



T.C.

**BATMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Hafif Agregalar Kullanılarak Yalıtım Özelliği
Yüksek Duvar Yapı Malzemelerinin
Geliştirilmesi, Isıl ve Ses Performanslarının
İncelenmesi**

Recep DOĞMUŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**Ağustos-2016
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Recep DOĞMUŞ tarafından hazırlanan “*Hafif Agregalar Kullanılarak Yalıtım Özelliği Yüksek Duvar Yapı Malzemelerinin Geliştirilmesi, Isıl ve Ses Performanslarının İncelenmesi.*” adlı tez çalışması **29/08/2016** tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Termodinamik Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Doç. Dr. Hüseyin AYDIN

.....

Danışman

Doç. Dr. Zeki ARGUNHAN

.....

Üye

Yrd. Doç. Dr. Orhan ARPA

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Şule AYDIN TÜKELTÜRK
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Recep DOĞMUŞ

29.08.2016

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hafif Agregalar Kullanılarak Yalıtım Özelliği Yüksek Duvar Yapı Malzemelerinin Geliştirilmesi, Isıl ve Ses Performanslarının İncelenmesi

Recep DOĞMUŞ

Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Zeki ARGUNHAN

2016, 87 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Hüseyin AYDIN
Doç. Dr. Zeki ARGUNHAN
Yrd. Doç. Dr. Orhan ARPA

Ülkemizde bulunan yeraltı kaynaklarının en önemlilerinden biri, dünya rezervinin yaklaşık olarak büyük bir bölümüne sahip olduğumuz perlit cevheridir. Perlit, geliştirildiğinde hacminin yaklaşık 30 katına kadar ulaşan, genişlemiş haliyle oldukça hafif olup, ısı ve ses izolasyonu sağlayan bir kayaçtır. Perlit farklı alanlarda kullanılmasına rağmen, en yaygın perlit kullanımı inşaat sektöründe görülmektedir. Isı yalıtımı ve ses yalıtımı gibi avantajları açısından üstünlükleri olduğu için perlitin inşaat sektöründe değerlendirilmesi, ülke ekonomisine önemli katkılar sağlayacaktır.

Binalardaki ısı kayıplarının büyük kısmı dış duvarlar ve çatıdan kaynaklanmaktadır. Betonun hacimce yaklaşık %70–80' ini oluşturan ve betonun iskeleti görevini üstlenen agregalar, betonun özelliklerini en çok etkileyen bileşendir. Kullanılan agregaların özellik ve boyutları, betonun mekanik özelliklerini etkileyeceği gibi, ısı ve ses yalıtımı özelliklerini de etkilemektedir. Bu doğrultuda, enerji verimli binalar için nispeten yüksek mukavemet, düşük yoğunluklu, yüksek ısı ve ses yalıtımı olan yeni beton tipleri elde etmek için deneysel bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bundan dolayı, sabit su-çimento oranında, normal agrega yerine hacimce %10, %20, %30, %40, %50 ve %60 oranlarında geliştirilmiş perlit agregası kullanılarak çeşitli beton numuneleri hazırlanmıştır. Deneysel çalışmalarda birim ağırlıkları değişen toplam 6 seri beton üretilmiştir. Üretilen tüm numunelerin mekanik testleri yapılmış ve ısı özellikleri sıcak disk yöntemi ile belirlenmiştir. Çeşitli birim ağırlıklarda üretilen hafif agregalı betonların, mekanik ve ısı özellikleri arasındaki ilişki belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Beton, Genleştirilmiş Perlit, Hafif Agregası, Mekanik Özellik, Isıl Özellik

ABSTRACT

MS THESIS

The Development of High Insulation Building Materials by Using Light-Weight Aggregates and Investigation of the Thermal and Acoustic Performance

Recep DOĞMUŞ

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
BATMAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN MECHANICAL ENGINEERING**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Zeki ARGUNHAN

2016, 87 Pages

Jury

Advisor Assoc. Prof. Dr. Zeki ARGUNHAN

Assoc. Prof. Dr. Hüseyin AYDIN

Asst. Prof. Dr. Orhan ARPA

Perlite is one of the most important mineral resources in Turkey where a large part of world reserves was estimated to be found in. Perlite is a siliceous volcanic glass that provides heat and sound insulation. When it is expanded, its volume increases about 30 times of the original volume. Despite the fact that Perlite is used in different areas, the most common usage is seen in the construction sector. Hence, evaluating the perlite, which has advantages in terms of heat and sound insulation, in building industry will make an important contribution to the national economy.

The major part of heat loss in a building results from exterior walls and roofs. However, aggregate materials generally constitute about 70–80% by volume of concrete, aggregates can be expected to have a more important influence than the other parameters on concretes as well. In this context, experimental investigations are performed for obtaining new concrete types with relatively high strength, low density and good thermal and acoustic properties for energy efficient buildings. For this purpose, 6 sets and different types of concrete samples were prepared with a constant water-cement ratio, and normal aggregates replaced by expanded perlite aggregates at different volume fractions such as 10%, 20%, 30%, 40%, 50% and 60% of the total aggregate volume. Mechanical tests were all conducted and the hot disk method was used to establish thermal property values of concrete samples. As a result, with suitable characteristic usage of expanded perlite aggregate was understood to be effective on the mechanical and thermal properties of perlite aggregated light weight concrete and the relations between the mechanical and thermal properties were determined.

Keywords: Concrete, expanded perlite, lightweight aggregate, mechanical property, thermal property

TEŞEKKÜR

Lisans ve Yüksek Lisans öğrenimim boyunca hayata bakış açısı ile bana yol gösteren, tez çalışmam sürecinde her konuda destek veren danışman Hocam Sayın Doç. Dr. Zeki ARGUNHAN'a, tezimin oluşmasına büyük katkı sağlayan bilgi, birikimi ile hem bir hoca hem de bir arkadaş olarak her aşamasında yer alarak, tecrübe aktarımı ve yardımlarıyla yanımda olan çok değerli Hocam Sayın Arş. Gör. Hasan OKTAY'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmasında kullanılan çimento için gerekli yardımı sağlayan Adana Çimento Türk A.Ş' ne, ince ve iri agregaların temininde yardımcı olan Destar İnş. Harf. ve Kum Ocağı Şirketi'ne, ve yine çalışmalarımızda kullandığımız Perlit için İnper Perlit İnşaat San. ve Tic. Ltd. Şti.' ne ve Isıl özelliklerinin belirlenmesi deneyi için her türlü imkanı sağlayan Dicle Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölüm Başkanı Sayın Prof. Dr. Mustafa AYHAN'a teşekkürü borç bilirim.

Tezim süresince ve öncesinden her türlü yardımı ve desteklerini hissettiren, beni motive eden değerli dostum Bilal ÖZEL, meslektaşım Fırat MENDEŞ ve Adnan KAN'a minnettarım.

Ayrıca kurucu ve şirket müdürü olarak görev yaptığım REEL Araştırma Danışmanlık Ltd. Şti. çalışma arkadaşlarıma, tez dönemim boyunca göstermiş oldukları yüksek sabır ve anlayıştan dolayı teşekkürü borç bilirim.

Son olarak beni bu günlere getiren ve desteğini hiç bir zaman esirgemeyen başta canım anneme, öğrenme, okuma aşkımla bana aşıl原因 ve hayatımın her döneminde bilgi, birikim ve tecrübesiyle varlığını ziyadesiyle hissettiren, hayatta her şeyi başarmamı sağlayan canım babama, sevgili kız kardeşlerime ve değerli ablama en derin duygularıyla teşekkür ederim.

Recep DOĞMUŞ
BATMAN-2016

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞSEKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
TABLO LİSTESİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR	xi
1. GİRİŞ	1
2.LİTERATÜR TARAMASI.....	5
3. BETONUN ÖZELLİKLERİ	11
3.1. Beton	11
3.1.1. Hafif Beton	12
3.2. Betonun Mekanik Özellikleri.....	16
3.2.1. Basınç Dayanımı	18
3.2.2. Su Emme Özelliği	19
3.2.3. İşlenebilirlik	19
3.2.4. Isı Yalıtımı	20
3.2.5. Ses Yalıtımı.....	21
3.3. Betonun Isıl Özellikleri.....	24
3.3.1. Isıl iletkenlik	24
3.3.2. Özgül Isı.....	26
3.3.3. Isıl Kapasite	27
3.4. Binalarda Isı Transfer Uygulamaları	27
3.4.1 Tek Boyutlu Isı İletimi.....	28
3.5. Betonu Oluşturan Malzemeler	30
3.5.1. Çimento.....	30
3.5.2. Agregalar	31
3.6. Betona Katılan Katkı Maddeleri	37
3.6.1. Mineral Katkılar.....	38
3.6.2. Kimyasal Katkılar	40
4. MATERYAL VE YÖNTEM.....	44
4.1. Kullanılan Malzemelerin Tanımlanması	44
4.1.1. Agregalar	44
4.1.2. Perlit.....	47
4.1.3. Çimento.....	49
4.1.4. Mineral Katkılar.....	50

4.1.5. Kimyasal Katkılar	50
4.2. Hafif Beton Karışımları Hazırlanması	51
4.2.1. Hafif Betonun Üretimi, Yerleştirilmesi ve Saklanması	53
4.3. Hafif Betonlara Uygulanan Deneyler	56
4.3.1. Taze Betona Uygulanan Deneyler	56
4.3.2. Sertleşmiş Betona Uygulanan Deneyler	58
5. SONUÇLAR	65
5.1. Taze Beton Özellikleri	65
5.1.1. Çökme ve Yoğunluk	65
5.2. Sertleşmiş Beton Özellikleri	66
5.2.1. Basınç Dayanımı, Emme Kapasitesi, Yoğunluk ve Ses Hızı	68
5.2.2. Isıl İletkenlik, Özgül Isı ve Termal Yayınım	71
KAYNAKLAR	80
ÖZGEÇMİŞ	86

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1 Agrega Cinsine Göre Hafif Betonların Sınıflandırılması[Konuk,2003].....	16
Şekil 2 Malzeme Arasındaki Isıl Geçirimsizlik [Bekaroğlu, 2012].....	25
Şekil 3 Düzlem Bir Duvarda Tek Boyutlu Isıl İletkenliği [Çengel, 2014]	29
Şekil 4 Fourier Isıl İletim Yasasının Şematik Gösterimi [Işıkel, 1999]	30
Şekil 5 Genleştirilmiş Perlit Görünümü.....	36
Şekil 6 Kare Delikli Elekler.....	45
Şekil 7 Karışım Agregalarının Elek Analizi	46
Şekil 8 Betonun Hazırlanması	52
Şekil 9 Betonun Numunelere Yerleştirilmesi	53
Şekil 10 Numunelerin Kalıplardan Çıkarılması.....	54
Şekil 11 Numunelerin Kür Havuzunda Bekletilmesi	55
Şekil 12 Taze Beton Çökme Deneyi.....	58
Şekil 13 Küp Basınç Dayanım Deneyi	59
Şekil 14 Basınç Dayanımı Deneyi Ekran Görüntüsü.....	60
Şekil 15 Arşimed Terazisinin.	61
Şekil 16 Ses İletimi Ölçümü	63
Şekil 17 Isıl Özellik Ölçüm Cihazı	64
Şekil 18 Perlit Agregası ile Çökme İlişkisi.....	66
Şekil 19 Agrega Oranı, Basınç Dayanımı, Su Emme Kapasitesi Arasındaki İlişki.....	69
Şekil 20 Yoğunluk, Basınç Dayanımı, Ses Geçiş Hızı Arasındaki İlişki	70
Şekil 21 Basınç, Gözeneklilik, Ses Geçiş Hızı Arasındaki İlişki	71
Şekil 22 Agrega, Isıl İletkenlik, Gözeneklilik Arasındaki İlişki.....	72
Şekil 23 Isıl Kapasitesi, Isıl Yayınım, Yoğunluk Arasındaki İlişki.....	73
Şekil 24 Isıl İletkenlik, Özgül Isıl, Isıl Yayınımı Arasındaki İlişki	73
Şekil 25 Yoğunluk, Isıl İletkenlik, Gözeneklilik Arasındaki İlişki	74
Şekil 26 Isıl İletkenlik, Yoğunluk, Isıl Kapasitesi Arasındaki İlişki	75
Şekil 27 Basınç Dayanımı, Isıl İletkenlik, Ses Geçiş Hızı Arasındaki İlişki.....	75
Şekil 28 Isıl Yayınım, Isıl Kapasitesi, Yoğunluk Arasındaki İlişki.....	76
Şekil 29 Isıl Kapasitesi, Agrega Oranı, Gözeneklilik Arasındaki İlişki	77
Şekil 30 Isıl Yayınımı, Agrega Oranı, Gözeneklilik Arasındaki İlişki.....	78
Şekil 31 Basınç Dayanımı, Isıl Kapasitesi, Ses Geçiş Hızı Arasındaki İlişki	78
Şekil 32 Basınç Dayanımı Isıl Yayınım, Ses Geçiş Hızı Arasındaki İlişki	79

TABLO LİSTESİ

Tablo 1 Duvar Malzemelerin Thermofiziksel Özellikleri [Kaska ve ark.,2009].....	15
Tablo 2 Hafif Betonların Sınıfları [Canan, 2003].....	19
Tablo 3 Çökme Değeri [Megep, 2009].....	20
Tablo 4 Sesin Çeşitli Ortamlarda Yayılma Hızı [Özgüven,2008]	23
Tablo 5 Çimentonun Bileşenleri ve Ağırlıkça Yüzdeleri [Yeğınobalı, 2004].....	31
Tablo 6 Çalışmada Kullanılan Agregaların Fiziksel Özellikleri	47
Tablo 7 Ham Perlitin Fiziksel Özellikleri [Devlet Planlama Teşkilatı,2001].....	48
Tablo 8 Genleştirilmiş Perlitin Fiziksel Özellikleri [Devlet Planlama Teşkilatı,2001]..	48
Tablo 9 Perlitin Kimyasal Özellikleri	49
Tablo 10 Çimento Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri	49
Tablo 11 Silis Dumanı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	50
Tablo 12 Süper Akışkanlaştırıcı ve Hava sürükleyicisi Fiziksel Özellikleri	51
Tablo 13 1 m ³ 'lük Beton İçin Karışım Oranları	56
Tablo 14 Isıl Özellik Test Cihazı Ölçüm Parametreleri	64
Tablo 15 Taze Beton Sonuçları	65
Tablo 16 Sertleşmiş Betonun Mekanik Özellikleri.....	67
Tablo 17 Üretilen Numunelerin Isıl Özellik Sonuçları.....	72

SİMGELER VE KISALTMALAR

SİMGELER

σ	Basınç Dayanımı (MPa)
ϕ	Gözeneklilik Oranı (%)
ρ	Yoğunluk (kg/m ³)
λ	Isıl İletkenlik Katsayısı (W/m.K)
C_P	Özgül Isı Kapasitesi (J/kg.°C)
α	Isıl Yayınım Katsayısı (m ² /s)
$\rho \cdot C_P$	Isıl Kapasite (J/m ³ .°C)
V	Hacim (m ³)
Q	Malzemedden Geçen Isı Enerjisi (J)
$E_{\text{üretim}}$	Malzemenin Ürettiği enerji (J)
$\partial^2 T$	Sıcaklığa Bağlı Değişim
$\partial^2 t$	Zamana Bağlı Değişim
L	Kalınlık (m)
A	Yüzey Alanı (m ²)
m	İri Agrega Su Emme Oranı (%)
M_1	Numunenin Etüv Kuru Ağırlığı (g)
M_2	Numunenin Doymun Kuru Yüzey Durumunun Ağırlığı (g)
M_3	Numunenin Sudaki Ağırlığı (g)

KISALTMALAR

ASTM	Materyal Ve Testler İçin Amerika Standardı
ACI	Amerika Beton Enstitüsü
TS	Türk Standartları
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
GPA	Genleştirilmiş Perlit Agregası
HSK	Hava Sürükleyici Katkı Maddesi
SD	Silis Dumanı
SAK	Süper Akışkanlaştırıcı Katkı Maddesi
A16	Kalın Agrega İdeal Gradasyon Eğrisi
C16	İnci Agrega İdeal Gradasyon Eğrisi
B16	İdeal Agrega İdeal Gradasyon Eğrisi

1. GİRİŞ

İnşaat sektöründe en çok kullanılan yapı malzemesi betondur. Beton; agrega, su, çimento ve hangi özelliklere sahip olmasına bağlı olarak kullanılan kimyasal katkı malzemelerinden oluşmaktadır. Betondan istenilen bazı özellikler kullanılan kimyasal katkı malzemeleriyle kazandırmak mümkün olsa da, beton içinde hacimsel olarak %60-85 civarında bulunan agregalar, betonun sahip olacağı kimyasal özellikleri en çok etkileyen malzeme olmaktadır. Kullanılan agreganın özelliklerine bağlı olarak, betonun ağırlığı düşürülebilmekte ve bu şekilde hafif betonlar üretilebilmektedir. Hafif betonların normal betonlara göre sahip olduğu avantajlar; yüksek ısı yalıtımı, ses yalıtımı ve depreme dayanıklı olması gibi başlıca konularla sıralanabilmektedir.

Günümüzde inşaat sektöründe en çok kullanılan yapı malzemesi olarak betondan istenilen en önemli özelliklerin başında yeterli dayanım ve dayanıklılığa sahip olmasıdır. Yapı malzemelerinin ve özellikle betonun görevini uzun yıllar boyu tahrip olmadan yerine getirebilmesine dayanıklılık denilmektedir.

Teknolojinin ilerlemesiyle beraber beklentilerimizi karşılamak amacıyla kullanım yerlerine göre özel betonların üretilmesi büyük önem kazanmıştır. Taşdemir'e (2003) göre perlit agregasının kullanılmasıyla ham ve geliştirilmiş halinin taşıyıcı olmayan harçlarda ve yalıtım betonunda kullanılması; yalıtım özelliğine sahip yarı taşıyıcı olan betonlar ile taşıyıcı ve yalıtım özelliği olan normal ve ağır agregalarla üretilen betonlara göre daha verimli olan hafif betonlar üretilebilmektedir.

Perlitin beton agregası olarak inşaat sektöründe etkin kullanım alanının artırılması, ısı yalıtım özelliği ve hafifliği dolayısıyla ülke ekonomisine ve küresel ısınmaya olumlu yönde katkıda bulunacağı düşünülmektedir. Perlitin özellikleri sayesinde üretilen betonların normal betonlara göre termal açıdan daha iyi performans göstermesi ile enerji etkinliği sağlanır. Yapılan bir çalışmada %10' dan %80' e kadar geliştirilmiş perlit kullanımının beton içerisinde artırılmasıyla ısı iletkenlik değerleri azalmıştır ve bu sayede betonların termal özellikleri iyileşmiştir. Birim hacim ağırlıklarında da benzer azalmalar görülmüş bu sayede yapı ölü yükü azaltılmıştır. Basınç ve eğilme dayanımlarında azalma ve su emme özelliklerinde ise artış elde edilmiştir. (Bulgurcu, 2009)

Kayalı (2005), tarafından yapılan çalışmalarda sonuçlara göre hafif beton; üretim standartları ASTM, ACI, TSE olan, agrega olarak ise perlit, pomza, kil, kullanılarak, kuru birim hacim ağırlığı 2000 kg/m^3 ün altında üretilen betonlar olarak

tanımlanmaktadır. Hafif betonlar basınç dayanımlarına göre 20 MPa altı düşük dayanımlı, 20-50 MPa normal dayanımlı, 50 MPa ve daha yukarı olan betonlar ise yüksek dayanımlı hafif beton olarak tanımlanır.

Avrupa Birliği ülkeleri ile Türkiye'nin müzakere sürecine başlaması sonrasında, istikrarlı bir büyüme sürecinin orta ve uzun dönemde ekonomide hızlı bir büyüme olması beklenmektedir. 2023 yılında hedeflenen kişi başına gelir düzeyinin 15.000 ABD Doları seviyesine ulaşmasıdır. Kişi başı gelir seviyesi yükseldikçe daha kaliteli, konforlu konut ve kaliteli altyapı talebinde artış olacağı düşünülmektedir. Avrupa Birliği müzakere aşamasında Türkiye güçlü ekonomiye geçiş sürecini tamamlamasıyla, inşaat sektörü açısından hızlı ve kalıcı bir yurtiçi talep artışının meydana geleceği öngörülmektedir. İnşaat sektöründeki en önemli yapı malzemelerinden biri beton üretimidir.

Türkiye'nin kara parçasının neredeyse tamamı güçlü bir deprem hattı üzerinde bulunmakta olup, kısa zaman aralıklarında ülkenin farklı bölgelerinde büyük can ve mal kayıplarına neden olan depremler olmaktadır.

Pomza ilk olarak Yunanlılar ve daha sonra da Romalılar tarafından kullanılmıştır. Eski Yunanlıların görkemli yapılarının birçoğunda hala gözlemlenebilmektedir. Roma duvaklarının inşaatında, su kanallarında ve daha pek çok anıtsal yapılarda kullanılmıştır. A.B.D.'de kalıplaştırılmış pomza California'da 1851 yılından beri inşaatlarda kullanılmaktadır. Bu tarihten 1963 yılına kadar A.B.D.'deki pomza endüstrisi 15 eyalette 103 işletmeye kadar genişlemiştir. San Francisco yakınlarındaki Mercet Gölü'nde aşındırıcı pomza olarak kullanılmak üzere 1983'te 70 bin ton-kadar üretilmiştir. Pomza, çimento ile karıştırılarak Los Angeles su kemerinin yapımında 1908'den 1918'e kadar kullanılmıştır. A.B.D.'de hafif-yalıtımlı beton agregası olarak 1935'te kullanılmaya başlanmış ve kullanım oranı bundan sonra da düzenli bir artış göstermiştir. A.B.D.'nin dışında Almanya, II. Dünya Savaşından önce hafif bina yapım ünitelerinde sağlam bir dış ticarete sahip olmuştur. M.S. IV. yüzyıldan 1800'lere kadar Almanya'nın Ren Bölgesindeki şehirlerde pomza kullanılmaya başlandığı görülmüştür. Almanya'da 1980 yılından önce önemli bir pomza üretimi söz konusuysen son yıllarda üretimde önemli düşüşler görülmüştür. Mevcut tek yataktan üretilen pomza sadece inşaat sektöründe kullanılmakta olup yeterli olmaması sebebiyle diğer alanlarda kullanılan pomza ile birlikte ithalata gidilmiştir.(MTA Genel Müdürlüğü, 2010)

Depremi önlemek mümkün olmazsa da gerekli önlemler alınarak, depremin zararlarını azaltmamız mümkün olabilmektedir. Japonya, ABD gibi gelişmiş ülkelerde

şiddetli depremlerde büyük can ve mal kayıplarının olmamasının sebebi inşaat teknolojilerindeki gelişmelerin uygulanışı ve yapılan binalarda ülkemizde yeterli rezerv olmasına rağmen kullanılmayan pomza, perlit, gaz beton vb. hafif malzemelerin yaygın olarak kullanılmasıdır. Hafif malzemeler kullanılarak üretilen betonların kullanıldığı binalar kendi ağırlıklarıyla ezilmemekte ve depremin yıkıcı zararlarını azalmaktadır. Böylece deprem tarafından şiddetli sarsıntılarda bina sallanmakta ancak yıkılmamaktadır.

Genleştirildiğinde hacminin yaklaşık yirmi katına kadar ulaşan perlit, genişmiş haliyle ısı ve ses izolasyonu sağlayan ve oldukça hafif olan bir kayadır. Türkiye, dünyanın en kaliteli ve en büyük perlit yataklarına sahiptir. Türkiye, Dünya perlit rezervinin %78'ine sahip olmasına karşın Dünya üretiminin yaklaşık %3'ünü gerçekleştirir. Perlit endüstri, tarım ve yapı sektörlerinde kullanılır. Dünyada en fazla kullanım yapı sektöründe olmasına karşın Türkiye'de yeterli düzeyde tüketilmemektedir. Perlit hafiflik, yalıtım, yangına dayanım özellikleri ile yapı sektöründe geniş kullanım alanı olan çağdaş bir yapı gerecidir.(Ayberk, 1995)

Hafif agregalar kullanılarak üretilen hafif betonlar içerisinde, yüksek ısı ve ses yalıtımı perlit katkılı hafif betonlar ile sağlanabilmektedir. Perlit katkılı hafif betonlar, normal betona göre daha iyi ısı yalıtımı sağladığı yukarıda bahsedilen yapılmış araştırmalarda da görülmektedir. Enerji verimliliğinin artırılması suretiyle perlit katkılı hafif yapı malzemeleri çevre dostu malzemeler olarak adlandırılabilir ve perlit katkılı hafif beton yapılarında, yapının iç kısmından dış çevreye ısı kaybı yüksek oranda azalacağından dolayı, enerji tasarrufu sağlanacak, enerjisinin büyük bölümünü ithal eden ülkemizde enerji daha verimli kullanılabilir ve ülke ekonomisi olumlu yönde etkileneceği öngörülmektedir.

Hafif inşaat malzemelerinin ısı ve ses izolasyonu, ateşe karşı dayanıklılık deprem, ekonomi gibi birçok problemi birlikte halletmesi ve sahip olduğu özelliklerde de dikkate alındığında bu malzemelerin başında gelen perlitin ülkemizde büyük oranda bulunması, perlit agregasının hafif betonlara etkilerinin araştırılmasının gerekliliğini göstermektedir.

En yaygın perlit kullanımı inşaat sektöründe olmaktadır. Dünya'da olduğu gibi Türkiye'de perlit agregasının beton üretiminde kullanımı görülmektedir. Perlitin ses yalıtımının olması, ısı yalıtımı, hafif olması ve depreme dayanıklılık avantajları açısından önemli üstünlükleri olduğu için inşaat sektöründe değerlendirilmesi ülke ekonomisi başta olmak üzere küresel ısınmaya olumlu yönde önemli katkılar

sağlayacaktır. Perlit kimyasal ve fiziksel özellikleri açısından enerji verimliliğine katkıda bulunacak doğal yapı malzemesidir.

Bu doğal kaynakların etkin kullanımı ile oldukça zor elde edilen ve çoğunlukla ithal edilen bu enerjinin daha verimli kullanımının sağlanacağı düşünülmektedir. Enerji kullanımındaki bu tür yaklaşımlar çevre kirliliğinin azalmasına katkı sağlamakla beraber enerjinin daha verimli kullanılmasına yardımcı olacaktır.

Bu çalışmada, yukarıdaki bilgiler ışığında yüksek ısı yalıtımı sağlayan düşük birim ağırlıklı perlit katkılı hafif beton üretimi amaçlanmıştır. Genleştirilmiş perlit agregası kullanılarak, gerekli katkı malzemeleri ile doğal kumun hacimce farklı oranlarda ayarlanmasıyla hafif betonlar üretilmiştir.

Bu çalışmanın amacı farklı karışım tiplerine sahip betonun, hafif agregalı perlit katkılı betonlar üretilerek ses yalıtımı, ısı iletkenliği ve basınç dayanımına etkisini incelemektir. Beton üretiminde %10, %20, %30, %40, %50, %60 oranlarında genleştirilmiş perlit agregası (GPA) kullanılmıştır. Buna ek olarak numunelerde belli oranlarda Hava Sürükleyici Katkı (HSK), Silis Dumanı (SD), Süper Akışkanlaştırıcı Katkı maddeleri (SAK) kullanılmıştır. Bütün numunelerin kür süresi 28 gündür. Kür süresi tamamlanan numunelerin basınç dayanımı, ısı özellikleri ve ses iletkenliği ölçülmüş ve elde edilen değerler tablo ve grafiklerle paylaşılmıştır. Normal dayanımlı betonlarda ısı özellikleri, ses iletkenliği ve basınç dayanımı ile kullanılan genleştirilmiş perlit agregasının ve katkı maddeleri ile elde edilen hafif betonun ısı özellikleri, ses iletkenliği ve basınç dayanımı üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

2.LİTERATÜR TARAMASI

Bu bölümde; beton, hafif beton ve perlit başlıkları altında yapılan teorik çalışma ile hafif betonlar üzerine yapılmış çalışmalarla ilgili literatür araştırması sonuçları sunulmaktadır.

Beton, medeniyetlerin en önemli yapı taşlarından biridir. Beton ilkel şekliyle 5000 yıl önce kadar Mısır Piramitlerinin yapımında kullanıldığı bilinmektedir. Bağlayıcıların (kireç ve çimento gibi) keşfedilmesiyle betonda önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. 18. yüzyılda Romalılar tarafından iyi bir bağlayıcı olan doğal çimentonun kullanılması ile günümüze kadar ayakta kalabilen pek çok mühendislik harikası görmek mümkündür. (Mindess ve Young, 1981)

John Smaeton tarafından 18. yüzyıl sonlarında yapılmış olan Eddystone fenerinde ilk çimentonun kullanıldığı bilinmektedir. Bu çimento kireç ve kil karışımından elde edilmekteydi. Bugün kullandığımız çimento ise, John Aspidin adlı bir İngiliz duvarcı tarafından 1824 yılında bulunmuştur. (Ersoy ve Özcebe, 1985)

Çimentoya kum, çakıl ve su karıştırılarak elde edilen beton asıl gelişimini 2. Dünya Savaşı'nın ardından göstermiştir. Beton; az enerji gereksinimi ile üretilmesi, üretim maliyetinin düşük olması ve üretiminin kolay, dayanımı ve dayanıklılığı yüksek, yangın, su gibi darbe etkilerine daha dayanıklı olması gibi nedenlerle vazgeçilmez bir yapı malzemesidir.

Betona bu niteliklerin kazandırılmasında en önemli parametrelerden biri de su/çimento oranıdır. Su/çimento oranının düşük değerler alması ile betonda basınç dayanımının değişmektedir. Katkı malzemelerinin kullanılmaya başlaması ile beton teknolojisinde gelişmeler hızlanmıştır. Betonun taze ve sertleşmiş haldeki özelliklerini istenilen yönde iyileştiren farklı katkı malzemeleri ortaya çıkmıştır.

Betonda çimento tanelerini homojen bir şekilde dağıtarak su/çimento oranını düşürmek, betona işlenebilirlik kazandırmak aynı zamanda basınç dayanımını arttırmak amacıyla son yıllarda akışkanlaştırıcı katkı malzemeleri sıklıkla kullanılmaktadır. Gelişen teknolojinin yardımıyla inşaat sektöründeki ihtiyaç ve beklentileri karşılamak amacıyla özel betonların üretimi hız kazanmıştır. Ağır beton, taşıyıcı hafif beton, yüksek akıcılığa sahip beton, yalıtım özellikli beton vb. bu özelliklerden bazılarıdır.

Son yıllarda yapılan birçok araştırma gereğinden fazla suyun taze betonun dayanım (mukavemet) ve dayanıklılığı (durabilite) olumsuz yönde etkilediğini ortaya koymuştur. Su/çimento oranının azaltılması ile betonun basınç dayanımının artacağı

1897'de Feret'in yapmış olduğu çalışmalardan bilinmektedir. Feret mukavemeti, su/çimento oranının bir fonksiyonu olarak formüllemiştir. (Koca, 1996)

Beton heterojen ve boşluklu bir yapı malzemesidir. Betonun yapısındaki zayıflık, kılcal boşluk ve betonun işlenebilirliği için gereğinden fazla konulan su miktarına bağlıdır. Dolayısı ile betonun yapısal özelliklerini iyileştirmek ve basınç dayanımını arttırmak amacı ile su miktarını azaltmanın yolları aranmıştır. Ancak betonu işlenebilirliğinin de basınç dayanımı kadar önemli olması nedeni ile akışkanlaştırıcı ve süper akışkanlaştırıcı katkı malzemeleri ortaya çıkana kadar su/çimento oranını düşürmek mümkün olmamıştır. Elde edilen kimyasal ve mineral katkı malzemelerinin inşaat sektöründe kullanılmaya başlanması sonucu işlenebilirliği ve beton basınç dayanımı olumsuz etkilenmeden su/çimento oranının düşürülmesi yolu bulunmuştur. Bu sayede yüksek performanslı beton üretimi gerçekleştirilmiştir.

Günümüzde bazı akışkanlaştırıcılar sayesinde su/çimento oranını 0.20 değerine kadar indirmek mümkündür. Yapılan çalışmalarda akışkanlaştırıcılarla çimento hamurunun boşluk oranının %5'lere inmesi halinde mukavemetin 200 MPa değerine çıktığı bilinmektedir. Ayrıca akışkanlaştırıcılarla birlikte çimentoya silis dumanı katılması sureti ile mukavemette daha büyük artışlar gözlenmiştir. Betonun su/çimento oranının düşürülerek yüksek performanslı beton elde edilebileceğine ilişkin ilk çalışmalar P. Richard ve M. Cheyrezy (1995) tarafından yapılmıştır.

19. yüzyıl ortalarından itibaren çok ince agrega, süper akışkanlaştırıcı ve silis dumanı gibi katkı maddeleri kullanılarak üretilen numunelere ısıtılarak uygulanarak yüksek dayanım ve dayanıklılık özelliklerine sahip betonlar üretilmeye başlanmıştır. 1800'lü yıllar boyunca beton; agrega, su karışım kalarak daha sonraki yüzyıldaki gelişmelerle beton niteliğinin artması sonucu önceleri sadece araştırma laboratuvarlarında üretimi gerçekleşen yüksek performanslı betonlar, uzun yıllardan beri inşaat projelerinde ve uygulamalarında kullanılmaktadır. 1959 yılında yapımı tamamlanan 113 metre yüksekliğindeki Chicago'daki Executive House Hotel yüksek performanslı betonla yapılan ilk örneklerdendir. 1968'de yapımı biten Chicago River Plaza'da iki kolonda 75 MPa'lık basınç dayanımında beton dökülmesi ile o yılın en yüksek mukavemet değerine ulaşılmıştır. (Demirboğa ve ark., 2001)

Postacıoğlu (1987) tarafından yapılan çalışmaya göre beton, gevrek bir malzeme olup mukavemet değerleri en yükseği basınç, en düşüğü ise çekme dayanımıdır. Betonların, mukavemet gibi birçok özelliği; karışım kullanılan malzeme oranına,

sıkıştırma şekline ve uygun bir şekilde kür yaptırılıp yaptırılmaması gibi birçok etkene bağlı olduğu tespit edilmiştir.

Öztürk (1996) yaptığı çalışmada beton üretiminde çimento ve suyun karıştırıldığı andan itibaren kimyasal bir reaksiyon olan hidrasyona (sertleşmeye) başladığını deneylerinde görmüştür. Başlangıçta plastik yapıda olan betonun zamanla sertleşiyor olduğu, istenilen boyut ve şekilde yapay bir taşa dönüştürülebildiği sonucuna varmıştır.

Silis dumanı ve geliştirilmiş perlit agregasının ülkemizde yeterli miktarda bulunduğu, ayrıca beton için geliştirilmiş perlit agregası ve silis dumanının birçok avantaj sağladığı çoğu çalışmada belirtmiştir.

Kantarcı ve Türkmen (2006) tarafından yapılan çalışmalarda farklı kür şartlarında normal agrega ve geliştirilmiş perlit agregası kullanılarak üretilen betonların basınç mukavemeti ve geçirimsizlik katsayıları zamana bağlı olarak belirlenmiştir. Betonun bağlayıcı oranı (çimento+silis dumanı) 450 kg/m^3 olarak sabit tutulmuştur. Su/bağlayıcı dozajı 0.35 alınmıştır. Üretilmiş olan beton örnekleri, deney gününe kadar 5 farklı ortamda bekletilmiştir. Yapılan deney sonucunda geliştirilmiş perlit agregası oranı arttıkça numunelerin birim ağırlıkları oranında ters orantı olduğu yani azaldığı sonucuna varılmıştır. Ortamın nem durumuna ve geliştirilmiş perlit agregası oranına bağlı olarak beton numunelerin geçirimsizlik katsayısı değişmiştir. Genel olarak Kantarcı ve Türkmen tarafından yapılan çalışma sonucunda geliştirilmiş perlit agregası oranı arttıkça sertleşmiş beton numunelerin geçirimsizlik katsayısının artmış olduğu ve basınç mukavemetlerinin ise azaldığı sonucuna varılmıştır.

Chandra ve Berntsson (2003)'ün yaptığı araştırmalar sonucunda Japonya'da perlit agregasından yeni bir hafif agrega elde edilmiş olup, düşük su emmeye ve yüksek dayanıma sahip olması ASL denilen bu agreganın doğalından farkını ortaya çıkarmıştır. Silikon-karpit (SiC) denilen köpüklü bir sıvı ve bentonit denilen bir bağlayıcı ile karıştırılması sonucu doğal perlit agregası olan bu yeni malzeme oluşturulmuştur. Yapılan işlemler sonucunda elde edilen yeni agreganın birim ağırlığı 600 ile 1500 kg/m^3 arasında değişmiş ve 24 saat sonrası su emme oranı %5 veya daha az, yoğunluğu ise 1210 kg/m^3 olmuştur. Perlit agregası kullanarak birim ağırlığı 1700 ile 2000 kg/m^3 ve basınç dayanımı ortadan yükseğe değişen hafif beton üretimi mümkün olduğu sonucuna varılmıştır.

Dhir ve arkadaşları (1984) tarafından yapılan çalışmada hafif agrega kullanarak taşıyıcı hafif beton üretimi üzerinde bir çalışma yapılmıştır. Dhir ve arkadaşları

yaptıkları çalışmada su azaltıcı katkı malzemesi kullanarak hedeflenen işlenebilirliğe sahip, 28 günlük basınç dayanımı 50 MPa olan bir beton üretmeyi amaçlamıştır. Çalışmanın bir diğer amacı ise çimento miktarı 250 ile 600 kg/m³ arasında değişen betonların mekanik özelliklerini belirlemektir. Kür edilme şekillerine bağlı olarak suda kür edilen betonların basınç dayanımları 43 ile 60 MPa arasında, havada kür edilen betonların basınç dayanımları ise 29 ile 53 MPa arasında değiştiğini gözlemlenmiştir.

Hafif beton üretiminde en popüler yöntem normal agregaya yerine hafif agregaların kullanılması ile hafif beton üretimidir. Hafif agregalar kullanılarak üretilen betonlar, hafif agregalı betonlar olarak adlandırılmaktadır. Betonların birim ağırlık ve dayanımı arasında büyük oranda orantılı artış olduğu için birim ağırlıklara bağlı olarak betonların sınıflandırılması yapılabilmektedir. Hafif agregalı betonlar, pratikte 300 ile 1850 kg/m³ değerleri arasında birim ağırlıklara sahip betonlardır. (Neville, 1996)

Birim ağırlıkları 300 – 2000 kg/m³, küp basınç dayanımı 1 – 60 MPa' la, ısı iletkenlik değerleri ise 0,2 – 1 W/mK arasında değişen hafif betonlar üretilebilmektedir. (Clarke, 1993)

Beton üretiminde kum, çakıl ve kırma taş gibi normal agregalar yerine doğal veya yapay hafif agregaların kullanılması sonucu elde edilen hafif agregalı betonlar. Hafif betonun antik roman çağından beri yaygın olarak başarılı bir şekilde kullanıldığı ve günümüzde ise düşük birim hacim ağırlığa, yüksek durabilite ve süper bir ısı yalıtımına sahip olduğundan dolayı popülerleştiği görülmektedir. (Chandra, 2003)

Hafif betonların dizaynında temel ilkelerden biri, üretilecek betonun istenilen işlenebilirliğe sahip olmasıdır. Hafif agreganın yüzey dokusu, şekli ve ince agregasında iri agregaya yüzey dokusuna sahip olması, bu betonların işlenebilirliğini azaltıcı bir etki yapmaktadır. (Chandra, 2003; Novokshchenov ve Whitcomb, 1990)

Hafif betonların dizaynlarında en temel problemlerden biri, istenilen işlenebilirliğe sahip beton üretiminin oldukça zor olmasıdır. Bu problemten kurtulmak için ince agregaya hacminin, toplam agregaya hacminin en az %50'si olması gerekmektedir. (Neville, 1996; Kayali ve Zhu, 2004)

TSE EN 206-1 standardına göre ülkemizde hafif beton birim ağırlığının 2000 kg/m³'e kadar çıkmasına izin verilmektedir.

Amerika'da ise hava-kuru birim ağırlığı 1810 kg/m³'ten az olan betonlar hafif agregalı betonlar olarak adlandırılmaktadır. (Kayali ve Zhu, 2004)

Agrega olarak hacimce %100 perlit agregası kullanılarak üretilen hafif agregalı betonlar yalıtım betonları olarak kullanılmaktadır. Bu belirtilen sebeplerden dolayı son zamanlarda yüksek dayanımlı hafif betonlar üzerinde araştırmalar yoğunlaşmıştır. Yapılan çalışmalardan çok iyi sonuçlar alınmasına rağmen, bu konuda daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmuştur. Çünkü normal agregaların tersine, farklı hafif agregalar çok farklı davranışlar sergilemektedir. (Kayali ve Zhu, 2004)

Heterojen bir yapıya sahip olan betonun özellikleri kullanılan malzemelerle yakından ilgilidir. Beton hacminin yaklaşık %60-%85'ini oluşturan agreganın niteliği oldukça önemlidir. İyi beton elde edebilmek için uygun agreganın kullanılması gerektiği bilinen bir gerçektir. Agreganın kimyasal ve mineralojik bileşimi, özgül ağırlığı, dayanımı, fiziksel ve kimyasal kararlılığı, boşluk yapısı, rengi gibi özellikleri elde edildiği kayacın özelliklerine bağlıdır. Ancak genellikle agreganın tane şekli ve boyutları, yüzey yapısı ve su emmesi gibi özellikleri göz önüne alınır. (Konuk, 2003)

Perlit, genellikle 870°C ile 1150°C'lik ani sıcaklıklara maruz bırakılır. Böylece perlit, içerdiği suyun buharlaştırılmasıyla hacimce 30 kata kadar genişletildikten sonra kullanılmaktadır. İstenilen tane büyüklüğüne kadar kırılarak öğütülen ham perlit, genelde silindirik sabit ve dikey siklonlardan ibaret fırın sistemlerinde genişletilir. (Hamamcı, 1998)

Perlit ilk defa 1836 yılında bulunmasına rağmen ancak 1946 yılında çeşitli alanlarda kullanılmaya başlanmıştır. Genleştirilme işleminden sonra kazandığı niteliklerden hafiflik ve ısı yalıtıcılık özellikleri dikkate alınarak, ilk defa ABD'de beton ve sıva agregası olarak uygulamaya girmiştir. Araştırma çalışmaları ise uygulamayı izleyen yıllarda başlamıştır. Rusya'da ise 1950'den sonra araştırma ve uygulama çalışmaları aşağı yukarı aynı yıllarda başlamıştır. Macaristan'da ise perlitin yapı malzemesi olarak kullanımına 1958 yılında başlanmıştır. Diğer ülkelerde ise 1950 yılından sonra uygulamaya girmiştir. Genleştirilmiş perlitin inşaat alanında kullanılması ikinci dünya savaşından sonra başlamıştır. (Özışık, 1998)

Short ve Diğerleri (1978) tarafından belirtildiği üzere perlitli betonun taşıyıcı özelliği olmayıp ısı yalıtım amacıyla kullanılması uygundur.

Akman ve Taşdemir Türkiye'de üretilen genleştirilmiş perlit agregası kullanılarak yaptıkları deneyler sonucu perlitli betonların düşük dayanımlı olduklarını belirtmişlerdir. Perlit betonu taşıyıcı nitelikte olmayan yalıtım betonu sınıfına girmektedir. Kuru birim ağırlığı 800 kg/m³'ün altındaki perlit betonları Perlite Institute,

Inc. (Amerikan Perlit Enstitüsü) tarafından perlitli ısı yalıtımı betonu sınıflandırılmaktadır. (Akman ve Taşdemir, 1979)

Demirboğa ve ark. (2001) 'ün çalışmasında farklı oranlarda bağlayıcı karışımları içeren perlitli hafif betonların ısı iletkenliği incelenmektedir. Yapılan deneyler sonucunda 522 kg/m^3 birim ağırlığa sahip perlitli hafif betonun ısı iletkenliği, $0,1797 \text{ W/m.K}$ bulunmuştur.

Demirboğa (1999)'nın bir başka çalışmasında farklı oranlarda geliştirilmiş perlit ve ponza agregası içeren hafif betonların ısı iletkenlikleri incelenmektedir. Hafif betonların üretiminde kullanılan toplam agregada içindeki geliştirilmiş perlit oranı artıp, ponza oranı azaldıkça hafif betonların ısı iletkenliğinin azaldığı belirlenmiştir.



3. BETONUN ÖZELLİKLERİ

Bu bölümde; betonun özellikleri ana başlığı altında betonun kimyasal ve fiziksel özellikleri, beton üretiminde kullanılan mineral ve kimyasal katkı maddeleri hakkında bilgi sunulmuştur.

3.1. Beton

Beton; çimento, su, agrega ve gerektiğinde bazı katkı maddelerinin belirli oranlarda karıştırılmasıyla elde edilen bir yapı malzemesi ve aynı zamanda karışımın istenilen şekil ve boyuttaki kalıplar içine uygun bir şekilde yerleştirilip kür yaptırılmasıyla elde edilen önemli bir kompozit malzemedir.

Beton; çimento, agrega, su ve gerektiğinde katkı malzemesinden oluşan, oranları belirli esaslara göre ayarlanmış bir karışımı istenen şekil ve uygun bakım koşulları altında sertleştirmek yolu ile elde edilen kompozit malzemedir. (Kocataşkın, 1991)

Zaman içerisinde betonun niteliklerinde gelişmeler olduğu için betonların kesin sınıflandırmasını yapmak oldukça zordur. Örneğin 1950'lerde 34 MPa basınç dayanımına sahip betonlar yüksek dayanımlı beton sınıfına girmektedir. 1960'larda bu değer 41 MPa ve üzerine çıkmış, günümüz koşullarında ise 80 MPa ve üzerinde kabul edilmektedir. (Kocataşkın, 1991)

Normal beton, genel amaçlı uygulamalarda kullanılmak üzere kolay ulaşılabilir malzeme ve kolay elde edilebilir işgücü ile üretilen ekonomik malzemelerdir. Normal betonlar çimento, agrega ve sudan oluşur. Katkı malzemesi içermezler, çimento katkılı veya katkısız olabilir. Basınç dayanımları 20-50 MPa arasında değişen normal betonların çekme ve eğilme dayanımları ise özel betonlara oranla ihmal edilecek kadar düşüktür. (Neville, 1992)

Hafif inşaat malzemelerinin yapı inşaatında kullanımı; Deprem etkisi, ekonomiklik, ısı ve ses izolasyonu, ateşe karşı dayanıklılık gibi birçok problemin çözümünde önemli rol oynamıştır. Genleştirilmiş perlit agregası ve silis dumanı, ülkemizde yeterli miktarda bulunmaktadır. Ayrıca beton için genleştirilmiş perlit agregası ve silis dumanının avantaj sağladığı birçok makalede belirtilmiştir. (Demirboğa, 1999; Demirboğa ve ark., 2001; Türkmen,2002)

Özgül ağırlığı 2400–2800 kg/m³ arasında değişen agregalar normal ağırlıklı agregalardır. Bu agregalar kullanılarak yapılan betonlara, normal beton denir. Kum, çakıl ve kırma taş normal agrega sınıfına girer. Beton, günümüzde dünya üzerinde fazla kullanıma sahip yapı malzemesidir. Beton, çimento, agrega, su ve istenilen özelliklerin

kazandırılabilmesi amacıyla katkı malzemelerinin belli oranda bir araya getirilmesiyle oluşturulan kompozit bir malzemedir. Çimentonun su ile birleşmesi sonucu oluşan çimento hamuru; agrega tanelerinin yüzeyini kaplayarak taneler arasındaki boşlukları doldurmakta ve bu şekilde bağlayıcılık görevini yapmaktadır. Agregaya ise betonun iskeletini oluşturan kum, çakıl, kırma taş gibi taneli mineral malzemedir. Bu çalışmamızda agrega olarak kırma taş kullanılmış olup gerekli malzemeler Batman'da üretim yapan Destar İnş. Harf. ve Kum Ocağı Şirketi'nden elde edilmiştir.

Beton maalesef yapısındaki veya maruz kaldığı mekanik, fiziksel, kimyasal ve biyolojik etkenlerle dayanıklılığını kaybeden bir yapı malzemesidir. Betonarme yapıların kalıcılığını etkileyen fiziksel ve kimyasal işlemlerin hemen hepsinde iki temel unsur vardır: su ve beton bünyesindeki boşluklar ve çatlaklar içindeki taşınım. Beton içindeki boşluklar agrega ve çimento hamurunda olmak üzere ikiye ayrılır. Bu boşluklar normal beton hacminin %10' una kadar çıkabildiği gibi, %1'in altına da düşebilir.

3.1.1. Hafif Beton

Hafif agrega özgül ağırlıkları 2400 kg/m^3 ten küçük malzemelere denmektedir. Genleştirilmiş kil, bims ve perlit hafif agregalar sınıfına girmektedir. Bu agregalar kullanılarak üretilen betonlara, hafif beton denir.

Cook (1982) çalışmasında Milattan 3000 yıl öncesine dayanan hafif betonun kullanımı, Avrupa da ise Romalılar tapınak ve heykellerini 2000 yıl öncesinde hafif beton kullanarak inşa etmiş olduğunu belirtmiştir. Şaşırtıcı olanın ise; volkanik kayalardan oluşan pomza, perlit ve benzeri hafif agregaların bugün, dünyanın çeşitli yerlerinde agrega olarak kullanılmasıdır.

Iraktaki Babür sarayları üçüncü yüz yılda, dördüncü yüz yılda Sümerler tarafından yapılan şu anki Ayasofya camii ve 624 ile 987 yılları arasında Meksika da yapılan piramitlerin inşasında hafif beton kullanılmıştır. (Taşdemir, 1982)

Birim ağırlığı büyük, ısı iletkenliği yüksek olmasının yanında, beton iyi bir taşıyıcıdır. Normal betonun birim ağırlığının düşürülmesiyle betonarme elemanın öz ağırlıkları azaltılıp yapı hafifletilebilmekte, böylece taşıyıcı sistem elemanlarının ekonomik avantajlar sağlanabilmektedir. Diğer yandan yurdumuzun büyük çoğunluğunun deprem riski taşıyan bölgelerde bulunması göz önüne alındığında, yapıların öz ağırlıklarının hafifletilebilmesi yapıya etkiyen deprem yükünü azaltacak ve dolayısı ile olası depremlerdeki yapı hasarları da azaltılmış olacaktır.

Hafif olmayan agregalarla üretilen geleneksel betonların taşıyıcı özelliklerinin yüksek olmasına karşılık, birim kütlelerinin fazlalığı, temel maliyetini artırmakta hatta pratik hayatta geçilmesi gerekli normale göre büyük açıklıklarda, bu betonda yapılan eğilme elemanları bazen kendi öz kütlelerini bile taşıyamaz hale gelmektedir. Diğer taraftan geleneksel betonların ısı iletkenliklerinin büyük oluşunun bu betonda inşa edilen yapıların ısıtılmasında kullanılan yakıt masraflarını önemli ölçüde artırdığı da bilinmektedir. Bu gibi nedenlerle, inşaatın yapımında geleneksel beton yerine bazen hafif beton yapımı tercih edilmektedir. Hafif beton üretiminde birçok farklı yöntem bulunmaktadır (Cook, 1982):

- Beton içindeki ince agregaların tamamen çıkarıldığı ince agregasız beton üretimi
- Kimyasal katkılar ve fiziksel yollar ile beton içinde hava kabarcıklarının oluşturulmasıyla üretilen gaz ve köpük betonlar
- Normal agregaların yerine boşluklu olan hafif agregaların kullanılması ile üretilen hafif agregalı betonlar

Betonun birim ağırlığı, karışım içindeki katı malzemenin hava boşlukları ile yer değişmesi sonucunda azalmaktadır. Beton karışımında hava; hafif agrega tanelerinin içinde, betonu oluşturan çimento pastasında ve agrega tanelerinin arasında bulunabilmektedir. (Neville, 1996)

Hafif betonların normal betonlara göre üstünlükleri şöyle özetlenebilmektedir;

- Birim hacimdeki toplam malzeme ağırlığının azalması nedeniyle beton kalıbında daha düşük basınç oluşur, üretim ve yerleştirme kolaylaşır
- Hafif betonla üretilen elemanların düşük birim ağırlıkları nedeniyle yatay ve düşey yapı yükleri azalır, bu azalma ile temeller ve diğer yapı elemanları daha küçük boyutlarda yapılarak ekonomi sağlanır
- Isıl iletkenlikleri düşük, ısı ve ses yalıtımları yüksektir
- Yangın bakımından normal betona göre daha elverişlidir. (Taşdemir, 1982)

Hafif betonların normal betonlara göre sakıncaları ise şöyle özetlenebilmektedir;

- Boşluklu olmaları nedeniyle mukavemetleri düşüktür. Bu nedenle birçok yüksek mukavemetli beton uygulamalarında tercih edilen bir malzeme değildir
- Aşınmaya karşı dayanıksızdırlar
- Rutubete karşı yalıtım gereklidir
- Elastisite modülü düşük değerler alır. (Taşdemir, 1982)

Hafif betonların geleneksel betonlara göre daha düşük ağırlıkları nedeniyle yapılarda donatı miktarında artım sağlaması, temel ve kolon gibi taşıyıcı elemanların kalınlıklarının azaltılması, dış etkenlere karşı daha fazla dayanıklılık göstermesi ve daha iyi ısı yalıtım özelliğine sahip olması gibi üstünlükleri bulunmaktadır. Hafif betonun sakıncaları ise, dayanımının geleneksel betonlara göre daha düşük olması ve su emmelerinin yüksek olması şeklinde sıralanabilir.

Hafif betonun günümüzde düşük birim hacim ağırlığa, yüksek durabilite ve ısı yalıtımına sahip olduğundan dolayı yaygınlaştığı görülmektedir. (Chandra ve Berntsson, 2003)

Yüksek katlı yapıların inşasının yaygınlaşması, küçük kesit, hafif, yüksek enerji yutma kapasitesi ve dayanıklılığa 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 ve Zhu, 2004)

Yüksek katlı yapıların inşasının yaygınlaşması, büyük kesitli ve uzun açıklıklı yapılarda yüksek dayanımlı, hafif, yüksek enerji yutma kapasitesi ve durabiliteye sahip betonlara ihtiyacı zorunlu hale getirmiştir. Aynı zamanda yapıların ölü yüklerinde önemli oranda bir düşme sağladığı için yapıya gelecek deprem yüklerinde önemli derecede bir azalmaya ve elastiklik modüllerindeki düşüklükten dolayı daha fazla deformasyon yapma özelliğine sahip olduğundan dolayı, yapıların iyi bir deprem davranışı göstermelerine neden olmaktadır. (Kayali ve Zhu, 2004)

Yüksek dayanımlı hafif betonların ısısal genleşme katsayısı, ısı iletimi ve ısı yayılımı gibi temel özelliklerin, benzer karışıma sahip olan normal ağırlıklı betonların bu özelliklerinden %50 daha azdır. (Neville, 1996)

Yüksek dayanımlı hafif betonların iyi bir termal özelliğe sahip olmaları ve elastiklik modüllerindeki düşüklük bu betonları, diğer betonlara göre ısı gerilme bakımından daha üstün tutmaktadır. Betonda ısı iletimi basınç dayanımının artmasıyla artmaktadır. (Neville, 2004)

Hafif betonların dizaynında temel ilkelerden biri, üretilecek betonun istenilen işlenebilirliğe sahip olmasıdır. Hafif agrega tanesinin yüzey dokusu, şekli ve ince agregasında iri agrega yüzey dokusuna sahip olması, bu betonların işlenebilirliğini azaltıcı bir etki yaptığı bir çok araştırmada tespit edilmiştir. (Chandra ve Berntsson, 2003; Cook, 1982; Ahort ve Kinniburgh, 1978)

Hafif betonların dizaynlarında en temel problemlerden biri, istenilen işlenebilirliğe sahip beton üretiminin oldukça zor olmasıdır. Bu problemten kurtulmak için ince agrega hacminin, toplam agrega hacminin en az %50'si olması gerekmektedir. (Kayali ve Zhu 2004; Neville, 1996)

Hafif betonların sınıflandırılması, genellikle hem birim ağırlık hem de dayanıma göre yapılmaktadır. Yalıtım betonlarından taşıyıcı olanlara kadar bütün hafif betonların özellikle birim ağırlık bakımından sınıflandırılmasında değişik kabuller bulunmaktadır.

Kaska ve ark. (2009) tarafından yapılan sınıflandırmada duvar yapımında kullanılan malzemelerin ısıl özellikleri ile ilgili oluşturulan veriler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1 Duvar Malzemelerin Thermofiziksel Özellikleri [Kaska ve ark.,2009]

Duvar malzemeleri	Isıl iletkenlik k (W/m K)	Yoğunluk ρ (kg/m ³)	Özgül ısı c (kJ/kg K)	Isıl yayılım α (m ² /s)
Briket	0.920	1600	0.840	6.84 x10 ⁻⁷
Tuğla	0.690	1580	0.840	5.20 x10 ⁻⁷
Blokbims	0.230	770	0.835	3.57 x10 ⁻⁷
Beton	1.370	2076	0.880	7.50 × 10 ⁻⁷
Gazbeton	0.150	400	1.047	3.58 x10 ⁻⁷
XPS	0.034	22	1.280	12.1 x10 ⁻⁷
Sıva	0.700	2778	0.840	2.99 x10 ⁻⁷

Hafif betonların üretiminde kullanılan hafif agregalara bağlı olarak hafif betonların işlevleri değişebilmektedir. Sadece hafif agregalar kullanılarak üretilen farklı tür hafif betonların sınıflandırılması yapılmaktadır. İnşaat Malzemeleri, Sistemleri ve Yapıları Laboratuvar ve Uzmanları Uluslararası Birliği (RILEM) ile Avrupa Beton Komitesi (CEB) tarafından yapılan, betonların kullanım amaçlarına göre sınıflandırması Şekil 1'de görülmektedir. Kullanılan agregaların cinsine bağlı betonlar sınıflandırılmaktadır.

Birim ağırlık (kg/m ³)	Yalıtım Betonları			Orta Dayanımlı Betonlar		Taşıyıcı Hafif Betonlar		
	250	500	750	1000	1250	1500	1750	2000
Dayanım aralığı	(0.7-2.0 MPa)			(7-14 MPa)		(17-41 MPa)		
Agrega tipi	Vermikülit			Ponza taşı		Sinterlenmiş uçucu kül		
	Perlit			Volkanik cüruf		Genişletilmiş kil veya şist		
						Genişletilmiş cüruf		
Diğer hafif betonlar	Gaz ve köpük betonlar						Kumsuz beton	
				Kumsuz beton(hafif beton)		(Normal)		

Şekil 1 Agreg Cinsine Göre Hafif Betonların Sınıflandırılması[Konuk,2003]

Şekil 1’de görüldüğü gibi agrega olarak hacimce %100 perlit agregası kullanılarak üretilen hafif agregalı betonlar yalıtım betonları olarak kullanılmaktadır. Bu belirtilen sebeplerden dolayı son zamanlarda yüksek dayanımlı hafif betonlar üzerinde araştırmalar yoğunlaşmıştır. Yapılan çalışmalardan çok iyi sonuçlar alınmasına rağmen, bu konuda daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmuştur. Çünkü normal agregaların tersine, farklı hafif agregalar çok farklı davranışlar sergilemektedir. (Kayali ve Zhu, 2004)

Beton; çimento, su, agrega ve bazı katkı maddelerinin belirli oranlarda karıştırılmasıyla elde edilen bir yapı malzemesidir. Betonun oluşturan malzemelerden farklı oranlarda birleştirilmesi ile de oluşan numunenin kimyasal özellikleri değişmektedir. Aşağıda beton elde etmek için kullanılan katkı malzemeleri, oluşan betonun mekanik özellikleri, ısı özellikleri hakkında bilgiler verilmiştir.

3.2. Betonun Mekanik Özellikleri

Beton üretiminde yapılan araştırmalar betonun sahip olduğu su emme miktarı, ısı genleşme, ısı yalıtımı, ses yalıtım gibi özellikleri istenilen standartlara getirmek içindir. Betonun sahip olduğu bu özellikler ile ilgili açıklamalar bu bölümde yapılmıştır.

Hafif doğal gözenekli kayaçların kullanımı, günümüz teknolojisinde farklı endüstri alanlarında giderek artan bir eğilim göstermektedir. Çoğunlukla bu tür kayaçlar, inşaat sektöründe hafif yapı elemanı elde edilmesinde hafif agrega olarak kullanılmaktadırlar. İnşaat sektöründe doğal ve hafif malzeme kullanımının, yapı endüstrisinde ısı ve ses yalıtımı bakımından da yüksek değerlere sahip, gözenekli ve hafif doğal kayaçların kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır.

Normal beton yerine hafif betonların kullanılması ve bunun yanı sıra yapılarda daha yüksek sınıflarda betonların kullanılmasıyla, yapıda kullanılacak toplam beton miktarı azalacak ve binalar hafifleyecek, depremin yapılara etkisi yapının ağırlığıyla orantılı olduğundan, yıkılma riski de azalacaktır. Ağır ve hantal yapılar yerine hafif ve narin yapılar yapıldıkça yatırım maliyetleri de azalacaktır. Ayrıca beton sınıfının yükseltilmesi ile kesitler daralacak ve binaların kullanım alanları genişleyecektir. (Bilgiç, 2009)

Birim hacimdeki toplam malzeme ağırlığının azalması nedeniyle beton kalıbında daha düşük basınç oluşur böylece üretim ve yerleştirme kolaylaşır. Betonarme inşaatlarda geleneksel beton kullanımı yerine hafif beton kullanımının birçok üstünlüğü vardır. Bu üstünlükler şunlardır;

1. Hafif betonlar üretilen elemanların düşük birim ağırlıkları nedeniyle yapı yükleri azalır, bu azalma ile temellerde ve eğilme etkisindeki elemanlarda donatı ekonomisi sağlanır.
2. Birim kütlelerinin azlığından temel boyutları azalır.
3. Deprem davranışlarının iyileşmesi sağlanır.
4. Isı yalıtımları yüksektir.
5. Yangın bakımından da normal betona göre daha dayanıklıdır.(Topçu, 2006)

Üretim yöntemi, agrega çeşidi, karışım oranları gibi etkenlere bağlı olarak hafif betonların birim ağırlıkları, dolayısıyla dayanım ve yalıtım özellikleri değişebilmektedir. Uygulama amacına göre değişik özelliklere sahip hafif betonlarla dolu ve boşluklu bloklar, prefabrik, yerinde dökülen taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan yalıtım elemanları üretilmektedir. Hafif betonlar ön gerilmeli beton olarak da kullanılmaktadır. İlk uygulamalarda hafif betonun ekonomik yararlarının, birim hacim ağırlıklarının ve ısı yalıtım katsayılarının küçüklüğü teşkil ediyordu. Ancak, dolgu ve yalıtım elemanı olarak kullanılmalarından başarılı sonuçlar elde edilince, bugün yalıtım görevine ilaveten taşıyıcı elemanlarda da kullanılmaya başlanılmıştır. (Bilgiç, 2009)

Aynı amaç için kullanılan birçok malzemeye göre hafif betonların düşük birim ağırlığa sahip olması yapının toplam ağırlığının azalmasına katkı sağlamakta ve deprem sırasında yapıya etki eden kuvvetleri azaltmaktadır. Deprem tasarım kuvvetinin azalması donatıda da azalma oluşmasını sağlamakta, böylece hafif betonlarla daha ekonomik çözümlere ulaşılmış olmaktadır. (Bilgiç, 2009)

3.2.1. Basınç Dayanımı

Beton basınç dayanımı, genel olarak betonun en önemli özelliği olarak tanımlanmaktadır. Betonun kalitesi ile ilgili bilgi edinilmesini sağlayan beton dayanımı, betonun kullanım alanlarının belirlenmesi ile ilgili genel bir fikir vermektedir. Beton; agrega, çimento ve agrega ile çimento hamuru ara yüzeyinden oluşan üç fazlı bir kompozit malzeme olarak göz önüne alındığında malzeme özellikleri sadece bileşenlerin özelliklerine bağlı değildir. (Neville, 1996)

Betonun basınç dayanımını etkileyen faktörleri iç ve dış faktörler olmak üzere iki gruba ayırmak mümkündür. İç faktörler; betonu oluşturan malzeme tipi ve oranlarından, dış faktörler ise betonun üretimi, bakımı ve servis ömrü boyunca maruz kalacağı etkilerden kaynaklanmaktadır. Çimento türü, agrega özellikleri, su/çimento oranı, kullanılan kimyasal ve mineral katkıları, beton boşluk yapısı vb. basınç dayanımını etkileyen iç faktörlere, beton döküm ve kür sıcaklığı, kür koşulları, basınç dayanımı deney koşulları, vb. ise dış faktörlere örnek olarak verilebilir. (Mehta ve Monteiro, 1997)

Birim ağırlığı geniş bir aralıkta değişen hafif betonları sahip oldukları basınç dayanımlarını da göz önüne alarak Tablo 2'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. Bunlar birçok ülkede taşıyıcı beton olarak kabul edilirler. (Canan, 2003)

Tablo 2 Hafif Betonların Sınıfları [Canan, 2003]

Hafif Beton Sınıfı	Birim Ağırlık (kg/m ³)	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

3.2.2. Su Emme Özelliği

Düzgün yüzeye sahip olmayan agregalar (kırma taş), yuvarlak agregalardan (doğal agregaya) daha fazla özgül yüzeye sahiptir, dolayısıyla bu yüzeylerin ıslanması için daha fazla su gerekir, ancak sabit su-çimento oranında su miktarı artmayacaktır bu ise işlenebilirliği azaltacaktır. Agreganın gözenekliliği ve su emme kapasitesi de işlenebilirliği etkiler. Fazla boşluklu agreganın su emme kapasitesi fazla olacağından, böyle bir agregaya karışımı suyunu emer ve işlenebilirliği azaltır.

Hafif agregalar kullanılarak üretilen hafif betonların dikkat edilmesi gereken en önemli özelliklerinden biri artan su emme miktarıdır. Hafif agregalı betonlarda görülen artan su emme miktarı betonda kullanılan agreganın su emme özelliklerinden etkilenmektedir. Yüksek gözenek hacmine sahip agregaların su emme özellikleri daha yüksektir.

Bu özellik doymamış veya kısmi olarak doymuş olan agregalarla üretilen taze betonların işlenebilirlik, birim ağırlık ve sertleşmiş betonların ise birim ağırlık, ısı yalıtımı ve donma direnci özelliklerini etkilemektedir. (Clarke, 1993)

3.2.3. İşlenebilirlik

Taze beton karışımının minimum dış güç ile donatılar arasından ve çevresinden kolayca akabilmesi, karmaşık kalıpları doldurabilmesi ve bu süreç içinde beton bileşimde ve özelliklerinde bir değişiklik olmaması istenir. Bundan dolayı betonda hareketlilik, taze betonun akış kapasitesi olarak tanımlanabilir. Çökme değeri; taze betonun kıvamı ile ilgili olup deneyle bulunan değerdir. Çökme değerinin belirlenmesinde yapının tipi esas alınmaktadır. Tablo 3’de yapı tipine göre çökme değerleri görülmektedir.

Tablo 3 Çökme Değeri [Megep, 2009]

Yapı Tipi ve Elemanı	Çökme Değeri (mm)	
	En Çok	En Az
Betonarme Temeller	80	30
Donatısız beton temeller, Kesonlar (kuyu temel), kanal kaplamaları, alt yapı duvarları	70	20
Kirişler, döşemeler, betonarme perdeler, kolonlar, tünel yan ve kemer betonları	100	50
Yol Kaplamaları, köprü ayakları	50	30
Tünel taban kaplamaları	50	20

Betonun kolay pompalama için minimum basınç ile tıkanma tehlikesi olmadan boru içinde kütleli bir şekilde akması gerekir. Taze betonun yeterli pompalanabilirlikte olması için agreganın uygun bir şekilde ayarlanması gerekmektedir. Aksi takdirde beton içerisindeki toplam ince malzeme miktarı arttıkça sürtünme artar ve pompalama basıncı kabul edilir sınırın üzerine çıkar.

3.2.4. Isı Yalıtımı

Hafif betonun ısı yalıtım özellikleri hafif betonun birim ağırlığının yanı sıra hafif beton yapımında kullanılan hafif agrega cinslerine bağlı olarak da değişmektedir. Beton tarafından emilen nem, betonun ısı iletkenliğini arttırmaktadır. Havanın iletkenliği suyun iletkenliğinden daha düşük olduğu için betonun suya doygunluğunun derecesi, betonun ısı iletkenliğini etkilemektedir.

Steiger ve Hurd (1978) çalışmalarında, hafif betonların nem içeriğindeki %1'lik artışın ısı iletkenliklerini %5 oranında artırdığını belirtmişlerdir. Diğer yandan suyun iletkenliği hidratasyona uğramış çimento pastasının iletkenliğinin yarısından daha az olduğu için karışımın içindeki su oranı azaldıkça sertleşmiş betonun iletkenliği artmaktadır.

Birim ağırlıkları 300–2000 kg/m³, küp basınç dayanımı 1–60 MPa, ısı iletkenlik değerleri ise 0,2–1 W/mK arasında değişen hafif betonlar üretilebilmektedir. (Clarke, 1993)

Yapısal hafif agregaların hücreli yapılarında bulunan hava, bu agregaların doğal agregalara oranla daha düşük ısı iletkenliğine sahip olmalarını sağlamaktadır. Sıradan betonun ısı iletkenliği betonun doygun olduğu durumda, beton karışımına bağlı olarak 1,4 ila 3,6 W/mK arasında değişmektedir. Betonun birim ağırlığı ısı iletkenliğini tam olarak etkilememesine rağmen, havanın düşük ısı iletimine bağlı olarak, hafif betonun ısı iletkenliği birim ağırlığı ile değişmektedir. (Clarke, 1993)

Yapılarda ısı iletkenliği düşük hafif betonların kullanılmasıyla dış ortama kaybedilen ısı miktarı azalmaktadır. Hafif betonların ısı iletim özelliklerinin incelendiği çalışmalarda, betonun birim ağırlığı azaldıkça ısı iletkenliklerinin de azaldığı yapılan deney sonuçlarından görülmektedir.

Demirboğa ve Gül (1999)'ün çalışmalarında hafif agregalı betonların içindeki hafif agrega oranı arttıkça birim ağırlıkları ve ısı iletkenliklerinin azaldığı belirtilmektedir. Çalışmasında farklı oranlarda bağlayıcı karışımları içeren perlitli hafif betonların ısı iletkenliği incelenmektedir. Yapılan deneyler sonucunda 522 kg/m³ birim ağırlığa sahip perlitli hafif betonun ısı iletkenliği, 0,1797 W/mK bulunmuştur.

Demirboğa ve Gül'ün (1999)'in bir başka çalışmasında farklı oranlarda geliştirilmiş perlit ve ponza agregası içeren hafif betonların ısı iletkenlikleri incelenmektedir. Hafif betonların üretiminde kullanılan toplam agrega içindeki geliştirilmiş perlit oranı artıp, ponza oranı azaldıkça hafif betonların ısı iletkenliğinin azaldığı belirlenmiştir.

3.2.5. Ses Yalıtımı

Ses, bir fizikçiye göre, her çeşit ortamda moleküllerin titreşimi yoluyla dalgalar halinde yayılan bir tür mekanik enerji şeklidir. Bir başka deyişle işitme duyusunun uyarımı olarak, kulak tarafından algılanabilen, hava, su ya da benzeri elastik bir ortamdaki basınç değişimi şeklinde tanımlanabilir. Birçok tanımda ses, titreşim ve gürültü için yalnız "ses" veya "gürültü" sözcüğü kullanılmıştır. Fakat "ses şiddetinden" söz edilirken, şiddeti ölçülen ses, "gürültü" de olabilir. Algılama açısından fiziksel olarak ses, titreşim ve gürültü arasında bir fark olmadığı için, tanımlarda genellikle ses sözcüğü kullanılmış olmasına karşın, yerine göre gürültü sözcüğü de kullanılmıştır. Gürültü, Latince 'Nausea'dan türetilmiş bir kelimedir. Hoş olmayan, istenmeyen sesleri tarif eder. (Kuroda, 2006)

Gürültüsüz bir ortamda yaşamak, gürültüyü yok etmek neredeyse imkansızdır. Ancak gürültünün çevre ve insan sağlığı üzerindeki etkilerini kontrol altına alıp en aza indirmek mümkündür. Gürültüden korunmanın en temel yolu ses yalıtımı uygulamalarıdır.

Hafif betonun ses emme özelliğinin havadaki ses enerjisinin betonun çok küçük kanallarında ısıya dönüştürülmesi nedeniyle iyi olduğu belirlenmiş, dolayısıyla ses emme katsayısının normal betona oranla yaklaşık iki kat fazla olduğu belirtilmiştir. Betonun birim ağırlığı azaldıkça ses yutuculuğu iyileşmektedir. (Konuk, 2003)

Ses her ortamda aynı hızla yayılmaz. Sesin yayılma hızı ortam özelliklerine bağlıdır. Ortama göre sesin yayılma hızı karşılaştırılırsa $V_{katı} > V_{sıvı} > V_{gaz}$ şeklinde sıralanır. Ayrıca ortam sıcaklığı ve yoğunluğu arttıkça sesin yayılma hızı da artar. Sesin iletim yoluyla yayılması söz konusu değildir. Çünkü ses titreşimlerinin havada yayılma hızı yaklaşık 330-340 m/sn olmasına karşılık, havanın moleküllerinin hareketinin hızı saniyede birkaç metreyi geçmez. Ses kaynağının bulunduğu yönden gelen rüzgârın, sesi taşıyor sanılması bir yanılgıdır. Olay, yüksekte artan rüzgâr hızından dolayı, gelen ses enerjisindeki sıkışmasından ibarettir (Kıdner ve Hansen, 2008)

Sesin yayılma hızı ortamın özgül ağırlığına ve esnekliğine bağlı olarak değişim gösterir. 0 °C deki hava içinde sesin yayılma hızı 331,5 m/s iken 21 °C oda sıcaklığında sesin yayılma hızı; 344 m/sn olarak kabul edilir. (Dimon, 2006)

Sesin yayıldığı ortamlar için tek bir değer vermek imkânsızdır. Çünkü malzemelerin birbirinden farklı kimyasal, fiziksel veya metalürjik yapıları vardır. Bütün bu özellikler, sesin o ortamdaki yayılma hızını etkilemektedir. Tablo 4'te farklı malzemeler için sesin yayılma hızları verilmiştir. Tablo 4'teki değerlerden de anlaşılacağı üzere, sesin katı maddeler içerisindeki yayılma hızları, havadaki hızına göre çok daha yüksektir.

Tablo 4 Sesin Çeşitli Ortamlarda Yayılma Hızı [Özgüven,2008]

Ortam	Yayılma Hızı (m/sn)
Hava (C)	331
Hava (21 ⁰ C)	344
Mantar	500
Kurşun	1200-2400
Su	1450
Sert Kauçuk	1400-2400
Beton	3200-3600
Tahta	3300-4300
Tuğla	3600
Dökme Demir	3500-5600
Mermer	3800
Cam	4000-5600
Pirinç	4700
Demir	5100-6000
Bakır	3600-4760
Çelik	5800-6000
Alüminyum	5100-6400

Beton üretiminde kullanılan suyun PH derecesi 7'nin üstünde olmalıdır. Suya kanalizasyon karışması durumunda ve suyun nişasta, şeker gibi organik maddeler içermesi söz konusu olduğunda priz geciktirici etki meydana gelmektedir. (Neville, 2004)

Çimentonun ilkel bileşenleri kalker ve kildir. Bu maddeler pişirildikten sonra su ile reaksiyon yapacak şekilde ve bağlayıcılık etkisi ortaya çıkacak şekilde çok ince öğütülerek çimento elde edilmektedir. Günümüzde çok çeşitli çimentolar üretilmektedir ancak en yaygın kullanılanı Portland çimentosudur. (Lindebaum ve Schnetgöke, 2002)

Çimento üretiminde pişirme aşamasında çimentoyu oluşturan oksitlerin ergimesiyle 20 civarında katı eriyik oluşmaktadır. Bu eriyiklerden dört tanesinin çimento bileşimindeki oranları yüksek olup çimentonun ana bileşenleri olarak bilinirler. Bu katı bileşikler çimentonun yaklaşık olarak %90'ını oluştururlar. (Karataş, 2002)

Sabit bir su/çimento oranı dikkate alındığında çimentonun inceliğinin artması betonun işlenebilirliğini azaltmaktadır. Bunun nedeni çimentonun inceliği arttığı için

birim zamanda daha fazla çimento su ile reaksiyona girmesi dolayısıyla. Bu nedenle uzun süre karıştırmaya maruz betonda daha ince çimento kullanıldığında betonda daha fazla miktarda çökme kaybı meydana gelir. (Neville, 2004)

3.3. Betonun Isıl Özellikleri

Normal betonun birim ağırlığının düşürülmesiyle betonarme elemanın öz ağırlıkları azaltılarak yapı hafifletilebilir. Diğer yandan betonda birim ağırlığın azaltılmasıyla ısı iletkenlik küçülür, yangına dayanıklılık artar. Buna karşın, betonun boşluk miktarının artması nedeniyle dayanım düşer, aşınmaya dayanıklılık azalır, neme duyarlılık artar.

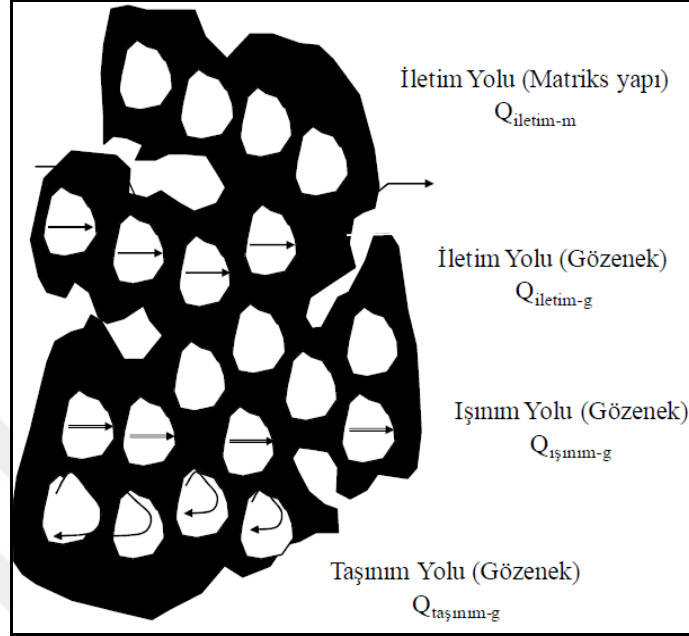
Katkı malzemelerinin ısıl özelliklerinin doğru olarak belirlenmesi, malzemenin kullanıldığı uygulamada arzu edilen optimum performansa ulaşmak açısından oldukça önemlidir. Uzun yıllardır bu amaçla geliştirilen birçok ölçüm tekniği bulunmaktadır. Mevcut tekniklerle homojen ve kompozit katı bir malzemenin ısıl özelliklerini oluşturan parametrelerden (ısı iletkenlik katsayısı, ısı yayılma katsayısı, özgül ısı ve ısı geçirgenlik) biri ya da birden fazlası ölçülebilmektedir. (Işıkel, 1999)

Yalıtımın yetersiz olduğu yapılar, enerjinin etkin olarak kullanılmaması nedeniyle enerji harcamalarını ve maliyetini olumsuz yönde etkilemektedir. Eksik ya da yanlış yalıtım uygulamalarının bu olumsuzlukları, ısı iletim katsayısı düşük olan yapı malzemesi seçimi ve üretimiyle azaltılabilir. Betonarme yapı elemanlarının ısıl iletkenliği düşük ve hafif malzemeden üretilmesi bu nedenle önem taşımaktadır. Agregalar olarak kullanılan malzemeler doğal veya yapay yolla elde edilmektedir. Bims, volkanik cüruf, perlit, çakıl taşı ve kum gibi maddeler doğal agregalar olarak bilinirken, geliştirilmiş killer, uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve geliştirilmiş perlit gibi malzemeler yapay agregadır. (Gündüz ve ark., 2006)

3.3.1. Isıl iletkenlik

Isıl enerji, cisimlere değişik türde etkiler yapmaktadır. Bu etki sonucu, iç yapılarda ve mekanik özelliklerde oluşan değişimler gözlenmektedir. Bu bakımdan, malzeme yapısı ile ilgili olarak malzemenin özgül ısı, ısıl genleşme, ısı iletkenlik değerleri önemli parametreleri oluşturmaktadır. Genelde iki malzeme arasındaki sıcaklık farkı nedeniyle, ısı bir enerji olarak sıcak cisimden soğuk cisme doğru bir geçiş sağlar. İki malzeme arasındaki ısısal geçirimsizlik Şekil 2'de görüldüğü gibi malzemelerin bulunduğu ortama göre;

- İletim
- Taşınım
- Işınım olmak üzere üç farklı şekilde görülür.



Şekil 2 Malzeme Arasındaki Isıl Geçirimsizlik [Bekaroğlu, 2012]

İletim yolu ile malzemede meydana gelen ısı geçirimsizlik olayında, malzemenin ısı geçirimsizliği, kalınlığına (d) ve kendi içyapı özelliklerine bağlı ısı iletkenlik katsayısı (λ) ile ilişkilidir. (Bekaroğlu, 2012)

İçinde yaşadığımız konutlarda, ısı yalıtımı amaçlı konforu sağlamak ve optimum şartlarda sıcaklık dengesini kurmak, yapılarda kullanılan malzemenin seçimi ile direkt ilgili bir durumdur. Seçilen yapı malzemelerinin hangi türden malzeme olursa olsun, önemle ısısal yalıtım etkileri ve ısı geçirimsizlik karakteristiği analiz edilerek, irdelenmelidir. Yapılarda iç hava sıcaklığının ve buna bağlı olarak yapı kesitini oluşturan (duvarda, tabanda ve tavanda) elemanların iç yüzey sıcaklıklarının belli değerde olması gerekmektedir. (Bekaroğlu, 2012)

Katı malzemelerin ısı iletkenliği; gözeneklilik derecesine, gözeneklerin büyüklüğü ile dağılım durumuna ve bünyesinde tuttuğu nem miktarına bağlıdır. Gözenekler içinde bulunan durgun havanın ısı iletkenlik değeri az olmaktadır. Ayrıca, gözenek miktarı arttıkça malzemenin birim hacim ağırlık değeri de azalmaktadır. Bu olgu malzemenin ısı iletkenlik değerinin düşmesine neden olmaktadır. Düzenli dağılmış çok küçük hava gözenekleri olan bir yapı malzemesinin ısı iletkenliği, düzensiz

dağılmış büyük gözenekli malzemeye göre daha azdır. Malzemeyi meydana getiren maddelerin ısı iletkenliği, cinsine (anorganik, doğal-anorganik ve suni organik) ve yapısına bağlıdır. Yapı kesitlerinde, iç ve dış bölgelerdeki sıcaklık farkı nedeniyle, ısı sıcak taraftan soğuk tarafa geçecektir. Bir yapı kesiti, çeşitli özellikte ve kalınlıktaki malzemelerin yan yana gelmesi ile oluşmaktadır. (Bekaroğlu, 2012)

Hafif betonun ısı iletkenliği betonun birim ağırlıklarına ve kullanılan hafif agregası cinslerine bağlı olarak önemli ölçüde değişmektedir. Homojen bir malzemenin ısı iletkenliği, denge koşullarında iki yüzey arasındaki sıcaklık farkı 1 °C olduğunda birim zamanda (1 saat), birim alanından (1 m²), bu alana dik yönde birim kalınlığından (1 m) geçen ısı miktarı ile ölçülür. Birimi W/mK 'dir. (Taşdemir, 2003)

Düşük yoğunluklu beton üretimi ile ilgili çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda genelde çimentonun içine, doğal, yapay, atık ve kimyasal gibi çok çeşitli malzemeler agregası olarak eklenerek yeni yapı malzemeleri üretilmiştir. Çimento içine, genişletilmiş kil, bims, perlit gibi agregalar eklenerek üretilen numunelerin, ısıl ve mekanik özellikleri araştırılmış ve sonuçta numunelerin yoğunluk ve ısı iletim katsayılarının düştüğü görülmüştür. (Uysal ve ark., 2004)

Gelişmiş ülkelerde uygulanan sistematik ve istikrarlı enerji politikalarının katkısıyla daha ekonomik şartlarda elde edilebilen ısıl konfor, Türkiye'de halen çok yüksek bedel ile temin edilebilmektedir. Merkezi ısıtma sistemlerinin kullanıldığı binalarda, ısı yalıtımı standartlarının yetersizliği sonucu, 1 m² alanın ısıtılması amacıyla yılda ortalama 250-350 kW/h enerji harcanmaktadır. Isıtma amacıyla binalarda birim m² başına harcanan enerji gelişmiş ülkelerde 50-100 kW/h arasında değişmektedir. Ülkemizde ısıtma ihtiyacı için harcanan enerjinin yaklaşık %85'lik kısmı birincil yakıtlar olup, bu yakıtların tükenmeye yüz tutuyor olması ve atmosfere bıraktığı zararlı emisyonlar dolayısıyla, ülkemizde enerji tasarrufuna yönelik uygulamaların kaçınılmaz olduğu gerçeği ortadadır. (Işık, 1999)

3.3.2. Özgül Isı

Termodinamiğin en önemli kavramlarından biri de ısıdır. Isı, belirli sıcaklıktaki bir sistemin sınırlarından, daha düşük sıcaklıktaki bir sisteme, sıcaklık farkı nedeniyle transfer edilen enerjidir. Bir cismin içindeki ısı miktarı o cismin sıcaklığı ile orantılıdır. Isı da iş gibi bir enerji transfer biçimidir.

Bir maddenin 1 gramının sıcaklığını 1°C değiştirmek için alınması veya verilmesi gerekli ısı miktarına Öz Isı (ısınma ısı) denir. SI birim sisteminde bir maddenin öz ısısı, o maddenin 1 kilogramlık kütesinin sıcaklığını 1 °K artırmak için

gerekli ısıdır. Öz ısı “c” ile gösterilir. Bir maddenin m gramının sıcaklığını 1°C değiştirmek için gerekli ısı miktarına Isı Sığası denir. Kütle m gram, öz ısı (ısınma ısısı) c olan bir maddenin sıcaklığını Δt °C değiştirmek için verilmesi veya alınması gereken ısı aşağıdaki eşitlikle bulunur. (Megep, 2009)

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t$$

3.3.3. Isıl Kapasite

Isı transferinde sık sık karşılaşılan $\rho \cdot C_p$ çarpımı malzemenin ısı kapasitesi olarak adlandırılır. Hem özgül ısı C_p ve hem de ısı kapasite $\rho \cdot C_p$ malzemenin ısı depolama kapasitesini gösterir. Fakat J/kg.°C ve J/m³.°C birimlerinden de anlaşılacağı üzere, sırasıyla C_p birim kütle başına ve $\rho \cdot C_p$ birim hacim başına kapasitedir.

Zamana bağlı ısı iletim çözümlemesinde ortaya çıkan bir malzeme özelliği, bir malzeme içerisinde ısının ne kadar hızlı yayıldığını gösteren ısı yayılım katsayısıdır ve;

$$\alpha = k / \rho \cdot C_p$$

şeklinde tanımlanır. Dikkat edilirse ısı iletkenlik k bir malzemenin ısıyı ne ölçüde ilettiğini, ısı kapasite $\rho \cdot C_p$ ise malzemenin birim hacimde ısıyı ne kadar depoladığını gösterir. Bu yüzden, bir malzemenin ısı yayılım katsayısı, malzeme içinde iletilen ısının malzemenin birim hacim başına depoladığı ısıya oranıdır. Yüksek ısı iletkenliğine veya düşük ısı kapasiteye sahip malzemenin ısı yayılımının yüksek olacağı açıktır. Isı yayılım ne kadar yüksek olursa, ısının ortam içerisinde yayılması o kadar hızlı olur. Küçük ısı yayılım değeri, ısının çoğunun malzeme tarafından soğuruldu ve küçük bir miktarının daha ileri iletiildiği anlamına gelmektedir.

Isı yayılım katsayısı; maddenin sahip olduğu ısı özelliklerinden biridir ve maddenin ısı iletkenlik değerinin, özgül ısı ve yoğunluğunun çarpımına oranı olarak tanımlanır. (Sweat, 1986)

3.4. Binalarda Isı Transfer Uygulamaları

Tek camlı bir pencere, bir presli ütünün altındaki metal plaka, dökme demir bir buhar borusu, silindirik bir nükleer yakıt elemanı, bir elektrik direnç teli, su verilen bir tankın veya küresel bir metal bir topun duvarı, bir evin duvarı gibi geniş düzlem

duvarda ısı iletimi dikkate alınsın. Bu ve diğer birçok geometride ısı iletimine tek boyutlu olarak yaklaşılabilir. Çünkü bu geometrilerdeki ısı iletimi bir doğrultuda etkindir ve diğer yönlerde ihmal edilebilir. Aşağıda kartezyen, silindirik ve küresel koordinatlarda tek boyutlu ısı iletim denklemi üretilmektedir. (Çengel, 2014)

3.4.1 Tek Boyutlu Isı İletimi

Geniş düzlem bir duvarda Δx kalınlıklı ince bir elemandaki duvar malzemesinin özgül kütlesi ρ , özgül ısısı C ve ısı transfer doğrultusunda dik duvar alanı A olsun. Küçük bir Δx zaman aralığında bu ince eleman için enerji dengesi;

$$\left(\begin{array}{c} X' \text{deki} \\ \text{Isı İletim} \\ \text{Hızı} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} x + \Delta x' \text{deki} \\ \text{Isı İletim} \\ \text{Hızı} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{c} \text{Eleman İçindeki} \\ \text{Üretim} \\ \text{Hızı} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{Elemanın Enerji} \\ \text{İçerisindeki} \\ \text{Değişim Hızı} \end{array} \right)$$

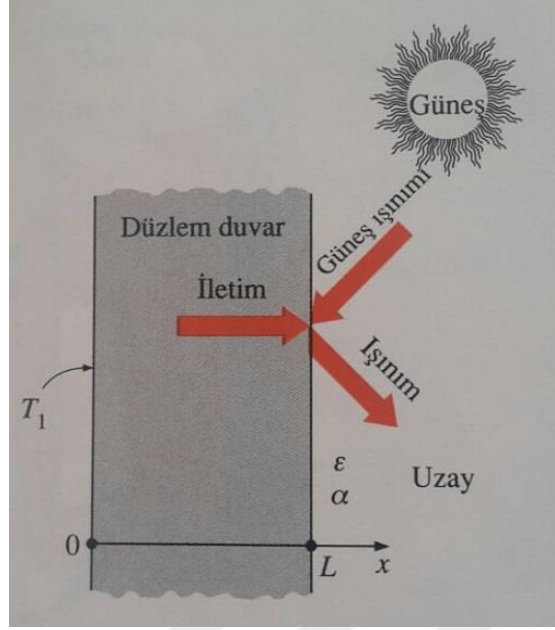
şeklinde olur. Bir malzemenin k ısı iletim sayısı, genel olarak T sıcaklığına bağlıdır ve dolayısıyla ısıl iletkenlik türevin dışına çıkılamaz. Bununla birlikte, çoğu uygulamalarda ısıl iletkenliğin ortalama değer civarında sabit kaldığı kabul edilebilir. Bu durumda sabit iletkenlik denklemi;

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{e_{\text{üretim}}}{k} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t}$$

şeklinde olur. Burada $\alpha = k/\rho.C_p$ olup malzemenin ısı yayılım katsayısıdır ve ısının malzeme içinde ne kadar hızlı yayıldığını gösterir. Şekil 3'de görüldüğü gibi saatlik dış hava ve güneş ışığına maruz kalan bir duvarda zamana bağlı ve ısı üretimi olmadığı için denklem;

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t}$$

şeklinde olur.



Şekil 3 Düzlem Bir Duvarda Tek Boyutlu Isı İletkenliği [Çengel, 2014]

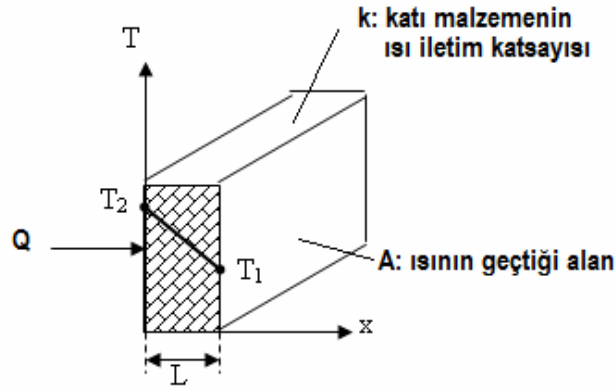
Isıl özelliklerin ölçümü için geliştirilen yöntemlerin en eskileri genellikle ‘Sürekli Rejim Yöntemleri’ kapsamındadır. Söz konusu yöntemlerin önemli bir kısmı standartlaştırılmış olup, halen yaygın olarak kullanılmaktadır. Sürekli Rejim Yöntemlerinin temeli bir boyutlu Fourier ısı iletim denkleminin dayanmaktadır. Şekil 4’de gösterilen belirli kalınlıkta test numunesinin her iki yüzeyinde arzu edilen sıcaklık farkının oluşturulması sonucu, numuneden geçen ısı akısının kontrol ve ölçümü sonucu, test numunesinin ısı iletim katsayısı belirlenebilmektedir. Şekil 4’deki ‘L’ kalınlığında, ‘A’ alanına sahip katı malzemenin T_1 sıcaklığındaki yüzeyinden T_2 sıcaklığındaki yüzeyine iletimle aktarılan ısı miktarı,

$$Q = k.A \frac{(T_2 - T_1)}{L}$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır.(Çengel, 2014)

Bu tarzda düzgün geometriye sahip katı bir malzemenin ısı iletim katsayısı ölçümlerinde uygulanan temel prensip şudur:

- Geometrik ölçüleri (A ve L) belli malzemenin iki yüzeyi arasında değeri bilinen sıcaklık farkı ($\Delta T = T_2 - T_1$) oluşturulur.
- Malzemedan geçen ısı enerjisi değeri (Q) ölçülür.
- $k=Q.L/ A.\Delta T$ eşitliği uyarınca ‘k’ katsayısının değeri belirlenir.(Işıkel, 1999)



Şekil 4 Fourier Isı İletim Yasasının Şematik Gösterimi [Işıkel, 1999]

Sürekli rejim yöntemlerinin bir kısmında ise, test malzemesinin her iki yüzeyindeki sıcaklık farkı yerine, kompozit duvar sisteminin üst ve alt yüzeylerine temas eden sıcak-soğuk havanın sıcaklık farkı ölçülür. Bu durumda, toplam ısı transfer katsayısı ya da toplam ısıl geçirgenlik değeri bulunur. (Işıkel, 1999)

Köseoğlu ve arkadaşlarının (2015) yaptığı araştırma sonucunda kontrol numunelerinin ısıl iletkenlik katsayıları kullanılan çimento dozajı, agrega, mineral katkılarına bağlı olarak 0,3 ile 2,9 W/mK değerleri arasında değişmekte olduğu tespit edilmiştir. Polietilen Tereftalat, Melamin Formaldehit gibi polimer esaslı atıkların kullanımıyla birlikte bu iletkenlik değerleri sırasıyla %18,52 ve %15'e kadar iyileşme göstermektedir. Agregalarla birlikte mineral katkı kullanımının söz konusu olduğunda 0,1472 W/mK iletkenlik değeri perlit ve uçucu külün birlikte kullanımı ile mümkün olmuştur. Isıl yalıtım malzemelerinin iletkenlik mertebelerinin yakalandığı çalışmalar incelendiğinde ise betonun kimyasal yapısında değişim yapmaktansa, daha çok betonun birim hacim ağırlığının değiştirilmesi ile mümkün olmuştur. 200 kg/m³ değerlerinde 0,06 W/mK olan iletkenlik değeri, 100 kg/m³ mertebelerinde ise 0,04 W/m.K'e kadar düşmüştür. Bu durumda betonun taşıyıcılığından ziyade yalıtımsal özellikleri ön plana çıkmaktadır. Beton tuğlaların içindeki deliklerin tuğla sıralanması göz önünde bulundurularak yerleştirilme şekillerine göre değişim ise 1,2 W/m.K'den 0,57-0,68 W/m.K mertebelerine düşmesine olanak tanımaktadır.

3.5. Betonun Oluşturan Malzemeler

3.5.1. Çimento

Çimento hammaddelerinin dikkatle orantılanmış bir karışımı olan, ana bileşenleri kireç (CaO) ve silis (SiO₂)'tir. Bunların dışında alümin (Al₂O₃), demir oksit

(Fe_2O_3), az miktarda magnezyum ve alkali oksitler bulunmaktadır. Çimentonun bileşenleri ve ağırlıkça yüzdeleri Tablo 5’da görülmektedir.

Tablo 5 Çimentonun Bileşenleri ve Ağırlıkça Yüzdeleri [Yeğinoğlu, 2004]

Bileşenler	Ağırlık Yüzdesi
CaO	60-67
SiO ₂	17-25
Al ₂ O ₃	3-8
Fe ₂ O ₃	0,5-6,0
SO ₃	1-3
MgO	0,1-4,0
Alkaliler	0,2-1,3

Çimentoya su eklendiği zaman, çimento tanecikleri düzgün bir dağılım göstermemekte ve küçük topaklanmalar oluşturma eğilimi göstermektedir. Topaklar suyu içine hapsetmekte ve bu şekilde karışımın sadece çimento taneciklerinin olduğu halinden daha az akışkan bir hal almasına sebep olmaktadır. Akışkanlaştırıcılar çimento partiküllerinin yüzeyine tutunarak çimento topaklarını parçalamakta ve her bir çimento partikülünü ayırmaktadır. Bu şekilde çimento partikülleri birbirinin arasından rahatça geçmekte, karışım daha akışkan bir hal almaktadır.

Yukarıda anlatıldığı gibi, çimento taneciklerinin dağıldığı ve hidrasyonun (sertleşme) arttığı bir ortamda devam eden hidrasyonla birlikte partiküller arasındaki boşluklar daha çok hidrasyon ürünleriyle dolmakta ve neticede uzun dönem dayanım da artmış olmaktadır. Sonuçta daha az boşluk yapıya sahip, daha dayanıklı beton oluşmaktadır.

3.5.2. Agregalar

Agregalar, beton yapımında çimento ve su ile birlikte kullanılan, kum, çakıl, kırma taş gibi taneli malzemelerdir. Beton hacminin yaklaşık %75’ni agrega oluşturmaktadır. 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. (Gökçe, 2010)

Türk standartlarına göre, 4 mm göz açıklıklı kare delikli elekten geçen agregaya ince agrega, bu elek üzerinde kalan agregaya ise iri agrega ismi verilir. Kırma taşın elenmesi sonucu elde edilen 4 mm' den küçük taneli ince agregaya kırma kum adı verilir. Beton agregası olarak kullanılacak ince agreganın en küçük boyutu 0.25 mm'dir. Beton üretimi için kullanılacak agreganın en büyük tane çapı 100 mm' yi hatta 63 mm'yi geçmemektedir. Yassı ve uzun taneler, beton için şekilce kusurlu tanelerdir. Türk standartlarında, agreganın en büyük boyutunun en küçük boyutuna oranı 3 kattan büyük ise, bu agrega taneleri kusurlu taneler olarak adlandırılmaktadır. Bu standartta kusurlu tanelerin %50'den fazla olması istenmemektedir. Genel olarak da, dünyada çapında kusurlu tanelerin % 10-15'den fazla olması istenmez. Agregası, beton yapımında kullanılan, organik olmayan, kum, çakıl, kırma taş gibi doğal kaynaklı veya yüksek fırın cürufu, genişletilmiş perlit, genişletilmiş kil gibi yapay kaynaklı olan taneli malzemelerdir. (Özışık, 1998)

Yoğunluğu 2000-2800 kg/m³ arasında olan agregalar normal agrega, 2800 kg/m³'den büyük olan agregalar ağır agrega ve 2000 kg/m³'den küçük olan agregalar hafif agrega olarak sınıflandırılmaktadır. (Gökçe, 2010)

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

Beton yapımında kullanılan en pahalı malzeme çimentodur. Agregası ise ucuz bir malzemedir. Bu nedenle, istenilen kalitedeki betonda mümkün olduğu kadar fazla agrega kullanmak maliyeti düşürmektedir. Agregası betonun teknik özelliklerine önemli katkılarda bulunmaktadır. Bu katkılar;

- Çimento hamuru zamanla kuruyarak büzülme gösteren bir malzemedir. Agregası, beton içerisindeki büzülmeden dolayı oluşabilecek hacim değişikliğini engellemektedir. Böylece çatlaklarda engellenmektedir.

- Agregalar genelde dayanıklı ve sert malzemelerdir, bu nedenle betonun dayanımının yüksek olmasına katkıda bulunmaktadır. Ayrıca betonun aşınmaya karşı direncini artırmaktadır. Beton malzemelerin karışım oranlarının bulunması için, gradasyon, en büyük tane boyutu, su emme kapasitesi, birim ağırlık ve özgül ağırlık değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Bunlarla birlikte tane şekli, yüzey dokusu, yabancı malzemelerin türü ve miktarı, aşınmaya dayanıklılığı, dona dayanımı, elastisite modülü ve ısısal özelliklerinin bilinmesi değişik uygulamalar için gerekmektedir.

Agreganın maliyeti çimentoya göre oldukça düşük olduğundan betonda bir dolgu malzemesi olarak kabul edilebilmektedir. Agreganın aynı zamanda betona önemli teknik avantajlar sağlar; beton, çimento hamuruna göre hacim sabitliğini daha iyi korur ve çevre etkilerine karşı daha dayanıklı olur. Ayrıca taze betonun işlenebilmesi, pompalanabilmesi, beton içerisindeki hava miktarı da agreganın tarafından belirlenir. Agreganın beton yapımında ekonomik ve teknik yönden çok önemli bir konumu bulunmaktadır.

Agreganın maliyeti çimentoya göre oldukça düşük olduğundan, agreganın betonda kullanılan ve oldukça ucuz olan bir dolgu malzemesi olarak kabul edilmektedir.

Betonda agreganın kullanılması, sertleşen betonun hacim değişikliğini önlemekte veya azaltmakta, çevre etkilerine karşı betonun dayanıklılığını arttırmakta ve kendi dayanım gücünün yüksekliği nedeniyle betonda gerekli dayanımın sağlanmasına yardımcı olmaktadır. Beton hacminin %75 ile %80'nini agreganın bileşeni meydana getirdiği için, üretilecek betonun sahip olması istenilen özelliğine bağlı olarak, agreganın seçiminde titizlik gösterilmesi gerekmektedir. Agreganın, gereken dayanıma sahip olması ve dış etkenlere dayanabilmesidir. Agreganın fiziki ve mekanik özellikleri istenilen şartları karşılayabilecek nitelikte olmalıdır. Betonda agreganın kullanılmasının sağladığı teknik özelliklerin başında; sertleşen betonun "hacim değişikliği" önlenmesi veya azaltılması, çevre etkilerine karşı "dayanıklılığını" artırması ve kendi dayanım gücünün yüksekliği nedeniyle betonun taşımakta olduğu yüklere karşı gerekli "dayanımı" sağlayabilmesi gelir. İçerisinde agreganın bulunmayan bir sisteme göre çok daha az hacim değişikliği (büzülme) gösterir. Yani, çimento hamurunun zamanla kuruması nedeniyle yapacağı büzülme ve meydana gelebilecek çatlaklar agreganın tarafından belirli bir ölçüde engellenmiş veya sınırlandırılmış olur. (Gökçe, 2010)

3.5.2.1. Perlit

Perlit ismi bazı perlit tiplerinin kırıldığı zaman inci parlaklığında küçük küreler elde edilmesi nedeni ile inci anlamına gelen ‘perle’ kelimesinden türetilmiştir (Almanca’da Perlstein=inci taşı). Sözcük, hem ham perlit, hem de geliştirilmiş perlit için kullanılmaktadır. (Gesoglu ve ark.,2004; Türkmen ve Gavgalı, 2003)

Perlit ilk defa 1836 yılında bulunmasına rağmen ancak 1946 yılında çeşitli alanlarda kullanılmaya başlanmıştır. Geliştirilme işleminden sonra kazandığı niteliklerden hafiflik ve ısı yalıtıcılık özellikleri dikkate alınarak, ilk defa ABD’de beton ve sıva agregası olarak uygulamaya girmiştir. Araştırma çalışmaları ise uygulamayı izleyen yıllarda başlamıştır. Rusya’da ise 1950’den sonra araştırma ve uygulama çalışmaları aşağı yukarı aynı yıllarda başlamıştır. Macaristan’da ise perlitin yapı malzemesi olarak kullanımına 1958 yılında başlanmıştır. Diğer ülkelerde ise 1950 yılından sonra uygulamaya girmiştir. Geliştirilmiş perlitin inşaat alanında kullanılması ikinci dünya savaşından sonra başlamıştır.

Dünya’da perlitin %35’i sıva agregası, %25’i beton agregası, %23’ü filtre malzemesi üretiminde, %8’i yalıtım malzemesi üretiminde, %4 tarımda ve %5’i diğer alanlarda kullanılmaktadır. (Akyüz, 1991)

Genleştirilmiş perlitin en büyük kullanım alanı yapı sektörüdür. Dünyada tüketilen geliştirilmiş perlitin %60’tan fazlası hazır yapı elemanlarının üretiminde kullanılmaktadır. Bunun sebebi perlitin hafif, ısı ve ses yalıtımının iyi olması, ayrıca yangına karşı koruma özelliklerinden dolayı, perlit esaslı hazır yapı elemanları uygulamada geniş yer edinmiştir. Perlitin başlıca kullanım alanları:

- Gevşek dolgu olarak perlit,
- Perlitli ısı yalıtım betonu,
- Perlitli sıvalar,
- Briket agregası,
- Perlitli hazır yapı elemanlarıdır.

Hafif inşaat malzemelerinin yapıda kullanımı; Deprem etkisi, ekonomiklik, ısı ve ses izolasyonu, ateşe karşı dayanıklılık gibi birçok problemin çözümünde önemli rol oynamıştır. Geliştirilmiş perlit agregası (GPA) ve silis dumanı(SD), ülkemizde yeterli miktarda bulunmaktadır. Ayrıca beton için geliştirilmiş perlit agregası ve silis

dumanının avantaj sağladığı bir çok makalede belirtilmiştir. (Demirboğa ve ark.,1999; FIB/CEB, 1990)

Dolgunsuz duvar ara boşluklarının ısı geçirgenlik direnci düşüktür. Boşlukların perlitle doldurulması ısı geçirgenlik direncini yükseltmektedir. Perlit agregası ile doldurulan boşluğun kalınlığı artıkça ısı yalıtıcılığı da artar. Perlitin gevşek dolgu olarak kullanılması genellikle ısı yalıtım içindir. Perlit ısı yalıtım betonu, agregası olarak yalnız geliştirilmiş perlit veya geliştirilmiş perlit ile doğal agregası (kum, çakıl) karışımı içeren; çimentonun bağlayıcı olarak kullanıldığı, gerekli diğer bağlayıcı ve katkı maddelerinin de kullanıldığı, taşıyıcı yapı malzemelerinin yapımında kullanılacak dayanımda olmayan ancak ısı yalıtıcı katmanların yapımında uygulama alanı bulan hafif betondur.

Perlitli sıvaların ısı yalıtıcılık özellikleri büyük önem taşımaktadır. Enerji fiyatlarının her geçen gün artışı ve AB standartlarına uyum sağlamak için yapılan çalışmalar, binalarda ısı tasarrufuna ilginin her geçen gün artmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle duvarlardan olan ısı kaybına önlemek için, hafif ve ısı yalıtımlı sıvaların kullanımı yaygınlaşmaktadır. Perlitli sıvalar doğal ince agregalı sıvalara kıyasla ısı yalıtıcılık ve hafiflik yönlerinden daha iyi bir düzeydedir.

Demirboğa ve çalışma arkadaşları (1999)'nın yaptıkları çalışmada geliştirilmiş perlit ve ponza agregaları ile hazırlanmış farklı karışımlardaki betonların basınç dayanımları incelenmektedir. Yapılan çalışma sonucunda agregası karışımındaki perlit miktarı arttıkça basınç dayanımının azaldığı gözlenmiştir. Farklı oranlarda bağlayıcı karışımları içeren perlitli hafif betonların ısı iletkenliği incelenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda 522 kg/m^3 birim ağırlığa sahip perlitli hafif betonun ısı iletkenliği, $0,1797 \text{ W/m.K}$ bulunmuştur.

Demirboğa ve Gül (1999) çalışmasında farklı oranlarda geliştirilmiş perlit ve ponza agregası içeren hafif betonların ısı iletkenlikleri incelenmektedir. Hafif betonların üretiminde kullanılan toplam agregası içindeki geliştirilmiş perlit oranı artıp, ponza oranı azaldıkça hafif betonların ısı iletkenliğinin azaldığı belirlenmiştir.

Gelişen teknolojinin yardımıyla inşaat sektöründeki ihtiyaç ve beklentileri karşılamak amacıyla özel betonların üretimi hız kazanmıştır. Ağır beton, taşıyıcı hafif beton, yüksek akıcılığa sahip beton, yalıtım özellikli beton vb. bu özelliklerden bazılarıdır. (Erdoğan,2003)

Perlit, doğal olarak oluşan silis esaslı volkanik kayadır. Bu kayaların belli aralıklarında kırılmasıyla ham perlit agregası elde edilir. Genleştirilmiş perlit agregası, ham perlitin değişik aralıklı eleklerden geçirilerek boyutlandırıldıktan sonra 870–1150 °C 'de alev şokunda bünye suyunu kaybetmesi sonucu tane hacmini yaklaşık 30 katı kadar artıran beyaz veya gri bir malzemedir (Sabir, 1997; Aköz ve Biricik, 1998). Beton dayanımdaki düşüşü azaltabilmek için genellikle düşük su/çimento oranı ile birlikte mineral ve kimyasal katkı kullanılarak üretilmeleri gerekmektedir (Huang, 1997).

Demirboğa ve Gül (2001), %30 uçucu kül + %70 çimento ile üretilen beton numunelerde pomza yerine genleştirilmiş perlit agregası kullanıldığında sertleşmiş beton numunelerinin ısı iletkenliğinin daha düşük çıktığını bulmuşlardır.

Perlit, bünyesinde %2-6 oranında su bulunduran camsı bir kayadır; gri, koyu gri veya siyah renktedir. Perlitin kimyasal yapısının yaklaşık %75'ini silis (SiO_2) ve %15'ini alumin (Al_2O_3) oluşturmaktadır. Perlit, 870-1150 °C arasında ısıtıldığında genişerek, 10-30 misli bir hacim büyümesi göstermektedir. Hacmin artması ile adeta patlamış mısır gibi, hafif bir malzeme elde edilmektedir. Isıl işleme tabi tutularak elde edilen düşük yoğunluktaki bu malzemeye genleştirilmiş perlit denilmektedir. Genleştirilmiş perlit Şekil 5'de görüldüğü gibi beyaz renktedir.



Şekil 5 Genleştirilmiş Perlit Görünümü

Perlitin çok geniş bir kullanım alanı bulunmaktadır. Beton yapımında, kum-çakıl yerine genleştirilmiş perlit kullanıldığında, hafif ve ısı yalıtımı yüksek olan perlit

betonu elde edilebilmektedir. Bu tür betonlar, genellikle taşıyıcı olmayan bina birimlerinde kullanılmaktadır

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde geliştirilmiş perlit oranının beton içerisindeki artışı ile termal özellikleri ve hafiflik özelliklerinin iyileştiği anlaşılmaktadır. Ancak aynı betonların dayanım ve su emme gibi mekanik ve fiziksel özellikleri de kötüleşmektedir.

3.6. Betona Katılan Katkı Maddeleri

Genel olarak katkı malzemeleri, harç ve betonun taze veya sertleşmiş haldeki özelliklerini değiştiren malzemelerdir.(Akyüz, 1991).

Betonda kullanılan ve kullanımı gün geçtikçe artan katkı malzemelerinin önemi ve sağladığı yararları şu şekilde sıralayabiliriz.

- Sabit su/çimento oranında işlenebilirliğin artırılması
- Su miktarının azaltılması ile mukavemet artışının sağlanması
- Beton yüzeyinde terlemenin azaltılması ve kılcal çatlakların minimuma indirilmesi
- Çökmenin istenen düzeyde tutulup çökme hızının azaltılması
- Dayanıklılığın artırılması
- Geçirimsiz beton elde edilmesi
- Donatı korozyonuna engel olunması
- Donma-çözünme olayında betonun dayanımının artırılması
- Kür süresinin azaltılması
- Yoğun donatılı kesitlerde kolay beton dökümünün sağlanması
- İşçilikten tasarruf sağlanması

Her katkı maddesi her betona uygulanmaz. Her betonun özelliklerini katkı maddeleri iyileştiremez. Katkı maddeleri kullanılmadan önce katkı maddelerinin betonu oluşturan elemanlarla uyum ekonomikliğine bakılır. Katkı maddeleri, iyi üretilmiş bir betonun özelliklerini daha geliştirici yönde kullanılan malzemelerdir. Tekniğine göre üretilmemiş niteliksiz betonların iyileştirilmesi gibi bir özelliği bulunmamaktadır. Katkıları betonun diğer ana bileşenlerine oranla betonda çok az miktarda olan kimyasal veya organik malzemelerdir. Karışımda kullanılacak miktar, çimentonun cinsine, inceliğine göre değişir. Karışımın katkı yüzdesi çimento dozajına göre belirlenir. Gereğinden fazla veya az katkı katılması betondan beklenen özelliğini sağlamadığı gibi

diğer özellikleri üzerinde olumsuz etkisi de olabilir. Betonda kullanılacak optimum katkı yüzdesi deneysel çalışmalarla belirlenir (FIB/CEB, 1990).

3.6.1. Mineral Katkılar

Betonun işlene bilirlğini mukavemetini, dayanıklılığını, ekonomisini iyileştirmek için ya da ısını kontrol etmek amacıyla, beton karışımına katılan katı ve ince bir şekilde öğütölmüş maddelerdir.

Mineral katkılar genellikle katı karışımlarda ince malzeme ilavesi olarak kullanılır. Bu kullanımda mineral katkılar çimento taneciklerine benzer şekilde boşluk doldurmaktadırlar. Mineral katkıların işlene bilirlük üzerinde bir miktar etkisi bulunmaktadır. İnce taneli mineral katkı maddeleri kullanıldığında sabit bir çökme değeri için betonda kullanılacak karma suyu ihtiyacı çok az miktarda artar. Ancak betonun daha akışkan olmasını sağlamak suretiyle işlene bilirlğini artırmaktadır (Erdoğan, 2003).

Uçucu kül, silis dumanı, lifler mineral katkı sınıfına girmekle beraber son ACI (American Concrete Institute) çalışmalarında mineral katkı tabiri kaldırılmış, yerine bağlayıcı maddeler deyimi getirilmiştir (cementitious materials). Bunun nedeni olarak ise bu katılarda dozajı %5' i aşması olarak gösterilmektedir. Bu nedenle katkı malzemesi sadece kimyasal katkıları kapsamaktadır.(FIB/CEB, 1990)

3.6.1.1. Silis Dumanı

Silis dumanı Portland çimentosu ve küçük miktarda alçı taşıyla öğütölerek “silis dumanlı çimento” üretiminde kullanılmaktadır. Silis dumanının asıl kullanımı ise beton üretiminde doğrudan katkı maddesi olarak kullanılmasıdır (Erdoğan, 2003).

Agrega ile çimento hamuru arasındaki geçiş bölgesinin betonun mekanik özelliklerinin üzerindeki etkisi iyi bilinmektedir. Betona, silis dumanı gibi maddelerin katılması ve su-çimento oranının düşürölmesi çimento hamurunun mikro yapısını değiştirmektedir. Betonda silis dumanının etkisi çimentonun hidratasyonu sonucu oluşan kalsiyum hidroksiti, $Ca(OH)_2$, bağlayarak çimento hamuru içerisindeki boşlukları doldurmaktadır (Okamura ve Ouchi, 2003).

Silis dumanının özgül ağırlığı 2200-2300 kg/m³ arasında değişir. Silis dumanı çok ince taneli olduğundan su ihtiyacı oldukça yüksek olup çok kuvvetli bağlayıcı etkisi gösterir. Beton bileşimine silis dumanı ilave edildiğinde basınç dayanımı artmaktadır. Sabır (1997), yapmış olduğu çalışmada silis miktarının %10 mertebesine kadar

tutulması durumunda basınç dayanımının artış gösterdiğini fakat silis dumanı miktarının artmasının su emme değerine aynı oranda yansımadığını ortaya koymuştur. Yapılan çalışmada, en az su emme değeri %5 oranında silis dumanı ikamesinde meydana geldiği, %10 silis dumanı ilavesinde ise su emme miktarının artış gösterdiği belirlenmiştir.

Yapı elemanlarının dayanıklılığının artırılmasında, betonun geçirimsizliğinin azaltılması, basınç dayanımının artırılması kadar önemlidir. Bu amaçla, beton üretiminde, çimento ile birlikte Silis Dumanı (SD) kullanılır. SD, çimento hidrasyon ürünlerinden serbest kireci bağlar ve silikat jeli oluşturur. Serbest kirecin erimesini önler. Çok ince olduğu için çimento hamuru içindeki mikro boşlukları doldurur. Betonun mekanik ve fiziksel özelliklerini iyileştirir. Geçirimsizliği ve gözenekliliği azaltarak dayanımı artırır.(Aköz ve Biricik 1998; Huang, 1997)

SD; silisyum ve silisyum alaşımlarının elektrik ark fırınlarından, üretim sırasında açığa çıkan dumanın bacalarda filtre edilerek tutulan, çimentodan 30-100 kat daha ince, yaklaşık %90 oranında amorf silis içeren endüstriyel bir atıktır. (Bayasi ve McIntyre, 2002).

Silis dumanı (SD), çok ince cam gibi parçacıklardan ibaret olup 20,000 m²/kg yüzey alanına sahiptir. Beton içindeki boşlukları doldurduğundan Silis Dumanı, yüksek dayanım sağlamaktadır. Betonun suya doygunluğunu azalmasıyla, donmaya karşı iyi bir dayanım sağlamaktadır. Betonarme su depolarında ve sulama kanallarında kullanılması faydalı olmaktadır. (Paki, 1994)

Silis Dumanı, çok ince taneli oluşu ve özgül yüzeyinin fazla olması nedeni ile, taze betonun viskozitesini ve kohezyonunu artırır. Ancak, eşit dayanım düzeyindeki betonda, istenen işlenebilmenin sağlanması için, gerekli olan su ihtiyacını arttırdığından, su indirgeyici ve süper akışkanlaştırıcı kullanılması gerekir. Sabit oranda hava katkı maddesi kullanılarak üretilen 39-49 MPa basınç dayanımındaki betonlara, belirli oranda silis dumanı katılması, hava boşluğunu azaltır. (Aköz ve Biricik,1998)

SD çok ince taneli olduğundan, çimento hamuru ile agrega arasındaki ve hamur içindeki boşlukları doldurmakta, böylece kılcal boşlukların azalmasına önemli katkı sağlamaktadır. Bu mikro filler malzemelerin söz konusu faydalı işlevi dayanımları da arttırmakta dolayısı ile geçirimsiz betonlar elde edilmektedir (Taşdemir, 1998)

3.6.2. Kimyasal Katkılar

Kimyasal katkı maddeleri taze ve sertleşmiş betonun bazı özelliklerini iyileştirmek betona ek özellikler kazandırmak amacı ile betonun karışım suyuna belirli oranlarda çimento ağırlığının %5'inden daha az oranda katılan organik ve inorganik maddelerdir.(Neville, 2004)

Çimentonun özelliklerini iyi yönde ve belirli ölçüde değiştirmek amacı ile beton üretilirken veya üretildikten hemen sonra katılarak taze ve sertleşmiş betonun özelliklerini geliştiren maddelerdir. Günümüzde geliştirilen pek çok kimyasal katkı maddesi betonun tüm özelliklerine tesir edilebilmektedir. Katkı maddesi betonun hangi tür özellik veya özellikleri değiştirmek isteniyorsa o doğrultuda seçilir. Kimyasal katkı maddesi kullanmak suretiyle mukavemet artışını hızlandırmak, beton üretiminde daha az su kullanarak mukavemeti arttırmak, akıcı ve yerleşebilir betonlar üretmek, soğuk havalarda beton dökmek ve dış etkilere karşı daha dayanıklı betonlar üretmek gibi olumlu sonuçlar elde edilebilir.

Kimyasal beton katkı maddesinin kullanılması ile beton maliyetinde bir artış meydana geliyorsa da bu artışı elde edilen olumlu sonuçların sağladığı yararlar veya mukavemet artışını çimento tasarrufu ile dengelemek fazlasıyla karşılamak mümkündür. Bu bakımdan beton üretiminde problemlerin çözülmesinde kimyasal katkı maddelerine başvurulması ekonomik bir yol olarak kabul edilmektedir.

Kimyasal katkıları beton endüstrisinde birçok farklı amaç için kullanılmaktadır. Bu nedenle katkı maddesi seçilirken çok dikkatli olunmalı ve bazı prensipler unutulmamalıdır. Kurallara uygun üretilmeyen bir betonu katkı maddeleri ile iyileştirmek imkânsızdır. Üretilen betonun öncelikle katkısız durumda yeterli niteliklere sahip olmalıdır. Kullanılan katkı ile çimento ve agreganın uyumlu olması gerekir. Uyumluluk ön deneylerle tespit edilmesi gerekir. Birden fazla katkının birlikte kullanılması beklenen sonuçları olumsuz etkileyebilir.

Su azaltıcı katkı maddeleri taze betonda olması gereken çökme değerinin daha az miktarda karma suyu kullanarak elde edilebilmesini sağlarlar. Böyle bir durumda karma suyundaki azalmadan dolayı su/çimento oranı düşmekte bu da daha yüksek dayanımlı beton üretimine olanak sağlamaktadır.

Bazen betonda kullanılan karma suyu miktarında azaltma yapmadan da su azaltıcı katkı maddeleri kullanılmaktadır. Böyle bir durumda, elde edilen taze beton karışımının çökme değeri önemli ölçüde artmış olacağı için oldukça akışkan veya süper

akışkan bir beton elde edilmiş olmaktadır. Hava sürükleyici, su indirgeyici ve priz geciktirici katkı maddeleri işlenebilirliğe katkı sağlayabilir. Fakat dikkat edilmesi gereken husus; kimyasal katkıları; her bir çimento ve agrega çeşidi için farklı etkinlik gösterebilirler. Bu nedenle farklı katkı kullanılması durumunda gerekli itina mutlaka gösterilmesi gerekir.

3.6.2.1. Hava Sürükleyici

Hava sürükleyici katkıları, karışımda ve sertleşen betonun içinde kalan hava kabarcıklarının düzgün dağılmasını kontrol etmektedir. (Hewlett, 2004)

Çok soğuk hava koşullarına maruz kalacak betonların donma-çözülme olaylarına yeterli dayanıklılığı gösterebilmeleri için, "hava sürüklenmiş beton" olarak üretilmiş olmaları gerekmektedir. Hava sürüklenmiş beton, genellikle, Hava Sürükleyici Katkı (HSK) maddelerinin yardımıyla üretilmektedir. Karışım suyunun içerisine HSK maddelerinin konulmasıyla elde edilen betonların çimento hamurlarında 0,05–1,25 mm çaplı ve küresel şekilli milyonlarca hava kabarcığı oluşturulmaktadır. Birbiriyle bağlantılı olmayan bu boşluklar arasındaki mesafenin en çok 0,2 mm olması istenmektedir. Hava sürüklenmiş betonlardaki toplam hava miktarı % 4–8 arasında değişebilmektedir. (Erdoğan, 2003; Topçu, 2006)

Hava sürüklenmiş betonların donma-çözülme dayanıklılıklarının iyi olmasının sebebi, hidrolik basınçla kılcal boşlukların dışarısına itilen suyun bu boşluklara girebilmesi ve böylelikle betondaki iç gerilmeyi azaltması olarak açıklanabilir. Bu çalışmada örnekler donma-çözülme maruz bırakılmadan önce 14 gün su içinde, 76 gün bağıl nemi %50 olan havada kür edilmişlerdir. Hava katkısının etkinliği betonun w/c oranının artışına bağlı olarak azalmaktadır. Bu sebeple hava sürükleyici katkı maddesi kullanımının yanı sıra, betonda kapılar boşlukları en alt düzeye çekecek önlemler de alınmalıdır. Donma-çözülme maruz kalacak betonlarda su/çimento oranının 0,5'i aşmaması ve betonun 24 MPa basınç dayanımına ulaşılan kadar donma-çözülme maruz kalmaması ACI 201R 'de önerilmektedir. (Baradan, 2002)

3.6.2.2. Süper Akışkanlaştırıcı

Kimyasal katkıların önemli bölümünü oluşturan dağıtıcı katkı maddelerinin akışkanlaştırıcı, süper akışkanlaştırıcı, su azaltıcı, yüksek su azaltıcı gibi çeşitleri bulunmaktadır. Dağıtıcı katkıları çimento partiküllerinin yüzeyine tutunarak sulu ortamdaki parçacık dağılımının daha düzgün olmasını ve karışımın akışkanlığının

arttırılmasını sağlamaktadır. Normal akışkanlaştırıcılar: %5-12 arasında su azaltma etkisi olan katkılardır.

- Çimentonun %0,2-0,6 oranı gibi düşük dozajlarda katılırlar,
- Dozaj oranı aralığının yüksek değerlerinde düşük sıcaklıklarda bazı bağlayıcılarla geciktirme gibi ikincil etkilere sahiptirler,
- Normal dozajlara oranla daha yüksek dozajlarda kullanılması durumunda taneciklerin dağılmasında normal uygulamaya oranla az bir ek etki oluşmasına rağmen, belirgin ikincil etkiler oluşturmaktadır.

Süper akışkanlaştırıcılar: Su azaltma etkisi %12'ye kadar olan katkılardır fakat dozaja ve tipine göre %30 oranına kadar su azaltma etkisi gösterebilirler.

- Çimentonun %0,5-2,0 arasındaki oranlarında katılırlar,
- Kullanım dozajının üst seviyeleri haricinde çok az donma-çözünmeyi geciktirme etkisi bulunmaktadır,
- Kimya endüstrisi tarafından bu tip uygulamalar için istenilen özelliklerle türetilen sentetik kimyasallardır.

Süper akışkanlaştırıcıların kullanılması ile yüklenmenin büyüklüğündeki değişimin normal akışkanlaştırıcılara göre daha büyük olması, performanslarındaki farkı açıklamaktadır. Süper akışkanlaştırıcılar arasında %20-35 civarında su azaltma etkisi ile en iyi performansı eter süper akışkanlaştırıcıları göstermektedir. (Newman ve Choo, 2003)

TS 3452 (1984)'de kimyasal beton katkıları şöyle tanımlanır; beton kimyasal katkı maddeleri, betonun fiziksel ve kimyasal özelliklerinin bazılarında değişiklik yapmak amacıyla beton karışım suyuna belirli oranlarda katılan kimyasal maddelerdir. Bu kimyasallar betonun akışkanlığını arttırması, erken ve yüksek dayanıma ulaşılması, geçirimsizliğin sağlanması gibi fonksiyonların dışında priz süresinin geciktirilmesi veya erken priz sağlaması gibi sıcak ve soğuk havalarda beton dökümüne imkân vermektedir. Tüm bu nedenlerle beton katkı maddeleri günümüz inşaat teknolojisinde kullanımı kaçınılmaz hale gelmiştir.

Beton da süper akışkanlaştırıcı katkı (SAK) kullanılması; karışımdaki w/c oranını azaltarak daha yüksek dayanımlı beton elde edilmesini sağlar ve böylece boşlukları ve geçirimsizliği daha az; dolayısıyla dayanıklılığın daha yüksek olduğu bir beton elde edilmesine yol açmaktadır.

SAK kullanma ihtiyacının duyulmasının asıl nedeni, betonu daha işlenebilir yapmak ve donatının sık olduğu kesimlerde kolay bir yerleşme ve iyi bir kompozite

sağlamaktır. Bu etki, çok miktarda oluşan hidrasyonun sonucudur. SAK kullanımı, çimento hamurunda toplam boşlukları biraz arttırırken, büyük boşlukları azalttığı görülmektedir.(Balta,1991) Süper akışkanlaştırıcılar genel olarak uygulamada aşağıdaki amaçlarla kullanılmaktadırlar. (Neville, 1987)

- Katkısız beton ile aynı işlenebilirlikte olmak şartıyla w/c oranını azaltarak daha yüksek dayanım kazanabilmek.
- Ulaşılamayan ve sık donatılı yerlerde kolay yerleşmeyi sağlamak için işlenebilirliği arttırmak.
- Kütle betonlarında hidrasyon ısını düşürmek için çimento miktarının azaltılması durumunda aynı işlenebilirliği kazanmak.

Katkının bu şekilde diğer beton türleri için de kullanılması aynı zamanda daha ekonomik bir beton üretimi sağlaması anlamına gelir. Süper akışkanlaştırıcı katkıların kullanım oranları yüksek dayanımlı ve akıcı beton üretme amacına göre değişebilmektedir. Normal akışkanlaştırıcılara göre daha yüksek oranlarda kullanılan bu katkıların kullanılma oranları genelde çimento ağırlığına göre % 0,5-3 arasında olmaktadır. (Malhotra,1981)

4. MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal ve yöntem bölümünde ilk olarak perlit katkılı hafif beton üretiminde kullanılan malzemelerin tanımlanması yapılmakta, ardından beton karışımları için kabul edilen esaslar, bileşim hesaplamaları ve hafif betonların üretimi anlatılmaktadır. Çalışma sırasında kullanılan malzemelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri hakkında gerekli bilgiler verilmekte olup deneysel çalışma bölümünde ise, üretilen taze ve sertleşmiş betonlara uygulanan deneylere yer verilmektedir.

4.1. Kullanılan Malzemelerin Tanımlanması

Perlit katkılı hafif beton üretiminde; agregada olarak Batman ili sınırları içerisinde temin edilen Destar İnş. Harf. Ve Kum Ocağı'ndan alınan kırılmış iri ve ince agregada kullanılmıştır. Deney çalışmasında kullanılan Genleştirilmiş Perlit agregası Gaziantep ilinde bulunan İper Perlit İnşaat San. Ve Tic. Ltd. Şti. 'den sağlanan perlit agregası, bağlayıcı olarak Adana Çimento Sanayi Türk A.Ş.'den temin edilen 52,5 R cinsi portland çimentosu, taze betonda istenilen işlenebilirliğin sağlanması ve su/çimento oranının azaltılması için akışkanlaştırıcı katkı maddesi ve hafif betondaki hava miktarının artırılması için hava sürükleyici ve mineral katkı maddesi olarak ise silis dumanı katkı maddesi kullanılmıştır.

4.1.1. Agregalar

Beton üretiminde kullanılan agregaların elek analizi deney sonuçları ve kullanılan agregaların fiziksel özellikleri bu bölümde verilmektedir. Beton üretiminde; hem iri agregayı hem de ince agregayı oluşturan tanelerin büyüklüklerine göre uygun bir dağılım göstermesi gerekmektedir. Agregada gradasyonu, elek analizi yöntemiyle bulunmaktadır. Araştırma çalışması süresince kullanılan agregalar DESTAR İnş. Harf. Ve Kum Ocağı şirketinden alınmıştır.

Elek analizi; agregada numunesindeki tanelerin büyüklüklerine göre dağılım oranını, (gradasyon) belirlemeye yarayan deneysel bir yöntemdir. Elek analizi yönteminin uygulanmasında, önce değişik büyüklükteki göz açıklığına sahip kare delikli standart elekler kullanılarak, en büyük göz açıklıklı elek en üstte, daha küçük olan daha altta ve en küçük olan en altta olacak şekilde düzenlenir. En küçük elekten geçebilecek agregayı da yerlere dökülmeden bir arada tutmak amacıyla, en küçük göz açıklıklı elekten altına, standart eleklerin kasnakları ile aynı büyüklükte fakat delikleri olmayan bir kap yerleştirilir.

Değişmez ağırlığa kadar kurutulmuş agrega numunesi en büyük elek üzerine yerleştirilir ve sağa-sola, yukarı aşağı hareketle eleme işlemine başlanır. Eleme işlemi sonunda her elek üzerinde kalan agrega hassas olarak tartılarak her elek üzerinde ağırlıkça yüzde ne kadar agrega kaldığı (veya her elekten ne kadar agrega geçtiği) hesaplanır. Böylece değişik boy sınıflarındaki agrega miktarı, yani agreganın tane dağılımı belirlenir.

TS 130/Nisan 1978 Agrega Karışımlarının Elek Analizi Deneyi İçin Metot isimli Standartta, beton agregaları için aşağıdaki göz açıklıklarına sahip kare delikli elekler Şekil 6'te görülmektedir. Eleklerin göz açıklıkları 125 mm, 90 mm, 63 mm, 31.5 mm, 16 mm, 8 mm, 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0.5 mm, 0.25 mm şeklindedir. TSE standartlarına uygun Şekil 6'daki elekler deney çalışmasında kullanılmıştır.



Şekil 6 Kare Delikli Elekler

Türk standartlarında kullanılan kare delikli eleklerin elek göz açıklıkları mm olarak şöyledir; 125; 90; 63; 31,5; 16; 8; 4; 2; 1; 0,5; 0.25;

ASTM standardında elek göz açıklıkları; 100; 90; 75; 63; 50; 25; 19; 12,5; 9,5; 4,75; 2,36; 1,18; 0,60; 0,30; 0,15 mm şeklindedir.

İnce ve iri agregayı ayıran elek boyutu, Türk standartlarında 4 mm, ASTM standartlarında ise, 4,75 mm'dir.

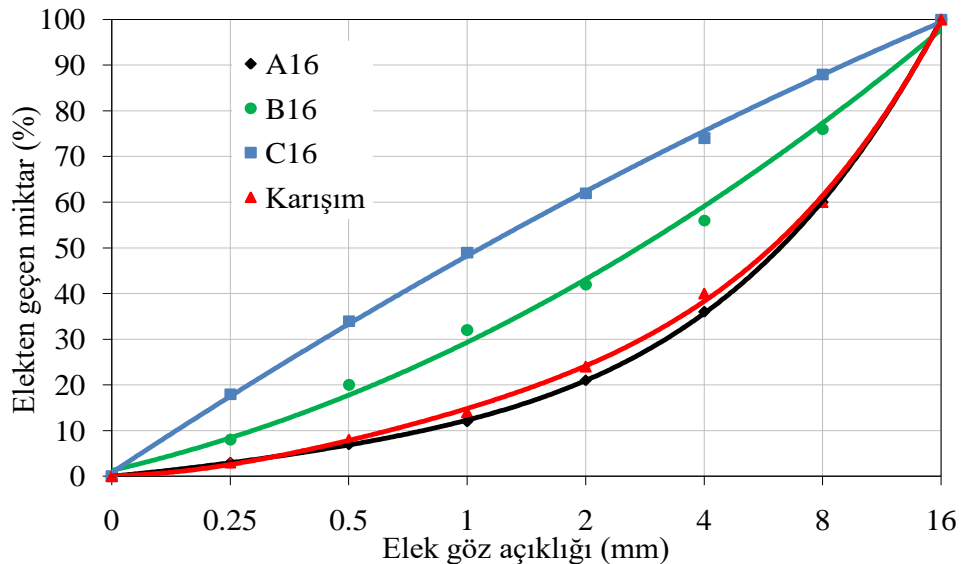
Her ne kadar en büyük agrega tane çapı arttıkça bazı yararlar sağlansa bile, beton üzerinde yapılan araştırmalar en büyük tane çapının 25-40 mm arasında kullanılmasının daha uygun olduğunu göstermiştir. Deneysel araştırmaların sonucuna

göre, çimento miktarı az olan betonlarda, mümkün olan en büyük agrega tane boyutunun beton dayanımını artırdığı, fakat çimento miktarı çok olan betonlarda en büyük tane boyutunun 25-40 mm'yi geçmemesi gerektiği belirtilmektedir. Yüksek dayanımlı betonların yapılmasında, genellikle en büyük tane çapı 8,0 ile 16,0 mm olan agregalar kullanılmaktadır.

En büyük tane boyutu; Elek analizi yapılarak agrega numunesindeki tanelerin tümünün geçebildiği en küçük göz açıklıklı kare delikli elek o agreganın en büyük tane boyutunu gösterir. Yapı betonları için kullanılan agrega tane büyüklüğünü genellikle 63 mm'yi geçmemektedir.

TS 706/Aralık 1980 Beton Agregaları isimli Standarda göre, iri agrega için gerekli kare delikli eleklerin göz açıklıkları 63 mm, 31,5 mm, 16 mm, 8 mm ve 4 mm. şekilde belirtilmektedir. İnce agrega için ise gerekli kare delikli standart eleklerin boyutu 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0,5 mm ve 0.25 mm. şeklinde belirtilmektedir:

Elek analizi sonucunda her elek üzerinde kalan agrega miktarı tartılarak, bulunan ağırlıklar numunenin toplam ağırlığı ile karşılaştırılarak her elek üzerinde kalan agrega miktarı yüzde (%) olarak hesaplanır. Bütün bu işlemler bir çizelge halinde gösterilir. Karışım agregaların elek analizi sonucu elekten geçen miktarı yüzde olarak Şekil 7'de görülmektedir.



Şekil 7 Karışım Agregalarının Elek Analizi

Agrega numunesindeki tanelerin değişik boyutlarda olması, sabit bir hacim içerisinde yer alan agrega taneleri arasında daha az boşluk bulunmasına yol açmaktadır.

Betonda kullanılan kum çok ince tanelerden oluşursa, taze betonun işlenebilirliği artmakta fakat su ihtiyacı da artmaktadır. Karışımdaki su miktarı, taze betonun işlenebilme özelliğini etkilemektedir. Su miktarı arttıkça işlenebilirlik iyi olmaktadır. Ancak su/çimento oranı arttıkça beton dayanımı ve dayanıklılığı azalmaktadır. Şayet kumdaki iri taneler fazla ise, işlenebilme azalmaktadır. Elde edilen betonun yüzeyinin düzeltilmesi de güçleşmektedir.

Bu nedenle, hem iri agregayı hem de ince agregayı oluşturan tanelerin büyüklüklerine göre uygun bir dağılım göstermesi gerekmektedir. Agregada gradasyonu, elek analizi yöntemiyle bulunmaktadır. Deney çalışmasında kullanılan çakıl, kum ve genişletilmiş perlit agregalarının fiziksel özellikleri Tablo 6'de verilmiştir.

Tablo 6 Çalışmada Kullanılan Agregaların Fiziksel Özellikleri

Agrega	Çakıl ve kum		GPA(Genleştirilmiş Perlit Agregası)	
	Özgül ağırlık (kg/m ³)	Su emme (%)	Özgül ağırlık (kg/m ³)	Su emme (%)
8-16	2683	0,431	-	-
4-8	2671	0,666	215	120,790
2-4	2694	0,661	262	125,686
1-2	2680	0,683	267	137,632
0.5-1	2632	2,195	269	182,428
0.25-0.5	2574	2,949	276	216,445
0-0.25	2510	3,445	291	275,676

4.1.2. Perlit

Perlit asidik karakterli volkanik bir camdır. Perlit, ısıyla genişleme özelliği olan, genişletildiğinde çok hafif ve gözenekli hale geçen bir kayadır. Perlit kelimesi hem ham perlit ve hem de bunun genişletilmesiyle elde edilen ürün için kullanılmaktadır. Çeşitli perlit kayaları renk ve yapı itibarıyla birbirinden farklılık gösterebilmektedir. Ham perlitin rengi saydam açık griden parlak siyaha kadar değişebilmektedir. Genleştiğinde ham perlitin rengi tamamen beyazlaşmaktadır. Perlitte en önemli özellik, hidrasyona uğramış camsı silika yapısındaki %2-5 arasında bileşik halinde içerdiği sudur ve bu su perlitin kararlılığını sağlamaktadır.(Devlet Planlama Teşkilatı, 2001)

Ham perlite öğütme ve boyutlandırma işlemlerinin uygulanmasının ardından, ham perlit 400 °C'ye kadar ön ısıtmaya tabi tutulmaktadır. Ön ısıtmanın ardından ham perlit 870-1150 °C arasında ani olarak ısıtıldığında bünyesinden çıkan buharın etkisiyle genişerek camsı tanelerden oluşan bir köpük agregasına dönüşmektedir. Ham perlit, ilk hacminin 30 katına kadar genişebilmektedir. Bu ürüne genişmiş perlit denilmektedir. (Mindess ve Young, 1981). Ham perlitin fiziksel özellikleri Tablo 7'de gösterilmektedir.

Tablo 7 Ham Perlitin Fiziksel Özellikleri [Devlet Planlama Teşkilatı,2001]

Renk	Siyah ve Grinin Tonları
Özgül Ağırlık (kg/m ³)	2200-2400
Birim Ağırlık (kg/m ³)	950-2700
Yumuşama Noktası (°C)	871-1093
Erime Noktası (°C)	1260-1343
Özgül Isı (kJ/kg ⁰ C)	0,83-0,96
Sertlik (Mohs Skalası)	5-6

Ham perlit ile geliştirilmiş perlit farklı fiziksel özellikler göstermektedir. Genleştirilmiş perlitin fiziksel özellikleri Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8 Genleştirilmiş Perlitin Fiziksel Özellikleri [Devlet Planlama Teşkilatı,2001]

Renk	Beyaz
Özgül Ağırlık (kg/m ³)	2200-2400
Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)	30-190
Porozite	%90
Özgül Isı (kcal/kg ⁰ C)	0,83-0,96
Sertlik (Mohs Skalası)	5,5-7,0
Erime Noktası (°C)	1300
Isıl İletkenlik (W/mK)	0,039-0,046
Isıl Genleşme (mm/m ⁰ C)	0.004-0.011
Ses Yalıtım	0,60
Ateşe Karşı Dayanım	Yanmaz

Perliti oluşturan kimyasal bileşiklerin analizi ile ilgili Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 9 Perlitin Kimyasal Özellikleri

Kimyasal bileşik	GPA (%)
SiO ₂	71-75
Al ₂ O ₃	12-16
Fe ₂ O ₃	-
CaO	0,2-0,5
Na ₂ O	2,9-4
K ₂ O	-

4.1.3. Çimento

Tüm deneylerde Adana Çimento'dan temin edilen PÇ 52.5 R cinsi Portland çimentosu kullanılmıştır. Kullanılan portland çimentosunun, üretici firma tarafından belirlenen fiziksel ve kimyasal özellikleri ise Tablo 10'da verilmektedir.

Tablo 10 Çimento Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri

Kimyasal Bileşik (%)	Çimento	
CaO	67,19	
SiO ₂	20,86	
Al ₂ O ₃	0,45	
Fe ₂ O ₃	3,27	
MgO	0,4	
SO ₃	3,34	
K ₂ O	1,05	
Na ₂ O	0,05	
C	-	
S	-	
Özgül ağırlık (g/cm ³)	3,16	
Renk	Beyaz	
Kızdırma kaybı	2,54	
Özgül yüzey(cm ² /g)	5710	
Basınç dayanımı (MPa)	2gün	28 gün
	min 30	min 52,5

4.1.4. Mineral Katkılar

4.1.4.1. Silis Dumanı

Betonun fiziksel ve kimyasal özelliğini iyileştiren ve yapı elemanlarının dayanıklılığının artırılmasında amacıyla beton üretiminde, çimento ile birlikte silis dumanı kullanılmaktadır. Deneysel çalışmalarında kullanılan silis dumanının fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 11 'de verilmiştir.

Tablo 11 Silis Dumanı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Kimyasal Bileşik (%)	Silis Dumanı
CaO	0,8-1,2
SiO ₂	85-95
Al ₂ O ₃	1-3
Fe ₂ O ₃	0,5-1
MgO	1-2
Na ₂ O	0,87
C	0,5-1
S	0,1-0,3
Özgül ağırlık (g/cm ³)	2,2
Renk	Gri
Kızdırma kaybı	0,5-1
Özgül yüzey(cm ² /g)	3489

4.1.5. Kimyasal Katkılar

4.1.5.1. Süper Akışkanlaştırıcı ve Hava Sürükleyici

Perlit katkılı hafif beton üretiminde süper akışkanlaştırıcı ve hava sürükleyici katkı maddeleri kullanılmıştır. İşlenebilirliği sağlamak ve aynı zamanda ayrışmayı engellemek amacıyla iki seride çimento ağırlığının belli oranında, yüksek oranda su azaltıcı/yeni nesil süper akışkanlaştırıcı beton katkı maddesi kullanılmıştır.

Birim ağırlığı düşürebilmek için beton üretiminde çimento ağırlığına bağlı olarak belli oranda hava sürükleyici katkı maddesi kullanılmıştır. Kullanılan katkı

maddelerinin Süper Akışkanlaştırıcı ve Hava Sürükleyicisinin fiziksel özellikleri Tablo 12'de verilmiştir.

Tablo 12 Süper Akışkanlaştırıcı ve Hava sürükleyicisi Fiziksel Özellikleri

Katkı	Süper akışkanlaştırıcı	Hava sürükleyicisi
Yoğunluk (kg/m ³), 20°C	450-600	1000 - 1020
Klor iyonu,%	< 0,1	< 0,1
Alkaline Content %	< 3	< 10
Renk	Açık pembe	Amber
Fiziksel Görünüm	Toz	Sıvı
Kimyasal bileşen	Polikarboksilat eter	Alkol yağı ve amonyum tuzu

4.2. Hafif Beton Karışımları Hazırlanması

Beton karışım hesabı ve üretimin yapılması çeşitli aşamalardan oluşmaktadır. İlk aşamada betonun ne amaçla kullanılacağı, betondan beklenen özellikler, betonun kullanılacağı yapının özellikleri, beton üretim, yerleştirme, taşınma ve yerleştirilme koşulları belirlenmektedir. Ardından, belirlenmiş bu özelliklere göre teorik beton bileşim hesabı yapılmaktadır. Beton üretimi için istenilen özellikler sağlandıktan sonra asıl üretime başlanmaktadır.

Hafif beton karışımlarına karar verilmesi aşamasında öncelikle kum ve genişletilmiş perlit agregasının hacimce karışım oranlarına karar verilmiştir. Agregalar karışım oranlarına karar verildikten sonra taze betondan istenilen düşük birim ağırlık ve işlenebilirlik özelliklerinin kazandırılması amacıyla karışım için en uygun su/çimento oranı, akışkanlaştırıcı katkı maddesi ve hava sürükleyici katkı maddesi miktarlarına karar verilmesi için gerekli literatür araştırmaları yapılmıştır. Kullanılan malzemelerin uygun görülen oranlarda karıştırılması ve beton hazırlanması noktasında Şekil 8'te görüldüğü gibi beton gücü kullanılarak karıştırma işlemi yapılmıştır.



Şekil 8 Betonun Hazırlanması

Yapılan literatür araştırmalarında akışkanlaştırıcı katkı maddesi ve hava sürükleyici katkı maddesinin kullanım dozajları aralığında 0,48 su/çimento oranına karar verilmiştir. Su/çimento oranı belirlendikten sonra en uygun akışkanlaştırıcı ve hava sürükleyici katkı maddesine gerekli araştırmalar yapılarak karar verildi. Literatür taramaları sonucunda gerekli özelliklerin elde edilmesi, istenilen birim ağırlık ve işlenebilirlik özellikleri için en uygun su/çimento, akışkanlaştırıcı ve hava sürükleyici katkı maddelerine ve kullanılması karar verilmiştir. Yukarda anlatılan araştırma sonucunda üretilecek tüm hafif betonların etkin su/çimento oranı 0,48 olarak belirlenmiştir. Üretilen hafif beton karışımlarında toplam agrega hacminin sırasıyla %0, %10, %20, %30, %40, %50, %60 oranında perlit kullanılmıştır. Hazırlanan betonun küp kalıplara yerleştirilmesi ve 24 saat dinlenmeye bırakılması işlemi için Şekil 9'de görüldüğü gibi istiflenmiştir.



Şekil 9 Betonun Numunelere Yerleştirilmesi

Bütün hafif beton karışımlarına çimento ağırlığının yaklaşık % 0,3'ü oranında hava sürükleyici katkı maddesi eklenmiştir. Ayrıca, istenilen kıvamın sağlanabilmesi amacıyla hacminin %0 ve %20 oranlarında genişletilmiş perlit içeren karışımlarda çimento ağırlığının % 1,5 ve %40 perlit içeren karışımda ise çimento ağırlığının % 0,5 oranında akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılmıştır. Üretilen betonlar; NB (Normal Beton), Perlit-10,Perlit-20,Perlit-30,Perlit-40,Perlit-50,Perlit-60 hafif beton, izleyen sayı ise toplam agrega hacmindeki yüzde perlit oranını gösterecek şekilde adlandırılmıştır.

NB (Normal Beton): %100 kum içeren normal beton

Perlit-10 : %10 genişlemiş perlit, %90 kum içeren hafif beton

Perlit-20 : %20 genişlemiş perlit, %80 kum içeren hafif beton

Perlit-30 : %30 genişlemiş perlit, %70 kum içeren hafif beton

Perlit-40 : %40 genişlemiş perlit, %60 kum içeren hafif beton

Perlit-50 : %50 genişlemiş perlit, %50 kum içeren hafif beton

Perlit-60 : %60 genişlemiş perlit, %40 kum içeren hafif beton

4.2.1. Hafif Betonun Üretimi, Yerleştirilmesi ve Saklanması

Belirlenen karışımlarla her seride elastisite modüllerinin bulunması için 10x10x10 cm boyutlarında 6'şar adet küp numune üretilmiştir. Kalıpların düzgün bir şekilde dolmasını sağlamak için karışımlar ikişer tabaka halinde dökülüp, sarsma tablasında vibrasyona tabi tutulmuştur. Üretilen numuneler 24 saat sonra kalıplardan

ıkarılarak 28 gün boyunca $22\pm3^{\circ}\text{C}$ 'deki doymun su içinde saklanmıştır. Üretilen betonların gerçek bileşimleri ve taze beton zelikleri Tablo 13'te verilmektedir. Üretilen betonlar kp kalıplara bırakıldıktan 24 saat sonra Şekil 10'da grldği gibi kalıplardan çıkarılmış ve kr havuzuna yerleştirilmiştir.



Şekil 10 Numunelerin Kalıplardan ıkarılması

Tablo 13'n oluşturulması aşamasında, öncelikle teorik malzeme miktarları ve teorik taze beton birim ağırlıkları hesaplanmıştır. Farklı oranlarda genleştirilmiş perlit içeriğine sahip karışımlar, hesaplanan teorik malzeme miktarlarına göre üretilmiş ve her üretim sonunda taze betonların gerçek birim ağırlıkları belirlenmiştir. Kp kalıplardan çıkarılan numuneler Şekil 11'de grldği gibi 28 gün kür havuzunda bekletilmeye bırakılmıştır. Beton içindeki gerçek malzeme miktarları ve malzemelerin özgül ağırlıkları kullanılarak, malzemelerin hacimlerine ulaşılmıştır. Beton içindeki hava miktarı; 1 m^3 'lk beton hacminden, toplam malzeme hacminin çıkartılması ile hesaplanmıştır.



Şekil 11 Numunelerin Kür Havuzunda Bekletilmesi

Belirlenen gerçek taze beton birim ağırlıkları ile daha önceden hesaplanmış olan teorik taze beton birim ağırlıklarının birbirlerine oranlanması ile elde edilen katsayının, teorik malzeme miktarları ile çarpılması sonucu Tablo 13'te verilmekte olan gerçek malzeme miktarlarına ulaşılmıştır.

Tablo 13 1 m³'lük Beton İçin Karışım Oranları

Karışım tipi		NB	GPB(Genleştirilmiş Perlit Betonu)					
Hafif agrega oranı (%)		0	10	20	30	40	50	60
s/ç oranı		0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48
Çimento (kg)		350	315	315	315	315	315	315
Su (kg)		168	168	168	168	168	168	168
Silis dumanı (kg)		-	35	35	35	35	35	35
Süper akışkanlaştırıcı (kg)		1,750	1,050	1,050	0,525	0,525	-	-
Hava sürükleyicisi (kg)		-	1,260	1,260	1,260	1,260	1,260	1,260
30 dk su emme (kg)			43,066	86,789	120,358	151,807	176,723	201,399
Normal agrega (kg)	16-8	748,969	679,471	679,471	680,544	680,544	681,618	681,618
	8-4	372,780	338,189	338,189	338,723	338,723	169,629	-
	4-2	300,774	272,865	272,865	170,810	-	-	-
	2-1	187,032	118,774	50,903	-	-	-	-
	1-0.5	110,205	49,990	16,663	-	-	-	-
	0.5-0.25	89,834	32,599	0,000	-	-	-	-
	0.25-0	52,561	31,789	0,000	-	-	-	-
GPA (kg)	8-4	-	-	-	-	-	13,660	27,319
	4-2	-	-	-	9,981	26,615	26,657	26,657
	2-1	-	5,074	11,840	16,941	16,941	16,967	16,967
	1-0.5	-	5,112	8,520	10,240	10,240	10,256	10,256
	0.5-0.25	-	5,248	8,746	8,760	8,760	8,774	8,774
	0.25-0	-	1,845	5,536	5,545	5,545	5,553	5,553

4.3. Hafif Betonlara Uygulanan Deneyler

Hafif betonlara, üretildikleri anda 28 gün kirece doygun suda bekletildikten sonra ise mekanik deneyler, ısıl iletkenliği belirleme deneyi, ısıl yalıtım deneyi uygulanmıştır.

4.3.1. Taze Betona Uygulanan Deneyler

4.3.1.1. Taze Beton Birim Ağırlığı Belirleme Deneyi

Taze betonlar üzerinde taze birim ağırlık deneyleri yapılmıştır. Taze birim ağırlığın bulunmasında darası 5,5 kg olan 8 litre hacme sahip silindirik şekilli standart ölçü kabı kullanılmıştır. Taze beton ölçü kabına kıvama göre üç defada şişlemeye ya da sarsma tablasında vibrasyona tabi tutularak doldurulmuş ve üst yüzü çelik masterla

düzeltilmiştir. Kabın etrafı silindikten ve yapışan harç parçaları temizlendikten sonra terazide tartılmış ve TS 2941'e göre taze beton birim ağırlıkları hesaplanmıştır. Üretilen perlit katkılı hafif betonların taze beton birim ağırlıkları Tablo 13' te görülmektedir.

4.3.1.2. Taze Beton Çökme (Slump) Deneyi

Çökme (slump) deneyi, taze beton kıvamını tayin etmek amacıyla yapılır. Çökme deneyi, 10 mm ile 200 mm arasında çökme değerine sahip betonların kıvamındaki değişimlere duyarlıdır. Bu sınırlar dışında, çökme değerinin ölçülmesi yoluyla kıvam tayini uygun değildir ve bu durumda diğer kıvam tayini deneyleri kullanılmalıdır. Deney esnasında, taze betondaki çökmenin, kalıbın (çökme hunisinin) çekilmesinden sonraki bir dakikalık süreden sonra da devam etmesi, çökme deneyinin bu betonun kıvamını tayin etmek için uygun olmadığını gösterir. Agregada en büyük tane büyüklüğü 40 mm'den daha fazla olan betonlarda çökme deneyi uygun değildir. Bu deney, huniye doldurularak sıkıştırılan betonun o andaki yüksekliğinin, huni düşey doğrultusunda çekilip alındıktan sonraki yüksekliğine kıyaslanmasıdır. Taze betonun çökme deneyi ASTM C143 standardına göre yapılmış olup ve aradaki yükseklik farkı çökme değeri olarak Şekil 12'de gösterildiği gibi (cm) cinsinden vermiştir.



Şekil 12 Taze Beton Çökme Deneyi

Elde edilen değerler deney sırasından en büyük tepe noktası, en küçük tepe noktası ve ortalama yükseklikteki tepe noktasından alınan değerlerin ortalaması ile çökme değeri cm cinsinden hesaplanarak tablo haline getirilmiştir. Huniye beton numunesi sıkıştırılarak doldurulmuş daha sonra huni düşey doğrultusundan çekilerek alındıktan sonraki yüksekliğine kıyaslanması sonucu elde edilen yükseklik farkı cm cinsinden elde edilmiştir.

4.3.2. Sertleşmiş Betona Uygulanan Deneyler

Üretilen betonların basınç dayanımlarının belirlenmesi amacı ile $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$ küp numuneler alınmış ve basınç dayanımı deneyleri tarihine kadar yaklaşık $18 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta kirece doygün kür havuzunda ve yaklaşık $60 \pm 5 \%$ nem oranına sahip laboratuvar koşullarında bekletilmiştir. Basınç dayanımı deneyine tabi tutulacak beton serilerinden her biri için 6 küp numune alınmıştır. Numuneler 28 gününde basınç dayanımı deneyine tabi tutulmuştur. 3'er adet numune üzerinde basınç dayanımı deneyleri yapılmış üç numunenin basınç dayanımı olarak ortalaması alınmıştır.

Farklı birim ağırlıklarda üretilen ve 28 gün boyunca kirece doymun suda bekletilen hafif betonlara, hava kuru birim ağırlılığına ulaşmalarının ardından, mekanik deneyler yapılmıştır. Mekanik deneyler uygulanan numunelerin, hava kuru birim ağırlıkları Tablo 13’de belirtilmektedir. Küp ve silindir basınç deneylerinden oluşan mekanik deneyler, TS EN 206-1’e uygun şekilde yapılmıştır.

4.3.2.1. Küp Basınç Dayanımı Deneyi

Bu çalışmada, her seriye ait 10x10x10 cm³ boyutlarındaki 5 adet küp numune kullanılarak 0,24 MPa/sn (ASTM C39) yükleme hızında basınç deneyleri yapılmıştır. Küp basınç dayanımı deneylerinde 1000 KN kapasiteli KAL-TEST 3000 Marka basınç presi kullanılmıştır. Küp basınç dayanımı deneyi ASTM C39 standardına göre yapılmış olup Şekil 13’de görüldüğü gibi basınç dayanımı deneyi sırasında kullanılan küp numunelerdeki değişim görülmektedir.



Şekil 13 Küp Basınç Dayanım Deneyi

Yapılan basınç dayanımı deneylerinde hafif beton numunelerindeki dayanım ile ilgili oluşan ekran görüntüsü Şekil 14’da görülmektedir.



Şekil 14 Basınç Dayanımı Deneyi Ekran Görüntüsü

Basınç presine yerleştirilen küp numuneler üzerine sabit hızla tek eksenli basınç yükleri uygulanmıştır. Numunelerin kırıldığı anda ulaşılan en büyük yük, göstergeden okunmuştur.

4.3.2.2. Yoğunluk Testi Deneyi

Bu deney sıkıştırılmış betonun yoğunluğunun tayini amacıyla yapılmaktadır. Betonun karıştırma işlemi bittikten sonra sahip olduğu işlenebilirliğini koruyabildiği süre içindeki (sertleşmeye başlamadan önceki) halidir. Sertleşmiş betonun özgül ağırlığı betonun havada tartılarak bulunan ağırlığının görünür hacmine oranıdır. Yoğunluk testi deneyi ASTM C138 standardına göre yapılmış olup Deney Aşamaları;

Düzensiz geometrik şekilli numunelerde numune boyutları kumpasla birkaç kez 0,1 mm hassasiyetle ölçülerek ortalama değerler bulunur ve bu değerlerden numune hacmi (V) hesaplanır. Numune suya daldırma yoluyla 800 Pa'dan daha düşük bir vakum altında en az bir saat bekletilir. Belli aralıklarla çalkalama yoluyla numunedeki hapsolmuş hava uzaklaştırılır. Yeterince suya doymun hale getirilmiş numune Şekil 15'de görülen Arşimed terazisinin kefesine konularak su içerisine daldırılır. Kefe hariç numune kütlesi 0,1 gram hassasiyetle tartılır (M_1), Nemli bez ile silinen numunenin bekletilmeksizin 0.1 gram hassasiyetle havadaki kütlesi tartılır (M_3), Numune etüvde 105 ± 3 °C'de değişmez kütleye gelinceye kadar kurutulur ve desikatörde soğutulur, Numune kütlesinin %0,01'i hassasiyetle tartım alınabilen terazide kuru kütle M_2 tartımları yapılır.

Deney sonucunun daha sağlıklı olması için numunelerden çatlak yarık ve kırık kenarlar olmayanlar arasından olabildiğince düzgün yüzeyli olanlar seçilerek deney gerçekleştirilmiştir. 3 Adet deney numunesi alınmış ve kullanılan numuneler 48 saat kür havuzunda 23 ± 2 °C’de su içinde bekletilmiştir.



Şekil 15 Arşimed Terazisinin.

$$\text{Kuru yoğunluk: } \rho_k = \frac{M_k}{V} \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

$$\text{Kuru birim hacim ağırlığı: } \gamma_k = 9.81 \times \rho_k \text{ (kN/m}^3\text{)}$$

Tartım işlemleri sonucunda üretilen beton numunelerinin kuru yoğunlukları Şekil 15'de gösterilen formüller kullanılarak elde edilen veriler kaydedilmiştir.

4.3.2.3. Gözeneklilik ve Su emme Deneyi

Gözeneklilik ve su emme deneyi ASTM C 948 standardına göre yapılmış olup deney aşamaları;

Deney numunesi yüzeyi pürüzsüz olanlar arasından seçilir ve tartılır. Alınan numune 24 saat süreyle suda bekletilir. Sudan çıkarılan küp numune yüzeyindeki su süzülecek kadar kurutulmaya bırakılır. Numune tartılarak elde edilen değer kaydedilir. (M₂) Daha sonrasında numune su yüzeyinden en az 5 cm aşağıda kalacak şekilde daldırılarak bekletilir. Numune en az 10 defa su içerisine daldırılıp çıkartılır. Daha sonra numune sudan çıkartılarak oda sıcaklığına gelinceye kadar soğutulur ve numunenin havadaki kuru ağırlığı alınır.(M₁) Deney üç ayrı numune üzerinde yapılır. Deneyle sonuçları arasındaki fark % 10 veya daha küçük ise deneyin sonuçlarının ortalama değeri agrega birim hacim ağırlığı olarak alınır. Kullanılan küp numunenin su emme yüzdesi aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$m = [(M_1 - M_2) / M_1] \times 100$$

Burada:

m: İri agreganın su emme oranı (%)

M₁: Numunenin etüv kuru ağırlığı (g)

M₂: Numunenin Doygun Kuru Yüzey durumdaki ağırlığı (g)

M₃: Numunenin sudaki ağırlığı (g) dır.

Yukarıda anlatıldığı gibi yapılan deneyde elde edilen veriler su emme yüzdesi formülü kullanılarak hesaplanmıştır.

4.3.2.4. Ses İletim Deneyi

Ses yalıtımı: gürültünün zararlı etkilerinden korunması gereken alanda (konut, okul, hastane, otel, iş yeri vb.), çevreye yaydıkları gürültünün önlenmesi gereken alanlarda (jeneratör, hidrofor, kalorifer, yüksek ses düzeyine sahip eğlence yerleri vb.), kullanım koşulu sese bağlı alanlarda (sinema, tiyatro, konser ve konferans salonu, TV ve ses kayıt stüdyosu vb.) yapılmalıdır.

$$\left(\frac{\text{Ses}}{\text{Hız}} \right) = \left(\frac{\text{Test Edilen}}{\text{Numunenin}} \right) \left(\frac{\text{Genişliği}}{\text{Geçme Zamanı}} \right)$$

Ses iletkenliklerin belirlenmesi deneyleri yapılmadan önce yaklaşık 100 mm çapında ve 10 mm kalınlığındaki numuneler TS 3649 'da belirtildiği şekilde 105°C ± 5°C sıcaklıktaki etüvde 24 saat ara ile yapılan ardışık tartımlarda elde edilen ağırlık

farkı %1 veya daha az oluncaya kadar kurutulmuştur. Hazırlanan numuneler Şekil 16'de gösterildiği gibi ses iletkenlik ölçümü yapılmıştır.



Şekil 16 Ses İletimi Ölçümü

Sıcak tel yönteminde 3-5 dakika içerisinde numune kararlı hale gelmekte ve ölçüm yapılabilir. Ölçüm yapılan değerlerin sağlıklı olması amacıyla 3'er defa işlem tekrarlanmış ve ortalama değerler hesaplanmış olup deney sonucunda elde edilen ısı iletkenlik değerleri kaydedilmiştir.

4.3.2.5. Isıl Özellikler Deneyi

İnsanların yaşam kalitesinden ve konforundan ödün vermeden, enerji tasarrufu sağlayabilmek için alınacak önlemlerden ilk sırayı ısı yalıtımı almaktadır. Etkin bir ısı yalıtımının yapılmadığı binalarda enerji tüketimi çok fazladır. Hesaplamalar, etkin bir ısı yalıtımının yapıldığı binalarda %50 enerji tasarrufu yapılabileceğini gösteriyor. Enerjinin verimli kullanılmaması, çevre kirliliğine neden olup doğal yaşamı da olumsuz etkilemektedir. Isı iletkenlik katsayısı genellikle iki yöntem ile bulunur. Bunlar geleneksel plaka ve sıcak disk yöntemidir. Plaka yönteminde malzemenin iki yüzeyi arasında okuma yapılır. Sıcak disk yönteminde malzemenin iki yüzenden ölçüm yapılması gerekmektedir. Her iki yöntem de beton için uygulanabilmektedir. Sıcak disk yönteminde daha fazla okuma yapılabilmesi sebebiyle daha uygun ve ekonomiktir. Bu sebeple ısı özelliklerinin belirlenmesi amacıyla sıcak disk yöntemi tercih edilmiştir.

Isıl özelliklerinin belirlenmesi deneyi ASTM C 332 standartlarına göre yapılmıştır. Isıl özellikleri değerlerinin belirlenmesi deneyleri 10x10x10 cm³ boyutlarına sahip

numuneler TS 3649 'da belirtildiği şekilde yapılmış olup. Sağlıklı sonuçlar alınabilmesi amacıyla ölçümler her bir numune için 3'er defa yapılmış ve ortalama değerler kaydedilmiştir.

Isıl özellikleri değerleri için numuneler Şekil 17'de gösterildiği gibi ISOMET Marka 2104 Model (HEAT TRANSFER ANALYZER) cihaz kullanılarak ölçüm yapılmıştır.



Şekil 17 Isıl Özellik Ölçüm Cihazı

Kullanılan cihazın ölçüm parametreleri ve hassasiyeti aşağıda Tablo 14'de verilmiştir.

Tablo 14 Isıl Özellik Test Cihazı Ölçüm Parametreleri

Ölçüm hassasiyeti	Ölçüm aralığı	Hassasiyet
Isıl iletkenlik katsayısı	0,015–6 W/mK	% 5 okuma + 0,001 W/mK
Özgül ısı	4×10^4 – 4×10^6 J/m ³ K	% 15okuma + 1,103 J/m ³ K
Çalışma sıcaklığı	-20 – +70 °C	1°C

Üretilen numunelerde yapılan iki ölçüm arasında %10'dan fazla fark olması durumunda Şekil 17'de görüldüğü gibi üçüncü bir ölçüm yapılmıştır. Yapılan 3 ölçümün ortalama değeri alınarak elde edilen ısıl özellik değerleri kaydedilmiştir.

5. SONUÇLAR

5.1. Taze Beton Özellikleri

Taze beton özelliklerinin tespit edilmesi amacıyla çökme ve yoğunluk testi deneyi yapılmış olup elde edilen değerler tablo haline getirilmiştir. Verilerin daha iyi yorumlanması ve aralarındaki ilişkilerin gözlemlenmesi amacıyla grafikler oluşturulmuştur.

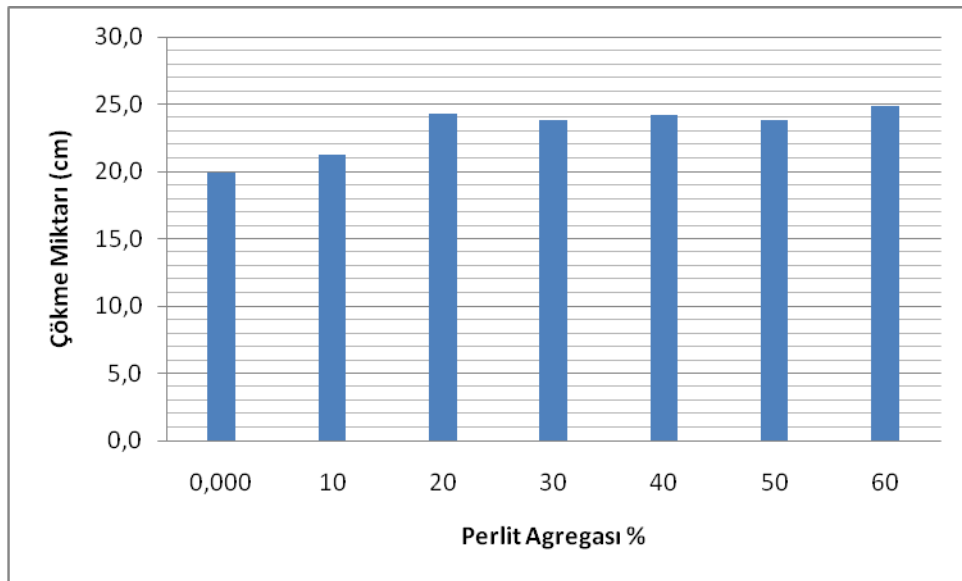
5.1.1. Çökme ve Yoğunluk

Taze betonların çökme ve yoğunluk değerleri Tablo 15'da gösterilmektedir. Perlit agregası kullanımına bağlı olarak yoğunluk değerlerinde azalma meydana geldiği tespit edilmiştir.

Tablo 15 Taze Beton Sonuçları

Beton Numunesi	Çökme (cm)	ρ (taze yoğunluk) (kg/m^3)
NB	19,9	2381,906
Perlit- 10	21,3	2061,267
Perlit- 20	24,3	1913,043
Perlit- 30	23,8	1761,328
Perlit- 40	24,2	1607,153
Perlit- 50	23,8	1452,373
Perlit- 60	24,8	1296,404

Şekil 18'de görüldüğü gibi taze beton değerleri perlit agregasının %0 ile %60 oranında kullanılması durumunda maksimum ve minimum çökme değerleri sırasıyla 24,8 - 19,9 cm arasında değerler aldığı hesaplanmıştır. Ayrıca %60 perlit kullanımında en yüksek değeri olan 24,8 cm çökme olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 18 Perlite Agregası ile Çökme İlişkisi

Perlite agrega kullanımına bağlı olarak yoğunluk değerlerinde artış eğilimi olduğu, maksimum ve minimum yoğunluk değerleri sırasıyla 2381,90 - 1296,40 kg/m³ arasında değerler almıştır. Yoğunluktaki düşüşün sebebinin, hafif agrega olan perlitin kullanılmasından kaynaklı olduğu anlaşılmaktadır. Çökme değerlerinde meydana gelen hafif değişimler kullanılan akışkanlaştırıcı oranlarında değişiklik yapılmasından kaynaklı olduğu bilinmektedir.

5.2. Sertleşmiş Beton Özellikleri

Üretilen numunelerin sertleşmiş beton özelliklerini tespit etmek amacıyla Basınç Dayanımı Deneyi, Yoğunluk Deneyi, Isıl Özellikleri Deneyi, Emme kapasitesi, Ses İletim Deneyleri yapılmıştır. Mekanik testler 28 gün kür havuzunda bekletilen numunelerin kurutulmasının ardından gerçekleştirilmiştir. Çünkü deneyler gerçekleştirileceği sırada numune içerisinde bulunan nem sonuçları etkileyebilir. Ayrıca Isıl Özelliklerinin ve Ses İletim deneyleri fırında kurutulmuş ve içerisindeki nem oranı minimum seviyeye indirilmiş numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Yapılmış deneyler sonucunda sertleşmiş beton için elde edilen Basınç Dayanımı, Su Emme Kapasitesi, Gözeneklilik, Ultra Ses Geçiş Süresi, Ultra Ses Geçiş Hızı, Kuru ve Doygun yoğunluk değerleri Tablo 16'da verilmiştir.

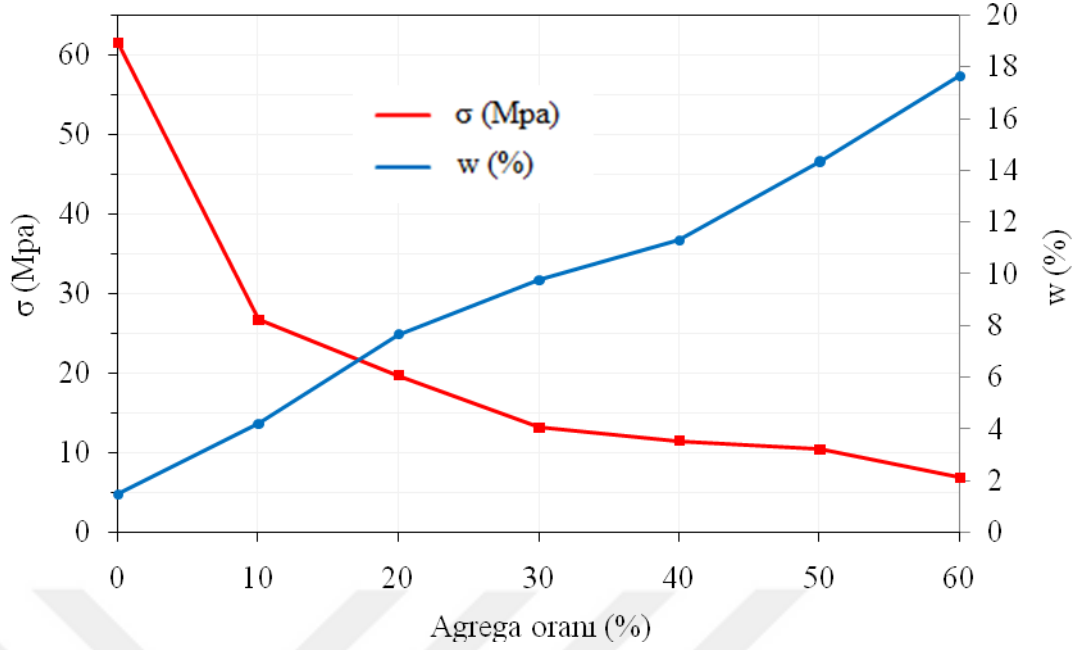
Tablo 16 Sertleşmiş Betonun Mekanik Özellikleri

Beton Numunesi	σ (Mpa)	ϕ (%)	su emme (%)	ρ (kuru) (kg/m ³)	ρ (doygun) (kg/m ³)	Ultra ses geçiş süresi (μ s)	Ultra ses geçiş hızı (m/s)
NB	61,52	3,538	1,453	2434,30	2469,67	21,4	4672,897
Perlit- 10	26,72	8,673	4,199	2065,56	2152,30	25,2	3968,254
Perlit- 20	19,68	14,164	7,645	1872,29	2015,42	26,4	3787,879
Perlit- 30	13,12	17,088	9,758	1751,14	1922,02	28	3571,429
Perlit- 40	11,47	18,448	11,274	1636,37	1820,85	28,8	3472,222
Perlit- 50	10,38	20,540	14,332	1449,40	1657,13	29,5	3389,831
Perlit- 60	6,87	23,665	17,628	1342,44	1579,09	32,6	3067,485

5.2.1. Basınç Dayanımı, Emme Kapasitesi, Yoğunluk ve Ses Hızı

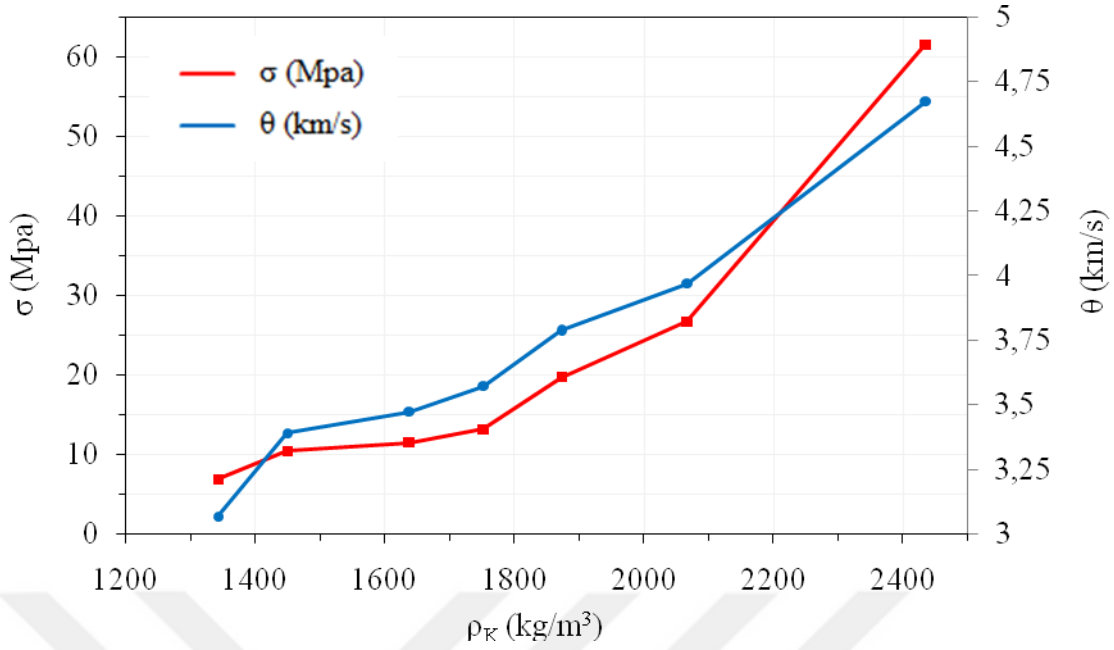
28 günlük maksimum-minimum basınç dayanımı değerleri 61,52 - 6,87 MPa değerleri arasında, maksimum-minimum kuru yoğunluk 2434,30 - 1342,44 kg/m³ değerleri arasında ve maksimum-minimum doymun yoğunluk 2469,67 - 1579,09 kg/m³ arasında değerler aldığı tespit edilmiştir. Beton karışımında kullanılan perlit agregası artıkça Şekil 19'da görüldüğü gibi betonun mukavemeti ve Şekil 21'de görüldüğü gibi de yoğunluk değerleri düşmüştür. 28 gün sonunda %10, %20, %30, %40, %50, %60 oranlarında kullanılan perlit, basınç dayanımında azalma meydana gelmesine neden olmuştur. Bu azalmanın sebebi kullanılan perlit agregasının hafif ve gözenekli yapıya sahip olmasıdır. Bu gibi düşüşler betonun performansı açısından çok büyük öneme sahiptir. Bu düşüş özellikle deprem esnasında yapının yükünü azaltarak, binalar kendi ağırlıklarıyla ezilmesini önlemekte ve depremin yıkıcı zararlarını azalmaktadır. Böylece deprem esnasındaki şiddetli sarsıntılarda bina sallanmakta ancak yıkılmamaktadır. Basınçlardaki düşüşlerin sebebi normal agregaların boşluklu ve hafif agregalarla değişmesi sonucunda betonun içerisindeki artan boşluktan kaynaklanmaktadır. Betonun içindeki boşluk miktarı artıkça basınç dayanımında düşüş meydana gelmektedir. Şekil 19'da görüleceği gibi su emme kapasitesi(w) ile agrega oranı arasında doğru orantı vardır. Perlit oranı artıkça su emme kapasitesi de artmakta. Normal betonun su emme kapasitesi %1,453 iken %60 perlit kullanımında bu değer %17,628 yükseldiği görülmektedir.

Bunun dışında önemli parametrelerden biri de su emme kapasitesidir. Kullanılan perlit agrega oranı artıkça su emme kapasitesi artmaktadır. Bunun sebebi agregaların boşluklu yapıya sahip olması ve suyun bu boşlukları doldurmasıdır. Tablo 16 ve Şekil 19'da görüldüğü gibi su emme kapasitesi normal agrega kullanımında %1,453, %60 oranında perlit kullanılması durumunda ise %17,628 olduğu görülmektedir. Su emme kapasitesi artıkça, basınç dayanımında azalma olduğu bu nedenle üretilen numunelerin basınç dayanımı ile su emme kapasiteleri arasında doğru orantı olduğu tespit edilmiştir. Normal agregalar ile üretilen beton numunesi ile %60 oranında perlit kullanılarak üretilen beton numunesinin su emme kapasitesinde 8,24 kat fark olduğu gözlemlenmiştir.



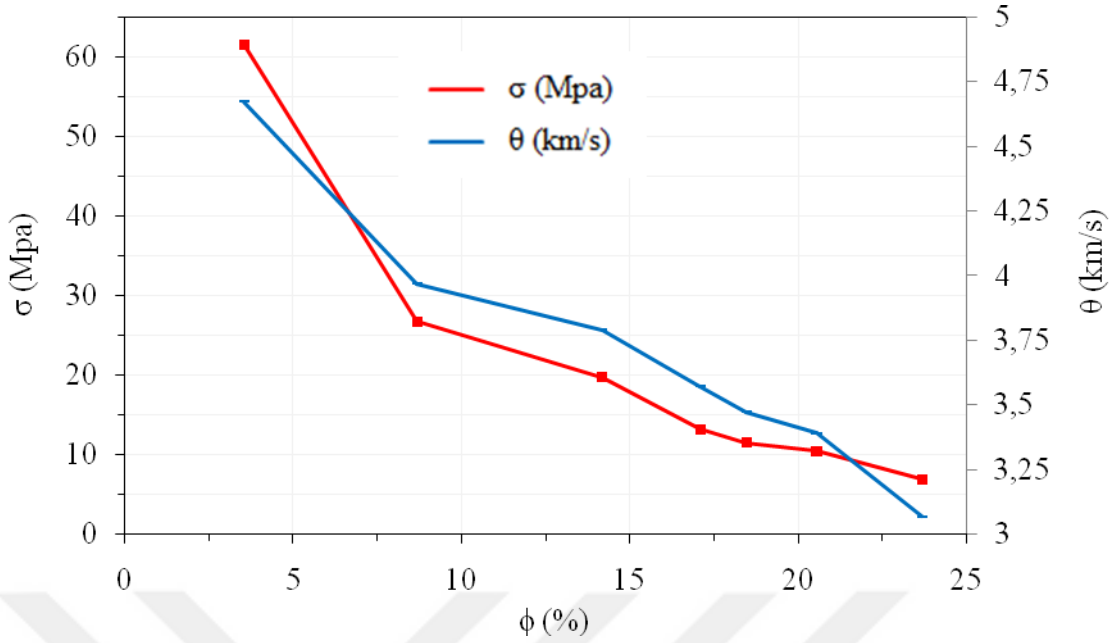
Şekil 19 Agregasyon Oranı, Basınç Dayanımı, Su Emme Kapasitesi Arasındaki İlişki

Beton üretiminde yalnızca normal agrega ile üretilen (%0 Perlit kullanılması durumunda) betonunun kuru yoğunluğu $2434,30 \text{ kg/m}^3$ ve basınç dayanımı $61,52 \text{ MPa}$ olduğu Tablo 16'da verilmişti. Basınç dayanımındaki azalmanın bir diğer sebebi de kullanılan hava sürükleyici katkı maddesidir. Şekil 20'den de anlaşılacağı gibi üretilen betonlarda agrega oranı arttıkça, gözeneklilikte artmaktadır. Gözenekliliğin artması, su emme oranını da artırmakta dolayısıyla da yoğunluk değerleri azalmaktadır. Yoğunluğu azalan numunelerin ses geçiş hızında da azalmaya sebep olmaktadır. Tablo 16'dan da anlaşılacağı üzere yoğunluk ile kullanılan perlit agregası oranı arasında ters orantı vardır. Kullanılan perlit agregası arttıkça yoğunluk azalmakta, perlit azaldıkça betonun yoğunluğu artmaktadır. Ayrıca basınç dayanımı ile ses geçiş hızı arasındaki doğru orantıda Şekil 20'den anlaşılmaktadır.



Şekil 20 Yoğunluk, Basınç Dayanımı, Ses Geçiş Hızı Arasındaki İlişki

Normal agrega kullanılarak üretilen numune ile %60 oranında perlit agregası kullanılarak üretilen numunede yapılan hesaplamalar sonucunda, kuru yoğunluğunda %44,85, doymun yoğunluğunda %37,15 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir. Üretilen beton yoğunluğunda meydana gelen bu azalma yapılar da avantaj sağlamaktadır. Normal beton ile %60 oranında perlit ile üretilen numunelerde yapılan hesaplamalar sonucunda, numunenin basınç dayanımında %88,8 oranında azalma olduğu görülmüştür. Buna ek olarak kullanılan katkı maddeleri üretilen numunenin basınç dayanımında düşüşe neden olmaktadır. Şekil 21'de numunelerin Basınç dayanımı(σ), gözeneklilik(ϕ) ve ses geçiş hızı arasındaki bağlantı grafik olarak verilmiştir. Basınç dayanımı ile gözeneklilik arasında ters orantı olduğu görülmektedir. Beton numunesindeki gözeneklilik oranı artı kça betonun dayanıklılığı ve aynı zamanda ses geçiş hızı değerlerinde de azalma olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 21 Basınç, Gözeneklilik, Ses Geçiş Hızı Arasındaki İlişki

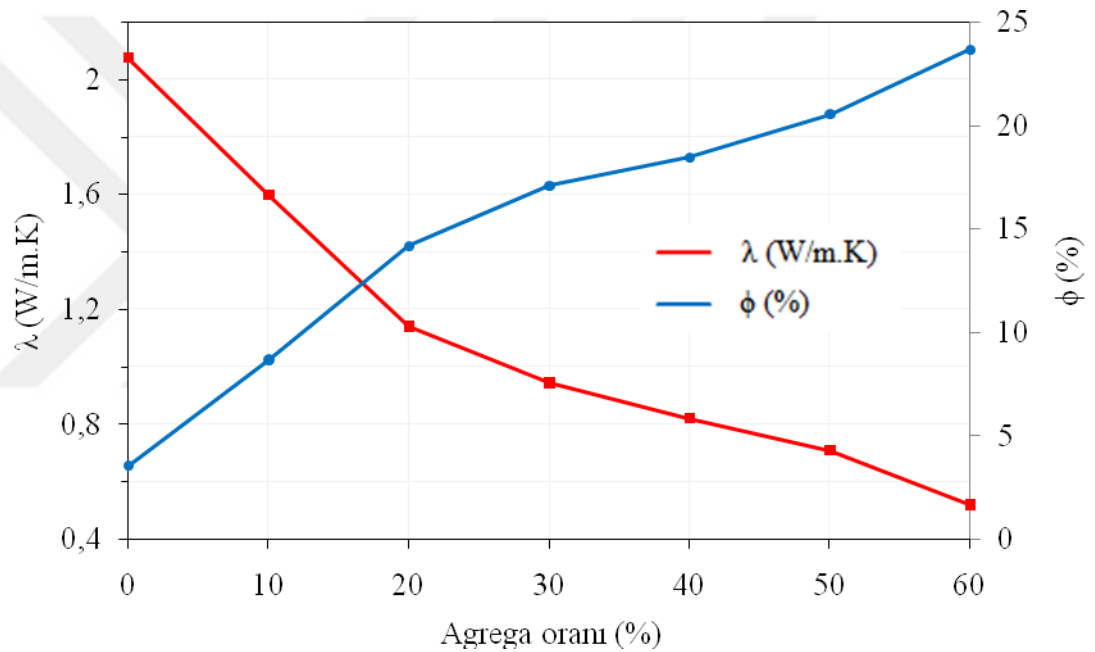
5.2.2. Isıl İletkenlik, Özgül Isı ve Termal Yayınım

Binaların soğutma yükünü tespit etmek için gerekli olan üç parametredir. Bunlar İletkenlik (λ), Özgül Isı (C_p) ve Termal yayınım (α)'dır. Yapılan deneylerde elde edilen sonuçlar Tablo 17'de verilmiştir.

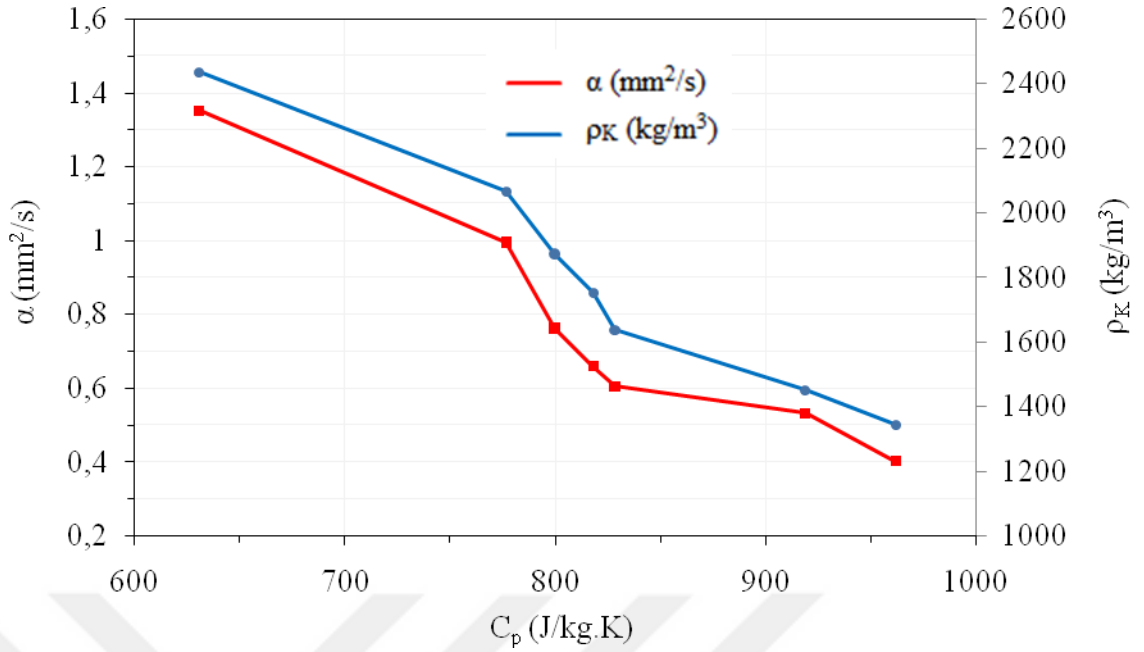
Tablo 17'den de anlaşılacağı gibi kullanılan perlit agregası oranı arttıkça ısı iletim katsayısı değeri azalmaktadır. Ayrıca ısı kapasitesi arttıkça termal yayınım değerlerinde azalma olduğu görülmektedir. Kullanılan agregası oranı, ısı iletim katsayısı ve gözeneklilik arasındaki ilişki Şekil 22'de verilmiştir. Perlit oranı ile gözeneklilik arasında doğru orantı olduğu ve agregası oranı ile ısı iletim katsayısı arasında ters orantı olduğu tespit edilmiştir. normal beton numunesinde gözeneklilik %3,538 iken perlit kullanımına bağlı olarak maksimum gözeneklilik % 23,665 olduğu hesaplanmıştır. Şekil 22'de görüldüğü gibi bir betonda ısı iletim katsayısı etki eden en önemli nedeninin, betonun içerisinde artan boşluk olduğu tespit edilmiştir. Bunun sebebi ise kapalı gözenekler içerisindeki havanın düşük ısı iletim katsayısına sahip olmasıdır. Anlaşıldığı üzere agregası oranı ile ısı iletim katsayısı arasında ters orantı olduğu, Tablo 17'de okunabileceği gibi normal agregası kullanılarak üretilen numunenin ısı iletim katsayısı 2,075 W/m.K iken %60 oranında perlit agregası kullanılarak üretilen numunenin ısı iletim katsayısı 0,520 W/m.K olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 17 Üretilen Numunelerin Isıl Özellik Sonuçları

Beton Numunesi	λ (W/m.K)	Cp (J/kg.K)	α (m ² /s)
NB	2,075	630,57	1,35E-06
Perlit- 10	1,597	776,59	9,95E-07
Perlit- 20	1,140	799,34	7,62E-07
Perlit- 30	0,944	817,87	6,59E-07
Perlit- 40	0,820	828,05	6,05E-07
Perlit- 50	0,709	918,69	5,32E-07
Perlit- 60	0,520	961,83	4,02E-07

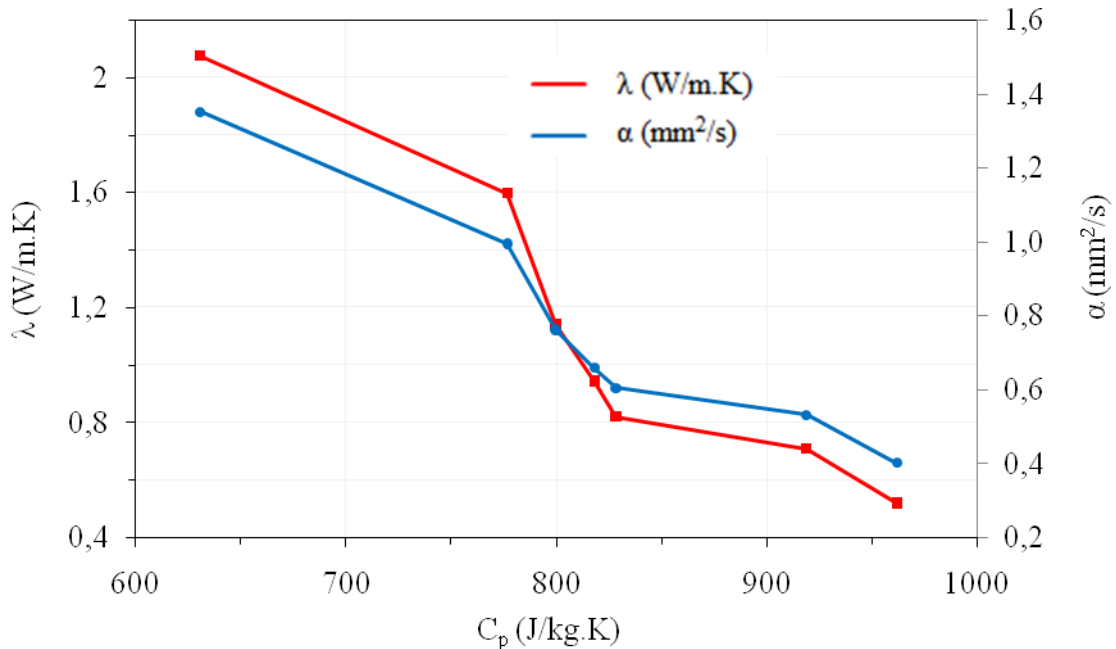
**Şekil 22** Agrega, Isıl İletkenlik, Gözeneklilik Arasındaki İlişki

Yapılan deneyler sonucunda Isıl Kapasite, Isıl Yayınım ve Yoğunluk arasındaki ilişki Şekil 23'de verilmiştir. Malzemelerdeki %0 ile %60 arasında değişen perlit agregası kullanımına bağlı olarak betonların ısıl kapasite değerlerinin 630,57 - 961,83 J/kg.K arasında değişmekte olduğu Tablo 17'de görülmektedir. Şekil 23'te de görüleceği gibi ısıl yayınım ile ısıl kapasite arasında ters orantı vardır. Yüksek yoğunluklu malzemeler düşük ısıl kapasite, düşük yoğunluklu malzemeler yüksek ısıl kapasiteye sahiptir. Isıl kapasitesi ile ısıl yayınım arasında ters orantı olduğu Şekilde anlaşılmaktadır. Malzemelerin kullanılan %0 ile %60 perlit oranlarına bağlı olarak ısıl yayınım değerleri 1,35 E-06 - 4,02 E-07 arasında değişmektedir.



Şekil 23 Isıl Kapasitesi, Isıl Yayımlım, Yoğunluk Arasındaki İlişki

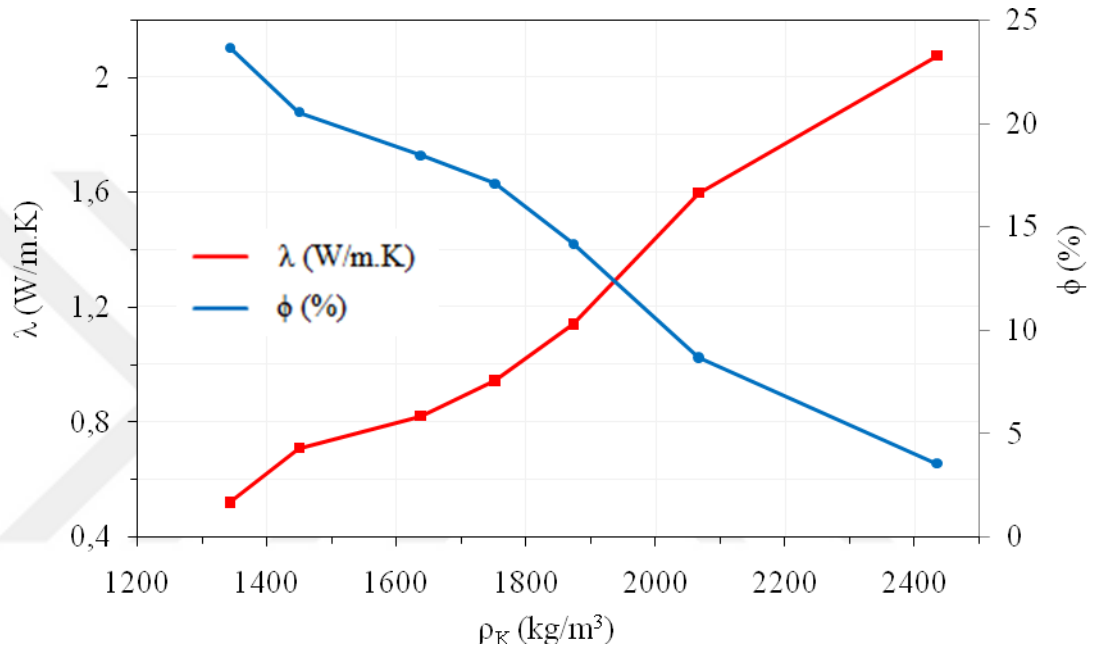
Şekil 24'te Isıl İletkenlik, Özgül Isı, Isı Yayımlım Arasındaki İlişki grafik halinde verilmiştir. Isıl iletkenlik katsayısı ile ısı kapasitesi arasında ters orantı vardır. Ayrıca ısı kapasite ile ısı yayılımı arasında da ters orantı olduğu görülmektedir.



Şekil 24 Isıl İletkenlik, Özgül Isı, Isı Yayımlım Arasındaki İlişki

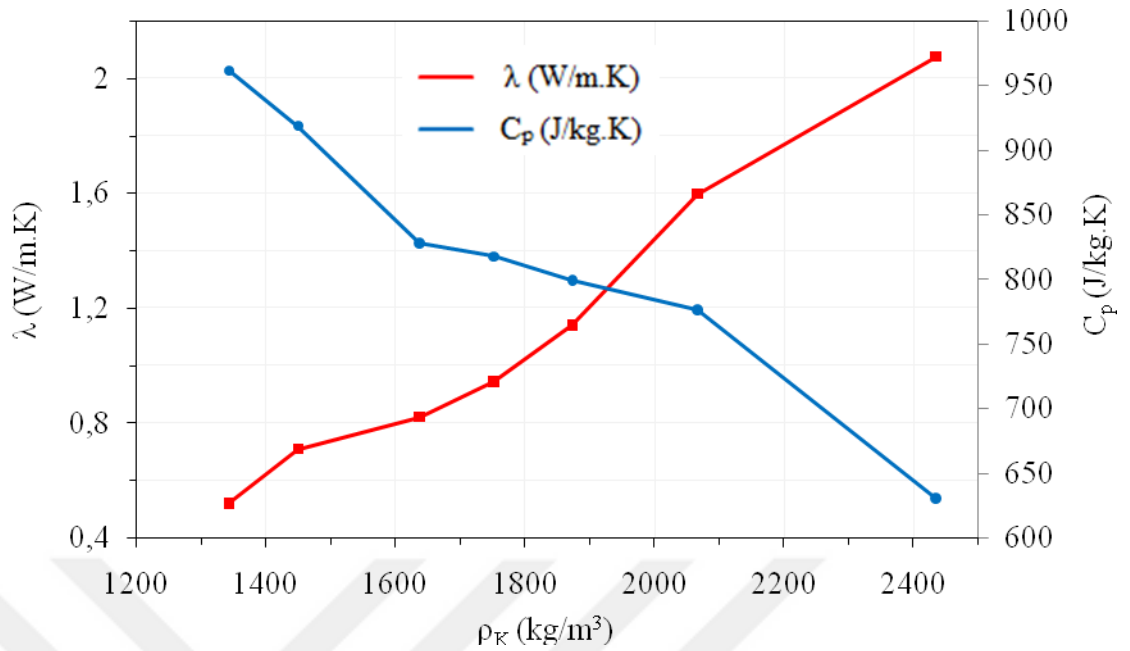
Şekil 25'te beton numunelerin Yoğunluk, Isıl İletkenlik, Gözeneklilik arasındaki ilişki verilmiştir. Yoğunluk değerleri arttıkça ısı iletkenlik değerlerinde artış olduğu, bu

sebeple yüksek yoğunluklu numunelerin gözeneklilik oranı düşük, düşük yoğunluklu numunelerin gözeneklilik oranı ise daha yüksek olacaktır. Yapılan hesaplamalar sonucunda kullanılan perlit agrega oranı artıkça betonda meydana gelen gözeneklilik artmakta buna bağlı olarak da su emme kapasitesinde artış meydana gelmektedir. Yoğunluktaki artışa bağlı olarak gözeneklilik değerlerinde düşüş olup elde edilen maksimum ve minimum gözeneklilik oranı %23,665 - %3,538 arasında olduğu hesaplanmıştır.



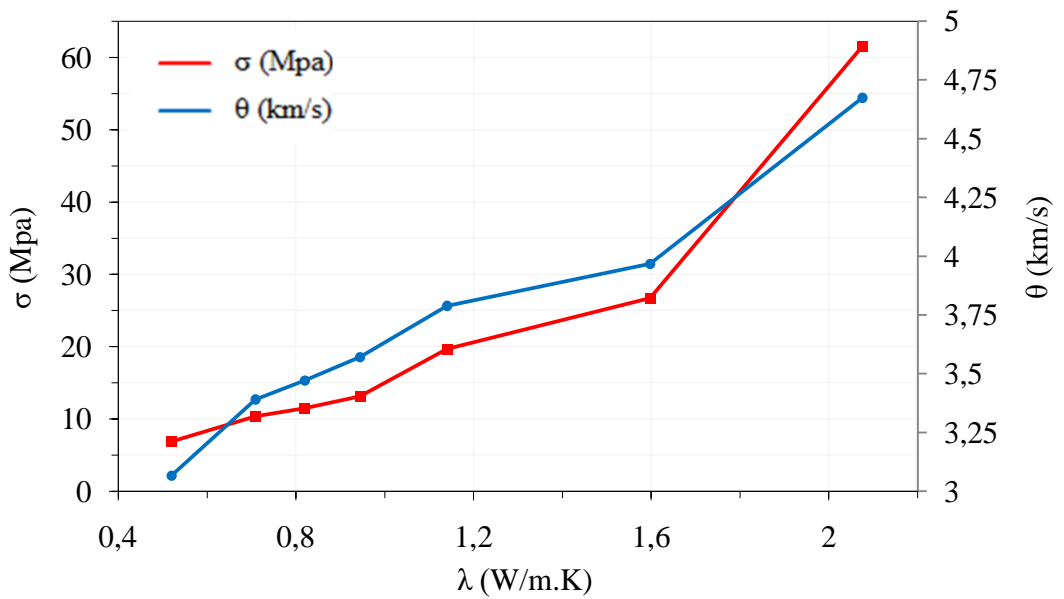
Şekil 25 Yoğunluk, Isıl İletkenlik, Gözeneklilik Arasındaki İlişki

Yoğunluk ile ısı kapasite arasında ters orantı vardır. Bu sebeptendir ki betonun içerisindeki perlit agregası oranı artıkça betonun ısı kapasitesi değerleri artmıştır. Şekil 26'da numunelerin Isıl İletkenlik, Yoğunluk, Isıl Kapasitesi arasındaki ilişki grafik olarak verilmiştir.



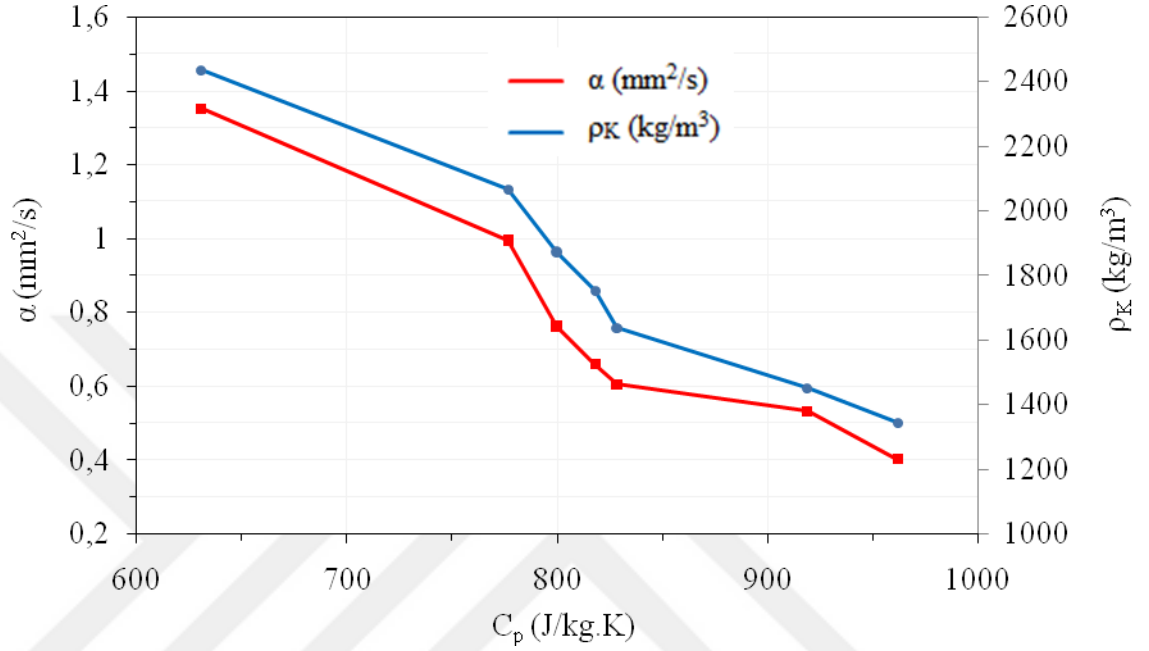
Şekil 26 Isıl İletkenlik, Yoğunluk, Isıl Kapasitesi Arasındaki İlişki

Havada ses geçiş hızı 331 m/sn değer aldığı Tablo 4'de verilmişti. Üretilen numunenin ses geçiş hızının maksimum 4672,897 ve minimum 3067,485 m/sn arasında değer aldığı hesaplanmıştır. Isıl iletkenlik ile ses geçiş hızı arasında doğru orantı olduğu görülmüştür. Şekil 27'de üretilen betonun Basınç Dayanımı, Isıl İletkenlik ve Ses Geçiş Hızı arasındaki ilişki grafik halinde verilmiştir.



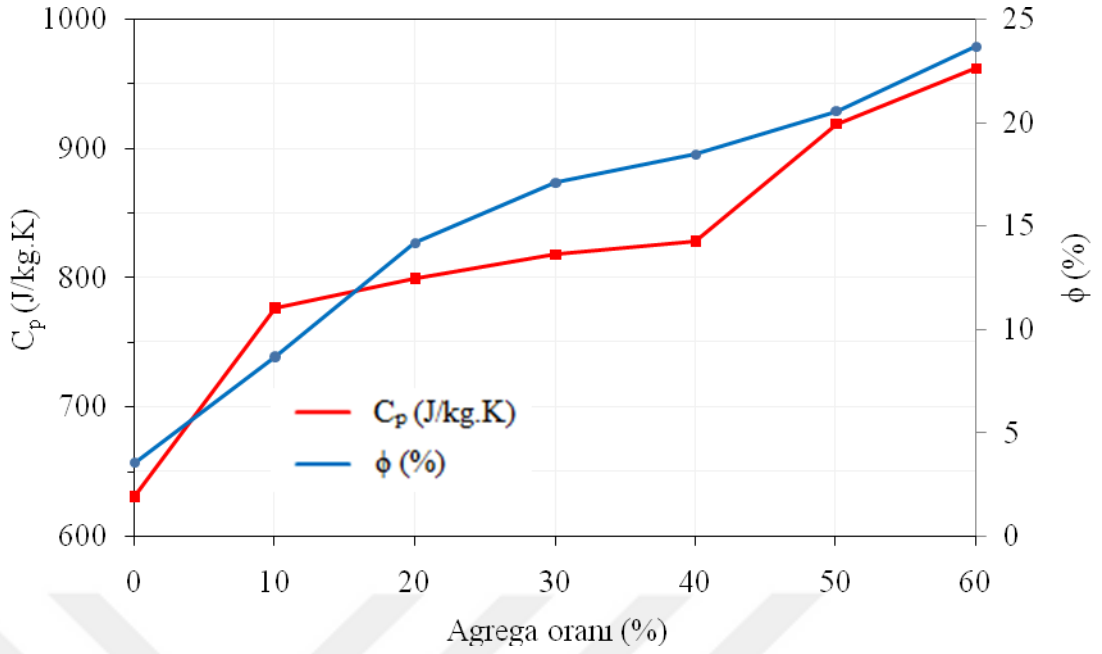
Şekil 27 Basınç Dayanımı, Isıl İletkenlik, Ses Geçiş Hızı Arasındaki İlişki

Isıl kapasitesi ile ısı yayılımı arasında ters orantı vardır. Aynı şekilde yüksek yoğunluklu betonların ısı kapasitesi düşük, düşük yoğunluklu betonların ısı kapasitesi yüksektir. Bu sebeple ısı kapasitesi ile yoğunluk arasında ters orantı vardır. Şekil 28' de numunelerin Isıl Yayılımı, Isıl Kapasitesi, Yoğunluk arasındaki ilişki grafik olarak verilmiştir.



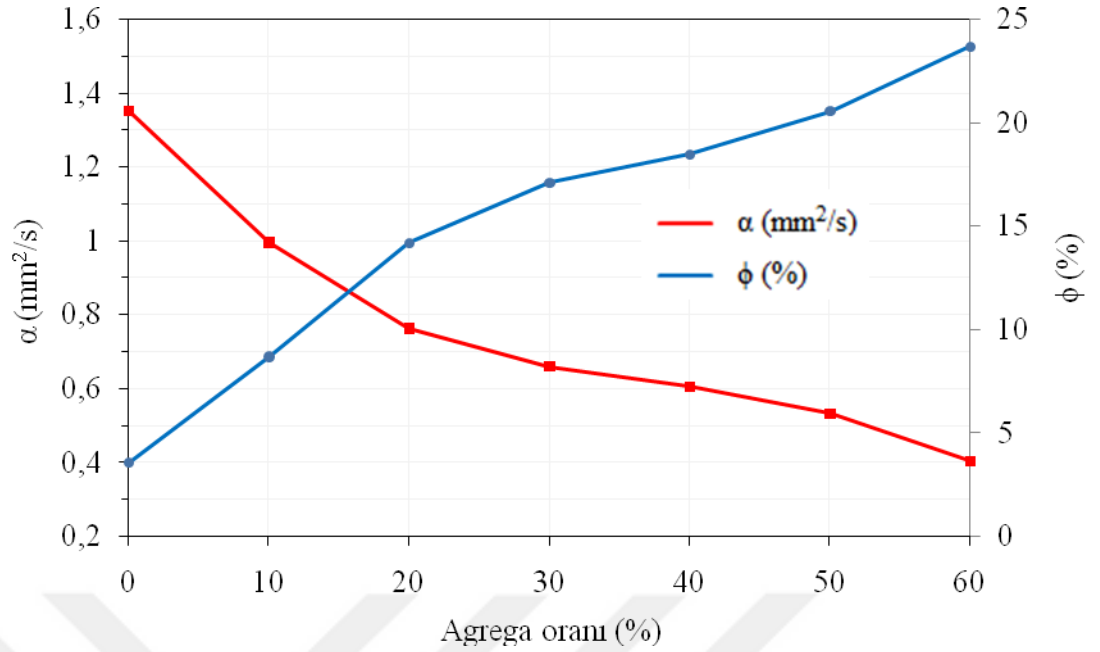
Şekil 28 Isıl Yayılımı, Isıl Kapasitesi, Yoğunluk Arasındaki İlişki

Agrega oranı arttıkça ısı kapasite değerleri artmakta. Isıl kapasitesi düşük olan numunelerde agrega oranının daha az olduğu görülmektedir. Bunun yanında gözeneklilik oranının fazla olduğu numunelerde agrega oranının da fazla, gözenekliliğin düşük olduğu numunelerde agrega oranının da daha az olduğu görülmektedir. Yani agrega oranı ile ısı kapasitesi ve gözeneklilik oranlarında artış eğilimi olduğu tespit edilmiştir. Şekil 29'da Isıl kapasitesi, Agregasyon Oranı ve Gözeneklilik arasındaki ilişki grafiği verilmiştir.



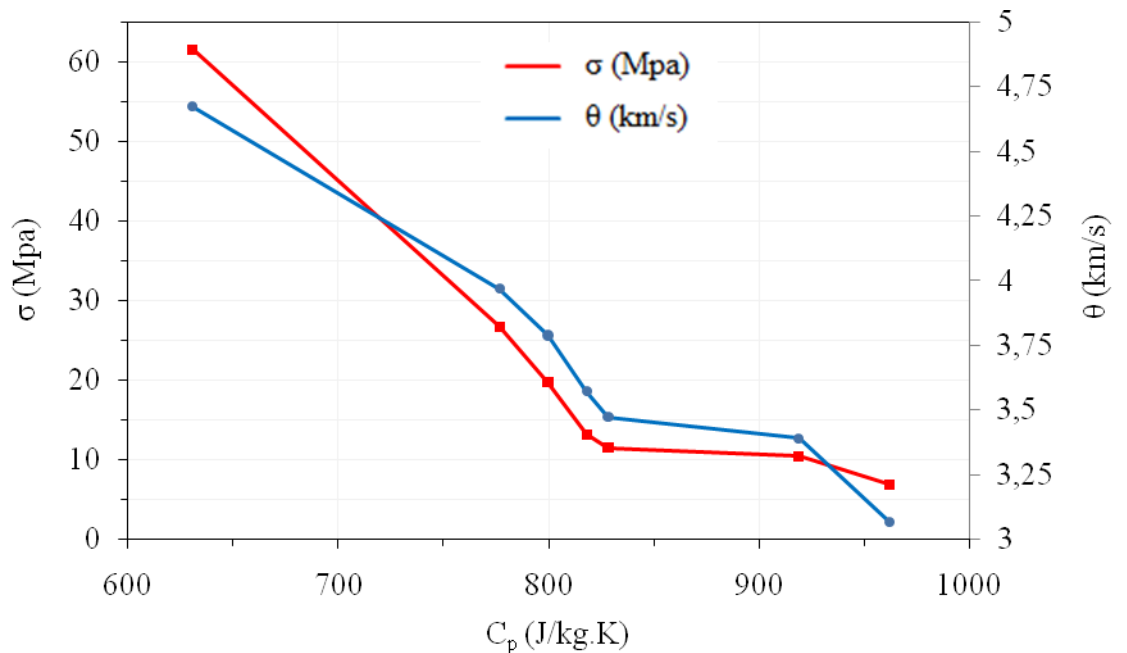
Şekil 29 Isıl Kapasitesi, Agregasyon Oranı, Gözeneklilik Arasındaki İlişki

Perlit oranı arttıkça gözeneklilik oranında da artış eğilimi olduğu görülmektedir. Bunun sebebi perlitin gözenekli yapıya sahip olmasıdır. Bu sebeple agregasyon oranı ile gözeneklilik oranı arasında doğru orantı vardır. Numunelerin gözenekli yapıya sahip olmasından kaynaklı olarak ısı yayılım değeri yüksek olan numunelerde gözeneklilik oranının daha az olduğu, ısı yayılım değeri düşük olan betonlarda ise gözeneklilik oranı daha yüksek olduğu hesaplanmıştır. Şekil 30'da beton numuneleri Isıl Yayılımı, Agregasyon Oranı, Gözeneklilik Arasındaki İlişki grafiği verilmiştir.



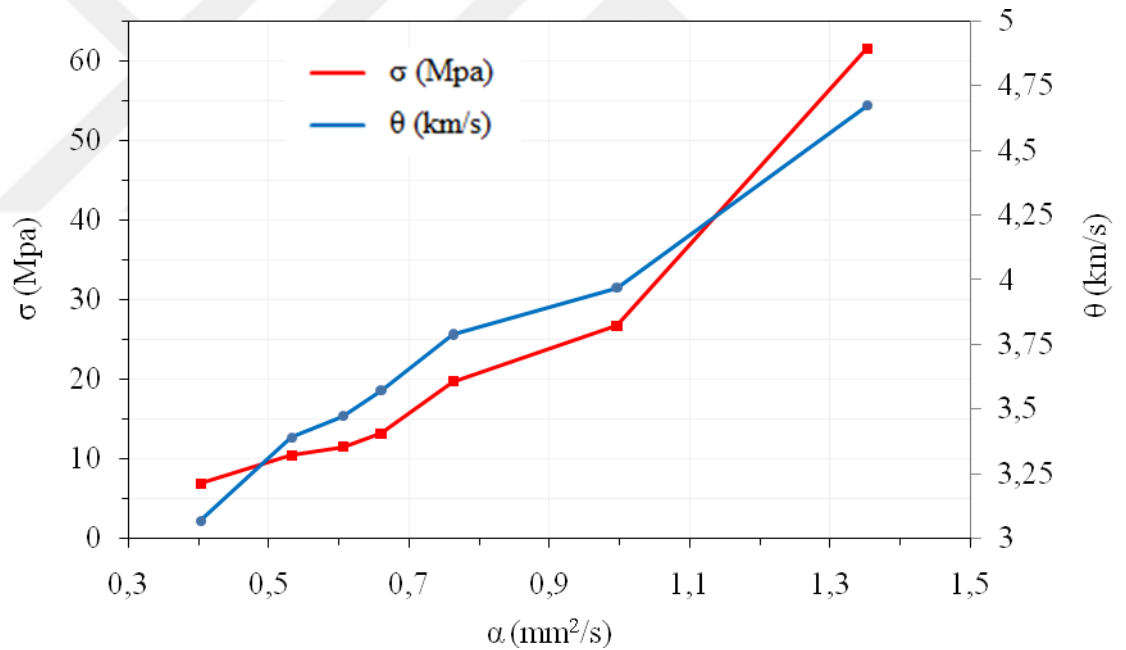
Şekil 30 Isıl Yayımlı, Agrega Oranı, Gözeneklilik Arasındaki İlişki

Isıl kapasitesi yüksek olan betonlarda basınç dayanımı düşük, ısı kapasitesi düşük olan betonlarda basınç dayanımı daha yüksektir. Normal beton numunesinin ısı kapasitesi değeri 630,57 J/kg.K olup, %60 perlit agregası ile üretilen beton numunesinin ısı kapasite değeri 961,83 J/kg.K olarak bulunmuştur. Üretilen numunelerin Basınç Dayanımı, Isıl Kapasitesi, Ses Geçiş Hızı Arasındaki İlişki Şekil 31'de grafik olarak verilmiştir.



Şekil 31 Basınç Dayanımı, Isıl Kapasitesi, Ses Geçiş Hızı Arasındaki İlişki

Betonu oluşturan tanecikler arasındaki boşluğun çok fazla ve taneciklerin düzensiz olmasından kaynaklı olarak basınç dayanımı azalmaktadır. Ses geçiş hızı katı maddelerde daha hızlı ve sıvı maddelerde daha yavaş olduğu bilinmektedir. Bu nedenle betondaki boşluk oranı artıkça ses geçiş hızı azalmaktadır. Perlit gibi gözeneklilik oranı fazla olan agregalar kullanılarak üretilen numunelerde ısı geçiş hızı daha düşüktür. Buna bağlı olarak ısı geçiş süresi de artmaktadır. Üretilen normal betondaki ısı geçiş hızı 4672,897 m/sn iken, %60 oranında perlit ile üretilen numunenin ses geçiş hızı 3067,485 m/sn olarak bulunmuştur. Ses geçiş hızının yüksek olması numuneden geçen sesin süresinin düşük olmasına, ses geçiş hızının düşük olması da sürenin daha fazla olmasına sebep olmaktadır. Yapılan deneylerde elde edilen ses geçiş süreleri; normal beton numunesinde 21,4 m/sn iken %60 oranında perlit numunesinde değer 32,6 olarak hesaplanmıştır. Üretilen numunelerin Basınç Dayanımı, Isıl Yayınlım, Ses Geçiş Hızı arasındaki ilişki Şekil 32'deki grafikte verilmiştir.



Şekil 32 Basınç Dayanımı Isıl Yayınlım, Ses Geçiş Hızı Arasındaki İlişki

KAYNAKLAR

- ACI Committee 213**, (1970), "Guide for Structural Lightweight Aggregate Concrete", Paris.
- Akman, S., Taşdemir, M.A.**, 1979. Ultrasonik ölçümlerde betonun dayanımının belirlenmesi. İTÜ Bülteni (1), 46-55.
- Aköz, F., ve Biricik, H.**, 1998. Silis dumanı katkılı betonların suya karşı dayanıklılığı. Beton Çimento ve Boya Semineri, DSİ-TAKK Dairesinin Kuruluşunun 40. Yılı Anısına, Ankara.
- Akyüz, S.**, (1991) "Betonun Dünü Bugünü Yarını", 2. Ulusal Beton Kongresi, Yüksek Dayanırlı Beton, Kardeşler Matbaası , (TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası), sf.53-67
- Ayberk M.**, Perlitin yapı Gereci Olarak Kullanımı ve Yapı maliyetine etkisi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul,1995
- Balta, İ.**, 1991. Yüksek mukavemetli betonlar ve bileşenleri. 2. Ulusal Beton Kongresi, Yüksek Dayanırlı Beton, 246-255, İstanbul.
- Baradan, B.**, Yazıcı H. ve Ün H., 2002. Betonarme yapılarda kalıcılık (Durabilite). Dokuz Eylül Üniversitesi Müh. Fak. Yayınları, İzmir.
- Bayasi, Z. and McIntyre M.**, 2002. Application of Fibrillated Polypropylene Fibers for Restraint of Plastic Shrinkage Cracking in Silica Fume Concrete. ACI Materials Journal, 99, (4), 337-344.
- Bilgiç, M.**, 2009. Yüksek performanslı prefabrike hafif betonların özelliklerinin araştırılması. SDU. Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 81s, Isparta.
- Bulgurcu, H.**, Genleşmiş Perlit İçeren Çimento ve Alçı Bağlayıcılı Yapı Malzemelerin Isıl ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, Sivas, 24-27 Haziran 2009.
- Büyükçulha, I.**, 1987. Perlit katkısının pişmiş toprak malzemenin mekanik ve fiziksel davranışlarına etkisinin araştırılması. İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Canan T.**, Hafif Betonların Isı Yalıtım ve Taşıyıcılık Özellikleri,İTÜ İnşaat Fakültesi, İstanbul
- Chandra, S. and Berntsson, L.**, 2003. Lightweight Aggregate Concrete. 430p Noyes Publications. U.S.A
- Clarke, J. L.**, 1993. Structural Lightweight Aggregate Concrete, Blackie Academic & Professional, London, England.
- Cook, J. E.**, (1982) "Research and Application of the High- Strength Concrete Using Class C Fly Ash", Concrete International, Vol. 4, No.7, pp.72,

Çanakçı, H., Demirboğa, R., Karakoç, M.B., Şirin, O., (2007). Thermal conductivity of lime Stone from Gaziantep (Turkey), *Building and Environment*, 42, 1777-1782.

Çengel Y., Isı ve Kütle Transferi, 2014

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.

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

Dimon, M.N. et al. (2006). The Study of Normal Incidence Sound Absorbtion Coeffiicence of Wood Circular Perforated Panel Using Numerical Modelling *Technique .Research* Vot no:75117. UTM.2006.

Demirboğa R., 1999. Silis dumanı ve uçucu külün perlit ve pomza ile üretilen hafif betonun özellikleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Erzurum.

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

Erdogan.,T.Y., 1995, Beton Oluşturan Malzemeler-Agregalar, Türkiye Hazır Beton Birliği Yayını, İstanbul.

Erdoğan, T.Y., Beton, 1.Baskı, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını, Ankara, 2003.

Erdogan, T.Y., 2003. Beton. METU Pres, 741p, Ankara.

Ersoy, U. & Özcebe, G. (1985) Betonarme, Evrim Yayınevi,3. Basım Ankara

FIB/CEB, (August 1990) Bulletind Information No. 197," State of the Art Report on High Strength Concrete"FIB-London.,p.61

Gesoğlu, M., Özturan, T., Güneyisi, E., Shrinkage Cracking of Lightweight Concrete Made with Cold- Bonded Fly Ash Aggregate, *Cement and Concrete Research*, 34, 1121-1130, 2004.

Gökçe, H.S., Hafif Beton Üretiminde Ham ve Genleştirilmiş Perlitin Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniversitesi, Ankara, 2010.

Gündüz, L., Şapçı, N., Bekar, M., (2006). Genleşmiş kilin hafif agrega olarak kullanılabilirliği, *Kil Bilimi ve Teknolojisi Dergisi*, 1(2), 43-49.

Halit Y., Özel Betonlar-Hafif Betonlar, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir
<http://kisi.deu.edu.tr/halit.yazici/>

Hamamcı, R., B., 1998. A study on the properties of perlite aggregate lightweight concrete as a composite material. Boğaziçi University, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.

Hewlett, P. C., 2004. LEA's Chemistry of Cement and Concrete, Butterworth Heinemann, Oxford, England.

Huang Wei-Hsing, 1997. Properties of cement fly-ash grout admixed with bentonite, silica fume, or organic fiber. Cem. and Conc. Res., Vol. 27(3), 395-406. html1:
<http://ekutup.dpt.gov.tr/>

Isıkel, K., 1999. Yeni TS 825 ve Enerjiyi Verimli Kullanan Binalar, İzolasyon Dünyası, 18: 15-18 .

Kaska Önder, Yumrutas Recep, Arpa Orhan. Theoretical and experimental investigation of total equivalent temperature difference (TETD) values for building walls and flat roofs in Turkey. Applied Energy 2009;86:737-47.

Karataş, E., Sülfat Etkisine Maruz Betonun Performansı, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2002.

Kayali, O., 2005. Flashag New Lightweight Aggregate for High Strength and Durable Concrete. Submitted for Consideration in the 2005 World of Coal Ash, 1-19p Lexington

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

Kemal K., Onur Ü., Özge A.Ç., Beton Yapı Bileşenlerinin Isı Yalıtım Özellikleri Yönünden İncelenmesi: Bir Derleme, 2015, Ege Üniversitesi, İzmir

Kidner, M.R.F., and Hansen, C.H. (2008). A Comparison and review of Theories of the Acoustics of Porous Materials. *AVCG School of Mechanical Engineering the University of Adelaide*. June 24. S.Australia.

Koca, C., (1996) "Yüksek Performanslı Beton Üretiminde Mikrosilis Curuf, Klinker Karışımının Çimentoda Uygulanması " Beton Teknolojinde Mineral ve Kimyasal Katkılar, 4. Ulusal Beton Kongresi(TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası) , sf.381-394

Kocataşkın, F., (1991), "Betonun Dünü Bugünü Yanni" , Yüksek Dayanımlı Beton, 2. Ulusal Beton Kongresi Kardeşler Matbaası , (TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası) , sf.23-42

Konuk, H., 2003. Hafif agregalı betonların mekanik özellikleri ve ısı yalıtımı, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Kubilay A. , Yüksek Dayanımlı Beton dayanımı, Çukurova Üniversitesi, Adana

- Kuroda, K.** (2006). International Development and Standardisation of Environmental Information Indices of Materials. *Proc.7th International Conference on EcoBalance 2006*, 14-16 November, Tsukuba, Japan.
- Lindebaum, D., and Schnetgöke, T.**, Self Compacting with Local Fresno Components, Thesis, California State University, Fresno, 2002.
- Malhotra, V.M.**, 1981. Superplasticizers: Their effect on fresh and hardened concrete. *ACI Concrete International*, 66.
- Mehta P.K., Monteiro P.J.M.** (1997): "Concrete Microstructure, Properties and Materials", Chapter 8: Admixtures, Indian Concrete Institute, Chennai, pp.256-271.
- Newman, J. and Choo, B. S.**, 2003. *Advanced Concrete Technology Constituent Materials*, Elsevier Butterworth Heinemann, Oxford, England.
- Milli Eğitim Bakanlığı**, 2009, Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi, Isı Transferi, Ankara
- Mindess S.**, Young J.F and Darwin D., *Concrete*, Second edition, 2002.
- Mindess, S. & Young, J. F.** , (1981), *Concrete*, Pentice-Hall, Inc.,New Jersey
- MTA Genel Müdürlüğü** , Ankara, 2010
- Mustafa B.**, 2012. Kompozit Yapıda Pomza Agregası İçeren Köpük Beton Özellikleri ve Teknik Parametrelerinin İncelenmesi,Süleyman Demirel Üniversitesi,Isparta
- Neufert, E.**, 1983. *Neufert yapı tasarımı temel bilgileri*, Güven Yayıncılık, İstanbul.
- Neville, A.**, (1992) *Concrete In Year 2000, "Advances In Concrete Technology"*, CANMET, Canada Communication Group, Ottawa, pp.1-21
- Neville, A. M.**, 1996. *Properties of Concrete*, John Wiley&Sons Inc, New York.
- Neville A.M.** *Properties of Concrete*, Pearson Education Limited, Fourth Edition, England, 2004.
- Neville, A.M.**, ve Brooks, J.J., 1987. *Concrete Tecnolojy*. Longman Scientific and Tecnical, 155.
- Novokshchenov, V. and Whitcomb, W.**, 1990. How to Obtain High Strength Concrete Using Low Density Aggregate. *ACI SP-121*, 683-700p.
- Okamura, H., and Ouchi, M.**, Self Compacting Concrete, *Journal of Advanced Concrete Technology* 1(2003) 5-15.
- Özgüven, H.N.** (2008). *Gürültü Kontrolü*. Ankara: Türk Akustik Derneği Yayını. 35-196.

- Özısık, G.**, 1998. Beton. İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi _nsaat Mühendisliği Bölümü. 250S, İstanbul.
- Öztürk, A.**, 1996. Betonun hızlandırılmış rötresinin iç yapıyla ilişkisi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Paki, T.**, 1994. Betonda donma-çözülme etkisi. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Semineri, Elazığ.
- Postacıoğlu, B.**, 1987. Beton bağlayıcı maddeler, agregalar, beton. Cilt 2, İTÜ, İnşaat Fakültesi, Teknik Kitaplar Yayınevi, İstanbul.
- Ramazan K.**, 2008. Kompozit Malzemelerde Isı İletkenlik Ölçümü, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa
- Richard, P. & Cheyrezy, M. H.**, (1995) Reactive Powder with High Ductility and 200-800 Mpa Compressive Strength, Reactive Powder Concrete, BOUYGUES Corporation, France/Nilüfer ÖZYURT yüksek lisans tezi ,Haziran 2000, İ. T.Ü.
- Sabir, B.,B.**, 1997 Mechanical Properties and Fost Resistance of Silica Füme, Cement and Concrete Research 285-294.
- Short, A. and Kinniburgh.**, 1978. Lightweight Concrete. Applied Science Publishers Ltd, 443p, London, U.K.
- Steiger, R. W. and Hurd, M. K.** 1978. Lightweight insulating concrete for floors and roof decks, *Concr. Constr.*, 23, 411-422.
- Sweat VE.** 1986. T hermal properties o f foods. In Engineering Properties of Foods, MR Rao and SSH Rizvi (eds.), pp. 49-88, Marcel Deck er Inc., New York.
- Taşdemir, C.**, 2003, Combined effects of mineral admixtures and curing conditions on the sorptivity coefficient of concrete, cement and concrete research.
- Taşdemir C.**, 1998. Mineral katkıların ve kür koşullarının betonun kılcal geçirimsizliğine etkileri. Beton Çimento ve Boya Semineri, DSİ-TAKK Dairesinin Kuruluşunun 40. Yılı Anısına 24-26 Haziran, Ankara.
- Taşdemir, M. A.**, 1982. Taşıyıcı hafif agregalı betonların elastik ve elastik olmayan davranışları, *Doktora Tezi*, İTÜ İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- Türkmen, İ.**, 2002. Korozif Etkiler Altında Yüksek Fırın Cürufu Ve Silis Dumanı Katkılı Yüksek Dayanımlı Betonların Mekanik Özellikleri Ve Dayanıklılığı, Atatürk üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Erzurum.
- 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., Gavgalı, M., Influence of Mineral Admixtures on the Some Properties and Corrosion of Steel Embedded in Sodium Sulfate Solution of Concrete, *Materials Letters*, 57, 3222-3233, 2003.

Topçu, D.B. 2006. Beton Teknolojisi. Uğur Ofset, 570, Eskişehir.

Topçu, İB., 2006. Yapı Malzemeleri ve Beton, Eskişehir.

TS EN 206-1, 2002. Beton-Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

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

Uysal, H., Demirboğa, R., Şahin, R., Gül, R., (2004). The effects of different cement dosages, slumps, and pumice aggregate ratios on the thermal conductivity and density of concrete, *Cement and Concrete Research*, 34, 845-848.

Yazıcıoğlu, S., Bozkurt N., Pomza ve Mineral Katkılı Taşıyıcı Hafif Betonun Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, *G.Ü. Müh. Mim. Fak. Der.*, 21(4), 675-680, 2006.

Yeğınobalı, A., 2004. Çimento Bülteni, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Recep DOĞMUŞ
Uyruğu : T.C
Doğum Yeri ve Tarihi : Batman - 10.02.1989
Telefon : +90 545 887 81 87
Faks :
e-mail : recepdogmus@hotmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Fatih Lisesi, Merkez, Batman	2006
Üniversite	: Batman Üniversitesi, Merkez, Batman	2012
Yüksek Lisans	: Batman Üniversitesi, Merkez, Batman	2016
Doktora	:	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
06.2010-09.2010	Türkiye Petrol Rafineleri A.Ş	Stajyer Mühendis
06.2011-09.2011	Fernas Alçı ve Sanayi Ticaret A.Ş	Stajyer Mühendis
03.2013-06-2013	İluh Mühendislik İnş.Elk.Taah.Tic.San.Ltd.Şti	Makine Mühendisi
06.2013-02.2016	Yüzenler Isı Mühendislik	Makine Mühendisi
03.2014-09.2014	3D Mühendislik ve Yapı Denetim Ltd.Şti.	Makine Mühendisi

UZMANLIK ALANI

- Doğalgaz İç Tesisat Mühendis Yetki Belgesi
- Endüstriyel ve Büyük Tüketimli Tesislerin Doğalgaza Dönüşümü Mühendis Yeterlilik Belgesi
- Mekanik Proje Hazırlama Mühendis Yetki Belgesi
- LPG Sorumlu Müdürlük Belgesi
- Web Tasarım Kursu Sertifikası
- Bilgisayar İşletmeliği Sertifikası
- Bilgisayar Destekli Proje Çizimi Sertifikası (AutoCAD)
- Temel Metal Şekillendirme Sertifikası
- Ohsas 18001 İş Sağlığı ve Güvenliği Sertifikası
- ISO 9001:2008 İç Tetkikçi Sertifikası
- Stratejik Yönetim Sertifikası
- ISO 9001:2008 Kalite Yönetim Sistemi Sertifikası
- ISO 22000 Gıda Güvenliği Yönetim Sistemi Sertifikası
- Entegre Yönetim Sistemi Sertifikası
- ISO 14001 Çevre Yönetim Sistemi Sertifikası

YABANCI DİLLER

İngilizce: Okuma: İyi Yazma: İyi Konuşma: İyi

- Intermediate (B2) İngilizce Sertifikası

Almanca: Okuma: Orta Yazma: Orta Konuşma: Orta

- Goethe-Zertifikat (A2)

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

- Avrupa Birliği Bakanlığı – Hayat Boyu Öğrenme Programı – Denetimli Yapılar, Depreme Dayanıklılar Projesine Katılım Belgesi (Romanya, Macaristan, Avusturya, Almanya, Hollanda - 4 Hafta)
- Avrupa Birliği Bakanlığı - Erasmus Öğrenci Hareketliliği - Yüksek Lisans 3. ve 4. Yarıyıl Dönemi Coburg University of Applied Sciences and Arts (Almanya - 10 Ay)