

**KAPLAMALI VE KAPLAMASIZ PERLİT  
AGREGASIYLA ÜRETİLEN HARÇLARIN  
FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN  
KARŞILAŞTIRILMASI**

**Fırat ŞANLITÜRK  
Yüksek Lisans Tezi**

**İnşaat Müh. Ana Bilim Dalı**

**Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Veysel AKYÜNCÜ**

**2019**

**T.C.**  
**TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**KAPLAMALI VE KAPLAMASIZ PERLİT AGREGASIYLA ÜRETİLEN  
HARÇLARIN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN  
KARŞILAŞTIRILMASI**

**Fırat ŞANLITÜRK**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN: DR. ÖĞR. ÜYESİ VEYSEL AKYÜNCÜ**

**TEKİRDAĞ 2019**  
**Her hakkı saklıdır**

Dr. Öğretim Üyesi Veysel AKYÜNCÜ danışmanlığında, Fırat ŞANLITÜRK tarafından hazırlanan “Kaplmalı ve Kaplamasız Perlit Agregasıyla Üretilen Harçların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması” isimli bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Juri Başkanı: Doç. Dr. Nihat KABAY

*İmza :*

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Veysel AKYÜNCÜ

*İmza :*

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Timur CİHAN

*İmza :*

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu adına

Doç. Dr. Bahar UYMAZ

Enstitü Müdürü

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### KAPLAMALI VE KAPLAMASIZ PERLİT AGREGASIYLA ÜRETİLEN HARÇLARIN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

**Fırat ŞANLITÜRK**

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Veysel AKYÜNCÜ

Perlit ülkemizde rezerv olarak yer alan en önemli yeraltı kaynaklarımızdandır. Isı ile geliştirildiğinde ilk hacminin 20 katına kadar genişleyen bir kayadır. Genleştirilmiş perlit inşaat sektörü, tarım sektörü, gıda sektörü, tıbbi ilaç ve kimya sektörü gibi sanayi sektörlerinde kullanılmaktadır. Genleştirilmiş perlit yüksek ısı ve ses yalıtımı özellikleri nedeni ile düşük yoğunluklu yapı malzemesi olarak en fazla inşaat sektöründe kullanılmaktadır. Hafif olmasından dolayı binanın ölü yükünün azalmasını sağlamakta bu nedenle yapının depreme karşı performansını arttırmaktadır. Ancak yüksek su emme kapasitesi nedeniyle genleştirilmiş perlit betonun fiziksel ve mekanik özelliklerini olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle genleştirilmiş perlit agregalar polimerle kaplanarak su emmesinin azaltılmasına dönük çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmada; genleştirilmiş perlit kaplamalı ve kaplamasız olmak üzere sırasıyla %0, %20, %40, %60, %80 oranlarında rılem kumu ile yer değiştirilerek harç üretimleri gerçekleştirilmiştir. Üretilen tüm harç numunelerinin etkin su/çimento oranı 0,6 olarak belirlenmiştir. Kaplamalı ve kaplamasız genleştirilmiş perlit agregalı harç serilerinde; kuru birim hacim ağırlık, basınç dayanımı, eğilmede çekme dayanımı, kılcal su emme katsayısı, ultrases geçiş hızı, su emme oranı ve ısı iletkenlik hesap değeri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar genleştirilmiş perlitin artış oranına bağlı olarak harç numunelerin birim ağırlığının düştüğünü bununla beraber fiziksel ve mekanik özelliklerinin de değiştiğini göstermiştir. Isıl iletkenlik değerinin düşmesi ile birlikte daha iyi ısı yalıtım özelliğine sahip harç numuneler elde edilmiştir. Genleştirilmiş perlitin polimer kaplanması fiziksel ve mekanik özellikleri iyileştirmiştir.

**Anahtar Kelimeler :** Harç, Genleştirilmiş perlit, Basınç dayanımı, Isıl iletkenlik

**2019, 48 Sayfa**

## **ABSTRACT**

MSc. Thesis

### **COMPARISON OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF MORTARS MANUFACTURED WITH COATED AND UNCOATED PERLITE AGGREGATE**

**Fırat ŞANLITÜRK**

Tekirdag Namık Kemal University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Civil Engineering

Supervisor: Dr. Öğr. Üyesi Veysel AKYÜNCÜ

Perlite is one of the most important underground resources in our country. It is a rock that can expand up to 20 times its initial volume when expanded by heat. Expanded perlite can be used in industrial sectors such as construction sector, agriculture sector, food sector, medicine and chemical sector. Expanded perlite is used as a low density building material due to its high heat and sound insulation properties. Due to its lightweight, it decreases the dead load of the building and therefore increases the performance of the building against the earthquake. However, due to its high water absorption capacity, expanded perlite affects the physical and mechanical properties of concrete negatively. Therefore, it was tried to reduce water absorption by covering the expanded perlite polymer. In this study; mortar production was carried out by replacing with 0%, 20%, 40%, 60% and 80% rılem sand respectively with expanded perlite coated and uncoated. The effective water to cement ratio of all mortar samples was determined as 0,6 Tests were carried out on mortar samples to determine density, compressive strength, flexural strength, capillary water absorption, ultrasonic pulse velocity, water absorption ratio and thermal conductivity. The results showed that the density of mortar samples were reduced with increasing perlite content and that the physical and mechanical properties changed accordingly. Mortar samples with thermal insulating properties were obtained as a result of reduced thermal conductivity. Polymer coating of expanded perlite improved physical and mechanical properties.

**Key words:** Mortar, Expanded perlite, Compressive Strength, Thermal Conductivity

**2019, 48 Pages**

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iii</b>
<b>ÇİZELGE DİZİNİ</b> .....	<b>v</b>
<b>ŞEKİL DİZİNİ</b> .....	<b>vi</b>
<b>SİMGELER DİZİNİ</b> .....	<b>viii</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>ix</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. KURAMSAL BİLGİLER VE KAYNAK TARAMALARI</b> .....	<b>2</b>
2.1. Hafif Beton .....	2
2.1.1 Hafif Agregalar .....	3
2.1.2 Hafif Betonların Sınıflandırılması .....	3
2.1.3. Hafif Betonların Mekanik Davranışı .....	6
2.2.1. Perlitin Dünyadaki Durumu.....	11
2.2.1.1. Rezervler.....	11
2.2.1.2. Üretim ve Tüketim .....	12
2.2.1.3. Kullanım Alanları .....	12
2.2.2. Perlit Üzerine Yapılan Çalışmalar .....	13
2.2.3. Perlitin Polimer Kaplanması.....	15
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM</b> .....	<b>16</b>
3.1. Kullanılan Malzemeler Ve Özellikleri .....	16
3.1.1. Çimento .....	16
3.1.1.2 Kum .....	17
3.1.3. Su .....	17
3.1.2. Agregalar .....	18
3.1.2.1 Genleştirilmiş Perlit.....	18
3.1.2.2 Genleştirilmiş Perlitin Kaplanması.....	18
3.1.2.3 Genleştirilmiş Perlitin SEM Görüntüsü.....	19
3.2. Harç Üretimi İçin Kabul Edilen Esaslar .....	20
3.3. Harç Üretimi .....	21
3.3.1. Harcın Karıştırılması .....	22

3.3.2. Numunelerin Boyutu .....	23
3.3.3. Taze Harç Deneyleri.....	24
3.3.3.1. Yayılma Tablası Deneyi .....	24
3.3.4. Deney Numunelerinin Kalıplara Yerleştirilmesi.....	25
3.3.5. Deney Numunelerinin Hazırlanması .....	26
3.3.5.1. Numunelerin Kalıptan Çıkartılmadan Önce Taşınması ve Muhafazası .....	26
3.3.5.2. Numunelerin Kalıptan Çıkartılması.....	27
3.3.5.3. Numunelerin Su İçerisinde Küre Tabi Tutulması.....	27
3.3.6. Sertleşmiş Harç Deney İşlemleri .....	28
3.3.6.1. Eğilmede Çekme Deneyi .....	28
3.3.6.2. Basınç Deneyi.....	29
3.3.6.3. Ultrases Geçiş Hızı Deneyi .....	30
3.3.6.4. Kılcallık Deneyi.....	31
3.3.6.5. Su Emme Deneyi .....	33
3.3.6.6. Isıl İletkenlik Hesap Değeri Deneyi .....	33
<b>4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....</b>	<b>35</b>
4.1. Taze Harç Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	35
4.2. Sertleşmiş Harç Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi .....	35
4.2.1. Eğilmede Çekme Dayanımı Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	36
4.2.2. Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	37
4.2.3. Ultrases Geçiş Hızı Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi .....	38
4.2.4. Kılcallık Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi .....	39
4.2.5. Su Emme Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	39
4.2.6. Isıl İletkenlik Hesap Değeri Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	40
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>43</b>
<b>6. KAYNAKLAR.....</b>	<b>45</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>48</b>

## ÇİZELGE DİZİNİ

Çizelge 2.1. Hafif betonun yoğunluğa göre sınıflandırılması (TS EN 206:2013+A1).....	3
Çizelge 2.2. Hafif betonun basınç dayanımına göre sınıflandırılması (TS EN 206:2013+A1) .....	4
Çizelge 2.3. Hafif beton sınıfları (Postacıoğlu ve Taşdemir 1986) .....	5
Çizelge 2.4. İşlevlerine göre hafif betonların sınıflandırılması (Rilem 1975).....	6
Çizelge 2.5. Ham perlitin fiziksel özellikleri (Çiçek 2002).....	10
Çizelge 2.6. Genleştirilmiş perlitin fiziksel özellikleri (Çiçek 2002).....	10
Çizelge 2.7. Perlitin kimyasal analizi (DPT 2001) .....	11
Çizelge 2.8. Dünya perlit kaynakları (milyon ton) (Uyanık 2005).....	11
Çizelge 2.9. Dünya perlit üretimi (bin ton) (DPT 2006) .....	12
Çizelge 3.1. Kullanılan portland çimentosunun fiziksel özellikleri.....	16
Çizelge 3.2. Kullanılan portland çimentosunun kimyasal ve mekanik özellikleri .....	17
Çizelge 3.3. Rilem kumunun agregalarının granülometrisi.....	17
Çizelge 3.5. Genleştirilmiş perlit agregalarının granülometrisi.....	18
Çizelge 3.6. Genleştirilmiş perlit agregalarının özgül ağırlık ve su emme oranı .....	18
Çizelge 3.7. Genleştirilmiş perlit katkıli harç agrega karışım oranları .....	21
Çizelge 3.8. Genleştirilmiş perlit katkıli harç karışımlarındaki malzeme miktarları ve birim hacim ağırlıkları.....	22
Çizelge 3.9. Kaplanmamış ve kaplanmış perlit katkıli harç numunelerinin yayılma değerleri.. .....	25
Çizelge 4.1. Kaplanmamış ve kaplanmış perlit katkıli harç numunelerinin 28 günlük deney sonuçları .....	35



## ŞEKİL DİZİNİ

Şekil 2.1. Hafif betonların sınıflandırılması (Mindess and Young 1981) .....	5
Şekil 2.2. Tek eksenli çekme ve basınca maruz betonda agreganın normal veya hafif olması durumuna göre oluşan kırılma çizgilerinin görünüşü (Newman ve Newman 1969)6	
Şekil 2.3. Sürekli faz dayanımı fonksiyonu olarak hafif beton basınç dayanımı (Türkmen ve Kantarcı 2006).....	7
Şekil 2.4. Hafif ve normal agregalı betonlar için gerilme-şekil değiştirme eğrisi (Neville 1996).....	8
Şekil 2.5. Kayaç haldeki perlit (A), ham perlit (B) ve geliştirilmiş perlitin (C) görünümü (www.pertas.com).....	9
Şekil 3.1. Dimetilpolisiloksan .....	19
Şekil 3.2. Kaplanmamış Geliştirilmiş Perlitin SEM görüntüsü .....	20
Şekil 3.3. Kaplanmış Geliştirilmiş Perlitin SEM görüntüsü.....	20
Şekil 3.4. Çimentonun tartılması .....	23
Şekil 3.5. Numune kalıpları.....	24
Şekil 3.6. Yayılma tablası.....	25
Şekil 3.7. Harç numunelerinin kalıplara yerleştirilmesi .....	26
Şekil 3.8. Numunelerin kalıptan çıkarılması ve kodlandırılması .....	27
Şekil 3.9. Üç noktadan yükleme yöntemi ile eğilme dayanımı ölçümü.....	28
Şekil 3.10. Harç numunelerinin basınç dayanımına tabi tutulması .....	30
Şekil 3.11. Ultrases geçiş hızı ölçüm cihazı .....	30
Şekil 3.12. Transduserlerin konumlandırılması.....	31
Şekil 3.13. Kılcallık katsayısı belirleme deney düzeneği .....	32
Şekil 3.14. Kılcallık katsayısı deneyi .....	32
Şekil 3.15. Sertleşmiş harç numunesinin suya doygun ağırlığının ölçülmesi .....	33
Şekil 3.16. Sertleşmiş harç numunesinin ısı iletkenlik hesap değeri ölçüm cihazı .....	34
Şekil 4.1. Kaplanmamış ve kaplanmış perlit katkı harç numunelerinin eğilmede çekme dayanım sonuçları .....	36
Şekil 4.2. Kaplanmamış ve kaplanmış perlit katkı harç numunelerinin basınç dayanımları	37
Şekil 4.3. Kaplanmamış ve kaplanmış perlit katkı harç numunelerinin ultrases geçiş hızı tekniği deneyi sonuçları .....	38
Şekil 4.4. Kaplanmamış ve kaplanmış perlit katkı harç numunelerinin kılcal su emme katsayısı .....	39

Şekil 4.5. Kaplanmamış ve kaplanmış perlit katkılı harç numunelerinin ağırlıkça su emme oranları .....	40
Şekil 4.6. Kaplanmamış ve kaplanmış perlit katkılı harç numunelerinin ısı iletkenlik hesap değeri sonuçları .....	41
Şekil 4.7. Kaplanmamış ve kaplanmış perlit katkılı harç numunelerinin birim hacim ağırlık-ısı iletkenlik hesap değeri sonuçları değışimi .....	42

## SİMGELER DİZİNİ

B	: Prizma şekilli numunenin kare kesitinin kenar uzunluğu, mm
B	: Sertleşmiş harç numunesinin etüv kurusu ağırlığı, kg
D	: Sertleşmiş harç numunesinin suya doygun ağırlığı, kg
F <sub>c</sub>	: Kırılmadaki en büyük yük, N
F <sub>ct</sub>	: Yarmada çekme dayanımı, MPa
F <sub>f</sub>	: Numunenin kırıldığı anda ortasına uygulanan yük, N
K	: Kılcal geçirimsizlik katsayısı, cm/sn
KPH	: Harç içerisindeki kaplanmış genleştirilmiş perlitin hacmi, %
L	: Mesnet silindirlere arasındaki mesafe, mm
L	: Yol uzunluğu, mm
M	: Sertleşmiş harç numunesinin ağırlıkça su emme oranı, %
PH	: Harç içerisindeki kaplanmamış genleştirilmiş perlitin hacmi, %
R	: Şahit Numune
R <sub>c</sub>	: Basınç dayanımı, MPa
R <sub>f</sub>	: Eğilme dayanımı, MPa
t	: Zaman, sn
T	: Atımlı dalganın geçiş yolunu katetmesi sırasında geçen süre, µs
Q	: Emilen Su Miktar, g
q	: Birim Alandan Emilen, g/cm <sup>3</sup>
V	: Ultrases geçiş hızı, mm/ms
λ <sub>h</sub>	: Isıl iletkenlik hesap değeri, W/mK

## ÖNSÖZ

Çalışmanın hazırlanmasında büyük emek harcayan danışman hocam; Sayın Dr. Öğr. Üyesi Veysel AKYÜNCÜ'ye ve eğitim hayatım boyunca desteklerini esirgemeyen aileme çok teşekkür ederim.

Nisan 2019

Fırat ŞANLITÜRK

İnşaat Mühendisi

## 1.GİRİŞ

Perlit, doğal olarak oluşan geliştirildikten sonra yüksek ısı ve ses izolasyonu sunan silis esaslı volkanik bir kayadır. Dünya üzerindeki perlit rezervinin büyük bir bölümü ülkemiz sınırları içerisinde yer almaktadır. Perlit yaygın olarak inşaat sektöründe kullanılmaktadır. Genleştirilmiş perlit birim hacim ağırlığının düşük olması nedeni ile yapıların deprem dayanımı performansına katkı sağlamaktadır. Isı ve ses yalıtımında kullanılarak enerji verimliliği bakımından ülke ekonomisine büyük katkı sağlamaktadır (Azizi 2007).

Beton ve harçlar inşaat sektöründe en yaygın kullanılan yapı malzemeleridir. Bu yapı malzemelerinde kullanılan agregaların özelliklerine bağlı olarak, birim hacim ağırlığı kullanılan hafif agregalarla düşürülebilmektedir. Hafif betonların normal betonlara göre; yapılardaki ölü yüklerin azaltılması, düşük işçilik maliyetleri, ısı ve ses yalıtımına yüksek katkısı gibi üstünlükleri bulunmaktadır.

Ülkemiz jeolojik olarak büyük depremler üretebilecek aktif fay ve kırık sistemlerinin bulunduğu bir kuşaktadır. Geçmişte ülkemizde büyük can ve mal kayıplarına neden olan depremler meydana gelmiştir. Yapılan çalışmalar göstermiştir ki gelecekte de bu depremlerin tekrarlanacağı ön görülmektedir. Çünkü deprem, üzerinde yaşadığımız Dünya'nın dinamiğini dengeleyen enerji boşalmasıdır. Ancak gerekli önlemler alınırsa depremin zararlarını azaltmamız mümkün olabilmektedir, dünyada gelişmiş ülkelerde depremlerde can ve mal kayıplarının olmaması ya da çok az olması tesadüf değildir. Bunun bir sebebi de inşaat teknolojilerindeki gelişmeler ve yapılan binalarda pomza, perlit, ytong, gazbeton vb. hafif malzemelerin, yaygın olarak kullanılmasıdır. Hafif malzemeler bina ölü yükünü önemli oranda azaltmaktadır, Diğer yandan depremin oluşturduğu yatay ve düşey yöndeki şiddetli sarsıntılar, boşluklu malzemeler tarafından emilmekte dolayısıyla bina sarsılmakta fakat yıkılmamaktadır. Yeni inşaat teknolojilerinde binaların hatta çok katlı gökdelenlerin yükü çelik konstrüksiyon sistemlerine dağıtmakta duvar, bölme, tavan, taban ve sıvalarda hafif yalıtımlı yapı malzemeleri kullanılmaktadır. Böylece demir, çimento gibi ağır malzemelerin az kullanılması nedeniyle binalar ağır yüklerden kurtulmaktadır. Böylece binalar kendi ağırlıklarıyla ezilmemekte ve depremin yıkıcı zararları azalmaktadır (Doğan, Şener 2004).

## 2. KURAMSAL BİLGİLER VE KAYNAK TARAMALARI

### 2.1. Hafif Beton

İnşaat mühendisliğinde yaygın uygulama alanı bulan normal betonun iyi bir taşıyıcı olmasına karşın birim ağırlığı büyük, dolayısıyla ısı iletkenlik katsayısı yüksektir. Normal betonun birim ağırlığının düşürülmesiyle betonarme elemanın öz ağırlıkları azaltılarak yapı hafifletilebilir. Böylece taşıyıcı sistem elemanlarının kesitleri küçültülerek ekonomi sağlanabilir. Diğer yandan betonda birim ağırlığın azaltılmasıyla ısı iletkenlik ve ısıl genleşme katsayıları küçülür, yangına dayanıklılık artar. Buna karşın, betonun boşluk miktarının artması nedeniyle dayanım düşer, aşınmaya dayanıklılık azalır, neme duyarlılık artar (Taşdemir 2003).

Hafif beton, toplam agreganın tümü veya bir kısmı hafif agregadan imal, fırın kurusu yoğunluğu  $800 \text{ kg/m}^3$  ile  $2000 \text{ kg/m}^3$  arasında değişen betondur (TS EN 206:2013+A1).

Taşıyıcı hafif beton, birim ağırlığı  $1900 \text{ kg/m}^3$ 'ün altında ve 28-günlük basınç dayanımı ise  $16 \text{ MPa}$ 'ın üzerinde olan betondur (TS 2511).

Birim ağırlıkları  $1840 \text{ kg/m}^3$ 'ü geçmeyen ve 28 günlük silindir basınç dayanımı  $17 \text{ MPa}$ 'ı aşan betonlar hafif beton sınıfına girerler. Ülkemiz de dahil olmak üzere bazı ülkelerin standartlarında, hafif beton birim ağırlığının  $1900 \text{ kg/m}^3$ 'e kadar çıkmasına izin verilir. Genel olarak hafif betonların birim ağırlıklarının pratik değişim aralığı  $300-1800 \text{ kg/m}^3$ 'dür (Taşdemir 1982).

Hafif agregalı beton kullanılarak, donatı çeliği ihtiyacı azalmakta, temellerde ve diğer taşıyıcı yapı elemanları kesitlerinin boyutlarında tasarruf sağlanmakta, depreme karşı daha güvenilir yapı elde edilmektedir (Shu ve ark. 1980).

Dayanımın yanı sıra hafiflik, ısı yalıtımı gibi özelliklerin de arandığı yerlerde kullanılan, birim ağırlıkları  $400-2000 \text{ kg/m}^3$  arasında değişen betonlardır. Hafif beton teknik, ekonomik ve çevresel avantajları sayesinde yapılar için çok yönlü kullanılan bir malzemedir (Haque ve ark. 2004).

Hafif beton üretiminde en çok kullanılan yöntem normal agrega yerine hafif agregaların kullanılmasıdır. Hafif agregalar kullanılarak üretilen betonlar, hafif agregalı betonlar olarak adlandırılmaktadır. Betonların birim ağırlık ve dayanımı arasında orantılı bir artış olduğu için birim ağırlıklara bağlı olarak betonların sınıflandırılması yapılabilmektedir (Neville 1996).

### 2.1.1 Hafif Agregalar

Hafif agrega tane yoğunluğu 2000 kg/m<sup>3</sup>'ü veya gevşek yığın yoğunluğu 1200 kg/m<sup>3</sup>'ü aşmayan mineral kökenli agregalardır (TS EN 13055-1).

Hafif agregalı betonlar, 300 ile 1850 kg/m<sup>3</sup> değerleri arasında birim ağırlıklara sahip betonlardır (Neville 1996).

Hafif agregalar ile birim ağırlıkları 300 – 2000 kg/m<sup>3</sup>, küp basınç dayanımı 1 – 60 MPa, ısı iletkenlik değerleri ise 0,2 – 1 W/mK arasında değişen hafif betonlar üretilebilmektedir (Clarke 1993).

### 2.1.2 Hafif Betonların Sınıflandırılması

Hafif betonlar TS EN 206'da yoğunluğa göre sınıflandırılmaktadır. Çizelge 2.1 de gösterilen hafif betonun yoğunluk sınıfları aynı zamanda hedef değerle de tarif edilmiştir (TS EN 206:2013+A1).

**Çizelge 2.1.** Hafif betonun yoğunluğa göre sınıflandırılması (TS EN 206:2013+A1)

Yoğunluk sınıfı	D 1,0	D 1,2	D 1,4	D 1,6	D 1,8	D 2,0
Yoğunluk aralığı kg/m <sup>3</sup>	≥ 800 ve ≤ 1000	> 1000 ve ≤ 1200	> 1200 ve ≤ 1400	> 1400 ve ≤ 1600	> 1600 ve ≤ 1800	> 1800 ve ≤ 2000

Ayrıca hafif betonun basınç dayanımına göre sınıflandırılması Çizelge 2.2'de gösterilmiştir (TS EN 206:2013+A1).

**Çizelge 2.2.** Hafif betonun basınç dayanımına göre sınıflandırılması (TS EN 206:2013+A1)

Basınç dayanımı sınıfı	En Düşük karakteristik silindir dayanımı, N/mm <sup>2</sup>	En Düşük karakteristik küp dayanımı, N/mm <sup>2</sup>
LC 8/9	8	9
LC 12/13	12	13
LC 16/18	16	18
LC 20/22	20	22
LC 25/28	25	28
LC 30/33	30	33
LC 35/38	35	38
LC 40/44	40	44
LC 45/50	45	50
LC 50/55	50	55
LC 60/66	60	66
LC 70/77	70	77
LC 80/88	80	88

Hafif betonlar genellikle birim ağırlıklarına ve basınç dayanım değerlerine göre sınıflandırılırlar. Yalıtım betonlarından taşıyıcı olanlara kadar bütün hafif betonların özellikle birim ağırlık bakımından sınıflandırılmasında farklı kabuller bulunmaktadır (Neville 1975).

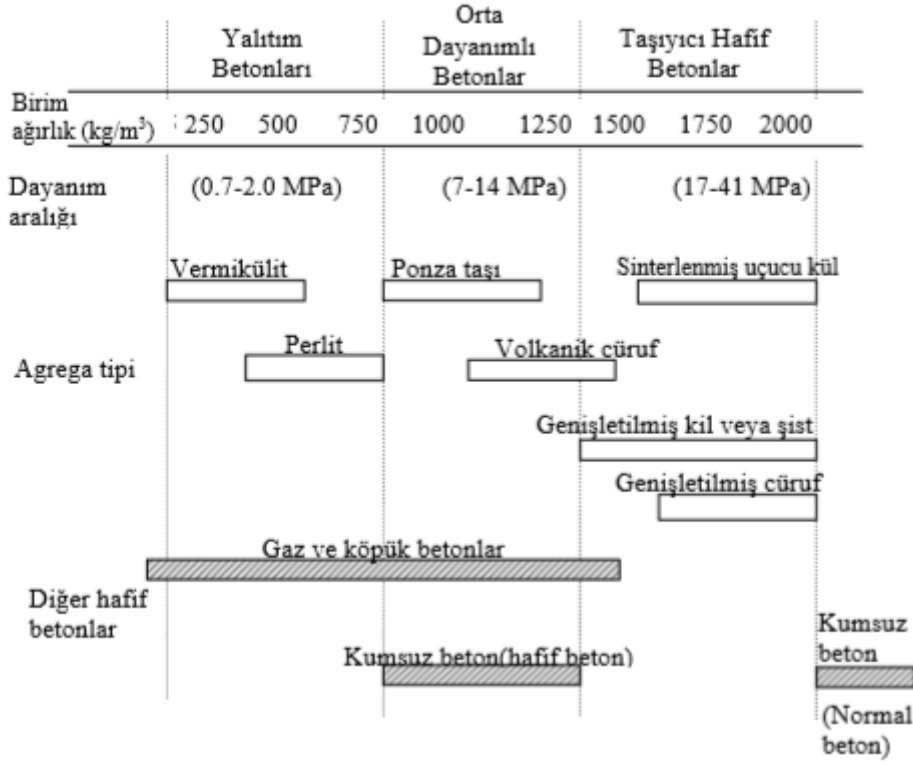
Taşıyıcı olan hafif betonların birim ağırlığı 1450-1800 kg/m<sup>3</sup> arasında değişmektedir, çoğunlukla birim ağırlık 1600-1800 kg/m<sup>3</sup> arasında kalmaktadır. Dayanımları 7-17 N/mm<sup>2</sup> arasında olan betonlar yalıtım betonu ile orta dayanımlı beton sınıfına girerler (Taşdemir 1982).

Birim ağırlıklarına göre hafif betonları üç gruba ayırmak olasıdır (Taşdemir 1982);

- Yalıtım Betonları: Birim ağırlıkları 300 kg/m<sup>3</sup> - 800 kg/m<sup>3</sup> arasında,
- Orta dayanımlı hafif Betonlar: Birim ağırlıkları 800 kg/m<sup>3</sup> - 1400 kg/m<sup>3</sup> arasında,
- Taşıyıcı hafif betonlar: Birim ağırlıkları 1450 kg/m<sup>3</sup>'den büyük olan betonlardır.

Yalıtım betonlar perlit ve vermikülit hafif agregasıyla üretilen betonlardır. Hafif betonlar sahip oldukları birim ağırlık ve basınç dayanımlarına göre şekil 2.1'deki gibi sınıflandırılmaktadır (Mindess and Young 1981).





Şekil 2.1. Hafif betonların sınıflandırılması (Mindess and Young 1981)

Birim ağırlığı geniş bir aralıkta değişen hafif betonları sahip oldukları basınç dayanımlarını da göz önüne alarak çizelge 2.3'deki gibi sınıflandırmak da olasıdır. Bu betonların S1 sınıfındakilerden esas olarak ısı yalıtımının sağlanmasında, kısmen de taşıyıcı olarak yararlanılır. S2 ve S3 betonları orta dayanımlı betonlardır, yalıtım özellikleri de vardır. S4, S5 ve S6 betonları ise taşıyıcı hafif betonlardır (Postacıoğlu ve Taşdemir 1986).

Çizelge 2.3. Hafif beton sınıfları (Postacıoğlu ve Taşdemir 1986)

Hafif Beton Sınıfı	Birim Ağırlık (kg/m³)	Basınç Dayanım Aralığı (MPa)
S1	800	1-7
S2	800-1200	7-10
S3	1000-1400	10-14
S4	1300-1800	14-25
S5	1500-1800	25-40
S6	1800-2000	40-70

Farklı bir sınıflandırma yöntemi olarak; Rilem (1975)'in önerilerine göre hafif betonlar Çizelge 2.4'deki gibi sınıflandırılabilir (Rilem 1975).

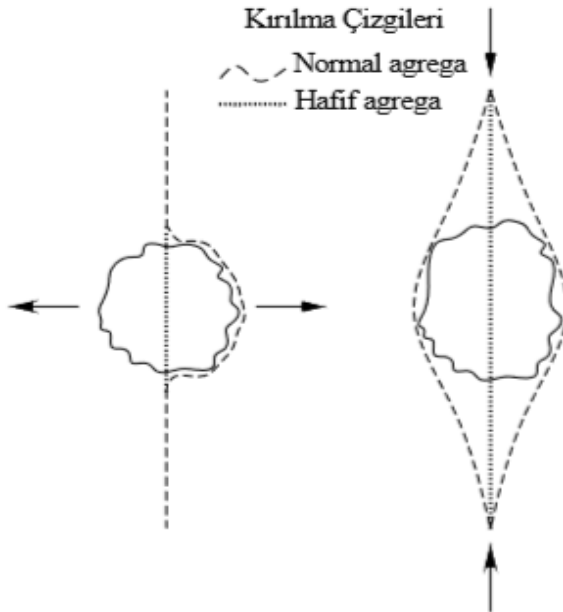
**Çizelge 2.4.** İşlevlerine göre hafif betonların sınıflandırılması (Rilem 1975)

Sınıf	1	2	3
Hafif betonun türü	Taşıyıcı	Taşıyıcı ve yalıtım	Yalıtım
Fırın kuru birim ağırlık(kg/m <sup>3</sup> )	<2000	Koşul konmamış	Koşul konmamış
Basınç dayanımı (MPa)	>15,0	>3,5	>0,5
Isı iletim katsayısı (W / mK )	-	<0,75	<0,30

Sınıf I betonunda en düşük basınç dayanımının 17 MPa'ın üstünde olması öngörülmele birlikte, farklı ulusal standartlarda sadece 15 MPa'ın üstünü zorunlu tutmaktadır. Genelde sınıflandırma için koşul konmuş olan değerler basınç dayanımı ve ısı iletim katsayısı koşullarıdır.

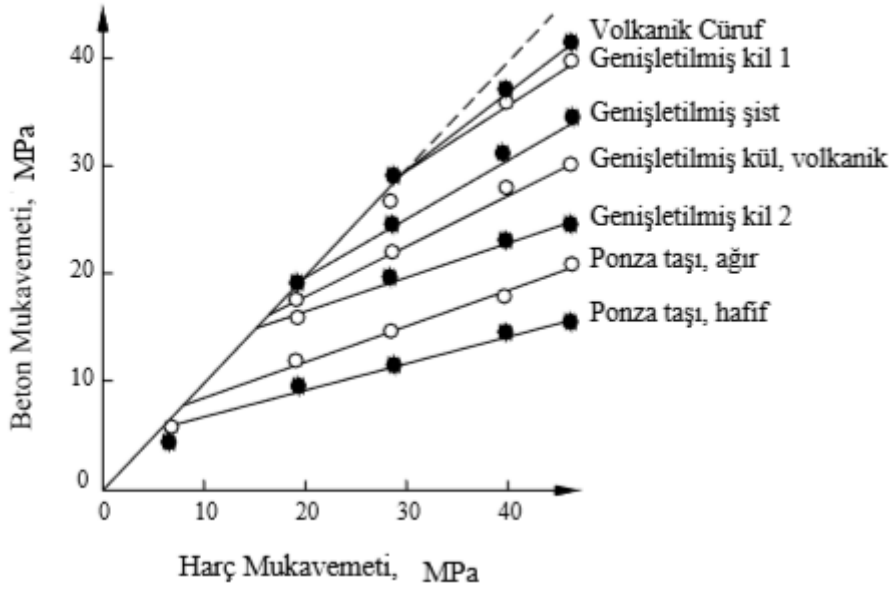
### 2.1.3. Hafif Betonların Mekanik Davranışı

K. Newman ve J.B. Newman (1969) çalışmasına göre; tek eksenli basınç ve çekme deneylerinde beton içindeki normal ve hafif agregalarda oluşan kırılma çizgileri Şekil 2.2'de gösterilmiştir. Tek eksenli basınç ve çekmeye maruz kalındığında, kırılma çizgileri normal agregaların çevresinden dolaşırken, hafif agregaların içinden geçmektedir.



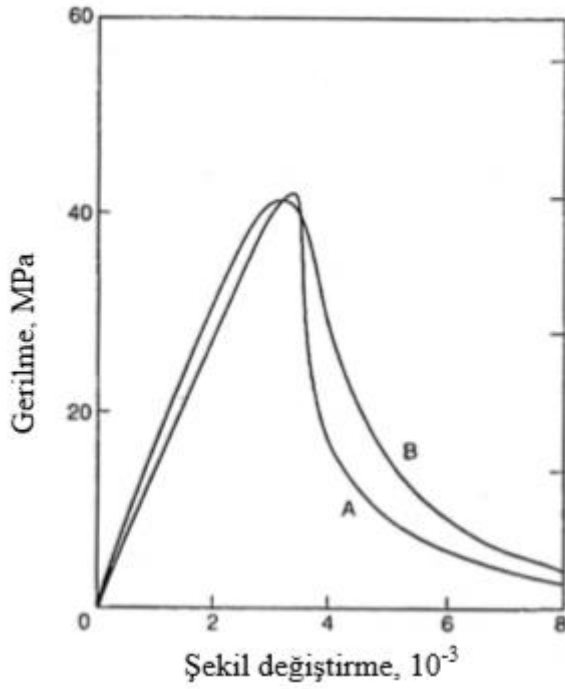
**Şekil 2.2.** Tek eksenli çekme ve basınca maruz betonda agreganın normal veya hafif olmasına göre oluşan kırılma çizgilerinin görünüşü (Newman ve Newman 1969)

Türkmen ve Kantarcı (2006) hafif agrega katkılı betonların dayanımlarını inceledikleri çalışmalarında, betona eklenen hafif agrega miktarı arttıkça hafif agrega katkılı betonların dayanımlarının azaldığını belirlemişlerdir. Sürekli faz dayanımı fonksiyonu olarak hafif beton basınç dayanımı değişimini Şekil 2.3'te gösterilmiştir.



**Şekil 2.3.** Sürekli faz dayanımı fonksiyonu olarak hafif beton basınç dayanımı (Türkmen ve Kantarcı 2006)

Hafif agregalı betonların; gerilme altındaki şekil değiştirme davranışları normal betonlara oranla farklılıklar göstermektedir. Hafif agregalı betonların ve normal betonların gerilme-şekil değiştirme eğrileri Şekil 2.4'te görülmektedir. Şekil 2.4'te görülen A eğrisi hafif betonların, B eğrisi ise normal betonların gerilme-şekil değiştirme eğrisini göstermektedir. Hafif agregalar ile çimento hamuru arasında iyi bir bağ oluşmasının bir etkisi olarak, betona herhangi bir yük uygulanması durumunda bağ mikro çatlakları geç oluşmaktadır. Bu nedenle betonun dayanabileceği son dayanım değerinin %90'ına kadar olan gerilmelerde, gerilme şekil değiştirme eğrisi lineer bir şekil almaktadır (Neville 1996).



**Şekil 2.4.** Hafif ve normal agregalı betonlar için gerilme-şekil değiştirme eğrisi (Neville 1996)

Normal betonlarda, çimento hamurunun elastisite modülü genel olarak agregaların elastisite modülünden daha düşük değerler almaktadır. Hafif agregalı betonlarda ise hafif agreganın elastisite modülü normal agregalardan daha düşük olduğu için, hafif agreganın ve çimento hamurunun elastisite modülleri arasındaki fark daha düşük bir değer almaktadır. Hafif agregalı betonlarda agreganın ile çimento hamurunun elastisite modülleri arasındaki düşük fark, iki malzeme arasında iyi bir bağ oluşmasını ve betonun iyi kompozit davranış göstermesini sağlamaktadır (Neville 1996).

## 2.2. Perlit

Dünyada çok yaygın olarak bulunabilen perlit, silisli volkanik taşlara verilen genel bir isimdir. Perlitin benzersiz bir özelliği, yumuşama noktasına gelene kadar (850-1150°C) ısıtıldığında kendi hacminin 20 katına kadar genişleyebilmesidir. Bu genişleme süreci ham kayanın bünyesinde bulunan su aracılığı ile olur. Perlit cevheri 850°C'nin üzerine hızlı bir şekilde çıkarıldığında su buharlaşmaya başlamakta ve yumuşayan taşın genişlemesine neden olmaktadır. Perlit inci taşı anlamına gelen, grinin tonlarından siyaha kadar farklı renklerde camsı volkanik bir kayadır. Bu haliyle perlite ham perlit denmektedir. Ham perlitin

çeşitli ölçülerde kırılıp, değişik aralıklarla eleklerden geçirilerek boyutlandırılmasından elde edilmiş perlit yüksek sıcaklıkta bünye suyunu kaybederek patlaması sonucunda hacminin yaklaşık 20 katına kadar çıkması haline de genişletilmiş perlit denir (Genper 2018).

Kayaç haldeki perlit, ham perlit ve genişletilmiş perlit Şekil 2.5'te görülmektedir. Ham halinde grinin tonlarında renklere sahip olan perlit, genişletildiğinde beyaz renk almaktadır.



Şekil 2.5. Kayaç haldeki perlit (A), ham perlit (B) ve genişletilmiş perlitin (C) görünümü (www.pertas.com)

Ham perlit ve genişletilmiş perlit farklı fiziksel özellikler göstermektedir. Ham perlit ve genişletilmiş perlitin fiziksel özellikleri Çizelge 2.5 ve Çizelge 2.6'de verilmektedir (Çiçek 2002).

**Çizelge 2.5.** Ham perlitin fiziksel özellikleri (Çiçek 2002)

Renk	Siyah ve grinin tonları
Özgül ağırlık	2200 - 2400
Birim ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	950 - 2700
Yumuşama noktası (C°)	871 - 1093
Erime noktası (C°)	1260 - 1343
Özgül ısı (kcal/kg C°)	0,20 - 0,23
Sertlik (Mohs)	5 - 6

**Çizelge 2.6.** Genleştirilmiş perlitin fiziksel özellikleri (Çiçek 2002)

Renk	Beyaz
Özgül ağırlık	55 - 300
Birim ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	30 - 250
Erime noktası (C°)	1300
Isıl iletkenliği (W/mK)	0,04
Isıl genişleme (m/m K)	4*10 <sup>-6</sup> - 11*10 <sup>-6</sup>
Ateşe karşı dayanım	Yanmaz
Ses yutma	0,60

Perlitin kimyasal analizi Çizelge 2.7’de verilmektedir (DPT 2001).

**Çizelge 2.7.** Perlitin kimyasal analizi (DPT 2001)

Bileşenler	Ağır. %'si	Bileşenler	Ağır. %'si
SiO <sub>2</sub>	71,0 - 75,0	SO <sub>3</sub>	0,0 - 0,2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,5 - 18,0	FeO	0,0 - 0,1
Na <sub>2</sub> O	2,9 - 4,0	Cr	0,0 - 0,1
K <sub>2</sub> O	0,5 - 5,0	Ba	0,0 - 0,05
CaO	0,5 - 2,0	PbO	0,0 - 0,03
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,1 - 1,5	NiO	Eser
MgO	0,02 - 0,5	Cu	Eser
TiO <sub>2</sub>	0,03 - 0,2	B	Eser
H <sub>2</sub> O	2,0 - 5,0	Be	Eser
MnO <sub>2</sub>	0,0 - 0,1	Serbest Silis	0,0 - 0,2

## 2.2.1. Perlitin Dünyadaki Durumu

### 2.2.1.1. Rezervler

Maden Teknik Arama Genel Müdürlüğünün yaptığı bir çalışmaya göre ülkemiz perlit rezervi bakımından çok zengin bir ülke durumundadır (DPT 2006). Dünyadaki olası perlit rezervlerinin yarısından fazlası Türkiye’de bulunmaktadır (Uyanık 2005). Dünya perlit rezervleri Çizelge 2.8’te gösterilmiştir.

**Çizelge 2.8.** Dünya perlit kaynakları (milyon ton) (Uyanık 2005)

ÜLKELER	GÖRÜNÜR HAM KAYNAKLAR (MİLYON TON)	OLASI HAM KAYNAKLAR (MİLYON TON)
ABD	50	200
YUNANİSTAN	50	300
JAPONYA	10	(Diğer ülkeler içinde)
TÜRKİYE	30	5700
DİĞER ÜLKELER	560	1500
DÜNYA TOPLAM	700	7700

Çizelge 2.8’de belirtilen görünür ham kaynakları günümüz koşullarında çıkarılması ve üretilmesi ekonomik olan kaynakları göstermektedir. Olası ham kaynaklar ise günümüz

koşullarında ekonomik olan kaynaklar ve günümüz teknolojisinde ekonomik olmayan kaynakların toplam miktarını belirtmektedir. Yeni teknolojilerin gelişmesiyle birlikte ekonomik olmayan kaynakların ekonomik bir şekilde çıkarılabilme potansiyelleri yüksektir (U.S Department of Interior 2006).

### 2.2.1.2. Üretim ve Tüketim

Dünyada üretilen ham perlitin çoğunluğu genişletilerek tüketilmektedir. İnşaat sektöründeki ihtiyaç ve taleplere göre tüketim miktarları değişim göstermektedir (DPT 2001). Çizelge 2.9’da 2004 ve 2005 yıllarında dünya perlit üretim miktarları gösterilmiştir (DPT 2006).

**Çizelge 2.9.** Dünya perlit üretimi (bin ton) (DPT 2006)

ÜLKELER	2004	2005
ABD	508	506
YUNANİSTAN	525	525
MACARİSTAN	145	60
JAPONYA	240	200
TÜRKİYE	366	400
DİĞER ÜLKELER	392	500
DÜNYA TOPLAM	1950	1920

### 2.2.1.3. Kullanım Alanları

Genleştirilmiş perlitin tüketim alanları aşağıda sıralanmaktadır.

a) İnşaat Sektörü: Perlitli sıvalar, çimento ve alçı bağlayıcılı perlit agregalı hafif yalıtım betonları, hafif yapı elemanları, çatı ve zemin yalıtım malzemeleri, zemin ve duvar boşluklarında gevşek dolgu malzemesi, yüzey döşemelerinde ısı ve ses yalıtıcı olarak, çimento ve alçı dışındaki bağlayıcılarla birlikte üretilen özel perlit betonları başlıca kullanım alanlarıdır (DPT 2001).

b) Tarım Sektörü: Bahçe tarımında, seracılık tarımında, tarla tarımında, çimli spor alanlarında gerekli uygun toprak koşullarını sağlamak amacıyla toprağın fiziksel özelliklerini arttırıcı “substrat” maddesi olarak kullanılmaktadır (DPT 2001).



c) Sanayi Sektörü: Kimya sanayinde süzme yardımcı malzemesi olarak, gıda ilaç ve kimya sanayinde dolgu maddesi olarak, ısı yalıtımında, seramik ve cam sanayinde katkı maddesi olarak ve metalürjide genel olarak kullanılmaktadır (DPT 2001).

d) Diğer Alanlardaki Uygulamalar: Ambalajlamada dolgu malzemesi olarak, plastik köpük vb. ürünlerde katkı malzemesi olarak, hafif plastik eşya ve mobilya yapımında dolgu maddesi olarak, gemi kaplama ve yalıtımında, yangına karşı özellikle çelik konstrüksiyonlarda yalıtım katmanı olarak kullanılmaktadır (DPT 2001).

### 2.2.2. Perlit Üzerine Yapılan Çalışmalar

Tokcan (1977) yaptığı çalışmada geliştirilmiş perlitin sıvaya katıldığında duvarlarda ses ve ısı izolasyonu sağladığını, ayrıca yanmadığı için yangına karşı koruyucu bir malzeme olduğunu ve bu özelliklerinden dolayı özellikle inşaat sektöründe kullanıldığını belirtmiştir. Bununla beraber içecek sanayiinde filtrasyon olarak, ilaçların taşınmasında inert katalizör olarak, ziraatta toprak ıslahı ve gübrelemede, ambalaj sanayiinde, kirli suların filtre edilerek temizlenmesinde, döküm sanayiinde kullanılabilirliğini belirtmiştir.

Demirboğa ve ark. (2001) hafif beton üretiminde geliştirilmiş perlit ve pomzayı birlikte agrega olarak kullanmışlardır. Çimento dozajının %1,5'i kadar süper akışkanlaştırıcıyı su/çimento oranını düşürmek için karışımlara ilave etmişlerdir. Perlit agregasının oranı arttıkça, betonun birim hacim ağırlığının  $0,735 \text{ g/cm}^3$ 'e kadar düştüğünü tespit etmişlerdir. Karışımdaki perlit oranının pomzaya göre artırılmasının 7 günlük ve 28 günlük basınç dayanımlarını arttırmıştır.

Demirboğa ve ark. (2001) geliştirilmiş perlit ve ponza agregaları ile hazırlanmış farklı karışımlardaki betonların basınç dayanımlarını incelemiştir. Yapılan çalışma sonucunda agrega karışımındaki perlit miktarı arttıkça basınç dayanımının azaldığı tespit edilmiştir.

Demirboğa ve Gül (2003) farklı oranlarda geliştirilmiş perlit ve ponza agregası içeren hafif betonların ısı iletkenlik katsayılarını incelemiştir. Hafif betonların üretiminde kullanılan toplam agrega içerisindeki geliştirilmiş perlit miktarı artırılıp, ponza miktarı azaldıkça hafif betonların ısı iletkenlik katsayısının azaldığını tespit etmişlerdir.

Demirboğa ve Gül (2003) farklı oranlarda bağlayıcı karışımları içeren perlitli hafif betonların ısı iletkenliği incelenmektedir. Yapılan deneyler sonucunda  $522 \text{ kg/m}^3$  birim ağırlığa sahip perlitli hafif betonun ısı iletkenliği;  $0,1797 \text{ W/mK}$  olarak bulunmuştur.

Demirboğa ve Gül (2003) geliştirilmiş perlit beton üretiminde agrega olarak kullanmışlar ve 200 kg/m<sup>3</sup> olan çimento dozajını sabit tutarak bu ağırlığın %10'u, %20'si ve %30'u kadar silis dumanı ve uçucu külü çimento yerine kullanıp sonuçlarını incelemişlerdir. Karışımın su çimento oranını düşürmek için, çimento ağırlığının %1,5 oranında süper akışkanlaştırıcı kullanmışlardır. Çimento yerine %14 ve %18 oranlarında silis dumanı ve uçucu kül katılmasıyla ısı iletkenliğinin azaldığını ve bu katkıların miktarının artmasıyla numune yoğunluklarının 0,483 g/cm<sup>3</sup>'e kadar düştüğünü belirlemişlerdir. Silis dumanı katkısının 7 günlük basınç dayanımı değeri düşük, 28 günlük basınç dayanımı testinde artan değerlere, uçucu külün ise her iki yaşta da düşük değerlere neden olduğunu tespit etmişlerdir.

Erdem ve ark. (2006) doğal perlitin çimento üretiminde puzolanik katkı olarak kullanımını araştırmışlardır. %20 ve %30 perlit katkısı ile 320 m<sup>2</sup>/kg ile 370 m<sup>2</sup>/kg Blaine inceliğinde çimentolar üretmişlerdir. Üretilen çimentoların performansını lazer difraksiyon ile tanecik büyüklüğü dağılımı, normal kıvam, sertleşme süresi ve basınç dayanımı testleri ile kontrol etmişler, perlitin katkılı çimento üretiminde kullanılmak için yeterli puzolanik etkiye sahip olduğunu tespit etmişlerdir.

Türkmen ve Kantarcı (2007) Perlitin taşıyıcı sistemlerde kullanılabilmesi yönünde yaptıkları çalışmada; geliştirilmiş perlit agregası ile normal agrega içeren ve kendiliğinden yerleşen betonların (çimento+silis dumanı olarak seçilen bağlayıcı dozajı 450 kg/m<sup>3</sup> olarak sabit tutulmuş) değişik kür koşullarındaki basınç dayanımını, görünür porozitesini ve kılcallık katsayısını araştırmışlardır. Geliştirilmiş perlit kullanıldığında, kılcallık katsayısının ve görünür porozitesinin arttığını, bunun yanında artan geliştirilmiş perlit oranıyla birlikte basınç dayanımının azaldığını göstermişlerdir.

Topçu ve Işıkdag (2008) standart agrega yerine geliştirilmiş perlit % 0 ile %60 oranında kullanarak hafif beton numuneleri üretmişlerdir. Deneylerinde CEM II 32,5 ve CEM I 42,5 olmak üzere iki tip çimento kullanmışlar ve dozajı 300, 350 ve 400 kg olarak seçmişlerdir. Ürettikleri numunelerde, 300 kg dozaj ve %30 oranında perlit değişimi için minimum birim ağırlığı 1,8 g/cm<sup>3</sup>, basınç dayanımını iki çimento türüne göre 20 MPa ve 30 MPa olarak elde etmişlerdir.

Ceylan ve ark. (2010) yaptıkları çalışmada, farklı oranlarda ham ve geliştirilmiş perlit kiremit kiline ilave etmiş ve etkilerini incelemiştir. İki farklı sıcaklıkta pişirilen örneklerin artan perlit oranına ve artan sıcaklığa bağlı olarak fiziko-mekanik özellikleri belirlenmiştir. Çalışmada, artan perlit ilaveleri ile su emme ve porozite artmış, büzülme, yoğunluk ve

dayanımlar azalmıştır. Ham ve geliştirilmiş perlit ilaveli örneklerin 1000 oC ve 1100 oC' de pişirildikten sonraki dayanımlarında perlit oranının artışına paralel olarak azalma gözlenmiştir. Geliştirilmiş perlit ilaveli örneklerin dayanımları ham perlit ilaveli örneklere göre daha fazla azalmıştır. Ham perlit ve geliştirilmiş perlit ilaveli numunelerde sıcaklık artışıyla birlikte dayanım artışı olmuştur. Geliştirilmiş perlitli örneklerin dayanımının ham perlitlilere göre daha az olduğu belirlenmiştir.

Gürsoy ve Karaman (2016) çalışmasında geliştirilmiş perlit parçacıklarını plazma polimerizasyonu yardımıyla hidrofobik olarak kaplamıştır. Geliştirilmiş perlitin su emme kapasitesini %70'den % 5'in altına kadar düşürmüştür.

Sanyajan et al (2015) çalışmasında geliştirilmiş perlit parçacıklarını parafin ile kaplayarak su emme kapasitesini iyileştirerek hidrofobik hale getirmiştir. Beton panellerin ısı performansını, mikro yapısal ve mekanik özelliklerini incelemiştir.

### **2.2.3. Perlitin Polimer Kaplanması**

Geliştirilmiş perlit süngerimsi bir yapıdadır ve su ile temasında bünyesine kendi ağırlığının çok üstünde su çekmektedir. Bu yüzden perlitin inşaatlarda agrega olarak kullanılması zorluklar meydana getirmektedir. Harcın kuruma zamanı uzamakta ve bunun sonucunda gevrek bir yapı oluşmaktadır.

Perlit taneciklerinin polimer kaplanması ile yüzeyleri camlaşmaktadır. Bu camlaşmış yüzeyle perlitin bünyesine suyun girmesi engellenmektedir.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Deneysel çalışmayla, temin edilmiş genişletilmiş perlitin kaplanmış ve kaplanmamış harç üretimleri yapılmış olup, uygulanan deneyler ve deney sonuçları aşağıda verilmiştir.

#### 3.1. Kullanılan Malzemeler Ve Özellikleri

##### 3.1.1. Çimento

Tüm deneylerde CEM I 42,5 R cinsi portland çimentosu kullanılmıştır ve Limak çimento fabrikasından temin edilmiştir. Kullanılan portland çimentosunun, üretici firma tarafından belirlenen fiziksel özellikleri Çizelge 3.1’de kimyasal özellikleri Çizelge 3.2’de görülmektedir.

**Çizelge 3.1.** Kullanılan portland çimentosunun fiziksel özellikleri

özgül yüzeyi (cm <sup>2</sup> /g)	3550
45 µ’luk elekte kalan %	3,1
90 µ’luk elekte kalan %	0,2
Özgül ağırlık	3160
Priz başlangıcı	1 saat 59 dakika
Priz sonu	2 saat 50 dakika

**Çizelge 3.2.** Kullanılan portland çimentosunun kimyasal ve mekanik özellikleri

SiO <sub>2</sub> (çözünen) (%)	19,88	Tayin Edilemeyen (%)	0,79
SiO <sub>2</sub> (çözünmeyen) (%)	0,96	S.CaO-Free Lime (%)	1,2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	5,23	C <sub>3</sub> S (trikalsiyum silikat)(%)	49,39
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	3,6	C <sub>2</sub> S (dikalsiyum silikat) (%)	19,81
CaO (%)	62,62	C <sub>3</sub> A (trikalsiyum alüminat) (%)	7,78
MgO (%)	0,85	C <sub>4</sub> AF (tetrakalsiyum alüminoferrit) (%)	10,96
SO <sub>3</sub> (%)	3,23	Mekanik Özellikler	
Kızdırma kaybı (%)	2,45	Dayanım MPa 2 günlük	28
Cl <sup>-</sup> (%)	0,03	Dayanım MPa 7 günlük	41,3
Na <sub>2</sub> O/K <sub>2</sub> O (%)	0,58/0,74	Dayanım MPa 28 günlük	59,8

### 3.1.1.2 Kum

Harç üretiminde TS EN 196-1'e uygun CEN standart rilem kumu kullanılmıştır. Kullanılan kumun granülometri deney sonuçları, Çizelge 3.3'de görülmektedir. Granülometrik bileşim TS 706 EN 12620'e uygun olarak belirlenmiştir. Rilem kumunun özgül ağırlığı TS EN 1097-6'ya göre 2730 olarak bulunmuştur.

**Çizelge 3.3.** Rilem kumunun agregalarının granülometrisi

Malzeme türü	Elekten Geçen %						
Elek Boyutu (mm)	16	8	4	2	1	0,5	0,25
Rilem Kumu	100	100	100	96	82	54	18

### 3.1.3. Su

Deneysel çalışmaların tamamında Tekirdağ ili şehir şebeke suyu kullanılmıştır. Karışım suyu herhangi bir bekletilme zamanı olmadan, içme suyu şebekesinden alındığı zamanda kullanılmıştır.

### 3.1.2. Agregalar

#### 3.1.2.1 Genleştirilmiş Perlit

Harç üretiminde kullanılan genleştirilmiş perlit agregalarının granülometri deney sonuçları Çizelge 3.5’de verilmektedir. Granülometrik bileşim TS 706 EN 12620’e uygun elek takımına göre belirlenmektedir. Genleştirilmiş perlit İzmir Bergama yöresindeki kaynaklardan elde edilen Taşper perlit ürünlerinden temin edilmiştir.

**Çizelge 3.5.** Genleştirilmiş perlit agregalarının granülometrisi

Malzeme türü	Elekten Geçen %						
Elek Boyutu (mm)	16	8	4	2	1	0,5	0,25
Kaplanmamış Perlit	100	100	100	54	31	20	16

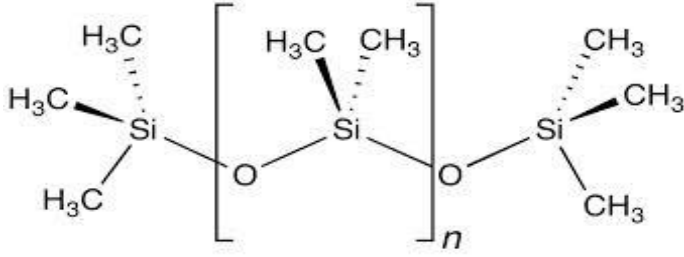
Harç üretiminde kullanılan kaplanmamış genleştirilmiş perlit agregalarının özgül ağırlık ve su emme oranları Çizelge 3.6’da verilmektedir.

**Çizelge 3.6.** Genleştirilmiş perlit agregalarının özgül ağırlık ve su emme oranı

Malzemeler	Özellikler	Yöntemler	Sonuçlar
Kaplanmamış Genleştirilmiş Perlit	Özgül Ağırlık	TS EN 1097-6	150
	Su Emme (%)	TS EN 1097-6	300

#### 3.1.2.2 Genleştirilmiş Perlitin Kaplanması

Polisiloksanlar; ısıya hava koşullarına ve ozona dayanıklılık, termal kararlılık, sıcaklık ile fiziksel sabitlerin çok az değişmesi, iyi bir dielektrik özellik, film oluşturma yeteneği, hidrofobik davranış gibi özellikleri ile inşaat sektörü, seramik sanayi, cam sanayi, metal işlemeciliği, korozyon korunması, boya ve vernik sanayi, tekstil sanayi, deterjanlar gibi alanlarda kullanılarak büyük ilgi görmektedirler. Polisiloksanlar, yüksek gaz geçirgenliğine, kimyasal ve fiziksel olarak inert ve hidrofobik özelliklere sahiptirler. Bu çalışmada polisiloksanlar perlitin yüzeyinin kaplanmasında kullanılarak yüzeyden sıvıların içeriye geçmesini engellemek amacıyla kullanılmıştır (Çavuşoğlu 2013).

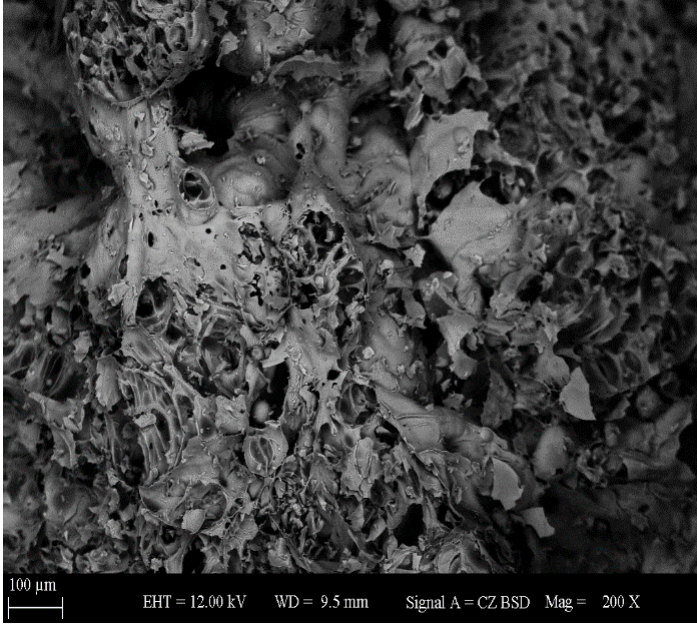


**Şekil 3.1.** Dimetilpolisiloksan

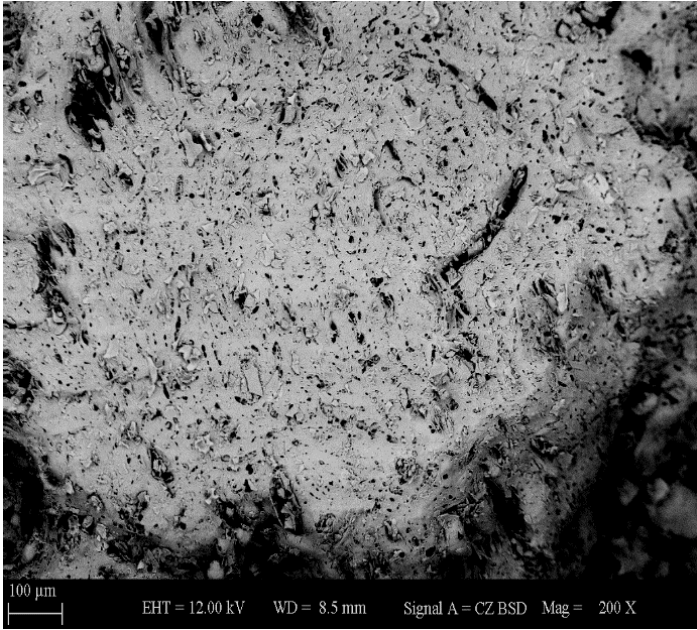
Genleştirilmiş perlit kaplamasında kullanılan madde bir silisyum türevidir. Bu madde bünyesinde kalsiyum, alüminyum iyonlarını içeren maddeler ile kimyasal olarak bağlanır. Uygulamada malzeme, çözelti halinde tatbik edilir. 24 saatte hava ile kimyasal reaksiyon vererek yüzeye bağlanır ve yüzeyde çok ince bir film tabakası oluşur. Fakat bu polimer bir camsı tabaka (polisilikat) oluşturduğu için sıvı madde içeri geçemez. Kaplanmış perlit yüzeyinde ki polisilik asit, çimentonun bünyesinde bulunan kalsiyum hidroksit ile reaksiyon vererek şekil 3.1’de kimyasal açılımının görüldüğü gibi sağlam kovalent bağlar oluşturur. Kaplanmış perlit yüzeyindeki silisik asit ile çimentoda ki kalsiyum hidroksitten su çıkması ile sağlam bir kimyasal bağ oluşur. Kaplanmış perlitin bütün yüzeyi polisilik asit ile çimentoda ki kalsiyum hidroksit reaksiyon vererek adeta zig-zag şeklinde bağlanır (Pelister 2018).

### 3.1.2.3 Genleştirilmiş Perlitin SEM Görüntüsü

Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Electron Microscope-SEM), birçok dalda araştırma-geliştirme çalışmalarında kullanılmaktadır. Elektronik ve optik sistemlerin birlikte kullanımı ile yüksek büyütme üzerinde işlem ve analizler yapılabilen görüntülerin elde edildiği daha küçük ayrıntıların görülebilmesine olanak sağlayan optik cihazlardır. Bu çalışma kapsamında genleştirilmiş perlit numunelerine ait SEM görüntüleri; Şekil 3.2 ve Şekil 3.3’de görülmektedir. Şekil 3.3 incelendiğinde yüzeyi kaplı genleştirilmiş perlitin boşluklarının kapandığı görülmektedir.



**Şekil 3.2.** Kaplanmamış Genleştirilmiş Perlitin SEM görüntüsü



**Şekil 3.3.** Kaplanmış Genleştirilmiş Perlitin SEM görüntüsü

### **3.2. Harç Üretimi İçin Kabul Edilen Esaslar**

Üretilen tüm harçların etkin su/çimento oranı 0,6 olarak belirlenmiştir. Üretilen genleştirilmiş perlit katkılı harçlarda toplam agrega hacminin sırasıyla, %0, %20, %40, %60, %80 oranında genleştirilmiş perlit ve %100 oranında kum içeren şahit numune kullanılmıştır.



Üretilen harç numuneleri; R şahit harç, PH kaplanmamış genişletilmiş perlit katkı harç, KPH kaplanmış genişletilmiş perlit katkı harç, izleyen sayı ise agrega hacmindeki yüzde genişletilmiş perlit oranını gösterecek şekilde adlandırılmıştır.

- R : %100 kum içeren normal harç  
 PH20 : %20 kaplanmamış perlit, %80 kum içeren harç  
 PH40 : %40 kaplanmamış perlit, %60 kum içeren harç  
 PH60 : %60 kaplanmamış perlit, %40 kum içeren harç  
 PH80 : %80 kaplanmamış perlit, %20 kum içeren harç  
 KPH20 : %20 kaplanmış perlit, %80 kum içeren harç  
 KPH40 : %40 kaplanmış perlit, %60 kum içeren harç  
 KPH60 : %60 kaplanmış perlit, %40 kum içeren harç  
 KPH80 : %80 kaplanmış perlit, %20 kum içeren harç

Harç üretiminde kullanılan malzemelerin hacimce birleşim miktarları Çizelge 3.7’de verilmektedir.

**Çizelge 3.7.** Genleştirilmiş perlit katkı harç agrega karışım oranları

Agrega Tipi ve Özelliği	Karışım Oranı, Hacimce %'si								
	R	PH20	PH40	PH60	PH80	KPH20	KPH40	KPH60	KPH80
Kum (0-4 mm)	100	80	60	40	20	80	60	40	20
Genleşmiş perlit (2-4 mm)	-	20	40	60	80	20	40	60	80
Toplam	100	100	100	100	100	100	100	100	100

### 3.3. Harç Üretimi

Harç üretimi TS EN 196-1 “Çimento Deney Metotları – Bölüm 1: Dayanım Tayini” standardına göre yapılmaktadır (TS EN 196-1, 2009).

Harç karışımlarına eklenmeden önce hafif agregalara, yarım saatlik zaman diliminde su emdirme işlemi uygulanmıştır. Böylelikle etkin su /çimento oranının istenilen değeri alması sağlanmıştır. Üretilen harçların gerçek malzeme miktarları ve taze beton özellikleri Çizelge 3.8’de verilmektedir. Bütün serilerde kuru birim hacim ağırlık, basınç dayanımı, eğilme çekme

dayanımı, kılcal su emme katsayısı, ultra ses geçiş hızı, su emme oranı ve ısı iletkenlik hesap değeri belirlenmiştir.

**Çizelge 3.8.** Genleştirilmiş perlit katkılı harç karışımlarındaki malzeme miktarları ve birim hacim ağırlıkları

Numune Kodu	1m <sup>3</sup> harçtaki gerçek malzeme miktarları ve taze harç özellikleri					
	Çimento (kg)	Su (kg)	Su/Çimento oranı	Kum 0-4 mm (kg)	Hafif agrega 0-4 mm (kg)	Birim hacim ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )
R	494	294	0,6	1482	-	1,99
PH20	494	294	0,6	1186	16,3	1,98
PH40	494	294	0,6	889,5	32,6	1,83
PH60	494	294	0,6	593	48,9	1,64
PH80	494	294	0,6	296,5	65,2	1,44
KPH20	494	294	0,6	1186	16,3	1,93
KPH40	494	294	0,6	889,5	32,6	1,74
KPH60	494	294	0,6	593	48,9	1,48
KPH80	494	294	0,6	296,5	65,2	1,25

### 3.3.1. Harcın Karıştırılması

Çimento ve su teraziyle tartılır. Su, hacimce ölçülerek ilave ediliyorsa, hacim,  $\pm 1$  ml hassasiyetle ölçülmelidir. Her bir harç harmanı, karıştırıcı ile mekanik olarak karıştırılır. Farklı karıştırma kademelerinin süreleri, karıştırıcının çalıştırılması/durdurulması arasında geçen süreler tekabül eder ve bu süreler en fazla  $\pm 2$  saniyeden fazla sapma olmayacak şekilde sağlanmalıdır. Şekil 3.4’de çimentonun tartımı görülmektedir.



**Şekil 3.4.** Çimentonun tartılması

Karıştırma işlemi aşağıdaki gibi olmalıdır:

- a) Su ve çimento karıştırma kabına, herhangi bir kayıptan kaçınılarak dikkatle konuldu.
- b) Su ve çimento birbiriyle temas eder etmez karıştırıcı düşük hızla çalıştırılmaya başlanırken, aynı anda karıştırma kademelerinin süresi de başlatılır. 30 saniyelik karıştırmanın ardından, genişletilmiş perlit ve kum agregaları kesintisiz şekilde 30 saniye içinde kaba ilave edilir. Karıştırıcı yüksek hıza getirilip, karıştırmaya bu hızda 30 saniye daha devam edildi.
- c) Karıştırıcı durdurulur ve 90 saniye beklenir. Bu sürenin ilk 30 saniyelik kısmında, kabın çeperlerine ve tabanına yapışan harç lastik veya plastik bir sıyrıcı ile sıyrılıp kabın ortasında toplanır.
- d) Son olarak karıştırıcı 60 saniye yüksek hızla çalıştırılır.

### **3.3.2. Numunelerin Boyutu**

Deney numuneleri prizma şeklinde 3'lü hazır kalıplara dökülerek, 40x40x160 mm boyutlarında üretilmiştir. Ayrıca ısı iletim katsayısı ölçümü için 300x300x30 mm ebatlarında dikdörtgenler prizması her seri için üretilmiştir. Şekil 3.5'de kalıp görselleri görülmektedir.



**Şekil 3.5.** Numune kalıpları

### **3.3.3. Taze Harç Deneyleri**

Taze harç deneyleri; harcın karışma işlemi tamamlanıp, kalıplara dökülmeye hazır hale getirilmesinden sonra gerçekleştirilmektedir. Taze harç deneyi olarak kıvam tayini deneyi yapılmıştır.

#### **3.3.3.1. Yayılma Tablası Deneyi**

Bu deney harç, kireç, çimento numunelerinin yayılma (akışkanlık) testlerinde kullanılmaktadır. Deneyin ilk aşamasında ölçüleri belirli tepesi kesik koni ( $h=60, \Phi=70$ [üst],  $\Phi=100$  [alt] mm) şeklindeki bir kalıp içine iki eşit tabaka halinde ve her tabakası 10 kez özel bir tokmakla tokmaklanarak standart olarak taze beton doldurulur. Aletin sarsma tablası, 300mm çapında olup, düşüş yüksekliği 10 mm'dir. Sarsma tablası, kap kaldırıldıktan sonra 15 kez düşürülür. Bu şekilde yayılan betonun çapı ölçülür. Taze harç kıvam tayini TS EN 1015-3 standardına göre belirlenmiştir. Şekil 3.6'da yayılma tablası deneyi uygulaması görülmektedir.



Şekil 3.6. Yayılma tablası

Çizelge 3.9. Kaplanmamış ve kaplanmış perlit katkıli harç numunelerinin yayılma değerleri

Yayılma (cm)	Numune Kodu								
	R	PH20	PH40	PH60	PH80	KPH20	KPH40	KPH60	KPH80
21,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Çizelge 3.9’da numunelerin yayılma değerleri verilmiştir. Deneyde düşürülen tabla, harca uygulanan kayma gerilmesini artırdığı için, deney kayma gerilmesinin zamanla değişimi, yani viskozite ile ilişkilidir. Genleştirilmiş perlit agrega kullanımı ile harcın işlenebilirliği olumsuz etkilenmemiş karışımdaki genleştirilmiş perlit miktarı arttıkça işlenebilirlik artmıştır. Bu nedenle genleştirilmiş perlit kullanılan serilerde akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanımına gerek kalmamıştır.

### 3.3.4. Deney Numunelerinin Kalıplara Yerleştirilmesi

Harç hazırlandıktan hemen sonra numune kalıplarına yerleştirildi. Harcın kalıplara yerleştirilmesi esnasında, kalıp sarsma tablasına sıkıca tutturuldu. Harç, her bir kalıp bölümüne iki tabaka hâlinde doldurulup, birinci tabaka harç, karıştırma kabından, uygun bir kepçe kullanılarak bir veya daha fazla kademedeki kalıbın her bölümüne aktararak oluşturuldu. Birinci harç tabakası, standart mala kullanılarak aynı kalınlıkta olacak şekilde yayıldı. Yayma işleminde standart mala mümkün olduğu kadar düşey tutulur. Ardından, birinci harç tabakası,

sarsma cihazında 60 defa düşürülerek sıkıştırıldı. İkinci harç tabakası ise kalıp seviyesinden yukarıda olacak şekilde birinci tabakanın üzerine doldurulup, standart mala kullanılarak yayıldı ve sarsma cihazına 60 düşüş daha yaptırılarak sıkıştırıldı.

Kalıp özenle sarsma tablasından alındı. Harcın kalıptan taşan kısmı, zaman geçirmeksizin, sıyırma yönüne doğru hafifçe eğimli olarak tutulan metal bir masterla sıyırılarak alındı. Master, iki yana doğru kesme hareketi yaptırılarak yavaşça çekildi. Numune yüzeyinin daha düzgün hâle getirilmesi için sıyırma işlemi master daha dar açıyla tutularak tekrarlandı. Sıyırma işlemi sonucunda kalıbın yan yüzleri ve tabanına dökülen harçlar temizlendi. Tanınabilmeleri amacıyla kalıplar kodlarına göre etiketlendi. Şekil 3.7’de harç numunelerinin kalıplara yerleştirilmesi uygulaması görülmektedir.



Şekil 3.7. Harç numunelerinin kalıplara yerleştirilmesi

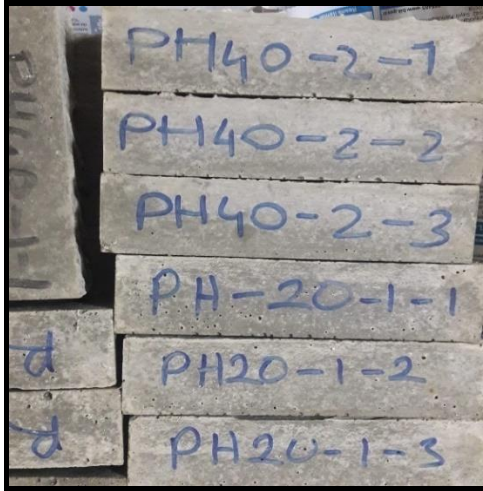
### 3.3.5. Deney Numunelerinin Hazırlanması

#### 3.3.5.1. Numunelerin Kalıptan Çıkartılmadan Önce Taşınması ve Muhafazası

Bu çalışmada kalıpların üzeri çimentoyla tepkimeye girmeyen diğer bir geçirimsiz malzemedan yapılmış polietilen naylon film ile kapatıldı. Üzeri polietilen naylon film ile kapatılmış kalıplar, geciktirilmeden, nem kabini içerisinde yatay bir zemin üzerine yerleştirildi. Nem kabinin içerisindeki nemli hava kalıbın her tarafına ulaşabilmelidir ve kalıplar birbirlerinin üzerine konmamalıdır. Her kalıp, içerisinden numune çıkartılmak üzere muhafaza edildiği yerden dışarıya alındı.

### 3.3.5.2. Numunelerin Kalıptan Çıkartılması

Kalıplar numunelere zarar vermeyecek şekilde itinayla söküldü. Bu işlem sırasında plastik veya kauçuk çekiçler veya özel olarak yapılmış aletler kullanılabilir. Su içerisinde küre tabi tutulacak numuneler, kürden sonra tanınabilmeleri için suya dayanıklı mürekkep ile uygun şekilde kodlandırıldı. Şekil 3.8’de harç numunelerinin kalıptan çıkarıldıktan sonra kodlanması görseli görülmektedir.



Şekil 3.8. Numunelerin kalıptan çıkarılması ve kodlandırılması

### 3.3.5.3. Numunelerin Su İçerisinde Küre Tabi Tutulması

Kodlanmış numuneler, kalıptan çıkarıldıktan sonra, geciktirilmeden içerisinde ( $20,0 \pm 1,0$ ) °C sıcaklıkta su bulunan havuzlara yatay konumda daldırıldı. Numuneler, havuzun içerisindeki ızgaralar üzerine, birbirleri arasındaki mesafe, numunelerin altı yüzeyinin tamamına suyun serbestçe ulaşması sağlanacak şekilde ayarlanarak yerleştirildi. Numuneler arasındaki mesafe veya numunelerin üst yüzeyi yukarıdaki su derinliği, kür boyunca hiçbir zaman 5 mm’nin altına düşmemelidir.

Belirli bir yaşta (24 saatten veya kalıp sökölme süresinin ötelendiği durumda 48 saatten farklı yaşta) deneye tabi tutulması gereken numuneler, deneyden en fazla 15 dakika önce sudan çıkartılmalıdır. Deney uygulanacak yüzeylerde birikinti varsa temizlenmelidir. Deney numuneleri, deney anına kadar nemli beze sarılmış durumda tutulur (TS EN 196-1).

### 3.3.6. Sertleşmiş Harç Deney İşlemleri

#### 3.3.6.1. Eğilmede Çekme Deneyi

TS EN 196-1/Madde 4.7’de tarif edilen cihaz tiplerinden birisi kullanılarak, üç noktadan yükleme yöntemi uygulanır. Prizma şekilli numune, cihaza (Madde 4.7), yan yüzeylerinden biri mesnet silindirleri üzerine gelecek şekilde, boyuna eksenini mesnet silindirlerine dik olarak yerleştirildi. Yük, yükleme silindiri vasıtasıyla numunenin mesnetlere oturan yüzünün karşıt yüzüne düşey olarak uygulanır ve  $(50 \pm 10)$  N/s sabit hızla numune kırılıncaya kadar artırılır. Eğilmede çekme deneyi uygulaması Şekil 3.9’da görülmektedir.



Şekil 3.9. Üç noktadan yükleme yöntemi ile eğilme dayanımı ölçümü

Eğilme deneyinden sonra iki parçaya bölünen prizma şekilli numunenin her bir parçası, basınç dayanım deneyine kadar nemli beze sarılmış durumda tutulmalıdır.

Eğilme dayanımı  $R_f$  megapaskal biriminde aşağıdaki bağıntıdan hesaplanır (3.1).

$$R_f = \frac{1,5 \times F_f \times l}{b^3} \quad (3.1)$$

Burada;

$R_f$  : Eğilme dayanımı, MPa,



- $B$  : Prizma şekilli numunenin kare kesitinin kenar uzunluğu, mm,  
 $F_f$  : Prizma şekilli numunenin kırıldığı anda ortasına uygulanan yük, N,  
 $L$  : Mesnet silindirleri arasındaki mesafe, mm

### 3.3.6.2. Basınç Deneyi

TS EN 196-1/Madde 9.1’de tarif edildiği şekilde veya numune parçalarında zararlı gerilmeler oluşturulmayacak uygun diğer yöntemler kullanılarak ikiye bölünen prizma şekilli numunelerden elde edilen numune parçaları üzerinde basınç dayanımı deneyi gerçekleştirildi.

Parçaların her biri, Madde 4.8 ve Madde 4.9’da tarif edilen cihazlar kullanılarak yan yüzlerine yük uygulanmak suretiyle deneye tabi tutuldu.

Prizma şekilli numune parçaları, parça eksenini ile cihazın eksenini arasında  $\pm 0,5$  mm’den daha fazla sapma olmayacak ve parçanın boyuna yönde yükleme plakaları veya uzatma plakalarından çıkıntısı 10 mm kadar olacak şekilde yükleme plakaları arasına yatay konumda yerleştirildi. Yük, tüm deney boyunca, prizma kırılıncaya kadar  $(2400 \pm 200)$  N/s sabit hızla uygulandı. Yükleme hızının elle ayarlandığı durumda, deney sonuçlarına önemli etkisi olacağından, kırılma anına yaklaşıldığında hız ayarının düşürülmesine dikkat edilmelidir (TS EN 196-1). Şekil 3.10’da basınç deneyi uygulaması görülmektedir.

Basınç dayanımı  $R_c$ , megapaskal birimde aşağıdaki bağıntıdan hesaplanır (3.2)

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad (3.2)$$

Burada;

$R_c$  : Basınç dayanımı, MPa,

$F_c$  : Kırılmadaki en büyük yük, N,

1600 : Yükleme plakaların veya uzatma plakalarının alanı ( $40 \text{ mm} \times 40 \text{ mm}$ ),  $\text{mm}^2$



Şekil 3.10. Harç numunelerinin basınç dayanımına tabi tutulması

### 3.3.6.3. Ultrases Geçiş Hızı Deneyi

Deneye tabi tutulan betonun bir yüzü ile temas halinde bir elektro-akustik transduser (Şekil 3.11 ve 3.12) tarafından boyuna titreşimlerden oluşan bir atımlı dalga üretilir. Beton içinde bilinen bir mesafe boyunca iletdikten sonra, atımlı dalga titreşimleri ikinci bir transduser tarafından elektrik sinyallerine çevrilir ve elektronik zamanlama devreleri sayesinde atımlı dalganın iletim süresi ölçülür.



Şekil 3.11. Ultrases geçiş hızı ölçüm cihazı

Tranduserler arasındaki mesafe (numune boyu) elde edilen süreye bölünerek ultrases geçiş hızı hesaplanır (TS EN 12504-4, 2012).

$$V=L/T \quad (3.3)$$

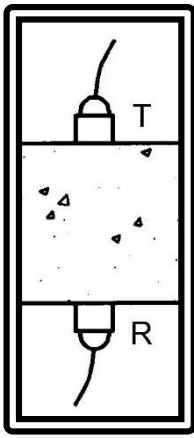
Formülü ile hesaplanmaktadır (3.3).

Burada,

V : Atımlı dalga hızı, km/s,

L : Yol uzunluğu, mm,

T : Atımlı dalganın geçiş yolunu katetmesi sırasında geçen süre,  $\mu$ s dir.



R: Alıcı transduser

T: İletici transduser

### Şekil 3.12. Transduserlerin konumlandırılması

Deney sırasında beton ile her bir transduserin yüzeyi arasında yeterli akustik temas olmalıdır. Temas sağlayıcı madde olarak kullanılan vazelin yardımı ile, harç numunelerinin yüzeyi ile transduserler arasında iyi akustik temas sağlandı.

#### 3.3.6.4. Kılcallık Deneyi

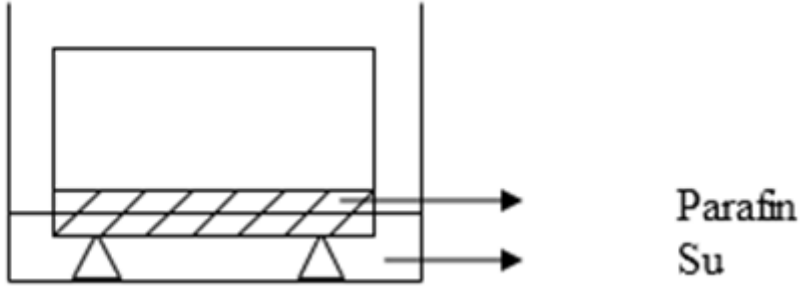
Harc yüzeyinin alt yüzünün bir sıvı veya su ile temas etmesi halinde suyun cismin içinde yükselmesi kılcallık olayı şeklinde tanımlanmaktadır. Bir yüzü su ile temas eden bir cismin (t) süresinde kılcallık yolu ile birim alandan emdiği su miktarı (m) ile su emme süresi (t) arasındaki bağıntı;

$$M = K\sqrt{t} \quad (3.4)$$

Formülü ile kurulabilmektedir (3.4).

Bu bağıntıda yer alan K kılcallık katsayısını etkileyen faktörlerin belirtilmesi zor ve olanaksız olduğundan bu katsayı, deneylere genellikle doğru bir uyum gösteren yukarıdaki ifade uygulanarak, doğrudan deney sonuçlarından bulunmaktadır. Farklı birim ağırlıklardaki

sabit ağırlığa gelinceye kadar fırında kurutulmasının ardından numunelerin tek tarafına su değecek şekilde numunelerin su emme miktarı belirlenmiştir. Şekil 3.13’de kılcallık deneyinde kullanılan düzenek tarif edilmiştir.



Şekil 3.13. Kılcallık katsayısı belirleme deney düzenegi

Kılcallık deneyinde kullanılacak numuneler 105 °C’ ik etüvde 24 saat bekletilmiştir. Desikatörde ortam sıcaklığına kadar soğutulmuş ve kuru tartımları alınmıştır. Numunelerin su ile temas edecek yüzeyi (F)cm<sup>2</sup> olarak bulunmuştur. Numuneler, içinde 20±5 °C de sıcaklıkta su bulunan bir kap içerisine konulmuş bağıtlerin 5 mm’lik kısmı su içinde kalacak şekilde suya daldırılmış ve her birinin 1., 4., 9., 16., 25., 36., 49., 64. dakikalarındaki su emişinin ağırlığı 0.1 g duyarlılıkla tartılarak su emiş ağırlıkları tespit edilmiştir.

Şekil 3.14’de kılcallık deneyinden görsel görülmektedir.



Şekil 3.14. Kılcallık katsayısı deneyi

### 3.3.6.5. Su Emme Deneyi

Sertleşmiş harç numunesinin su emme oranı tayini belirlenen etüv kurusu ağırlıkları ve suya doymuş ağırlıkları kullanılarak aşağıdaki bağıntı ile sertleşmiş harç numunelerinin su emme oranları hesaplanmıştır (3.5). Şekil 3.15’de su emme deneyi uygulaması görülmektedir.

$$M = \frac{(D-B)}{B} * 100 \quad (3.5)$$

B: Sertleşmiş harç numunesinin etüv kurusu ağırlığı, kg

D: Sertleşmiş harç numunesinin suya doymuş ağırlığı, kg

M: Sertleşmiş harç numunesinin ağırlıkça su emme oranı, %



Şekil 3.15. Sertleşmiş harç numunesinin suya doymuş ağırlığının ölçülmesi

### 3.3.6.6. Isıl İletkenlik Hesap Değeri Deneyi

TS 825’e göre sertleşmiş harç numunesinin ısı iletkenlik hesap değeri ölçümü, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Jeotermal Araştırma ve Uygulama Merkezi’ne gönderilen referans numaraları ile kodlanmış numunelerin KEM QTM 500 ısı iletkenlik hesap değeri ölçüm cihazı aracılığı ile belirlenmiş ve raporlanmıştır. Şekil 3.16’de ısı iletkenlik hesap değeri ölçüm cihazından görsel görülmektedir.



**Şekil 3.16.** Sertleşmiş harç numunesinin ısı iletkenlik hesap değeri ölçüm cihazı

KEM QTM 500 ısı iletkenlik hesap değeri ölçüm cihazı; çeşitli izolasyon malzemeleri, seramik, tuğla, plastik ve beton gibi ısı iletim katsayısı düşük malzemelerin ısı iletkenlik hesap değeri ölçümünde kullanılır.

Ölçüm aralığı	: 0.023-11.63 W/mK
Ölçüm hassasiyeti	: %5
Sıcaklık aralığı	: (-10)-200°C
Min. örnek büyüklüğü	: 120x60x20 mm

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1. Taze Harç Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Genleştirilmiş perlit agregasının kullanımı ile harcın işlenebilirliği olumsuz etkilenmemiş karışımdaki genleştirilmiş perlit miktarı arttıkça işlenebilirlik artmıştır. Bu nedenle genleştirilmiş perlit kullanılan serilerde akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanımına gerek kalmamıştır.

### 4.2. Sertleşmiş Harç Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

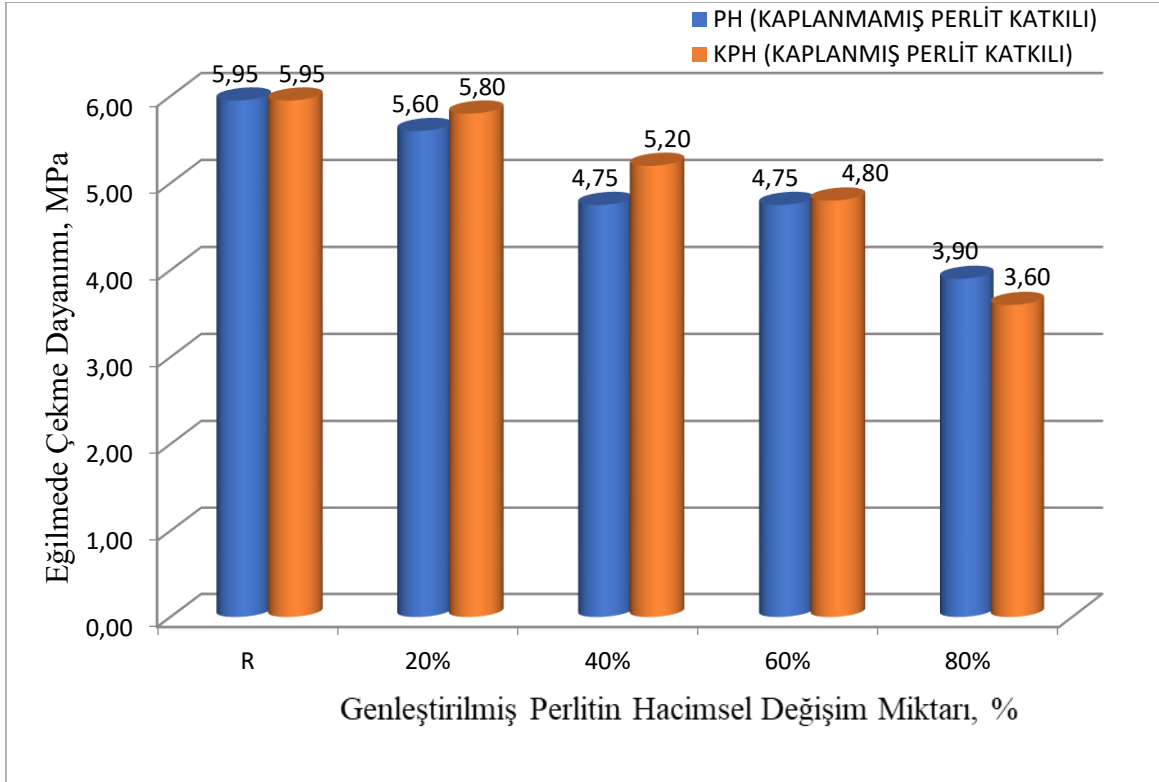
Deneyel çalışmalarda birim ağırlıkları 1250-1990 kg/m<sup>3</sup> arasında değişen toplam 8 seri hafif harç ve şahit harç üretilmiştir. Farklı birim ağırlıklarda üretilen ve 28 gün boyunca kirece doygun 20 (+/- 1) oC sıcaklıktaki suda bekletilen hafif harçlarda fiziksel, mekanik ve ısı iletkenlik hesap değeri tayini deneyleri yapılmış, sonuçlar Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.1.** Kaplanmamış ve kaplanmış perlit katkılı harç numunelerinin 28 günlük deney sonuçları

Numune kodu	Birim Hacim Ağırlığı (kg/m <sup>3</sup> )	Ağırlıkça Su Emme (%)	Ultrases Geçiş Hızı (mm/ms)	K (Kılcal geçirimsizlik katsayısı, cm/sn)	Eğilmede çekme dayanımı, MPa	Basınç dayanımı, MPa	$\lambda_h$ (ısı iletkenlik hesap değeri) (W/mK)
R	1990	7,50	4,30	8,17E-08	5,95	30,95	2,36
PH20	1980	8,10	4,20	1,08E-07	5,60	29,83	2,13
PH40	1830	11,60	4,10	1,56E-07	4,75	27,08	1,75
PH60	1640	15,10	3,60	2,55E-07	4,75	17,45	1,46
PH80	1460	18,10	3,20	3,15E-07	3,90	10,45	1,20
KPH20	1930	7,90	4,20	6,91E-08	5,80	25,98	2,19
KPH40	1740	9,90	3,90	1,45E-07	5,20	20,93	1,91
KPH60	1480	13,20	3,60	2,35E-07	4,80	14,53	1,25
KPH80	1250	16,60	3,10	2,54E-07	3,60	8,23	0,91

#### 4.2.1. Eğilmede Çekme Dayanımı Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Eğilmede çekme deneyi sonuçları Şekil 4.1’de grafik olarak gösterilmiştir.



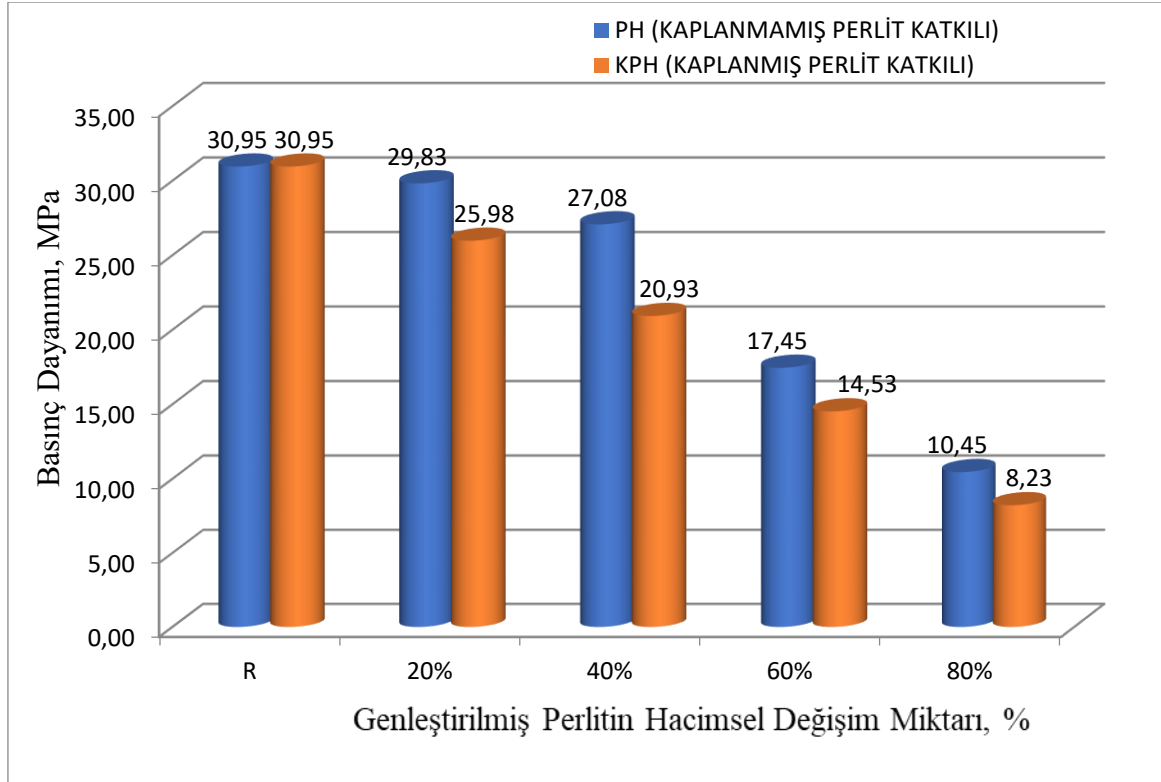
Şekil 4.1. Kaplanmamış ve kaplanmış perlit katkılı harç numunelerinin eğilmede çekme dayanım sonuçları

Eğilme deneyi sonuçlarına göre kaplanmamış perlit katkılı harç numuneleri içinde şahit numune en büyük eğilme dayanımına , %80 perlit katkılı numune en küçük eğilme dayanımına sahiptir. Kaplanmış perlit katkılı harç numuneleri içindeyse şahit numunenin en büyük eğilme dayanımına , %80 perlit katkılı numunenin ise en küçük eğilme dayanımına sahip olduğu görülmüştür. Kaplanmamış ve kaplanmış perlit katkılı harçlar karşılaştırıldığında en büyük oran şahit numunede en küçük oran %80 kaplanmış perlit katkılı numunede gözlemlenmiştir. Eğilme dayanımı sonucu, karışımlardaki perlit miktarı arttıkça birim hacim ağırlığı düşmekte ve harç numunelerinin eğilme dayanımları da düşmektedir. Üretilen harç numunelerinden normal üretilen harcın sahip olduğu eğilme gerilmesi dayanımına ulaşması beklenmemiştir. Harç numunelerinin üretim amacı kaplanmamış ve kaplanmış perlitle üretilen harç arasındaki farkı açığa çıkarmaktır. Nitekim yukarıda elde edilmiş değerler vasıtasıyla kaplanmış perlitle üretilen harç numunelerin, numuneler içinde daha homojen dağılması ve daha küçük birbirinden bağımsız boşluklar elde edilmesi ile kaplanmamış perlite göre eğilme gerilmesi daha yüksek sonuçlar elde edilmiştir.



#### 4.2.2. Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Basınç dayanımı deneyi sonuçları Şekil 4.2’de grafik olarak gösterilmiştir.

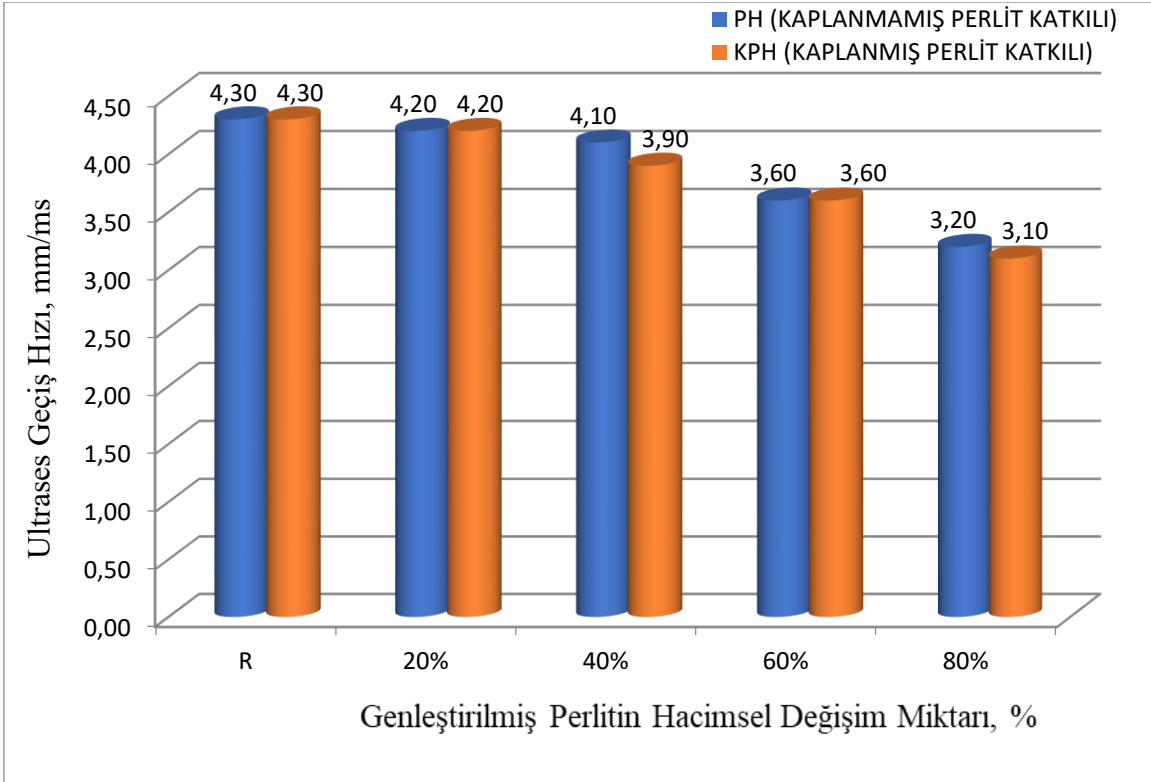


Şekil 4.2. Kaplanmamış ve kaplanmış perlit katkılı harç numunelerinin basınç dayanımları

Genleştirilmiş perlit katkılı harçların içeriğindeki genleştirilmiş perlit miktarı arttıkça, numunelerdeki toplam gözenek miktarının artması sonucu, üretilen harçların basınç dayanımları azalmaktadır. Yapılan basınç dayanımı sonuçlarına göre perlit katkılı harç numuneleri içinde en yüksek basınç dayanımına sahip numune PH20 numunesi, en düşük dayanıma sahip numune PH80 numunesidir. Ayrıca betonun performansında aderansın etkisi büyüktür. Kaplanmış perlit kullanılan numunelerde agrega yüzeyi camlaşır, ara yüzey azalır. Bu nedenle çimento agrega aderansı düşer aderansın düşmesiyle basınç dayanımı azalmaktadır. Kaplanmış perlit katkılı harç numuneleri içinde en yüksek dayanıma sahip numune KPH20 numunesi, en düşük dayanıma sahip numune KPH80 numunesidir. Perlit ve kaplanmış perlit katkılı harç numuneleri karşılaştırıldığında numuneler arasında en büyük basınç dayanımına sahip numune PH20 numunesi, en düşük basınç dayanımına sahip numune KPH80 numunesidir.

### 4.2.3. Ultrases Geçiş Hızı Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Ultrases geçiş hızı deneyi sonuçları Şekil 4.3’de grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Kaplanmamış ve kaplanmış perlit katkılı harç numunelerinin ultrases geçiş hızı tekniği deneyi sonuçları

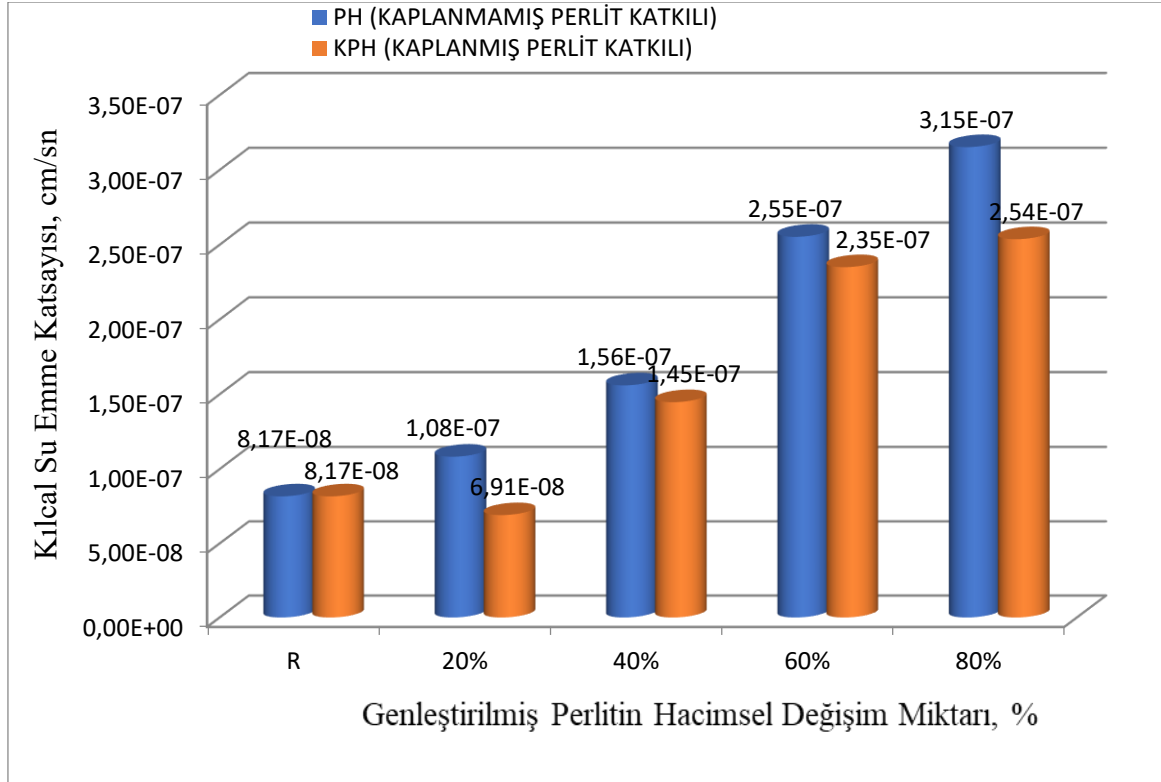
Ultrases geçiş hızı deneyi sonuçlarına göre karışımdaki perlit oranı miktarı arttıkça ses geçiş hızının düştüğü açık bir şekilde görülmektedir. Gözenekli ve boşluklu yapısı ile perlit agregası ses geçiş hızını düşürmektedir.

Ultrases geçiş hızı deneyi sonucunda kaplamalı ve kaplamasız genleştirilmiş perlit katkılı harç numunelerini karşılaştıracak olursak; kaplamalı numuneler bir miktar daha düşük sonuçlar vermiştir.

Ultrases geçiş hızı deneyi sonucu, kaplanmamış perlit ile üretilen harç numunelerin sesi daha hızlı iletildiği yani numunenin bir tarafından diğer tarafına gönderilen ses dalgası daha kısa sürede iletildiği gözlenmiştir. Ses dalgası madde içerisinde bir noktadan diğer noktaya hareket ederken maddenin bünyesinde bulundurduğu boşlukların çevresinden dolaşarak hareket ettiği bilinmektedir. Kaplanmamış perlit bünyesinde su bulundurduğundan dolayı ses iletimi daha kısa sürede gerçekleşmektedir kaplanmış perlit bünyesinde su bulundurmadığından dolayı ses iletimi daha uzun sürede gerçekleşmektedir. Bu nedenden dolayı kaplanmış perlit ile üretilen numunelerde ses iletim hızı daha yavaştır.

#### 4.2.4. Kılcallık Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Kılcal su emme deneyi sonuçları Şekil 4.4’de grafik olarak gösterilmiştir.

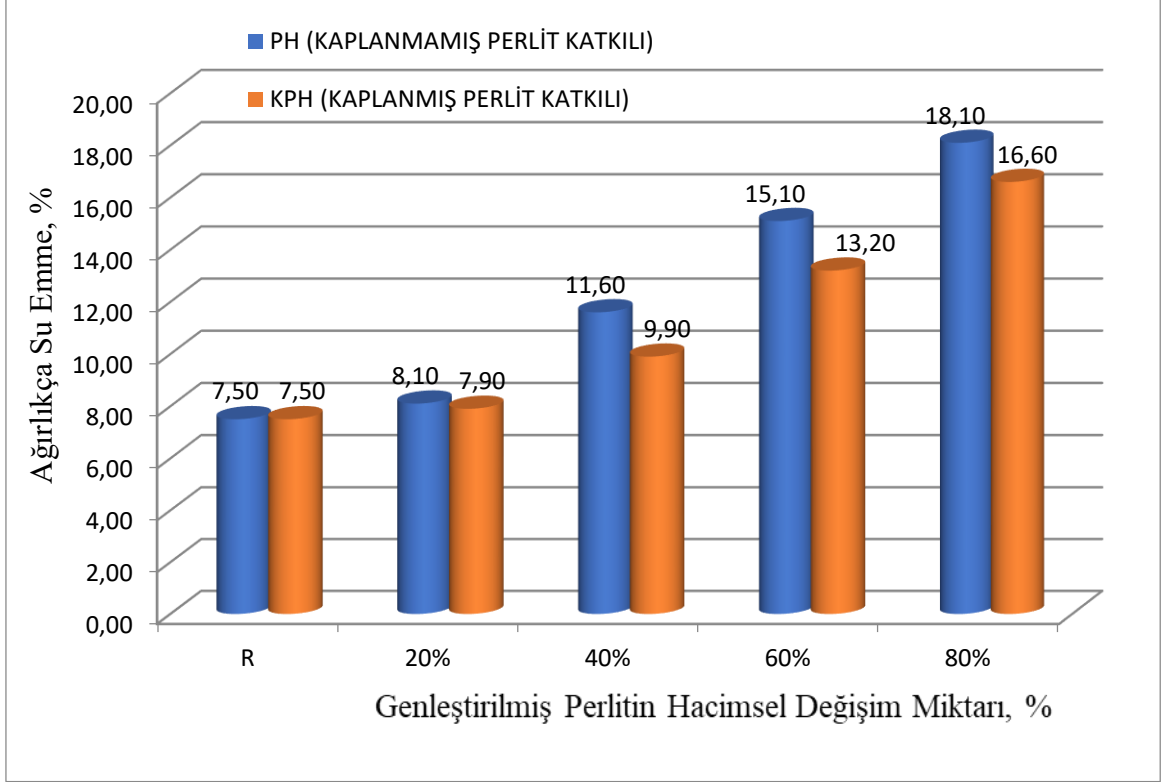


Şekil 4.4. Kaplanmamış ve kaplanmış perlit katkıli harç numunelerinin kılcal su emme katsayısı

Kılcal su emme deneyi sonuçlarına göre kaplanmamış perlit katkıli harç içinde şahit numune en küçük kılcal su emme katsayısına , %80 kaplanmamış perlit katkıli numune ise en büyük kılcal su emme katsayısına sahiptir. Kaplanmış perlit katkıli harç numunelerinde %20 perlit katkıli numunenin en küçük kılcal su emme katsayısına, %80 perlit katkıli numunenin ise en büyük kılcal su emme katsayısına sahip olduğu görülmektedir. Kılcal su emme katsayısı sonucu, kaplanmamış perlit ile üretilen harç numunelerin bünyesine daha fazla oranda su hapsediği gözlenmektedir. Perlit su emme kapasitesi yüksek bir malzeme olduğundan kendini suya doygun bir hale getirmeye çalışırken bünyesine fazla oranda su emer, kaplanmış perlit ise tanelerinin çevresi izole edildiğinden suya doygun malzeme gibi bir davranış göstermektedir.

#### 4.2.5. Su Emme Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Ağırlıkça su emme deneyi sonuçları Şekil 4.5’de grafik olarak gösterilmiştir.



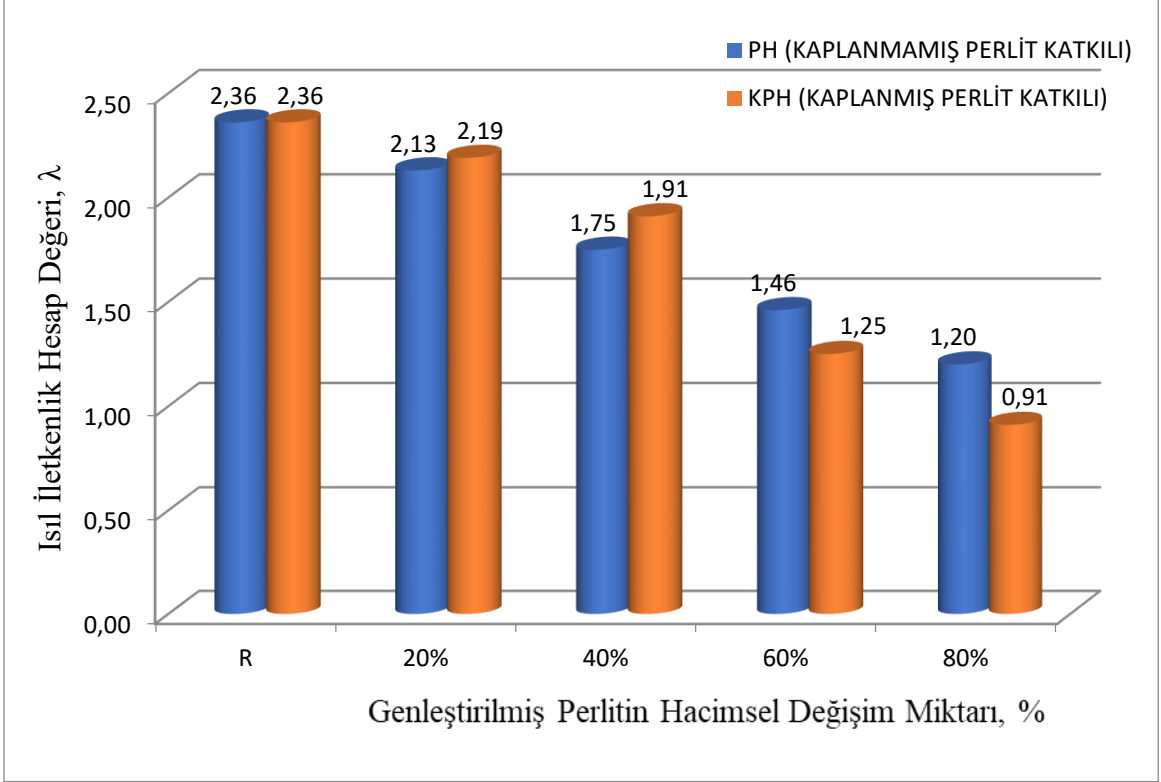
**Şekil 4.5.** Kaplanmamış ve kaplanmış perlit katkıli harç numunelerinin ağırlıkça su emme oranları

Genleştirilmiş perlitin yüksek su emme kapasitesi nedeni ile harç numunelerde genleştirilmiş perlit oranına paralel olarak su emme oranlarının da arttığı görülmektedir.

Su emme deneyi sonuçlarına göre kaplanmamış perlit katkıli harç numuneleri içinde, %80 perlit katkıli numune en büyük su emme oranına, %20 perlit katkıli numune ise en küçük su emme oranına sahiptir. Perlitin yüksek su tutma kapasitesi sayesinde, karışımlardaki perlit miktarı arttıkça harç numunelerinin ağırlıkça su emme oranları artmaktadır. Kaplanmış perlit katkıli harç numunelerinde, kaplanmamış perlit katkıli harç numunelerine göre daha düşük oranlar elde edilmiştir. Bunun sonucu olarak genleştirilmiş perlit taneciklerinin yüzeylerinin polimer kaplanmasıyla su tutma kapasitelerinin azaldığı sonucuna varılmıştır.

#### 4.2.6. Isıl İletkenlik Hesap Değeri Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Isıl iletkenlik hesap değeri deneyi sonuçları Şekil 4.6'de grafik olarak gösterilmiştir.

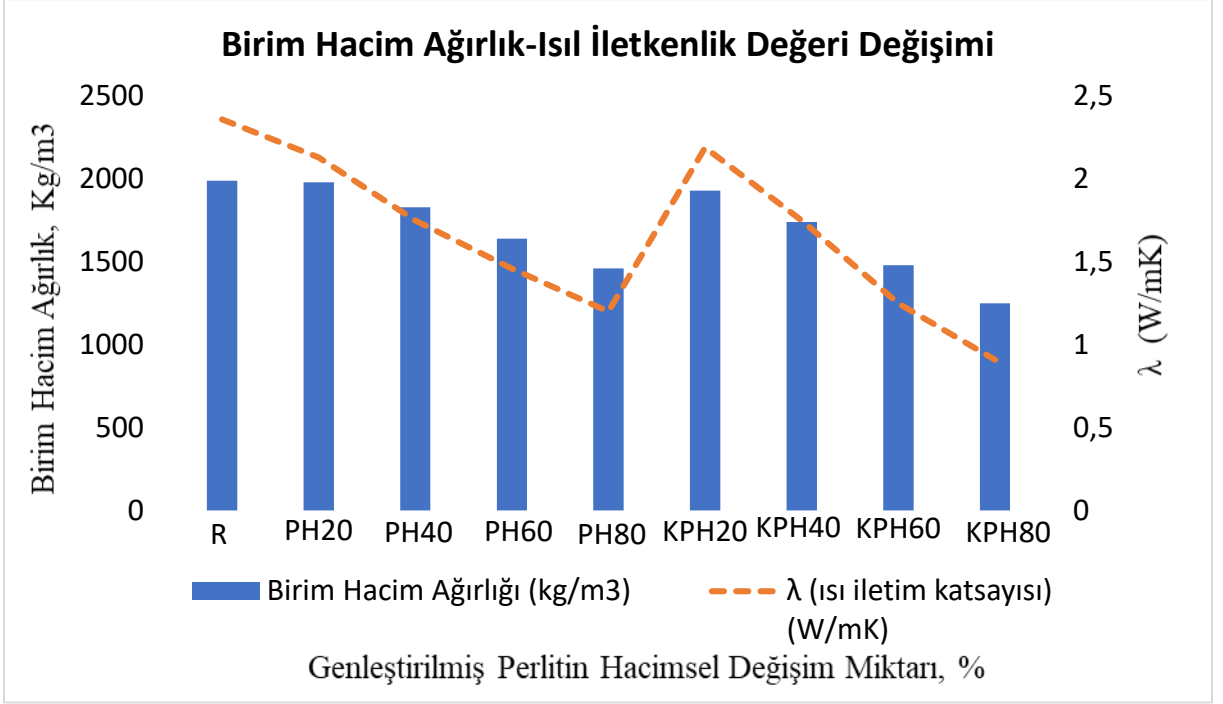


**Şekil 4.6.** Kaplanmamış ve kaplanmış perlit katkıli harç numunelerinin ısı iletkenlik hesap değeri sonuçları

Isıl iletkenlik hesap değeri 0,91 ile 2,36 arasında değişmektedir. Karışımdaki perlit oranı arttıkça Isıl iletkenlik hesap değeri azalmaktadır.

Genleştirilmiş perlit yüzdesi arttıkça kaplanmış perlit katkıli harç numunelerinde, kaplanmamış perlit katkıli harç numunelerine göre daha düşük ısı iletkenlik hesap değeri oranları elde edilmiştir. Özellikle %60 ve %80 katkıli kaplanmış harç katkıli numunelerde kaplanmamış katkıli harç numunelerine göre ısı iletkenlik hesap değeri daha fazla olumlu yönde düşüş eğilimi göstermiştir. Bunun sonucu olarak genleştirilmiş perlit taneciklerinin yüzeylerinin kaplanmasıyla üretilen numunelerin ısı iletkenlik hesap değeri kapasitelerinin azaldığı sonucuna varılmıştır.

Birim hacim ağırlık ve ısı iletkenlik hesap değerinin ilişkisini görebilmek açısından Şekil 4.7’de değerler grafik olarak gösterilmiştir.



**Şekil 4.7.** Kaplanmamış ve kaplanmış perlit katkılı harç numunelerinin birim hacim ağırlık-ısı iletkenlik hesap değeri sonuçları değişimi

Şekil 4.7.' ye göre birim hacim ağırlık ısı iletkenlik hesap değeri değişimleri bakımından, kaplanmış perlit katkılı numuneler kaplanmamış perlit katkılı numunelere göre daha fazla düşüş göstermiştir.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

1. Kaplanmamış ve kaplanmış perlit katkılı harç numunelerindeki perlit miktarı arttıkça numunelerin birim hacim ağırlığı düşmektedir. Birim hacim ağırlığı ile doğru orantılı olarak harç numunelerinin eğilme dayanımları da düşmektedir. Kaplanmış perlit katkılı harçlar ile kaplanmamış perlit katkılı harçlar arasında eğilmede çekme dayanımı bakımından önemli bir değişim görülmemiştir.

2. Kaplanmamış ve kaplanmış perlit katkılı harç numunelerinin birim hacim ağırlığı düştükçe basınç dayanımları azalmaktadır. Kaplanmış perlit katkılı harç numunelerinde hafif perlit agregasının yüzeyi kaplandığı için ara yüzey azalmakta ve çimento-agrega aderansı düşmektedir. Aderansın düşmesiyle basınç dayanımı kaplanmamış perlit katkılı harç numunelerine göre azalmaktadır.

3. Ultrases geçiş hızı deneyi sonucuna göre, genişletilmiş perlit miktarı arttıkça ultrases geçiş hızı azalmıştır. Kaplanmamış perlit katkılı harç numuneleri bünyesinde su bulundurduğundan ve ses dalgası madde içindeki boşlukların çevresinden hareket ettiğinden ses iletimi kaplanmış perlit katkılı harç numunelerine göre daha kısa sürede gerçekleşmektedir. Bu durumda kaplanmış perlit katkılı harç numunelerinin ultrases geçiş hızının daha yavaş olduğu ve ses yalıtımında daha avantajlı ve yararlı olduğu değerlendirilmektedir.

4. Kaplanmamış ve kaplanmış perlit katkılı harç numunelerindeki perlit miktarı arttıkça kılcal su emme katsayılarının da arttığı görülmüştür. Kaplanmamış perlit katkılı harç numunelerinin bünyesindeki perlitin su emme kapasitesi büyük olduğu için bünyesine fazla oranda su emerek suya doymun hale gelmeye çalışırken kaplanmış perlit katkılı harç numunelerinde ise perlit taneciklerinin çevresi polimer kaplanarak izole edildiği için suya doymun bir malzeme gibi davranmaktadır. Bu durumda kaplanmamış perlit katkılı harç numunelerinin kılcal su emme katsayılarının kaplanmış perlit katkılı harç numunelerine göre daha yüksek değerlerde olduğu gözlemlenmiştir.

5. Su emme deneyi sonuçları incelendiğinde genişletilmiş perlitin yüksek su emme kapasitesi nedeniyle ağırlıkça su emme oranlarının arttığı gözlemlenmiştir. Kaplanmış perlit katkılı harç numunelerinin su emme oranlarının kaplanmamış perlit katkılı harç numunelerine göre daha düşük değerlerde olduğu ve kaplanmış perlit katkılı harç numuneleri bünyesindeki perlit taneciklerinin yüzeylerinin polimer kaplanması sonucu su tutma kapasitelerinin azaldığı gözlemlenmiştir.

6. Kaplanmamış ve kaplanmış perlit katkılı harç numunelerinin birim hacim ağırlığı düştükçe ısı iletkenlik hesap değerleri azalmaktadır. Genleştirilmiş perlit taneciklerinin yzeylerinin kaplanmasıyla ¼retilen numunelerin ısı iletkenlik hesap değeri kapasitelerinin kaplanmamış perlit katkılı harca g¼re daha ¼ok d¼řt¼ę¼ sonucuna varılmıştır. Isı iletkenlik hesap değeri daha d¼ř¼k bir har¼ ¼retimi yapılmıştır.

7. ¼lkemizde b¼y¼k oranda rezerve sahip olan perlitin, inşaat sekt¼r¼nde kullanım alanının arttırılması ile ulusal ekonomimiz a¼ısından ¼nemli yararlar sağlayacağı d¼ř¼n¼lmektedir. Bu nedenle perlitin inşaat sekt¼r¼nde daha etkin ve verimli kullanımına katkı sağlayacak şekilde perlit katkılı hafif betonların ¼retilmesi i¼in ¼ok y¼nl¼ ¼alıřmalar yapılması gerekmektedir.

8. Bu ¼alıřma sabit su/¼imento oranına sahip olarak ¼retilmiř ve kısıtlı sayıda numune ¼retilerek ¼alıřılmıřtır. Farklı su/¼imento oranları ile kullanılarak ¼retilen numunelerin dayanımları incelenebilir.



## 6. KAYNAKLAR

- Azizi, S. 2007. “Perlit Katkılı Hafif Betonların Mekanik Özellikleri ve Isı Yalıtımı”, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Ceylan, A., Uz, V., Taşcı, E., 2010. “Ham Perlit ve Patlatılmış Perlit İlavesinin Terra Cotta Bünyesi Üzerine Etkileri”, 4. Uluslararası Eskişehir Pişmiş Toprak Sempozyumu, Eskişehir, 199-215.
- Clarke, J. L. 1993. Structural Lightweight Aggregate Concrete, Blackie Academic & Professional, London, England.
- Çavuşoğlu, Y. 2013. Synthesis and characterization of cross-linked poly (dimethyl siloxane) nanocomposites, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çiçek, Y. E., 2002. Pişmiş toprak tuğla, bimsbeton, gazbeton ve perlitli yapı malzemelerinin fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinin karşılaştırmalı olarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Demirboğa, R., Gül, R. and Örüng, İ., 2001. Effects of expanded perlite aggregate and mineral admixtures on the compressive strength of lowdensity concretes, Cement and Concrete Research, 31, 1627-1632.
- Demirboğa, R. and Gül, R., 2003. The effects of expanded perlite aggregate, silica fume and fly ash on the thermal conductivity of lightweight concrete, Cement and Concrete Research, 33, 723-727.
- Demirboğa, R. And Gül, R., 2003. Thermal conductivity and compressive strength of expanded perlite aggregate concrete with mineral admixtures, Energy and Building, 35, 1155-1159.
- Devlet Planlama Teşkilatı, 2001. 8. Kalkınma Planı (2001-2005) Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Ankara.
- Devlet Planlama Teşkilatı, 2006. 9. Kalkınma Planı (2007-2013) Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Yayınlanmamış Raporu, Ankara.
- Doğan, H., Şener, F., 2004. Hafif Yapı Malzemeleri (Pomza - Perlit - Ytong Gazbeton) Kullanımının Yaygınlaştırılmasına Yönelik Sonuç ve Öneriler, Haber Bülteni, 1, 51-53.
- Erdem, T. K., Meral, Ç., Tokyay, M., Erdoğan, T. Y., 2006. “Use of perlite as a pozzolanic addition in producing blended cements”, Cement and Concrete Composites,.
- Genper, (2018) Perlit Nedir? <https://www.genper.com.tr/perlit-nedir> Erişim Tarihi: 10.11.2018
- Mindess, S. and Young, J. F., 1981. “Concrete”, Prentice-Hall., Inc., New Jersey.
- M. Gürsoy, M. Karaman, Hydrophobic coating of expanded perlite particles by plasma polymerization Chem. Eng. J., 284 (2016), pp. 343-350, 10.1016/j.cej.2015.09.007
- Neville, A. M., 1996. Properties of Concrete, John Wiley&Sons Inc, New York.
- Neville, A. M., 1975. “Properties of Concrete”, Pitman Publishing, London.
- Newman, K. and Newman, J. B., 1969. Failure Theories and Design Criteria for Plain Concrete, The Proceedings of the Southampton 1969 Civil Engineering Materials Conference, Part 2, 963-995.
- Pelister, M. 2018. Perlitin kaplanması <http://www.yavuzpelister.com/ExpandedPerlite.html> Erişim Tarihi: 12.12.2018

- Postacıoğlu, B., Taşdemir, M. A., 1986. “Depreme Dayanıklı Yapılarda Doğal Hafif Agregalı Betonlardan Yararlanılması”, Yapı Endüstri Merkezi “Deprem” Semineri Bildiriler Kitabı.
- RILEM Recommendation: LC2, 1975. “Functional Classification of Lightweight Concrete”.
- Shu KL, Oing SM, Sheng S, Xiu LY (1980). Research on Several Physico-Mecanical Properties of Lightweight Aggregate Concrete. International Journal of Lightweight Concrete, 2(4) p. 185-191.
- S. Ramakrishnan, J. Sanjayan, X. Wang, M. Alam, J. Wilson A novel paraffin/expanded perlite composite phase change material for prevention of PCM leakage in cementitious composites, Appl Energy, 157 (2015), pp. 85-94
- Taşdemir C., 2003. TMH “ Türkiye Mühendislik Haberleri Sayı 427 - 2003/5”
- Taşdemir, M.A., 1982. “Taşıyıcı Hafif Betonların Elastik ve Elastik Olmayan Davranışları”, İTÜ İnşaat Fakültesi, Doktora Tezi.
- Tokcan, G., 1977. “Etibank Cumaovası Perlit Tesisleri”, I. Ulusal Perlit Kongresi, Ankara, 169-174.
- Türk Standartları Enstitüsü, TS 706 EN 12620, 2003. Beton Agregaları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Türk Standartları Enstitüsü, TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Thermal insulation requirements for buildings RG.27291-Temmuz 2009-TS 825 (REVIZE’ nin tadilatı)
- Türk Standartları Enstitüsü, TS EN 12390-3 (Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deneş Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini, TSE- Ankara, Türkiye, 2010.
- Türk Standartları Enstitüsü, TS 2511, Taşıyıcı Hafif Betonların Karışım Hesap Esasları, TSE- Ankara, Türkiye, 1977.
- Türk Standartları Enstitüsü, TS EN 13055-1 Hafif Agregalar, TSE- Ankara, Türkiye, 2016.
- Türk Standartları Enstitüsü, TS EN 196-1. Çimento Deneş Metotları-Bölüm 1: Dayanım Tayini, TSE- Ankara, Türkiye, 2016.
- Türk Standartları Enstitüsü, TS EN 206:2013+A1, Beton- Özellik Performans İmalat ve Uygunluk, TSE- Ankara, Türkiye, 2017.
- Türk Standartları Enstitüsü, TS EN 1097-6, Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneşler bölüm 6: Tane yoğunluğu ve su emme oranının tayini, TSE- Ankara, Türkiye, 2013.
- Türk Standartları Enstitüsü, TS EN 1015-3, Kağır harcı- Deneş metotları- Bölüm 3: Taze harç kıvamının tayini (yayıma tablası ile), TSE- Ankara, Türkiye, 2000.
- Türk Standartları Enstitüsü, TS EN 12504-4 Beton deneşleri - Bölüm 4: Ultrases geçiş hızının tayini, TSE- Ankara, Türkiye, 2012.
- Türkmen İ., and Kantarcı A., 2006. Effects of expanded perlite aggregate and different curing conditions on the physical and mechanical properties of self-compacting concrete, Building and Enviroment, Article in Press.
- Türkmen, İ., Kantarcı, A., 2007. “Effects of expanded perlite aggregate and different curing conditions on the physical and mechanical properties of self-compacting concrete”, Building and Environment, 42: 2377-2383.

- U.S. Department of Interior, 2006. Mineral Commodity Summaries 2006 Report, Washington, U.S.A.
- Uyanık, T. 2005. Maden ve mineraller, T.C. Başbakanlık Dış Ticaret Müsteşarlığı İhracatı Geliştirme Etüd Merkezi Raporu, Ankara.
- Topçu, İ. B., Işıkdag, B., 2008. “Effect of expanded perlite aggregate on the properties of lightweight concrete”, Journal of Materials Processing Technology, 204: 34–38.

## ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında Ardahan'da doğdu. İlk orta ve lise öğrenimini Ardahan'da tamamladı. 2003 yılında Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 2004-2014 yılları arasında uluslararası bir inşaat firmasının, Rusya ve Kazakistan'da yürütmüş olduğu inşaat projelerinde İnşaat Mühendisi olarak görev aldı. 2008 yılında askerlik görevini tamamladı. Yabancı dili İngilizce ve Rusçadır. Halen aktif olarak inşaat sektöründe faaliyet gösteren bir firmada İnşaat Mühendisi olarak çalışmaktadır.