			
çökme	ts en 12350-2	taze beton	akışkanlaştırıcı, silis dumanı ikamesi ve genişletilmiş perlit agregası kullanımı ile üretilmiştir
birim hacim ağırlık-su emme	ts en 12390-7	100x100x100 mm küp	
basınç	ts en 12390-3	numune	

### 3.2.1. Agregası üzerinde yapılan deneyler

#### Agregası tane büyüklüğü dağılımı

PERTAŞ A.Ş.'den A (2.0-4.75 mm), B (1.0-2.0 mm), C (0.15-1.0 mm), D (0.0-1.0 mm) ve E (0.0-0.5 mm) olarak isimlendirilmiş ham perlit agregaları, 3 farklı özellikte Etiper ve Persa İşletmelerinden temin edilmiş, genişletilmiş perlit 1, genişletilmiş perlit 2 ve genişletilmiş perlit 3 olarak isimlendirilmiş genişletilmiş perlit agregaları üzerinde TS 3530 EN 933-1'ye göre tane büyüklüğü dağılımı tayini yapılmıştır [TS 3530 EN 933-1, 1999]. Bu deneyde aşağıda verilen Eş. 3.1 kullanılmış ve buna bağlı olarak tane büyüklüğü dağılımı grafiği çizilmiştir.

$$P = (M_2/M_1) \times 100 \quad (3.1)$$

P : Kümülatif geçen agregası, %

M<sub>1</sub> : Elemeye tabi tutulan toplam agregası kütlesi, g

M<sub>2</sub> : Elek altına geçen agregası kütlesi, g

### Agregaların yoğunluk ve su emme oranı

Agregaların yoğunluk ve su emme değerleri TS EN 1097-6' ya göre yapılmıştır [TS EN 1097-6, 2002]. Bu deneyde agreganın yoğunluğu Eş. 3.2'den ve su emme oranı ise Eş. 3.3'den yararlanılarak yapılmıştır.

$$\rho = \frac{M_4}{M_1 - (M_2 - M_3)} \quad (3.2)$$

$$w = \frac{100 \times (M_1 - M_4)}{M_4} \quad (3.3)$$

$\rho$  : Etüvde kurutulmuş esasta tane yoğunluğu, g/cm<sup>3</sup>

$M_1$  : Doygun ve havada yüzeyi kurutulmuş agreganın kütlesi, g

$M_2$  : Piknometrenin kütlesi, g

$M_3$  : Su dolu piknometrenin kütlesi, g

$M_4$  : Etüvde kurutulmuş deney numunesi kısmının kütlesi, g

$w$  : Su emme oranı, %

### **3.2.2. Hafif betonların tasarımı**

Bu çalışmada hazırlanan hafif beton tasarımları perlit agregalı hafif beton tasarımı, geliştirilmiş perlit agregalı hafif beton tasarımı ve yüksek dayanımlı hafif beton tasarımı olarak 3 aşamada yapılmıştır. Bu tasarımlarda en uygun karışımın tespitinden sonra bir sonraki tasarıma geçilmiştir. Karışımların tamamında agreganın granülometrisi Fuller parabolüne göre belirlenmiştir. Buna bağlı olarak kalınarak karışımların agreganın oranlarının belirlenmesinde Eş. 3.4 kullanılmıştır.

$$P = \sqrt{\frac{d}{d_{\max}}} \quad (3.4)$$

$P$  : kümülatif geçen, %

$d$  : hesap elek boyutu, mm

$d_{\max}$  : en büyük tane boyu, mm

Taze beton karışımları üzerinde çökme miktarı (ÇM), 100x100x100 mm küp sertleşmiş beton numuneler üzerinde ise BHA, SE ve basınç dayanımları belirlenmiştir.

### I. Aşama perlit agregalı hafif beton tasarımı

Bu aşamada A (2.0-4.75 mm), B (1.0-2.0 mm), C (0.15-1.0 mm), D (0.0-1.0 mm) ve E (0.0-0.5 mm) olarak isimlendirilmiş ham perlit agrega grupları birbirleriyle birleştirilerek farklı çimento miktarıyla ve farklı s/ç oranıyla en uygun beton karışımı tasarlanmıştır. Yani A+B+C ( $K_{ABC}$ ), A+B+D ( $K_{ABD}$ ), A+B+E ( $K_{ABE}$ ) ve A+B+C+E ( $K_{ABCE}$ ) agrega karışımları ile 300, 400, 500 ve 600 kg/m<sup>3</sup> dozajlı ve s/ç oranı 0,55-0,70 arasında değişen 16 farklı karışım tasarlanmıştır. Beton karışım kodlamaları agrega karışım gruplarının önüne içerisindeki çimento miktarının yazılmasıyla Çizelge 3.5’de verildiği şekliyle yapılmıştır.

Çizelge 3.5. Perlit agregalı hafif beton karışımları

Karışım kodu	Çimento, (kg/m <sup>3</sup> )	s/ç	A kg	B kg	C kg	D kg	E kg	
300	$K_{ABC}$	300	0.70	514	314	725	-	-
	$K_{ABD}$	300	0.70	513	307	-	729	-
	$K_{ABE}$	300	0.70	513	331	-	-	705
	$K_{ABCE}$	300	0.70	513	310	620	-	107
400	$K_{ABC}$	400	0.65	451	275	636	-	-
	$K_{ABD}$	400	0.65	450	269	-	640	-
	$K_{ABE}$	400	0.65	450	291	-	-	618
	$K_{ABCE}$	400	0.65	450	272	544	-	94
500	$K_{ABC}$	500	0.60	396	242	559	-	-
	$K_{ABD}$	500	0.60	395	236	-	562	-
	$K_{ABE}$	500	0.60	395	255	-	-	543
	$K_{ABCE}$	500	0.60	395	239	478	-	82
600	$K_{ABC}$	600	0.55	348	213	492	-	-
	$K_{ABD}$	600	0.55	347	208	-	494	-
	$K_{ABE}$	600	0.55	347	225	-	-	478
	$K_{ABCE}$	600	0.55	348	210	420	-	73



Perlit agregalı hafif beton karışımlarının üretimi 10 dm<sup>3</sup> kapasiteli su emmeyen kaptaki düşey eksen doğrultusunda mikser uçlu matkapla topaklaşma kalmayınca kadar 2 dakika boyunca karıştırılarak yapılmıştır. Daha sonra 100 mm'lik küp kalıplara yerleştirilen numuneler 20±2 °C sıcaklık ve % 55-65 bağıl neme sahip laboratuvar ortamında 24 saat bekletildikten sonra kalıptan çıkarılarak 28. güne kadar kirece doymun kür havuzunda bekletilmiştir.

## II. Aşama geliştirilmiş perlit agregalı hafif beton tasarımı

Bu aşamada I. aşamada perlit agregalı hafif beton tasarımında en yüksek basınç dayanımı bulunan agrega karışıma (K<sub>ABE</sub>) farklı özellikteki geliştirilmiş perlit kullanımı ile en uygun geliştirilmiş perlit agregalı hafif beton tasarlanmıştır. Yani karışımda en uygun geliştirilmiş perlit agregasının seçilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada çimento miktarı 500 kg/m<sup>3</sup>, ve s/ç oranı 0.50 olarak sabit tutulmuştur. Geliştirilmiş perlit agregaları tek tek, 2'li ve 3'lü olarak (2'li ve 3'lü kullanımlarda kendi aralarında hacimsel olarak eşit ve toplam agrega hacminin % 10' unu sağlayacak şekilde) yer değiştirilmiştir. Çalışmada bu şekilde referans karışımı (K<sub>ABE</sub>) ile birlikte 8 farklı karışım tasarlanmıştır. Karışımların kodları kullanılan geliştirilmiş perlit agregalarının numarasının referans karışımı olan K<sub>ABE</sub> karışımının sonuna eklenmesiyle oluşturulmuş ve Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Geliştirilmiş perlit agregalı hafif beton karışımları

Karışım kodu	Çimento kg/m <sup>3</sup>	Su	s/ç	Ham perlit	Genleştirilmiş perlit 1	Genleştirilmiş perlit 2	Genleştirilmiş perlit 3
K <sub>ABE</sub>	500	250	0.50	1308	-	-	-
K <sub>ABE</sub> -1	500	250	0.50	1177	4.32	-	-
K <sub>ABE</sub> -2	500	250	0.50	1177	-	5.91	-
K <sub>ABE</sub> -3	500	250	0.50	1177	-	-	8,08
K <sub>ABE</sub> -12	500	250	0.50	1177	2.16	2.96	-
K <sub>ABE</sub> -13	500	250	0.50	1177	2.16	-	4.04
K <sub>ABE</sub> -23	500	250	0.50	1177	-	2.96	4.04
K <sub>ABE</sub> -123	500	250	0.50	1177	1.44	1.97	2.69

Genleştirilmiş perlit agregalı hafif betonların karıştırılması, kalıplanması ve kür edilmesi, I. aşamadaki perlit agregalı hafif beton üretimi ile benzer şekilde yapılmıştır.

### III. Aşama yüksek dayanımlı hafif beton tasarımı

Hafif beton üretiminin son tasarım aşaması olan bu aşamada yüksek dayanımlı hafif betonların üretilebilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla I. aşamada en yüksek basınç dayanımı alınan  $K_{ABE}$  karışımının s/ç oranını düşürmek için süper akışkanlaştırıcı kullanılmış, farklı oranlarda SD ikamesi ve II. aşamada tercih edilen en uygun genleştirilmiş perlitin % 10 oranında beton içerisinde kullanılmasıyla beton tasarımı yapılmıştır. Yani  $560 \text{ kg/m}^3$  bağlayıcı içeren, s/ç oranı 0.41, % 2 oranında süper akışkanlaştırıcı katkı, % 0, 5, 10 ve 15 oranlarında SD ikame edilmiş ve % 10 oranında genleştirilmiş perlit katkı toplamda 5 hafif beton karışımı tasarlanmıştır. Beton karışım kodlamaları, kullanılan agrega karışım grubu olan  $K_{ABE}$ 'nin önüne içerisindeki SD ikame miktarının yazılmasıyla ve ayrıca II. aşama genleştirilmiş perlit agregalı hafif beton tasarımında en yüksek basınç dayanımı elde edilen karışıma benzer şekilde yapılmış ve Çizelge 3.7'de verilmiştir.

Çizelge 3.7. Yüksek dayanımlı hafif beton karışımları

Karışım kodu	0- $K_{ABE}$	5- $K_{ABE}$	10- $K_{ABE}$	15- $K_{ABE}$	0- $K_{ABE}$ -2
malzeme	Kütle (kg)	Kütle (kg)	Kütle (kg)	Kütle (kg)	Kütle (kg)
çimento	560.0	532	504,0	476	560
silis dumanı	0.0	28	56,0	84	0
su	230	230	230	230	230
s/b	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41
akışkanlaştırıcı	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2
A	428	426	423	420	376
B	276	275	273	271	242
E	583	580	576	572	511
Gen. Perlit	0	0	0	0	18
Toplam	2088	2081	2072	2063	1955

Beton karışımlarının üretimi  $50 \text{ dm}^3$  kapasiteli düşey eksenli laboratuvar tipi beton mikserinde topaklaşma kalmayınca kadar 2 dakika boyunca yapılmıştır. Daha

sonra kalıplara yerleştirilen numuneler  $20 \pm 2$  °C sıcaklık ve % 55-65 bağıl neme sahip laboratuvar ortamında 24 saat bekletildikten sonra kalıptan çıkarılarak 7., 28. ve 90. güne kadar kirece doymun kür havuzunda bekletilmiştir.

### 3.2.3. Taze betonlar üzerinde yapılan deneyler

#### Çökme miktarı (ÇM)

Taze beton karışımlarında ÇM'nin belirlenmesi TS EN 12350-2 standardına göre yapılmıştır [TS EN 12350-2, 2010]. Deneyde kullanılan çökme hunisinin üst çapı 100 mm, alt çapı 200 mm ve yüksekliği 300 mm'dir.

### 3.2.4. Sertleşmiş betonlar üzerinde yapılan deneyler

#### Birim hacim ağırlık (BHA) ve su emme (SE) oranı

Betonların BHA ve SE oranlarının bulunması TS EN 12390-7 standardına göre yapılmıştır [TS EN 12390-7, 2010]. Numuneyi havada ve su içerisinde tartabilecek bir düzeneği olan en az 0.5 g ölçebilen terazi kullanılmıştır. Numunelerin kurutma işlemi sıcaklığını  $105 \pm 5$  °C'de sabit tutabilen etüvde yapılmıştır.

Deney gününe kadar kür suyunda bekletilen 100x100x100 mm sertleşmiş beton numuneleri sudan çıkarılıp yüzeyleri kurulanmıştır. Doymun kuru yüzey haline getirilen beton numuneleri havada tartma işlemi yapıldıktan sonra, tel sepet içerisinde su içerisindeki tartma işlemi yapılmıştır. Su içerisinde numunelerin tartma işlemi bittikten sonra, numuneler etüv kurusu haline getirilmiştir. 24 saat boyunca etüvde bekletilmiştir. Aşağıda verilen Eş. 3.5 kullanılarak numunelerin doymun birim hacim ağırlık (DBHA), Eş. 3.6 kullanılarak kuru birim hacim ağırlık (KBHA) ve Eş. 3.7 kullanılarak SE oranı hesaplanmıştır [Şimşek, 2010; Şimşek, 2003].

$$\rho_d = \frac{M_1}{M_1 - M_2} \quad (3.5)$$

$$\rho_k = \frac{M_3}{M_1 - M_2} \quad (3.6)$$

$$w = \frac{M_1 - M_3}{M_3} \quad (3.7)$$

$\rho_d$  : doygun birim hacim ağırlık, g/cm<sup>3</sup>

$\rho_k$  : kuru birim hacim ağırlık, g/cm<sup>3</sup>

w : su emme oranı, %

M<sub>1</sub> : numunenin doygun kuru yüzey ağırlığı, g

M<sub>2</sub> : numunenin su içerisindeki ağırlığı, g

M<sub>3</sub> : numunenin etüv kurusu ağırlığı, g

### Basınç dayanımı

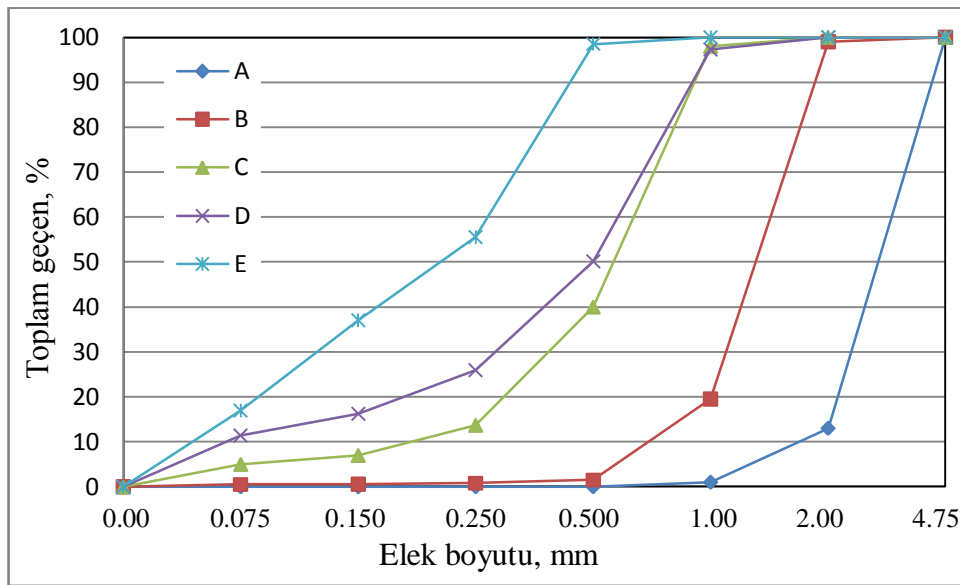
Betonların basınç dayanımlarının belirlenmesinde TS EN 12390-3 esas alınmıştır [TS EN 12390-3, 2010]. Çalışmadaki betonların basınç dayanımı 3000 kN yükleme kapasiteli preste yükleme hızı 2.4 kN/s sabit olarak ayarlanarak belirlenmiştir. Hafif betonların basınç dayanımları 100x100x100 mm boyutundaki küp numuneler üzerinde belirlenmiştir. Her bir karışım ve gün için 3' er numuneden elde edilen değerlerin ortalaması alınarak her bir beton basınç dayanım sınıfı için ortalama bir değer kullanılmıştır.

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1. Agregaların Özellikleri

#### 4.1.1. Agregaların tane büyüklüğü dağılımı

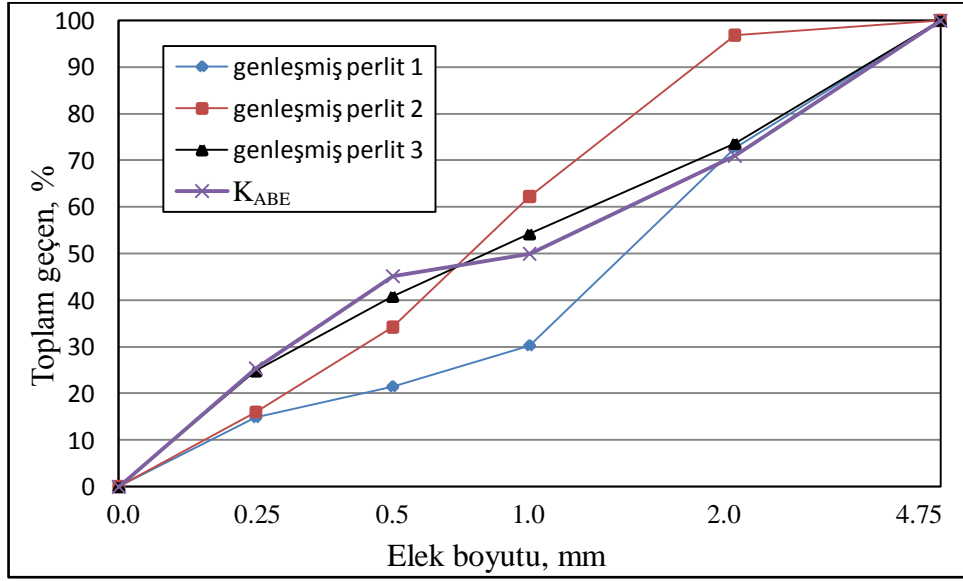
Pertaş A.Ş.' den getirilen A, B, C, D ve E olarak isimlendirilmiş ham perlit agregalarının elek analiz sonuçları Şekil 4.1'de verilmiştir.



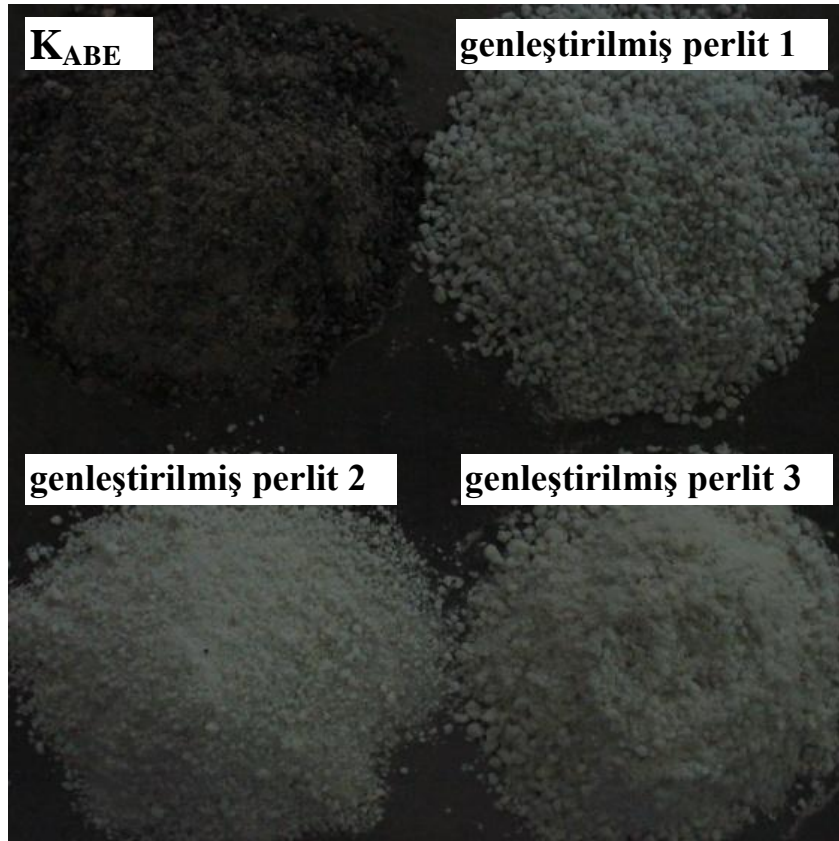
Şekil 4.1. Tasnif edilmiş perlit agregalarının elek analiz sonuçları

Ham perlit agregalarının tane büyüklüğü dağılımı sonuçları değerlendirildiğinde A grubunun 2.0 - 4.75 mm arasını, B grubunun 1.0 - 2.0 mm arasını, C grubunun 0.15 - 1.0 mm arasını, D grubunun 0.0 - 1.0 arasını ve E grubunun ise 0.0 – 0.5 mm arasını temsil ettiği bulunmuştur.

Genleştirilmiş perlit agregalı hafif beton karışımlarında kullanılan genleştirilmiş perlit agregaları, genleştirilmiş perlit 1, genleştirilmiş perlit 2 ve genleştirilmiş perlit 3 olarak isimlendirilmiş ve burada kullanılan agregaların karışımı  $K_{ABE}$  ham perlit karışımıdır.  $K_{ABE}$ , perlit agregalı hafif beton sonuçlarından en yüksek basınç dayanım sonucunu veren karışımın agregaların granülometrisidir. Agregaların üzerinde yapılan tane büyüklüğü dağılımı sonuçları Şekil 4.2'de ve agregalara ait resimler Resim 4.1'de verilmektedir.



Şekil 4.2. Hafif beton üretiminde kullanılan agregaların elek analiz sonuçları



Resim 4.1.  $K_{ABE}$  ve genleştirilmiş perlit agregalarına ait resimler

Resim 4.1’de verilen genleştirilmiş perlitlere bakıldığında genleştirilmiş perlit 1 tasnif edilmiş üniform biçimde, genleştirilmiş perlit 2 içinde az miktarda iri perlit olan tüvenan biçimde ve genleştirilmiş perlit 3 içinde çok miktarda iri olan tüvenan biçimde olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca  $K_{ABE}$ ’nin 2.916, genleştirilmiş perlit 1’in 3.580, genleştirilmiş perlit 2’nin 2.808 ve genleştirilmiş perlit 3’ün 2.986 olarak incelik modülleri hesaplanmıştır.

#### 4.1.2. Agregaların yoğunluk ve SE oranları

Pertaş A.Ş.’ den getirilen A (2-4.75), B (1-2), C (0.15-1), D (0-1) ve E (0-0.5) olarak isimlendirilmiş ham perlit agregalarının yoğunluk ve su emme oranları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Perlit agregalarının yoğunluk ve SE oranları

	A (2-4.75)	B (1-2)	C (0.15-1)	D (0-1)	E (0-0.5)
Yoğunluk, g/cm <sup>3</sup>	2.312	2.305	2.302	2.290	2.288
Su emme, %	0.98	1.15	1.25	1.43	1.56

Çizelge 4.1 incelendiğinde agregaların boyutları küçüldükçe yoğunluklarında bir azalma söz konusudur. Bu azalmayla ters orantılı olarak su emme oranlarında bir artış söz konusudur. En yüksek yoğunluk 2.0-4.75 mm agrega grubunda 2.312 g/cm<sup>3</sup> iken su emmesi % 0.98 olduğu görülmektedir. En düşük yoğunluk 0.0-0.5 mm agrega grubunda 2.288 g/cm<sup>3</sup> iken su emmesi % 1.56 olduğu saptanmıştır.

Genleştirilmiş perlit agregalı hafif betonlarda kullanılan  $K_{ABE}$  perlit karışımının ve genleştirilmiş perlit agregalarının yoğunlukları Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Ham ve genleştirilmiş perlit agregaların yoğunlukları

Perlit tipi	$K_{ABE}$	genleştirilmiş perlit 1	genleştirilmiş perlit 2	genleştirilmiş perlit 3
yoğunluk, g/cm <sup>3</sup>	2.301	0.076	0.104	0.142

## 4.2. Taze Betonun Özellikleri

### 4.2.1. Çökme Miktarı (ÇM)

#### Perlit agregalı hafif beton

Bu çalışmada farklı agrega karışımlarının ve çimento miktarlarının kullanıldığı I. aşama perlit agregalı hafif betonlarının ÇM değerleri Çizelge 4.3'de cm olarak verilmiştir.

Çizelge 4.3. Perlit agregalı hafif betonların ÇM

karışım	300	400	500	600
K <sub>ABC</sub>	9.2	9.7	10.4	11.3
K <sub>ABD</sub>	9.9	10.3	10.5	11.7
K <sub>ABE</sub>	10.3	10.8	11.3	12.6
K <sub>ABCE</sub>	9.5	9.9	11.1	12.1

Karışım grupların tamamında taze beton çökme miktarları  $10.9 \pm 1.7$  cm'dir. Betonların işlenebilirlik özelliklerinde önemli değişimler olmamıştır. Bütün dozajlarda K<sub>ABE</sub> karışımlarının ÇM'sinde bir miktar artış görülmüştür. K<sub>ABE</sub> grubun işlenebilirliğinin daha iyi olduğu anlaşılmaktadır. Agrega karışımının betonların işlenebilirliğinde bir miktar etkili olduğu anlaşılmıştır.

#### Genleştirilmiş perlit agregalı hafif beton

Bu aşamadaki farklı genleştirilmiş perlit agregası kullanımı ile oluşturulan hafif betonlarının ÇM değerleri Çizelge 4.4'de cm olarak verilmiştir.

Çizelge 4.4. Genleştirilmiş perlit agregalı hafif betonların ÇM

K <sub>ABE</sub>	K <sub>ABE-1</sub>	K <sub>ABE-2</sub>	K <sub>ABE-3</sub>	K <sub>ABE-12</sub>	K <sub>ABE-13</sub>	K <sub>ABE-23</sub>	K <sub>ABE-123</sub>
10.7	9.9	10.1	10.5	11.1	10.9	10.0	9.7

Genleştirilmiş perlit agregalı hafif betonların ÇM değerleri  $10.4 \pm 0.7$  cm'dir. Betonların işlenebilirlik özelliklerinde önemli değişimler olmamıştır.



### Yüksek dayanımlı hafif beton

Son aşama olan % 2 oranında süper akışkanlaştırıcı kullanılarak SD ikameli ve geliştirilmiş perlit kullanılarak üretilen yüksek dayanımlı hafif betonların ÇM değerleri Çizelge 4.5’de cm olarak verilmiştir.

Çizelge 4.5. Yüksek dayanımlı hafif betonların ÇM

0-K <sub>ABE</sub>	5-K <sub>ABE</sub>	10-K <sub>ABE</sub>	15-K <sub>ABE</sub>	0-K <sub>ABE-2</sub>
7.4	8.1	8.9	9.1	7.8

Yüksek dayanımlı hafif betonların ÇM değerleri  $8.2 \pm 0.9$  cm’dir. SD ilavesi ile beton karışımlarının işlenebilirliğinde bir artış gözlemlenmiştir. Viskozitesi artan betonda bir sakızlanma etkisi görülmüştür.

### **4.3. Sertleşmiş Betonun Özellikleri**

#### **4.3.1. Birim hacim ağırlık (BHA) ve su emme (SE) oranı**

#### Perlit agregalı hafif beton

Perlit agregalı hafif betonların 28 günlük BHA ve SE değerleri Çizelge 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Perlit agregalı hafif betonların BHA ve SE değerleri

Beton çeşidi	KBHA (kg/dm <sup>3</sup> )	DBHA (kg/dm <sup>3</sup> )	SE (%)	
300	K <sub>ABC</sub>	1.810	2.015	11.3
	K <sub>ABD</sub>	1.834	2.027	10.5
	K <sub>ABE</sub>	1.846	2.017	9.3
	K <sub>ABCE</sub>	1.832	2.019	10.2
400	K <sub>ABC</sub>	1.810	2.022	11.7
	K <sub>ABD</sub>	1.812	2.028	11.9
	K <sub>ABE</sub>	1.779	2.014	13.2
	K <sub>ABCE</sub>	1.796	2.032	13.1
500	K <sub>ABC</sub>	1.889	2.079	10.1
	K <sub>ABD</sub>	1.868	2.066	10.6
	K <sub>ABE</sub>	1.862	2.044	9.8
	K <sub>ABCE</sub>	1.890	2.078	9.9
600	K <sub>ABC</sub>	1.842	2.053	11.5
	K <sub>ABD</sub>	1.819	2.044	12.4
	K <sub>ABE</sub>	1.840	2.037	10.7
	K <sub>ABCE</sub>	1.872	2.068	10.5

Çizelge 4.6'ya bakıldığı zaman sertleşmiş betonların KBHA'ları 1.779 ile 1.890 kg/dm<sup>3</sup> arasında değişmektedir. Çimento dozajının betonun KBHA'sına önemli bir etkisinin olmadığını söylemek mümkündür. Genelde bütün beton karışımlarında elde edilen betonun KBHA'ları 1.8 kg/dm<sup>3</sup> civarındadır. KBHA'ları 2.0 kg/dm<sup>3</sup> küçük olduğu gözükmekte ve hafif beton sınıfına girmektedirler [Şimşek, 2009; Şimşek, 2007; Topçu, 2006].

Betonların DBHA'larında ise çimento dozajı etkisiyle yine KBHA gibi önemli bir farklılık olmadığını söylemektedir. Genelde bütün beton karışımlarında elde edilen betonun DBHA'ları 2.0 kg/dm<sup>3</sup> civarındadır.

Genellikle ortalama SE oranının % 11.3±2 civarında değiştiği görülmektedir. Bazı beton karışımlarında bu SE değerinin % 10'nun altında olması dışa açık ve kılcal boşlukların olmamasından kaynaklandığı söylenebilir. SE oranındaki değişikliklerin doğrudan doğruya çimento dozajı ve birim hacim ağırlıkla ilişkisini kurmak oldukça

zordur. Sadece şu kaniya varmak mümkündür; KBHA'sı düşük olan bir betonun SE'si yüksektir. Yani KBHA 1.799 olan betonun su emmesi en yüksek % 13.2 olarak hesaplanmıştır.

#### Genleştirilmiş perlit agregalı hafif beton

Genleştirilmiş perlit agregalı hafif betonların 28 günlük BHA ve SE değerleri Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Genleştirilmiş perlit agregalı hafif betonların BHA ve SE değerleri

Beton çeşidi	KBHA (kg/dm <sup>3</sup> )	DBHA (kg/dm <sup>3</sup> )	SE (%)
K <sub>ABE</sub>	1.903	2.046	7.5
K <sub>ABE-1</sub>	1.842	2.026	10.0
K <sub>ABE-2</sub>	1.888	2.043	8.2
K <sub>ABE-3</sub>	1.881	2.028	7.8
K <sub>ABE-12</sub>	1.877	2.032	8.3
K <sub>ABE-13</sub>	1.867	2.036	9.1
K <sub>ABE-23</sub>	1.841	2.026	10.1
K <sub>ABE-123</sub>	1.856	2.037	9.8

Çizelge 4.7'ye bakıldığında % 10 oranında genleştirilmiş perlit agregasının ham perlit agregası ile yer değiştirilerek oluşturulan beton karışımlarının KBHA değerleri 1.841 ile 1.903 kg/dm<sup>3</sup> arasında değişmektedir. Referans betonuna (K<sub>ABE</sub>) göre genleştirilmiş perlit kullanılarak üretilen betonların KBHA'ları daha düşüktür.

Betonların DBHA'ları ise 2.026 ile 2.046 kg/dm<sup>3</sup> arasında değişmektedir. En yüksek DBHA referans betonunda (K<sub>ABE</sub>) bulunurken buna en yakın K<sub>ABE-2</sub> karışımıdır. En düşük DBHA oranı ise K<sub>ABE-1</sub> ve K<sub>ABE-23</sub> karışımında bulunmuştur. Betonlar arasındaki DBHA farklarının önemli olmadığı söylenebilir.

Betonların SE oranları % 7.5 ile 10.2 arasında değişmektedir. En düşük SE oranı referans karışımında (K<sub>ABE</sub>) bulunurken buna en yakın K<sub>ABE-2</sub> karışımıdır. En yüksek SE oranı ise K<sub>ABE-1</sub> karışımında bulunmuştur.

### Yüksek dayanımlı hafif beton

Yüksek dayanımlı hafif betonları üretmek için s/ç oranı 0.41, % 2 süper akışkanlaştırıcı, farklı oranlarda SD ikamesi ve genişletilmiş perlit agregası kullanımı ile üretilen hafif betonların 7, 28 ve 90 günlük KBHA değerleri Çizelge 4.8'de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Yüksek dayanımlı hafif betonların KBHA değerleri (kg/dm<sup>3</sup>)

Beton çeşidi	7 günlük	28 günlük	90 günlük
0-K <sub>ABE</sub>	1.958	1.979	1.990
5-K <sub>ABE</sub>	1.965	2.008	2.015
10-K <sub>ABE</sub>	1.982	2.001	2.021
15-K <sub>ABE</sub>	2.000	2.032	2.047
0-K <sub>ABE-2</sub>	1.943	1.946	1.966

Çizelge 4.8 değerlendirildiğinde kür süresi uzadıkça betonların KBHA değerlerinde sürekli bir artış görülmektedir. 7 günlük sertleşmiş betonların hepsinin KBHA değerleri hafif beton sınır değeri olan 2.0 kg/dm<sup>3</sup>'ün altında iken 28 ve 90 günlük betonların KBHA değerleri bu değer biraz üzerine çıkmıştır. Bu betonların 7, 28 ve 90 günlük DBHA değerleri Çizelge 4.9'da verilmektedir.

Çizelge 4.9. Yüksek dayanımlı hafif betonların DBHA değerleri (kg/dm<sup>3</sup>)

Beton çeşidi	7 günlük	28 günlük	90 günlük
0-K <sub>ABE</sub>	2.036	2.073	2.078
5-K <sub>ABE</sub>	2.031	2.078	2.078
10-K <sub>ABE</sub>	2.039	2.066	2.074
15-K <sub>ABE</sub>	2.055	2.091	2.096
0-K <sub>ABE-2</sub>	2.036	2.049	2.057

Çizelge 4.9 değerlendirildiğinde betonların DBHA'ları 2.031 kg/dm<sup>3</sup> ve üzerindedir. Betonların kür süresi arttıkça DBHA değerlerinin arttığı görülmektedir. Bu betonların 7, 28 ve 90 günlük SE değerleri ise Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.10. Yüksek dayanımlı hafif betonların SE değerleri (%)

Beton çeşidi	7 günlük	28 günlük	90 günlük
0-K <sub>ABE</sub>	4.0	4.7	4.4
5-K <sub>ABE</sub>	3.4	3.5	3.1
10-K <sub>ABE</sub>	2.9	3.2	2.6
15-K <sub>ABE</sub>	2.7	2.9	2.4
0-K <sub>ABE</sub> -2	4.8	5.3	4.6

Çizelge 4.10’da görüldüğü üzere betonların SE değerlerinin % 2.7 ile 5.3 arasında değiştiği bulunmuştur. SD kullanım oranının artışı ile su emme değerlerinin azaldığı, genişletilmiş perlit kullanımı ile arttığı bulunmuştur. 7 günlük SE oranları 28 günlük kür sonunda artmış, 90 günlük kür sonunda ise azalmıştır.

#### 4.3.2. Basınç dayanımı

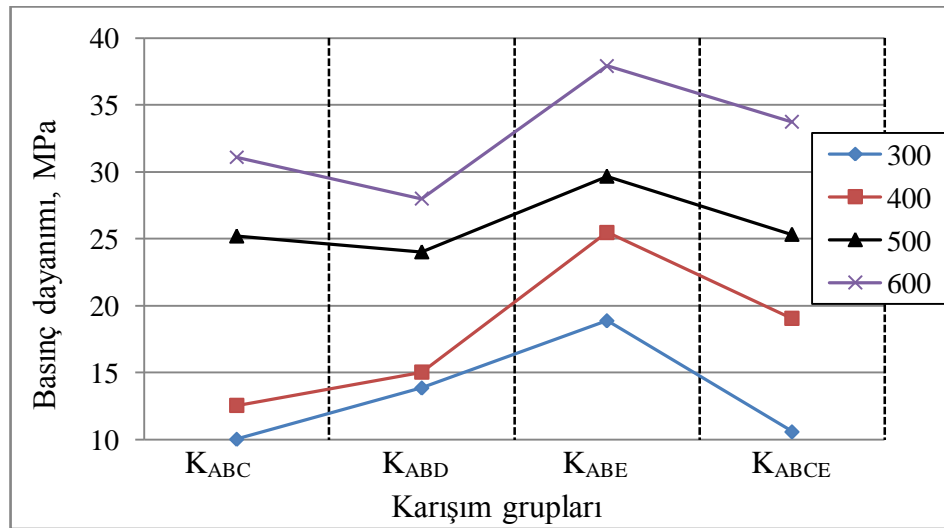
##### Perlit agregalı hafif beton

Perlit agregalı olarak farklı s/ç oranlarında, çimento miktarında ve agrega karışımlarında üretilen 16 farklı karışımın 3 numune üzerinden alınan ortalama basınç dayanımları ve standart hataları aşağıda Çizelge 4.11’de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Perlit agregalı hafif beton basınç dayanımı ve standart hataları

Beton çeşidi	N	Basınç dayanımı		
		Ortalama (MPa)	Std. Hata	
300	K <sub>ABC</sub>	3	10.0	0.178
	K <sub>ABD</sub>	3	13.9	0.384
	K <sub>ABE</sub>	3	18.9	0.390
	K <sub>ABCE</sub>	3	10.6	1.547
400	K <sub>ABC</sub>	3	12.6	0.140
	K <sub>ABD</sub>	3	15.1	0.242
	K <sub>ABE</sub>	3	25.5	0.664
	K <sub>ABCE</sub>	3	19.1	0.084
500	K <sub>ABC</sub>	3	25.2	0.431
	K <sub>ABD</sub>	3	24.0	0.505
	K <sub>ABE</sub>	3	29.7	1.153
	K <sub>ABCE</sub>	3	25.3	0.423
600	K <sub>ABC</sub>	3	31.1	0.450
	K <sub>ABD</sub>	3	28.0	0.369
	K <sub>ABE</sub>	3	37.9	1.262
	K <sub>ABCE</sub>	3	33.7	0.410

Çizelge 4.11'deki basınç dayanımları değerlendirildiğinde en küçük basınç dayanımı 10.0 en yüksek basınç dayanımı ise 37.9 MPa olmuştur. En yüksek basınç dayanımları 600 grubunda bulunmaktadır. Aynı zamanda hafif betonların basınç dayanımları karışım gruplarına göre Şekil 4.3'de verilmiştir.



Şekil 4.3. Perlit agregalı hafif betonların basınç dayanımı

Şekil 4.3 incelendiğinde beton basınç dayanımları karışımlarda kullanılan çimento dozajı kullanımı arttıkça artmaktadır. En yüksek basınç dayanımlarının  $K_{ABE}$  agrega karışımının olduğu beton gruplarında olduğu görülmüştür. Bu durum  $K_{ABE}$  agrega karışım grubunun en uygun karışım olduğunu göstermiştir. Bundan sonraki aşamalarda  $K_{ABE}$  grubunda bulunan agrega karışım oranları esas alınmıştır.

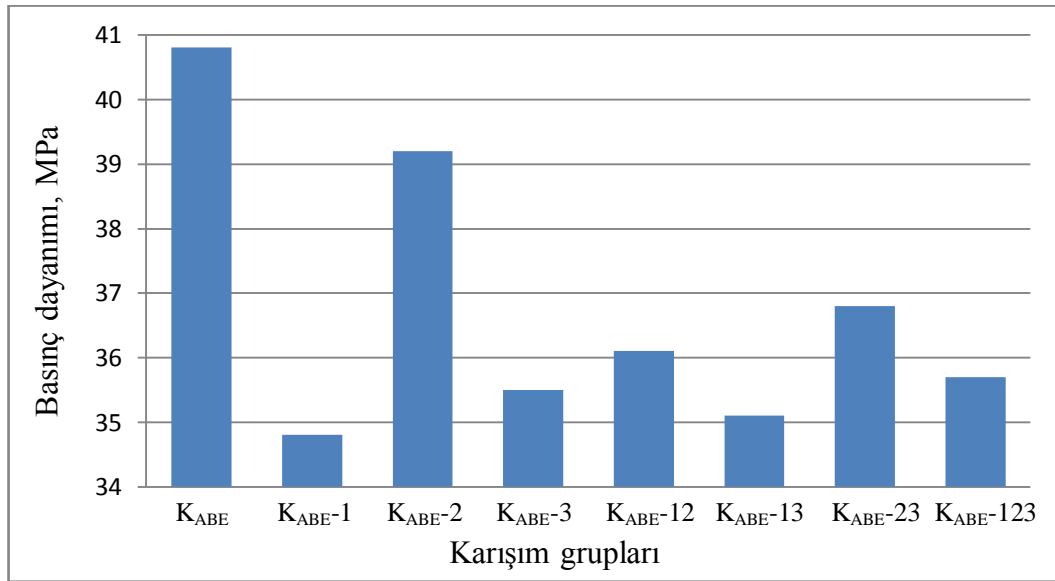
#### Genleştirilmiş perlit agregalı hafif beton

Genleştirilmiş perlit agregası kullanılarak hazırlanan hafif beton karışımlarının 28 günlük ortalama basınç dayanımları ve standart hataları Çizelge 4.12’de ve grafiksel olarak da Şekil 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.12. Genleştirilmiş perlit agregalı hafif beton basınç dayanımı ve standart hataları

Karışım	N	Basınç dayanımı	
		Ortalama (MPa)	Std. Hata
$K_{ABE}$	3	40.8	0.088
$K_{ABE-1}$	3	34.8	1.077
$K_{ABE-2}$	3	39.2	0.650
$K_{ABE-3}$	3	35.5	0.778
$K_{ABE-12}$	3	36.1	1.023
$K_{ABE-13}$	3	35.1	0.564
$K_{ABE-23}$	3	36.8	1.069
$K_{ABE-123}$	3	35.7	1.450

Çizelge 4.12’deki basınç dayanımları değerlendirildiğinde en küçük basınç dayanımı 34.8, en yüksek basınç dayanımı ise 40.8 MPa bulunmuştur.



Şekil 4.4. Genleştirilmiş perlit agregalı hafif betonların basınç dayanımı

Şekil 4.4'e bakıldığında kullanılan genleştirilmiş perlit agregalarının betonların basınç dayanımları üzerinde etkili olduğu görülmektedir. Genleştirilmiş perlit kullanılarak elde edilen betonların en yüksek basınç dayanımı 39.2 MPa ile K<sub>ABE-2</sub> karışımına aittir. Bu nedenle K<sub>ABE-2</sub> karışımında kullanılan genleştirilmiş perlit agregası yüksek dayanımlı hafif beton üretiminde kullanılmıştır.

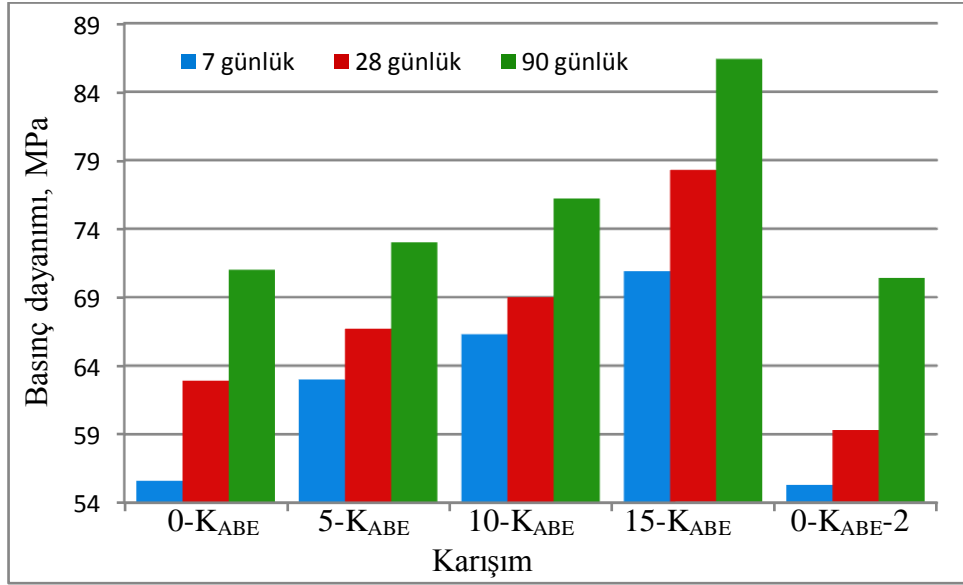
#### Yüksek dayanımlı hafif beton

Yüksek dayanımlı hafif betonların 7, 28 ve 90 günlük ortalama basınç dayanımları ve standart hataları karışım gruplarına göre aşağıda Çizelge 4.13'de ve grafiksel olarak Şekil 4.5'de verilmiştir.

Çizelge 4.13. Yüksek dayanımlı hafif beton basınç dayanımı (MPa) ve standart hataları

karışım	7 günlük		28 günlük		90 günlük	
	ort.	std. hata	ort.	std. hata	ort.	std. hata
0-K <sub>ABE</sub>	55.6	0.945	62.9	1.015	71.0	0.280
5-K <sub>ABE</sub>	63.0	0.800	66.7	0.645	73.0	0.900
10-K <sub>ABE</sub>	66.3	0.460	69.0	0.325	76.2	0.420
15-K <sub>ABE</sub>	70.9	0.375	78.3	1.185	86.4	0.700
0-K <sub>ABE-2</sub>	55.3	0.500	59.3	0.595	70.4	0.105





Şekil 4.5. Yüksek dayanımlı hafif betonların basınç dayanımı

Çizelge 4.13 ve Şekil 4.5 incelendiğinde üretilen yüksek dayanımlı hafif betonların 7 günlük basınç dayanımları 55.3 ile 70.9 MPa, 28 günlük basınç dayanımları 59.3 ile 78.3 MPa ve 90 günlük basınç dayanımları 70.4 ile 86.4 MPa arasında olduğu görülmektedir. Betonların kür süresi ve SD ikamesiyle paralel olarak basınç dayanımlarında önemli artışlar görülmüştür. En yüksek basınç dayanımları % 15 oranında SD içeren 15-K<sub>ABE</sub> karışımında bulunmuştur.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 5.1. Sonuçlar

Bu çalışmada üretilen ham perlit agregalı hafif betonların, genleştirilmiş perlit agregalı hafif betonların ve yüksek dayanımlı hafif betonların üzerinde yapılan BHA, SE ve basınç dayanımı deney sonuçları şu şekildedir;

- Perlit agregalı hafif betonların en küçük basınç dayanımı 10 MPa, en yüksek basınç dayanımı ise 37.9 MPa bulunmuştur. Betonların BHA'ları 1.779 ile 1.890 kg/dm<sup>3</sup> arasında hafif beton sınırı içerisinde bulunmuştur. SE oranları ise % 9.3 ile 13.2 arasında değişmektedir.
- Genleştirilmiş perlit agregalı hafif betonların en küçük basınç dayanımı 34.8 MPa, en yüksek basınç dayanımı ise 40.8 MPa bulunmuştur. Betonların BHA'ları 1.841 ile 1.903 kg/dm<sup>3</sup> arasında hafif beton sınırı içerisinde bulunmuştur. SE oranları ise % 7.5 ile 10.1 arasında değişmektedir.
- Yüksek dayanımlı hafif betonların 7 günlük basınç dayanımları 45.9 ile 56.5 MPa, 28 günlük basınç dayanımları 47.6 ile 64.8 MPa ve 90 günlük basınç dayanımları 55.8 ile 76.9 MPa arasında bulunmuştur. Betonların kür süresi ve SD ikamesiyle paralel olarak basınç dayanımlarında önemli artışlar görülmüştür. En yüksek basınç dayanımları % 15 oranında SD içeren karışımında bulunmuştur. Kür süresi uzadıkça betonların BHA değerlerinde sürekli bir artış görülmektedir. 7 günlük sertleşmiş betonların hepsinin BHA değerleri hafif beton sınır değeri olan 2.0 kg/dm<sup>3</sup>' ün altında iken 28 ve 90 günlük betonların BHA değerleri bu değerin biraz üzerine çıkmıştır. Betonların su emme değerlerinin % 2.7 ile 4.8 arasında değiştiği bulunmuştur. SD kullanım oranının artışı ile su emme değerlerinin azaldığı, genleştirilmiş perlit kullanımı ile arttığı bulunmuştur. 7 günlük su emme oranları 28 günlük kür sonunda artmış, 90 günlük kür sonunda ise azalmıştır.

### 5.2. Öneriler

Bu çalışmada yapılan deneyler ve bulgulara istinaden eksik olarak görülen ve yapılmasında yarar olduğu düşünülen öneriler şu şekilde verilebilir;

- Çalışmada kullanılan perlit agregasının betonun durabilitesini engelleyecek bir reaktif özelliğinin olup olmadığı belirlenmeli ve varsa kontrol altına alınmalıdır.
- Genleştirilmiş perlit agregası kullanılarak üretilen yüksek dayanımlı hafif betonların içerisindeki genleştirilmiş perlit agregası oranının daha yüksek miktarlarda kullanılarak sertleşmiş betonun BHA, SE, basınç dayanımı gibi özelliklerine etkisi araştırılmalıdır.
- Çalışmada ikame malzemesi olarak kullanılan SD yerine perlitin kendisinden elde edilen perlit tozunun doğal puzolan olarak ikamesinin beton özelliklerine etkisi araştırılmalıdır.
- Çalışmada kullanılan perlit agregası tane büyüklüğünün artırılarak hafif beton üretimi araştırılmalıdır.
- Üretilen hafif betonların rötre özellikleri belirlenmeli ve buna bağlı olarak sertleşmiş beton özelliklerine etkisi araştırılmalıdır.
- Üretilen hafif betonların 120, 180 ve daha uzun günlerdeki kür durumunun beton özelliklerine etkisi araştırılmalıdır.

## KAYNAKLAR

Aitcin, P.C., “High-Performance Concrete”, *E and FN SPON*, London and Newyork, 1-650 (1998).

Anwar Hossain, K.M., “Properties of Volcanic Pumice Based Cement and Lightweight Concrete”, *Cement and Concrete Research*, 34: 283-291, (2004).

ASTM C 494/C 494 M – 08a, “Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete”, *Annual Book of ASTM Standards*, USA, (2008).

Berra, M. and Ferrara, G., “Normal Weight and Total Lightweight High Strength Concretes”, *ACI SP*, 121: 215-238 (1990).

Bai, Y., Darcy, F. and Basheer, P.A.M., “Strength and Drying Shrinkage Properties of Containing Furnace Ash as Fine Aggregate”, *Construction and Building Materials*, 19: 691-697 (2005).

Bingöl A. F. and Gül R., Compressive strength of lightweight aggregate concrete exposed to high temperatures, *Indian J. of Eng. and Materials Sciences*, 1168-1172 (2004).

Chia, K.S. and Zhang, M.H., “Water Permeability and Chloride Penetrability of High Strength Lightweight Aggregate Concrete”, *Pergoman-Cement and Concrete Research*, 32: 639-645 (2002).

Chandra, S. and Berntsson, L., “Lightweight Aggregate Concrete”, *Noyes Publications*, USA, 1-430 (2003).

Demirboğa. R. and Gül R., “The effects of expanded perlite aggregate silica fume and fly ash on the thermal conductivity of light weight concrete”, *Cement and Concrete Research*, 33: 723-727 (2002).

Demirboğa. R.. Örüng İ. and Gül R.. Effects of expanded perlite aggregate and mineral admixtures on the compressive strength of low-density concretes. *Cement and Concrete Research*, 31: 1627-1632 (2001).

Dhir, K., Mays R.G.C. and Chua, H.C., “Lightweight Structural Concrete with Aglite Aggregate”, 6(4): 249-261 (1984).

Erdoğan, T. Y., “Beton”, *Odtü Yayıncılık Genişletilmiş 2. Baskı*, Ankara, (2007).

Faust, T. and Gert König, E.H., “High Strength Lightweight-Aggregate Concrete”, *2nd Int. PhD Symposium in Civil Engineering*, Budapest, 1-8 (1998).

Faust, T. and Gert König, E.H., “Stres-Strain Curves of High Strength Lightweight Concrete”, *LACER*, 2: 103-109 (1997).

Friedemann, K., Krumbach, R. and Seyfarth, K., “High-Strength Concrete Durability Investigation by Using The CDF test”, *LACER*, 4: 97-112 (1999).

Gökçe, H. S. ve Can, Ö., “Pomza Agregasının Farklı Zamanlardaki Su Emmelerinin Hafif Betonun Mekanik ve Fiziksel Özelliklerine Etkisi”, *Politeknik Dergisi*, 12(4): 293-298 (2009).

Gökçe, H. S., Durmuş, G., Şimşek, O., “Alternatif Karışım Oranlarında Üretilen Doğal Perlit Agregalı Hafif Betonların Su/Çimento Üzerindeki Etkileri” *Politeknik Dergisi*, 13 (1): 55-63 (2010).

Gökçe, M., “Genleşmiş Kil Agregalarının Hafif Betonda Kullanılabilirliğinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-48 (2007).

Hoff, G.C., “High-Strength Lightweight Aggregate Concrete”, *ACI SP*, 121; 619-644 (1990).

Hwang, C.L. and Hung, M.F., “Durability Design and Performance of Selfconsolidating Lightweight Concrete”, *Construction and Building Materials*, 19: 1200-1207 (2005).

Kantarıcı, A. ve Türkmen, İ., “Kendiliğinden yerleşen betonların geçirimsizlik katsayısı ve mekanik özellikleri üzerine farklı kür şartlarının ve genleştirilmiş perlit agregasının etkileri”, *II. Mühendislik Bilimleri Genç Araştırmacılar Kongresi MBGAK 2005*, İstanbul, 361-369 (2005).

Kayali, O. and Zhu, B., “Chloride Induced Reinforcement Corrosion in Lightweight Aggregate High Strength Fly Ash Concrete”, *Construction and Building Materials*, (19): 327-336, (2004).

Kayali, O., “Flashag New Lightweight Aggregate for High Strength and Durable Concrete”, *2005 World Coal Ash Conference*, Lexington, 1-19 (2005).

Kılıç, A., Atış, C.D., Yasar, E. and Özcan, F., “High Strength Lightweight Concrete made With Scoria Aggregate Containing Mineral Admixture”, *Cement and Concrete Research*, 33: 1595-1599 (2003).

Malhotra, V.M., “Properties of High Strength Lightweight Concrete Incorporating Fly Ash and Silica Fume”, *ACI SP*, 121: 645-666 (1990).

Novokshchenov, V. and Whitcomb, W., “How to Obtain High Strength Concrete Using Low Density Aggregate”, *ACI SP*, 121: 683-700 (1990).

Neville, A.M., “Properties of Concrete”, *Jhon Wiley and Sons Inc., Fourth edition*, New York, 1-800 (1994).

Nielsen, A.V., Aitcin, P.C., “Properties of high-strength concrete containing light-, normal and heavy weight aggregate”, *Cement Concrete and Aggregates*, 14(1): 64-66 (1992).

Perlite, Technical Data Sheet, “Perlite in Industry”, *Perlite Institute Inc.*, New York, 1(1), (1974).

Pailhere, A.M, Buil, M. and Serana, J.J., “Effect of Fiber Addition on the Autogenous Shrinkage of Silica Fume Concrete”, *ACI Materials Journal*, 86(2): 139-144 (1998).

Selçuk, L., Gökçe, H. S., Kayabalı, K., Şimşek, O., “A New Non-Destructive Testing Technique: Nail Penetration Test”, *ACI Structural Journal*.

Şimşek, O., “Beton Bileşenleri ve Beton Deneyleri”, *Seçkin Yayıncılık 3. Baskı*, Ankara, 1-384 (2010).

Şimşek, O., “Beton ve Beton Teknolojisi”, *Seçkin Yayıncılık 3. Baskı*, Ankara, 1-293 (2009).

Şimşek, O., “Yapı Malzemeleri II”, *Seçkin Yayıncılık 3. Baskı*, Ankara, 1-234 (2007).

Şimşek, O., “Yapı Malzemeleri I”, *Beta Yayıncılık 2. Baskı*, İstanbul, 1-146 (2003).

Taşdemir, C., “Hafif Betonların Isı Yalıtım ve Taşıyıcılık Özellikleri”, *TMH-Türkiye Mühendislik Haberleri*, 427(5): 57-61 (2003).

Topçu, İ.B., “Yapı Malzemesi ve Beton”, *Şahvar Offset*, Eskişehir, (2006).

TS 3530 EN 933-1 “Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 1: Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini- Eleme Metodu”, *TSE*, Ankara, (1999).

TS EN 1097-6 “Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri için Deneyler-Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini”, *TSE*, Ankara, (2002).

TS EN 12350-2 “Beton - Taze beton deneyleri - Bölüm 2: Çökme (slump) Deneyi”, *TSE*, Ankara, (2010).

TS EN 12390-3 “Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 3: Deney numunelerinin basınç dayanımının tayini”, *TSE*, Ankara, (2010).

TS EN 12390-7 “Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 7: Sertleşmiş beton yoğunluğunun tayini”, *TSE*, Ankara, (2010).

Ulus, İ., “Ham Perlit Agregası Kullanılarak Yüksek Dayanımlı Hafif Beton Üretilebilirliğinin Araştırılması”, Doktora Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum, (2007).

Wasserman, R. and Bentur, A., "Interfacial Interactions in Lightweight Aggregate Concretes and Their Influence on the Concrete Strength, *Cement and Concrete Composites*, 18(1): 67-76 (1996).

Weber, S. and Reinhardt, H.W., "A New Generation of High Performance Concrete with Autogenous Curing", *Elsevier-Advn Cem Bas Mat*, 6: 59-68 (1997).

Wilson, H.S. and Malhotra, V.M., "Development of High Strength Lightweight Concrete for Structural Applications", *International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete*, 10(2): 79-90 (1998).

Zhang, M.H and Gjorff, O.E., "Mechanical Properties of High Strength Lightweight Concrete", *ACI Materials Journal*, 88(3): 240-247 (1991).

**EKLER**



## EK 1. Sertleşmiş betonların özellikleri

Hafif beton	Beton çeşidi	BHA (kg/dm <sup>3</sup> )		SE (%)	Basınç dayanımı (Mpa)		
		KBHA	DBHA		7 günlük	28 günlük	90 günlük
Perlit agregalı hafif beton	300K <sub>ABC</sub>	1.810	2.015	11.3	-	10.0	-
	300K <sub>ABD</sub>	1.834	2.027	10.5	-	13.9	-
	300K <sub>ABE</sub>	1.846	2.017	9.3	-	18.9	-
	300K <sub>ABCE</sub>	1.832	2.019	10.2	-	10.6	-
	400K <sub>ABC</sub>	1.810	2.022	11.7	-	12.6	-
	400K <sub>ABD</sub>	1.812	2.028	11.9	-	15.1	-
	400K <sub>ABE</sub>	1.779	2.014	13.2	-	25.5	-
	400K <sub>ABCE</sub>	1.796	2.032	13.1	-	19.1	-
	500K <sub>ABC</sub>	1.889	2.079	10.1	-	25.2	-
	500K <sub>ABD</sub>	1.868	2.066	10.6	-	24.0	-
	500K <sub>ABE</sub>	1.862	2.044	9.8	-	29.7	-
	500K <sub>ABCE</sub>	1.890	2.078	9.9	-	25.3	-
	600K <sub>ABC</sub>	1.842	2.053	11.5	-	31.1	-
	600K <sub>ABD</sub>	1.819	2.044	12.4	-	28.0	-
	600K <sub>ABE</sub>	1.840	2.037	10.7	-	37.9	-
	600K <sub>ABCE</sub>	1.872	2.068	10.5	-	33.7	-
Genleştirilmiş perlit agregalı hafif beton	K <sub>ABE</sub>	1.903	2.046	7.5	-	40.8	-
	K <sub>ABE-1</sub>	1.842	2.026	10.0	-	34.8	-
	K <sub>ABE-2</sub>	1.888	2.043	8.2	-	39.2	-
	K <sub>ABE-3</sub>	1.881	2.028	7.8	-	35.5	-
	K <sub>ABE-12</sub>	1.877	2.032	8.3	-	36.1	-
	K <sub>ABE-13</sub>	1.867	2.036	9.1	-	35.1	-
	K <sub>ABE-23</sub>	1.841	2.026	10.1	-	36.8	-
	K <sub>ABE-123</sub>	1.856	2.037	9.8	-	35.7	-
Yüksek dayanımlı hafif beton	0-K <sub>ABE</sub>	1.979	2.073	4.7	55.6	62.9	71.0
	5-K <sub>ABE</sub>	2.008	2.078	3.5	63.0	66.7	73.0
	10-K <sub>ABE</sub>	2.001	2.066	3.2	66.3	69.0	76.2
	15-K <sub>ABE</sub>	2.032	2.091	2.9	70.9	78.3	86.4
	0-K <sub>ABE-2</sub>	1.946	2.049	5.3	55.3	59.3	70.4

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı. Adı : GÖKÇE, H. Süleyman  
 Uyruğu : T.C.  
 Doğum tarihi ve yeri : 16.09.1986 – İzmir  
 Medeni Hali : Bekar  
 Telefon : 0 555 492 05 49  
 e-posta : suleymangokce@gazi.edu.tr

### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi	2010
Lisans	Gazi Üniversitesi	2008
Lise	Çınarlı Teknik Lisesi	2004

### İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2008-2010	Gazi Üniversitesi	Öğrenci Asistan
2008	Ocean Beauty Seafoods	Kalite Kontrol Personeli
2008	Armada Grandee	Alaska Sorumlusu (Danışman)
2007	Ocean Beauty Seafoods	Kalite Kontrol Personeli
2006	Ocean Beauty Seafoods	Kalite Kontrol Personeli
2005	T-Plast	Montaj Personeli
2004	Tepe Knauf	Formen

### Yabancı Dil

İngilizce

### Yayımlar

- Gökçe, H.S., Durmuş, G., Şimşek, O., “Alternatif Karışım Oranlarında Üretilen Doğal Perlit Agregalı Hafif Betonların Özelliklerine S/Ç Oranının Etkisi”, *Politeknik Dergisi*, 13 (1); 55-63 (2010).

2. Gökçe, H. S. ve Cemalgil, S., “Alkali-Silika Reaksiyonunun Kontrol Altına Alınmasında Endüstriyel Atıkların ve Doğal Kaynakların Değerlendirilmesi”, *Uluslararası Sürdürülebilir Yapılar Sempozyumu (ISBS)*, Ankara, 30-34 (2010).
3. Gökçe, H.S. ve Can, Ö., “Pomza Agregasının Farklı Zamanlardaki Su Emmelerinin Hafif Betonun Mekanik ve Fiziksel Özelliklerine Etkisi”, *Politeknik Dergisi*, 12 (4); 293-298 (2009).
4. Durmuş, G., Can, Ö. ve Gökçe, H.S., “Süper Akışkanlaştırıcı Katkılı Betonların Yüksek Sıcaklıktaki Basınç Dayanımı”, *E-Journal of New World Sciences Academy*, 4 (4); 341-347 (2009).
5. Durmuş, G., Can, Ö. ve Gökçe, H.S., “Hava Sürükleyici Katkılı Betonun Farklı Sıcaklıklardaki Davranışlarının İncelenmesi”, *Uluslararası Katılımlı Yapılarda Kimyasal Katkılar 3. Sempozyumu ve Sergisi*, Ankara, 263-272 (2009).
6. Aruntaş, H.Y., Durmuş, G., Can, Ö. ve Gökçe, H.S., “Yüksek Sıcaklık Etkisinde Kimyasal Katkılı Betonların İncelenmesi”, *Uluslararası Katılımlı Yapılarda Kimyasal Katkılar 3. Sempozyumu ve Sergisi*, Ankara, 273-282 (2009).
7. Selçuk, L., Gökçe, H.S., Kayabalı, K., Şimşek, O. “A new non-destructive testing technique: Nail penetration test”, *ACI Structural Journal*, (hakemde)
8. Gökçe, H.S., Taban, S., Şimşek, O., “Zeolitik Tüf İkamesinin Farklı Agregalar Üzerinde Alkali-Silika Reaksiyonu Etkilerinin Belirlenmesi” *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, (hakemde)
9. Gökçe, H.S., Şimşek, O., “Perlit Agregasının Pesimum Reaktif Agregata Oranının Farklı Yöntemlerle İncelenmesi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, (hakemde)
10. Gökçe, H.S., Şimşek, O., Demir, İ., Durmuş, G., “Perlit Agregalı Hafif Beton Üretimine Alternatif Genleştirilmiş Perlit Kullanımının Etkisi”, *Politeknik Dergisi*, (hakemde)

### Hobiler

Spor yapmak, satranç oynamak, araştırma yapmak, halk müziği dinlemek