



T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**Atık Lastiklerin Bina Yapı ve Duvar Elemanlarında
Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Isıl ve Ses
Performanslarının İncelenmesi**

Sezai KIZAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

ŞUBAT-2017
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Sezai KIZAR tarafından hazırlanan “Atık Lastiklerin Bina Yapı ve Duvar Elemanlarında Kullanılabilirliğini Araştırılması, Isıl ve Ses Performanslarının İncelenmesi” adlı tez çalışması 08/02/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri**Başkan**

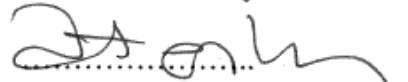
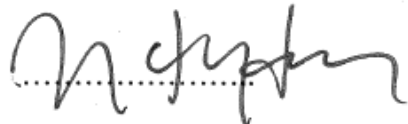
Doç. Dr. Hüseyin AYDIN

Danışman

Doç. Dr. Zeki ARGUNHAN

Üye

Yrd. Doç. Dr. Orhan ARPA

İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Doç. Dr. Bahattin İSÇAN
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.



Sezai KIZAR

08/02/2017

ÖZET**YÜKSEK LİSANS TEZİ****Atık Lastiklerin Bina Yapı ve Duvar Elemanlarında Kullanılabilirliğini
Araştırılması, Isıl ve Ses Performanslarının İncelenmesi****Sezai KIZAR****Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı****Danışman: Doç. Dr. Zeki ARGUNHAN****2017, 87 Sayfa
Şubat****Jüri****Doç Dr. Hüseyin AYDIN
Doç. Dr. Zeki ARGUNHAN
Yrd. Doç. Dr. Orhan ARPA**

Dünya üzerinde atık olarak değerlendirilen maddelerin büyük bir kısmı geri dönüştürülebilir malzemelerden oluşmaktadır. Atık malzemelerin depolanması ya da uzaklaştırılması Türkiye ve Dünyada geleceğin en büyük problemlerinden biri olarak görülmektedir. Bu problemin en mantıksal çözümlerinden biri atık malzemelerin yeniden kullanılabilirliğinin sağlanabilmesidir. Endüstriyel atık olan lastiklerin, beton özelliklerini geliştirmek amacıyla betonun içine katılması oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, enerji verimli binalar için yüksek mukavemet, düşük yoğunluklu, yüksek ısı ve ses yalıtımı olan yeni beton tipleri elde etmek için deneysel bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Temel amaç, kullanılmış lastik malzeme takviyesiyle bir taraftan çevre sorunlarına katkıda bulunmak, diğer taraftan malzeme temininin kolay ve ucuzluğu sebebiyle yalıtım maliyetini düşürmektir. Bundan dolayı, sabit su-çimento oranında, normal agregaya yerine hacimce %10, %20, %30, %40, %50 ve %60 oranlarında atık lastik 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 ASTM ve EN standartlarına uygun olarak belirlenmiştir. Deneysel çalışmaların sonuçlarına göre kullanılan agreganın elde edilen betonun mukavemetini ve yoğunluğunu düşürdüğü, buna karşın ısı ve ses yalıtım özelliğini yüksek oranda arttırdığı görülmüştür. Buna ilaveten, üretilen numunelerin ısı iletkenlik ve ısı yayınımlarının sırasıyla azaldığı tespit edilmiştir.

Anahtar sözcükler: Beton, Atık Lastikli Agregaya, Isıl Yalıtımı, Ses Yalıtımı

ABSTRACT**MS THESIS****Investigating Usability Of Waste Tires in Building Element and Investigating Structures and Evaluating Their Thermal and Acoustic Performances****Sezai KIZAR****THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
BATMAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN MECHANICAL ENGINEERING****Advisor: Doç. Dr. Zeki ARGUNHAN****2017, 87 Pagesn
February****Jury****Assoc. Doç Dr. Hüseyin AYDIN****Assoc. Doç. Zeki ARGUNHAN****Assist. Doç. Orhan ARPA**

A great of majority of matter are considered as waste which consists of recyclable materials. Disposal and storage of waste is considered as a big problem in turkey and all over the World. One of the most logical solutions for this application is to furbish waste after recycling. Rubber is an industrial waste and there is many researches regarding the usage and the improvement of waste rubber in buildings. The main purpose of this study is to provide slightly high strength, low density, high temperature and acoustic insulation for more productive building in terms of energy. The disposal of used rubber is a contribution to environment and reduces the cost and provides material for insulation as using an addictive material. Accordingly, waste rubber aggregate mixed volumetrically with 10%, 20%, 30%, 40%, 50% and 60% of ordinary aggregate in constant water-cement proportion. Six experimental samples produced with different weight. All the samples were tested its mechanic properties and determined its temperature properties by using thermal plate method according to ASTM and EN standards. The results were showed that strength and density were low and sound and insulation increased in addictive sample of waster rubber. Additionally, thermal conductance and thermal diffusion decreased.

Key words: Concrete, Waste Rubber Aggregate, Thermal Insulation, Sound Insulation

TEŞŞEKÜR

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.

Tezim süresince ve öncesinden her türlü yardımı benden esirgemeyen ve desteklerini hissettiren, beni motive eden değerli dostlarım Dr. Celil AYGÜN 'e, Rahmi KAYA 'a ve meslektaşım Selim KANDEMİR 'e minnettarım.

Son olarak beni bu günlere getiren ve desteğini hiç bir zaman esirgemeyen başta canım anneme, öğrenme, okuma aşkını bana aşılayan ve hayatımın her döneminde bilgi, birikim ve tecrübesiyle varlığını ziyadesiyle hissettirip, hayatta her şeyi başarmamı sağlayan canım dedeme, sevgili kardeşlerime ve değerli anneme en derin duygularıyla teşekkür ederim.

Sezai KIZAR
BATMAN-2017

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞŞEKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
TABLO LİSTESİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR	xi
1. GİRİŞ	1
2. BETONUN ÖZELLİKLERİ	5
2.1. Beton	5
2.1.1. Hafif Beton	6
2.2. Betonun Mekanik Özellikleri.....	9
2.2.1. Basınç Dayanımı.....	11
2.2.2. Su Emme Özelliği	12
2.2.3. İşlenebilirlik	12
2.2.4. Isı Yalıtımı	13
2.2.5. Ses Yalıtımı.....	14
2.3. Betonun Isıl Özellikleri.....	17
2.3.1. Isıl iletkenlik	17
2.3.2. Özgül Isı.....	20
2.3.3. Termal Difüzyon.....	20
2.4. Betonu Oluşturan Malzemeler	21
2.4.1. Çimento.....	21
2.4.2. Agregalar	22
2.4.2.1. Atık Lastik Agregası	24
3. LİTERATÜR TARAMASI.....	26
4. MATERYAL VE YÖNTEM.....	32
4.1. Kullanılan Malzemelerin Tanımlanması	32
4.1.1. Agregalar	32
4.1.2. Atık Lastik Agregası	36
4.1.3. Çimento.....	38
4.1.4. Mineral Katkılar.....	38
4.1.4.1. Silis Dumanı	38
4.1.5. Kimyasal Katkılar	39
4.1.5.1. Süper Akışkanlaştırıcı ve Hava Sürükleyici	39
4.2. Atık Lastikli Beton Karışımlarının Hazırlanması	40
4.2.1. Atık Lastikli Betonun Üretimi, Yerleştirilmesi ve Saklanması	43

4.3. Atık Lastikli Betonlara Uygulanan Deneyler	46
4.3.1. Taze Betona Uygulanan Deneyler	46
4.3.1.1. Taze Beton Birim Ağırlığı Belirleme Deneyi.....	46
4.3.1.2. Taze Beton Çökme (Slamp) Deneyi	46
4.3.2. Sertleşmiş Betona Uygulanan Deneyler	47
4.3.2.1. Küp Basınç Dayanımı Deneyi	48
4.3.2.2. Yoğunluk Testi Deneyi	49
4.3.2.3. Gözeneklilik ve Su emme Deneyi	50
4.3.2.4. Ses İletim Deneyi.....	51
4.3.2.5. Isıl Özellikler Deneyi.....	52
5. ARAŞTIRMA BULGULAR VE TARTIŞMA	54
5.1. Taze Beton Özellikleri	54
5.1.1. Çökme ve Yoğunluk	54
5.2. Sertleşmiş Beton Özellikleri	55
5.2.1. Basınç Dayanımı, Emme Kapasitesi.....	56
5.2.2. Yoğunluk, Ses Hızı ve Ultra Ses Geçiş süresi	58
5.2.3. Isıl İletkenlik, Özgül Isı, Termal Yayınım ve Gözeneklilik	60
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	66
KAYNAKLAR	68
ÖZGEÇMİŞ	74

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Malzeme Arasındaki Isıl Geçirimsizlik	18
Şekil 4.1 Kare Delikli Elekler	33
Şekil 4.2 Karışım Agregalarının Elek Analizi	35
Şekil 4.3 Atık Lastik Agregaları	37
Şekil 4.4 Betonun Hazırlanması	41
Şekil 4.5 Betonun Numunelere Yerleştirilmesi	42
Şekil 4.6 Numunelerin Kalıplardan Çıkarılması	43
Şekil 4.7 Numunelerin Kür Havuzunda Bekletilmesi	44
Şekil 4.8 Taze Beton Çökme Deneyi	47
Şekil 4.9 Küp Basınç Dayanım Deneyi	48
Şekil 4.10 Basınç Dayanımı Deneyi Ekran Görüntüsü	49
Şekil 4.11 Arşimed Terazisinin	50
Şekil 4.12 Ses İletimi Ölçümü	52
Şekil 4.13 Isıl Özellik Ölçüm Cihazı	53
Şekil 5.1 Taze Yoğunluk ve Çökme Arasındaki İlişki	55
Şekil 5.2 Basınç Dayanımı ve Su Emme Kapasitesi Arasındaki İlişki	57
Şekil 5.3 Ses Geçiş Hızı ve Ses Geçiş Süresi Arasındaki İlişki	59
Şekil 5.4 Kuru ve Doygun Yoğunluk Arasındaki İlişki	59
Şekil 5.5 Isıl İletkenlik ve Özgül ısı Arasındaki İlişki	61
Şekil 5.6 Isıl Yayılımı, Gözeneklilik Arasındaki İlişki	62
Şekil 5.7 Basınç Dayanımı, Ses Geçiş Hızı Arasındaki İlişki	62
Şekil 5.8 Isıl İletkenlik ve Özgül ısı Arasındaki	63
Şekil 5.9 Isıl İletkenlik ve Isı Yayınımı Arasındaki İlişki	64
Şekil 5.10 Isıl İletkenlik ve Gözeneklilik Arasındaki İlişki	64
Şekil 5.11 Özgül ısı ve Gözeneklilik Arasındaki İlişki	65
Şekil 5.12 Basınç Dayanımı ve Ultra Ses Geçiş Hızı Arasındaki İlişki	65

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Hafif Betonların Sınıfları.....	11
Tablo 2.2 Çökme Değeri.....	12
Tablo 2.3 Sesin Çeşitli Ortamlarda Yayılma Hızı	16
Tablo 2.4 Çimentonun Bileşenleri ve Ağırlıkça Yüzdeleri	21
Tablo 4.1 Çalışmada Kullanılan Agregaların Fiziksel Özellikleri	36
Tablo 4.2 Çimento Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri	38
Tablo 4.3 Silis Dumanı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	39
Tablo 4.4 Süper Akışkanlaştırıcı ve Hava sürükleyicisi Fiziksel Özellikleri.....	40
Tablo 4.5 1 m ³ 'lük Beton İçin Karışım Oranları	45
Tablo 4.6 Isıl Özellik Analizörü Ölçüm Parametreleri.....	53
Tablo 5.1 Taze Beton Sonuçları	54
Tablo 5.2 Sertleşmiş Betonun Mekanik Özellikleri.....	56
Tablo 5.3 Taze Sertleşmiş Beton Sonuçları	58
Tablo 5.4 Taze Sertleşmiş Beton Sonuçları.....	60



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar açıklamalarıyla birlikte aşağıda belirtilmiştir.

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
σ	Basınç dayanımı (MPa)
Δt	Sıcaklık farkı ($^{\circ}\text{C}$)
λ	Isı iletim katsayısı (W/mK)
c	Özgül ısı (J/kg. $^{\circ}\text{C}$)
$\rho.c$	Isıl kapasite (J/m ³ . $^{\circ}\text{C}$)
ρ	Özgül yoğunluk (kg/m ³)
α	Isıl yayılım (m ² /sn)
ϕ	Gözeneklilik
%	Yüzde su emme
θ	Ultra ses geçiş hızı (m/sn)
U_{sh}	Ultra ses geçiş hızı (m/sn)
U_{ss}	Ultra ses geçiş süresi (μs)

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
---------------------------	------------------------

ALA	Atık lastik agregası
P.Ç	Portland Çimento
Ç	Çimento
mm	Milimetre
cm	Santimetre
dm	Desimetre

m	Metre
mm ²	Milimetrekafe
cm ²	Santimetrekafe
cm ³	Santimetrekaüp
m ³	Metrekaüp
gr	Gram
kg	Kilogram
lt	Litre
µm	Mikrometre
µsn	Mikro saniye
min.	Minimum
maks.	Maksimum

1.GİRİŞ

Sanayi alanında büyük bir ivme ile hızla gelişen insanoğlu gün geçtikçe dünyayı atıklar ile kirletmeye başlamıştır. Bunlar katı atıklar, sıvı atıklar ve gaz atıklarıdır. Katı atıklar, son yıllarda dünyada en önemli çevresel sorunlardan biri olarak gösterilmektedir. İnsanların günlük hayatlarında kullandıkları malzemelere bakıldığında, bunların birçoğunun lastik olduğu görülmektedir. Lastiğin çok geniş bir kullanım alanı olması nedeniyle, insanoğlu tarafından çok kullanılan bir malzemedir. Lastiğin çok kullanılmasının sebebi çok ucuz ve kolay elde edilebilir olmasıdır.

Beton dünyada kullanılan en yaygın yapı malzemelerinden biridir. Betonun bu kadar yaygın olarak kullanılma sebebi; şekil verebilme kolaylığı, fiziksel ve kimyasal dış etkilere karşı dayanıklılığı, ekonomik oluşu, kullanım ve üretimindeki pratikliklerdir. Betonun arzu edilen özellikleri; düşük birim ağırlık, yüksek mukavemet, kırılma tokluğu ve çarpma dayanımı olarak sıralanabilir. Betonun bu sayılan özellikleri taşıyabilmesi için son yıllarda çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Beton içerisine agrega olarak atık lastiklerinin kısmen yer değiştirilerek kullanılması suretiyle elde edilen betonun mekanik özelliklerinin araştırılması bu yöntemlerden biridir. Bu konuda çeşitli çalışmalar yapılmıştır, fakat yapı uygulamalarında kullanılmasının tavsiye edilmesi için daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır (Eminoğlu, 2006).

Betonda atık lastik ürünlerinin kullanılması araştırmacıların ve çevre bilimcilerin dünyada cazip bir avantaj olduğunu ve bu konuda farkındalığın oluştuğunu belirtmişler (Toutanji, 1996).

Çeşitli atık lastik, maddelerin geniş bir alanda uygulanabilir olacağını hatta beton içerisinde çok değerli katkı malzemesi olacağı düşünülmektedir. Bu malzemelerin bazılarında selüloz, uçucu kül, silis dumanı ve odun parçacıkları içerir. Hurda lastiklerden elde edilen atık lastik, inşaat alanındaki kullanımından dolayı incelenmiş en son atık malzemeler olarak görülmektedir (Leuzzi, 2010 ve Snelson ark., 2009).

Kauçuk lastik endüstrisi tarafından üretilen atıkların yönetilmesi ve atıkların taşınması çok zordur. Biyolojik olarak atık lastik formunun doğada parçalanabilmesi çok kolay değildir (Guneyisi ve ark, 2004).

Ulaşımında taşıt ihtiyacının artması ve taşımacılık sektörünün ilerlemesine bağlı olarak lastik üretimi de hızlanmıştır. Lastik üretiminin artması ile de atık lastiklerin artması

birlikte süregelmiştir. Bu durumda atık lastiklerin kontrol altında tutulması, dünyada olduğu gibi ülkemizde de büyük bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu atıkların değerlendirilerek geri dönüşümünün sağlanma işlemleri, kullanım sahalarına ve yapım zorluklarına göre farklılıklar göstermekte ve büyük çaba gerektirmektedir. Atık lastiklerin çeşitli endüstriyel işlemlerden geçirildikten sonraki geri dönüşümleri için doğrudan değerlendirme, malzeme olarak değerlendirme, termik değerlendirme ve ham maddesel değerlendirme olarak dört genel yöntemden yararlanılabilmektedir (Amari, 1999 ve Doğan, 2005).

Yüksek ısı enerjisi değerine sahip otomobil lastiği gibi atıkların çöp toplama alanlarında emniyetli olarak muhafaza edilmesi zordur ve beraberinde birçok çevresel problemleri (tutuşma riski, koku problemi, sinekler için üreme ortamı, içme suyu kaynaklarının kirlenmesi, yanarak hava kirliliğine sebep olma gibi) ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle bu ve bunun gibi atıklar, çimento fırınlarında yakılmak sureti ile değerlendirilebilmektedir (Tosun, 2006).

Bu fırınlarda yakılmak suretiyle elde edilen çimento hammaddelerinin kimyasal reaksiyonların oluşabilmesi için, 1500 °C'ye kadar ısıtılması gerekmektedir. Bu sıcaklığa erişmek ve sürekliliğini sağlamak için yüksek miktarlarda yakıt tüketilmektedir. Kullanılan yakıt genelde kömürdür. Bu aşamada, kömürün ısı enerjisi gibi ısı enerjisi elde edilebilecek atık maddelerin kullanımı gündeme gelmektedir. Çimento üretimi için gerekli enerjinin yüksek olmasından dolayı farklı yakıt alternatifleri araştırılmış ve bu bağlamda kömürden daha fazla enerjiye sahip olan atık lastikler yakıt olarak kullanılmaya başlanmıştır. Ancak atık lastiklerin çimento fabrikalarında yakıt olarak kullanılmasıyla atmosfere salınan dumanın, insan sağlığına ve çevreye verdiği zararlar nedeniyle bu atıkların bir geri dönüşüm olmadığı da düşünülmektedir (Tosun, 2006).

Günümüzde atık lastiklerin birçok alanda kullanıldığı görülmektedir. Atık lastikler, birim ağırlıklarının düşük olmasından dolayı hafif agrega olarak değerlendirilmekte ve zemin dolgusu olarak kullanılmaktadır (Leuzzi, 2010 ve Amari, Humphrey, 1999).

Atık lastikler; birim ağırlığının düşük olması, yalıtım özelliği, yüksek tokluk gibi avantajları nedeniyle asfalt ve beton agregası olarak da kullanılmaktadır. Ayrıca atık lastikler güvertelerde, dalga kıranlarda ve demiryollarında şok emici olarak

değerlendirilmektedir. Bunların yanı sıra bu atıklar; erozyon kontrolü, anayollarda gürültü bariyeri, bataklık ıslahı, yol dolgularında kaplama alt malzemesi, sıcak karışım asfalt kaplamalarında modifiyeli malzeme, yürüyüş yollarında ve binalarda sismik izolatör gibi kullanım olanakları bulmaktadır (Gönüllü, 2004 ve Turgut ve ark., 2007).

Son yirmi yıldır, atık lastiklerin geri kullanımı için küçük parçalar (lastik parçalar) halinde, asfalt, dolgu, lastik tabakalar veya beton gibi, çimento içerikli malzemelerde kullanmak üzere birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Kıyılmış atık lastiklerin (parça lastik) geri dönüşümü, özellikle beton kaldırım bloklarında, su geçirmezlik sistemi, membran dolguları vb. uygulamalarda geniş çapta araştırılmaktadır. Lastik agregalı betonun; düşük birim ağırlıkları nedeni ile kaldırımlarda, yol kenarlarında ve ses bariyerlerinde kullanıldığı bilinmektedir (Topçu; 1997a, 1997b, 1991 ve 1995). Yaygın olarak da atık lastikler asfalt ile birlikte kaldırımlarda kullanılmaktadır (Topçu, 1997a, 1997b ve 2006).

Son yıllarda atık lastiklerin beton sektöründe kullanımı için çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar özellikle farklı boyut ve şekillerde kırıntı ve toz haline getirilmiş atık lastiklerin kullanımına yöneliktir (Doğan, 2005).

Hurda araba lastiklerinin parçalanmasıyla elde edilen ve agreganın bir kısmı yerine kullanılan lastik taneleriyle üretilen betonlar ile istinat duvarları ve çarpma bariyerleri inşa edilmektedir. Çarpma bariyerlerinde atık lastik katkılı betonların kullanımı sayesinde, çarpma sırasında ortaya çıkan enerjinin sömürmesiyle kazalarda ortaya çıkacak can kaybının azalacağı ifade edilmiştir (Atahan ve Sevim, 2008).

Yapılan bazı araştırmalara göre referans beton ile atık oto lastiği katılarak üretilen taze betonların birim hacim ağırlığı bulunmuştur. Bulunan sonuçlara göre atık lastiğin birim hacim ağırlıklarının agregaya göre daha düşük olduğu için betonun birim ağırlığını da düşürdüğü gözlemlenmiştir (Leuzzi, 2010 ve Kocataşkın, 1985). Bu özelliğe sahip lastik agregası kullanımıyla da hafif betonlar üretilebilmektedir.

Hafif beton dayanım kriterine göre beton sınıfları; taşıyıcı hafif beton, orta dayanımlı hafif beton ve düşük dayanımlı hafif beton olarak 3 sınıfa ayrılmıştır. Bu betonların minimum dayanımları sırasıyla 17, 7-17 MPa ve tanımlanmamış olarak sıralanmaktadır (Neville, 2006). Yapılan bir araştırmada %20 oranında lastik agregası

kullanımı ile taşıyıcı hafif beton; yaklaşık %60 oranında lastik agrega kullanımı ile de orta dayanımlı hafif beton üretiminin yapılabileceği ifade edilmiştir (Eminoğlu, 2010).

Beton agregasına göre daha düşük yoğunluğa sahip olan lastik ilavesiyle betonun birim ağırlığı, dolayısıyla yapının ölü yükünün azaltılması olanağı ortaya çıkmaktadır. Ayrıca deprem tehlikesi ile sürekli karşı karşıya olan bölgelerde inşa edilen yapılarda, dinamik yer hareketlerinin yapıya vereceği hasarı en aza indirmek için izolasyon yapılmaktadır. Bu durumda lastikli betonların izolatör bir yapıya sahip oldukları aklımıza gelmektedir. Bu da lastikli betonların yapılardaki yanal hareket ve şekil değişikliklerini düseye çevirerek perde, kolon ve duvar gibi yapı elemanlarına aktardığı anlamına gelir. Bu düşünce ile lastikli betonun çeşitli inşaat alanlarında kullanılabileceği sonucuna varılmaktadır (Emiroğlu, 2010).

Çalışmaların birçoğu, beton içerisinde kullanılan lastik parçalarının, geleneksel betona oranla, mekanik özellikleri (basınç ve eğilme dayanımı) düşürdüğünü göstermiştir. Dayanımdaki düşüş, lastik parçası ve Portland çimentosunun birleşmemesinden kaynaklanmaktadır. Her ne kadar lastik parçaları olduğunda betonun mekanik özellikleri düşüyor gibi görünse de, betonun işe yarayan birçok başka özellikleri bulunmaktadır. Örneğin, çimento ağırlığının yaklaşık % 30'u kadar lastik parça ile karıştırılmış betonun yapı dışı çatlak dayanımı, şok dalgası emilimi, aside dayanıklılığı iyileştirdiği ve ısı iletkenliğini ve ses seviyesini düşürdüğü görülmektedir. Ayrıca, lastik parçalı beton, geleneksel beton ile karşılaştırıldığında, yaklaşık % 78' e kadar düşürülmüş öz kütle ile daha hafiftir (Sukontasukkul, 2005).

Beton Teknolojisi her geçen gün hızlı bir şekilde gelişmektedir. Bu gelişme çerçevesinde betonun birçok özeliği iyileştirilmeye çalışılmaktadır. Birçok araştırmacı beton bileşenleri (çimento, su, agregalar, mineral ve kimyasal katkı) içerisinde, özellikle agregalar yerine, katı atıkları (cam, tuğla, kiremit, kıyılmış otomobil lastik atıkları gb.) kullanmıştır. Böylelikle, çevre kirliliğine neden olan bu atıkların, beton içerisinde değerlendirilmesinin yollarını aramışlardır. Özellikle geri dönüşümü zor olan ve büyük çevre kirliliğine neden olan atık lastiklerin beton içerisinde kullanılması araştırılmıştır.

Bu çalışmada; genel anlamda atık lastiklerin özellikleri ile inşaat ve bazı diğer alanlarda kullanım olanaklarıyla ilgili bilgiler sunulduktan sonra, özellikle çimento ve beton sektöründe kullanım potansiyelleri irdelenmektedir. Bu sayede çevre açısından

büyük zarar oluşturan atık lastiklerin, çimento ve beton sektöründeki kullanılabilirliğine dikkat çekilerek toplumun gündemine taşınması istenmektedir.

Bu çalışmanın amacı atık lastiğinin beton içerisinde kullanılabilirliğini araştırarak hem betonun arzu edilen özelliklerini geliştirmek hem de çevresel bir tehdit olan atık lastiklerinin yeniden kullanılabilmesi için katkıda bulunmaktadır.

2. 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.

2.1. 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 girmekteydi. 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 ulaşılabilmeyen 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 Duman'ının avantaj sağladığı birçok makalede belirtilmiştir (Demirboğa, 1999; Demirboğa ve ark., 2001; Türkmen,2002).

Özgül ağırlığı 2,4-2,8 kg/dm³ arasında değişen agregalar normal ağırlıklı agregalardır. Bu agregalar kullanılarak yapılan betonlara, normal beton denir. Kum, çakıl ve kırma taş normal agregası sınıfına girer. Beton, günümüzde dünya üzerinde fazla kullanıma sahip yapı malzemesidir. Beton, çimento, agregası, 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; agregası tanelerinin yüzeyini kaplayarak taneler arasındaki boşlukları doldurmakta ve bu şekilde bağlayıcılık görevini yapmaktadır. Agregası ise betonun iskeletini oluşturan kum, çakıl, kırma taş gibi taneli mineral malzemedir. Bu çalışmamızda agregası 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 agregası ve çimento hamurunda olmak üzere ikiye ayrılır. Bu boşluklar normal beton hacminin %10' una kadar çıkabildiği gibi, %1'in altına da düşebilir.

2.1.1. Hafif Beton

Hafif agregası özgül ağırlıkları 0,70- 2,00 kg/dm³ arasında olan betonlara hafif beton denir. Genellikle bu betonlar atık maddeleri değerlendirmek veya yapı elemanından ses, ısı ve hafiflik özelliklerinin arandığı durumlarda yapılan betonlardır. Bunlardan bir kısmı doğal ve yapay agregalardan oluşanlar; kil, bims, perlit ve atık lastik gibi agregalar 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 su anki Ayasofya cami 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 modüllü 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 modüllerinin düşüklük bu betonları, diğer betonlara göre ısısal gerilme bakımından daha üstün tutmaktadır. Betonda ısı iletimi basınç dayanımının artmasıyla artmaktadır (Neville, 2004).

Hafif betonların tasarımın 'da temel ilkelerden biri, üretilecek betonun istenilen işlenebilirliği sahip olmasıdır. Hafif agrega tanesinin yüzey dokusu, şekli ve ince agregasında iri agrega yüzey dokusuna sahip olması, bu betonların izlenebilirliğini azaltıcı bir etki yaptığı birçok araştırmada tespit edilmiştir (Chandra ve Berntsson, 2003; Cook, 1982; Short ve Kinniburgh, 1978).

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

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.

2.2. 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 kayaların kullanımı, günümüz teknolojisinde farklı endüstri alanlarında giderek artan bir eğilim göstermektedir. Çoğunlukla bu tür kayalar, 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 kullanımını giderek yaygınlaştırmaktadır.

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 betonlar 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 on gerilmeli beton olarak da kullanılmaktadır. İlk uygulamalarda hafif betonun ekonomik yararlarının, birim hacim ağırlıklarının ve ısı yalıtımı 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).

2.2.1. 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 1.1'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 2.1 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

2.2.2. Su Emme Özelliği

Düzgün yüzeye sahip olmayan agregalar (kıırma taş), yuvarlak agregalardan (doğal agrega) 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 agrega 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).

2.2.3. İşlenebilirlik

Taze beton karışımının minimum dış güç ile donatılar arasından ve çevresinden kolayca akabilmesi, karmaşık kalıplan doldurabilmesi ve bu süreç içinde beton bileşimde ve özelliklerinde bir değişiklik olmaması istenir. Bundan dolayı betonda hareketlilik, taze betonun akış kapasitesi olarak tanımlana bilir. Çökme değer; taze betonun kıvamı ile ilgili olup deneyle bulunan değerdir. Çökme değerinin belirlenmesinde yapının tipi esas alınmaktadır. Tablo 2.2'de yapı tipine göre çökme değerleri görülmektedir.

Tablo 2.2 Çökme Değer [Megep, 2009]

Yapı Tipi ve Elemanı	Çökme Değer (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 betonun minimum basınç ile tıkanma tehlikesi olmadan boru içinde kütleli bir şekilde akması gerekir. Taze betonun yeterli pompalana bilirlikte 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.

2.2.4. Isı Yalıtımı

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

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 ısıl iletkenliğini arttırmaktadır. Havanın iletkenliği suyun iletkenliğinden daha düşük olduğu için betonun suya doygunluğunun derecesi, betonun ısıl iletkenliğini etkilemektedir.

(Steiger ve Hurd, 1978) çalışmalarında, hafif betonların nem içeriğindeki %1'lik artışın ısıl 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, ısıl iletkenlik değerleri ise 0,2–1 W/mK arasında değişen hafif betonlar üretilebilmektedir (Clarke, 1993).

Yapılarda ısıl iletkenliği düşük hafif betonların kullanılmasıyla dış ortama kaybedilen ısı miktarı azalmaktadır. Hafif betonların ısı iletim özelliklerinin incelendiği çalışmalarda, betonun birim ağırlığı azaldıkça ısıl 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/m^3 birim ağırlığa sahip perlitli hafif betonun ısı iletkenliği, $0,1797 \text{ W/mK}$ bulunmuştur.

(Demirboğa ve Gül, 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.

2.2.5. 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 uyararı 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 hemen hemen imkânsız olabilir. 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).

Betonun özelliğini beton üretiminde kullanılan malzemeler belirlemektedir. Bu sebeple beton üretiminde karışım suyu olarak kullanılan su mümkün olduğu kadar temiz olmalı ve içerisinde taze ve sertleşmiş betonun özelliklerine zararlı etki yapabilecek miktarda kil, organik madde, asit, klorür, sülfat yağ ve endüstriyel atıklar bulundurmamalıdır. İçilebilir nitelikteki sular, içinde yüksek oranda zararlı madde bulunmayan kuyu suları, içine yağ vb. maddeler karışmamış ve çöktürme havuzlarında çamurundan arındırılmış yıkama suları karışım suyu olarak kullanılabilir. Deniz suyu ön gerilmeli beton ve deniz yapılarında karma suyu olarak kullanılmamaktadır. Deniz suyu içerdiği klor nedeniyle prizi bir miktar hızlandırırken betonun ilk dayanımını yükseltmekte ve son dayanımını düşürmektedir (Neville, 1992).

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 (Kidner 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/sn 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 2.3'te farklı malzemeler için sesin yayılma hızları verilmiştir. Tablo 2.3'teki değerlerden de anlaşılacağı üzere, sesin katı maddeler içerisindeki yayılma hızları, havadaki hızına göre çok daha yüksektir.

Tablo 2.3 Sesin Çeşitli Ortamlarda Yayılma Hızı [Özgüven,2008]

Ortam	Yayılma Hızı(m/sn)
Hava (0°C)	331
Hava (21°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 7olmalıdır. 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 dolayısıyladır. Bu nedenle uzun süre karıştırmaya maruz betonda daha ince çimento kullanıldığında betonda daha fazla miktarda çökme kaybı meydana gelir (Neville, 2004).

2.3. Betonun Isıl Özellikleri

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

Katkı malzemelerinin ısı 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 ısı özelliklerini oluşturan parametrelerden (ısı iletkenlik katsayısı, ısı yayılma katsayısı, özgül ısı ve ısı geçirgenlik) biri ya da birden fazlası ölçülebilmektedir (Işıkel, 1999).

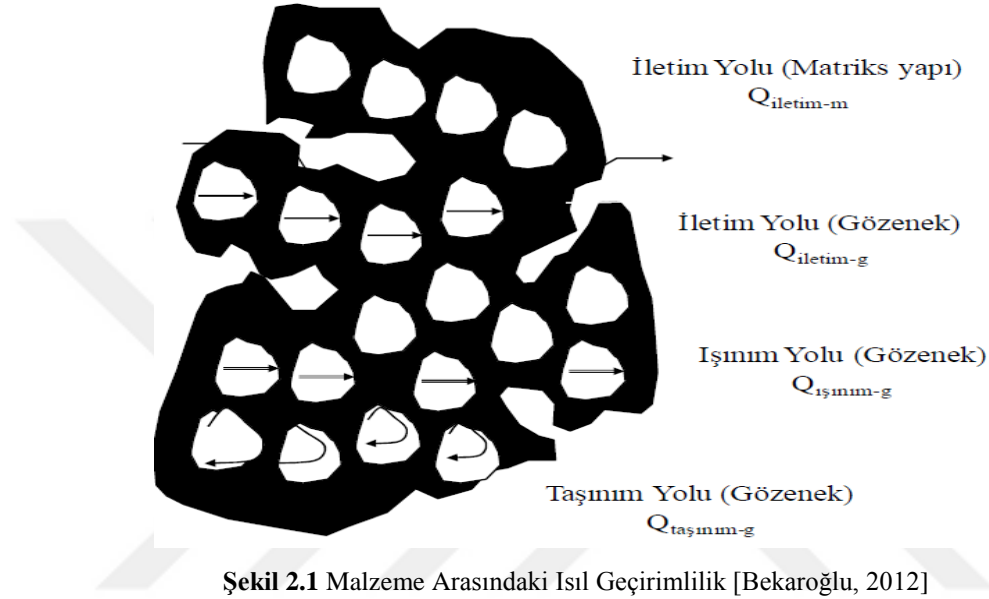
Yalıtımın yetersiz olduğu yapılar, enerjinin etkin olarak kullanılmaması nedeniyle enerji harcamalarını ve maliyetini olumsuz yönde etkilemektedir. Eksik ya da yanlış yalıtım uygulamalarının bu olumsuzlukları, ısı iletim katsayısı düşük olan yapı malzemesi seçimi ve üretimiyle azaltılabilir. Betonarme yapı elemanlarının ısı iletkenliği düşük ve hafif malzemedan 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, genleştirilmiş killer (GK), uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve genleştirilmiş perlit gibi malzemeler yapay agregadır (Gündüz ve ark., 2006).

2.3.1. Isıl iletkenlik

Isıl enerji, cisimlere değişik türde etkiler yapmaktadır. Bu etki sonucu, içyapılarda ve mekanik özelliklerde oluşan değişimler gözlenmektedir. Bu bakımdan, malzeme yapısı ile ilgili olarak malzemenin özgül ısı, ısı 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 2.1'de görüldüğü gibi malzemelerin bulunduğu ortama göre;

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



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. Isı iletkenlik katsayısı, homojen bir malzemenin, denge şartları altında, iki yüzeyi arasındaki sıcaklık farkı 10°C olduğu zaman 1 saatte 1m^2 alan ve bu alana dik 1m kalınlığında geçen ısı miktarıdır. Birimi $\text{kcal}/\text{mh}^{\circ}\text{C}$ 'dir. Isı iletimi yukarıda sözü edildiği gibi içyapı ile ilgili olduğundan, birim ağırlığı az olan malzemelerde ısı iletkenlik katsayısının da düşük olduğu görülür (Bekaroğlu, 2012).

İçinde yaşadığımız konutlarda, ısı yalıtımı amaçlı konforu sağlamak ve optimum şartlarda sıcaklık dengesini kurmak, yapılarda kullanılan malzemenin secimi 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 değerlerde 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 ısıl genleşme katsayısı agrega cinsine ve miktarına bağlı olarak normal betonun yaklaşık 80%'i kadar olup $8 \times 10^{-6} \sim 10 \times 10^{-6}$ ($\mu/m^{\circ}C$) arasında değişir (Karataş, 2002).

Hafif betonun ısı iletkenliği betonun birim ağırlıklarına ve kullanılan hafif agrega cinslerine bağlı olarak önemli ölçüde değişmektedir. TS 825'de normal ve hafif betonlara ait ısı iletkenlik katsayıları verilmektedir. Homojen bir malzemenin ısı iletkenliği, denge koşullarında iki yüzey arasındaki sıcaklık farkı $1^{\circ}C$ olduğunda birim zamanda (1 saat), birim alanından ($1m^2$), bu alana dik yönde birim kalınlığından (1m) geçen ısı miktarı ile ölçülür. Birimi $W/m.K$ '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 agrega olarak eklenerek yeni yapı malzemeleri üretilmiştir. Çimento içine, geliştirilmiş 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, bir m^2 alanın ısıtılması amacıyla yılda ortalama 250-350 kW/h enerji harcanmaktadır. Isıtma amacıyla binalarda birim m^2 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 (Işıkel, 1999).

Isıl iletkenlik, malzemenin nem miktarına bağlı olarak değişiklik gösterir. Yapı içindeki nem miktarı arttıkça ısıl iletkenlik de artmaktadır. Yapılan çalışmalarda, ısıl iletkenlik ile yoğunluk arasında uyumlu bağıntılar olduğu görülmektedir (Çanakçı ve ark, 2007).

2.3.2. 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. Isı termal bir enerjidir. Isı ve iş hiçbir cisimde depo edilemez, ancak geçiş halinde iken belirlenebilir. Bir başka deyişle ısı ve iş geçiş halindeki enerjidir.

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 1⁰K 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).

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t \quad (2.1)$$

$$\Delta t = t_2 - t_1, t \quad (2.2)$$

$$t_1 = \text{İlk sıcaklık ve } t_2 = \text{Son sıcaklık}$$

2.3.3. Termal Difüzyon

Isı transferinde sık sık karşılaşılan $\rho \cdot C$ çarpımı malzemenin ısıl kapasitesi olarak adlandırılır. Hem özgül ısı C ve hem de ısıl kapasite $\rho \cdot C$ malzemenin ısı depolama kapasitesini gösterir. Fakat $J/kg \cdot ^\circ C$ ve $J/m^3 \cdot ^\circ C$ birimlerinden de anlaşılacağı üzere, sırasıyla C birim kütle başına ve $\rho \cdot C$ birim hacim başına kapasitedir.

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

$$\alpha = k / \rho \cdot C \quad (2.3)$$

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

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

2.4. Betonun Oluşturan Malzemeler

2.4.1. Çimento

Çimento hammaddelerinin dikkatle orantılanmış bir karışımı olan, ana bileşenleri kireç (CaO) ve silis (SiO_2)'dir. Bunların dışında alümin (Al_2O_3), demir oksit (Fe_2O_3), az miktarda magnezyum ve alkali oksitler bulunmaktadır. Çimentonun bileşenleri ve ağırlıkça yüzdeleri Tablo 2.4'te görülmektedir.

Tablo 2.4 Çimentonun Bileşenleri ve Ağırlıkça Yüzdeleri [Yeğinobalı, 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

Çimento su eklendiği zaman, çimento tanecikleri düzgün bir dağılım göstermemekte ve küçük topaklanmalar oluşturma eğilimi göstermektedir. Topaklar suyu içine hapsedmekte ve bu şekilde karışımın sadece çimento taneciklerinin olduğu halinden daha az akışkan bir hal almasına sebep olmaktadır. Akışkanlaştırıcılar çimento partiküllerin 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 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 az kapılar ve daha dayanıklı beton oluşmaktadır.

2.4.2. Agregalar

Türk standartlarına göre, 4 mm göz açıklıklı kare delikli elekten geçen agregaya ince agrega, bu elek üzerinde kalan agregaya ise iri agrega ismi verilir. Kıırma 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. Agregaya, beton yapımında kullanılan, organik olmayan, kum, çakıl, kırma taş gibi doğal kaynaklı veya yüksek fırın cürufu, genleştirilmiş perlit, genleştirilmiş kil gibi yapay kaynaklı olan taneli malzemelerdir (Özışık, 1998).

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).

Yoğunluğu 2,0-2,8 kg/dm³ arasında olan agregalar normal agregaya, 2,8 kg/dm³'den büyük olan agregalar ağır agregaya ve 2,0 kg/dm³'den küçük olan agregalar hafif agregaya 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 eriğinin, 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 agregaya, ponza, volkan tüfü ve perlit agregası gibi isimler almaktadır (Chandra ve Berntsson, 2003).

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

- Çimento hamuru zamanla kuruyarak büzülme gösteren bir malzemedir. Agregaya, 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, donatı 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. Agregaya 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 agregaya tarafından belirlenir. Agreganın beton yapımında ekonomik ve teknik yönden çok önemli bir konumu bulunmaktadır.

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

Betonda agregaya 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 agregaya bileşeni meydana getirdiği için, üretilecek betonun sahip olması istenilen özelliğine bağlı olarak, agregaya seçiminde titizlik gösterilmesi gerekmektedir. Agregaya, gereken dayanıma sahip olmalı ve dış etkenlere dayanabilmelidir. Agreganın fiziki ve mekanik özellikleri istenilen şartları karşılayabilecek nitelikte olmalıdır. Betonda agregaya kullanılmasının sağladığı teknik özelliklerin yanında; sertleşen betonun "hacim değişikliğini" önlemesi veya azaltılması, çevre etkilerine karşı "dayanıklılığını" artırması ve kendi dayanım gücünün yüksekliği nedeniyle betonun taşımakta olduğu yüklere karşı gerekli "dayanımı" sağlayabilmesi gelir. İçerisinde agregaya bulunmayan bir sisteme göre çok daha az hacim değişikliğini (büzülme) gösterir. Yani, çimento hamurunun zamanla kurumması nedeniyle yapacağı büzülme ve meydana gelebilecek çatlamlar agregaya tarafından belirli bir ölçüde engellenmiş veya sınırlandırılmış olur (Gökçe, 2010).

2.4.2.1. Atık Lastik Agregası

Günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte betonun bazı alanlarda kullanılması kaçınılmaz olmuştur. Bu nedenle beton teknolojisinde gelişmeler meydana gelmiştir. Betonun basınç dayanımının yanında çekme ve eğilme dayanımlarının da yüksek olması ve aynı zamanda ekonomik olması günümüz teknolojisinde önem kazanmaktadır. Bunu sağlamak amacıyla araştırmacılar yoğun çalışma yapmaktadırlar.

Geleneksel beton, yorulma, aşınma, çarpma, kavitasyon, çatlama sonrası yük taşıma ve tokluk açısından zayıf bir performans sergiler (Emiroğlu, 2006). Betonun bu özellikleri sergilemesini sağlamak amacıyla çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bunlar arasında lifli beton, ferro beton, vakumlu beton sayılabilir. Bunların dışında atık lastik katkılı beton, doksanlı yıllardan beri araştırılmaktadır.

Atık taşıt lastiklerinin betonarme betonunun içerisinde agrega olarak kullanımı henüz asfalt kaplamasında kullanımı kadar araştırılmamıştır. Literatürde atık lastik kauçukların beton agregası olarak kullanımı hakkında çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Fakat yapı uygulamalarında tavsiye edilmeden önce daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir. Daha önce yapılan çalışmalarda, genel olarak atık lastik kauçuk kullanımının betonun mukavemetini azalttığı ancak betona esneklik ve tokluk kazandırdığı belirtilmektedir.

Lastik Ham kauçuğun işlenmesiyle elde edilen esnek bir maddedir. Tabii veya sun'i kauçuk, kükürtle vulkanize edilerek lastiğe dönüştürülür. Lastiğin elde edilmesi sadece vulkanizasyonla gerçekleşmez. Bu esas işlemin yanında kauçuğa katılan katkı maddeleri de büyük önem taşır. Çünkü lastiğin geniş bir kullanılma sahası olup, bu sahaların gerektirdiği özellikler de farklıdır. Mesela bir araba lastiği ile su hortumu farklı özelliklere sahiptir.

Lastiğin ayakkabıcılıkta ve konfeksiyon eşyasında kullanılmasıyla başlayan lastik sanayii, motorlu taşıtların gelişmesinden sonra önem kazandı. Lastiğin özelliklerini geliştirmek için, içine başka maddeler konmaya başlandı. Çinko oksit ve kurşun oksit ilavesiyle vulkanizasyon çabuklaştırılır. Çeşitli boyar maddelerle renkli lastikler imal edilir. Havanın etkisine karşı uzun ömür kazandırmak maksadıyla, antioksidan adı verilen fenoller, aminler ve bazı tuzlar konulabilir. Özellikle araba lastikleri için sağlamlığı arttırmak maksadıyla is (amorfor karbon) konur. Yumuşaklık vermek için stearik asit gibi maddeler ilave edilir.

Makina kayışları ve basınca dayanıklı hortumlar yapmak için, sağlam kumaşlara lastik maddesi emdirilir. Yanmayı önlemek için de lastiğe amyant konur. Otomobil lastiklerine, yine sağlamlığı arttırmak için naylon iplikler katılır.

Çeşitli lastiklerin özellikleri kükürt nispeti ve diğer katkı maddelerine göre farklıdır. Mesela %3-5 nispetindeki kükürt bulunan lastikler çok esnek ve yumuşak olup, kükürt nispeti arttıkça sertlik artar. % 30-50 arasında kükürt bulunduğunda sert lastik elde edilir. Buna ebonit denir ve akümülatör kutuları, tarak, düğme vs. eşya yapımında kullanılır (Megep, 2008).

Doğal lastik, sıcak ortamda kalıplanabilme özeliğine sahiptir. Pişirilmiş yumuşak lastikte ise kalıplanabilme özeliği azalmakta, buna karşılık daha fazla sünek bir malzeme olmaktadır. Mühendislik alanındaki önemi ile beraber lastiğin davranış

özellikleri, lastiğin diğer malzemelerden ayrı olarak göz önüne alınmasını gerektirir. Lastiğin karakteristik özellikleri: dayanımı, aşınmaya karşı direnci ve elastikiyettir. Bu özelliklerinden dolayı lastik, araba ve aksesuarlarında kullanılmaktadır.

Yumuşak lastiğin elastisite modüllü 1–10 MPa (N/mm²) arasındadır. Sert lastiğin elastisite modüllü ise 1000 MPa'dır. Lastik, sıkıştırma yayı gibi kullanılacak yeterli hacimsel sıkışmaya sahip değildir. Yay olarak sadece yanal genişlemelerin olduğu elemanlarda kullanılabilir. Lastiğin enerji yutma özeliği elastik bir malzeme olmasından kaynaklanmaktadır. Diğer yapı malzemeleri ile karşılaştırıldığında, lastik en yüksek enerji yutma kapasitesine sahip olan malzemedir. Lastiğin düşük geçirgenlik özelliğinden dolayı düşük su geçirgenliği istenen ve su yalıtımı yapılan alanlarda kullanılması uygundur. Ayrıca elektrik yalıtımı içinde kullanılabilen lastik, bu özelliğinden dolayı iyi bir izolasyon malzemesidir. Lastiğin paslanmaya, güneş ısınına, petrol ürünlerine, organik kimyasal maddelere, asit ve alkalilere dayanımı da yüksektir.

3.LİTERATÜR TARAMASI

Bu bölümde; atık lastikli betonlar ile yapılan teorik çalışma ve atık lastikli betonlar üzerine yapılmış çalışmalarla ilgili literatür araştırması sonuçları sunulmaktadır.

Beton içerisine atık lastik maddelerin betona katılması betonun birçok özelliğini değiştirmektedir. Bazı araştırmacılar Topçu (2006), Fedroff ve ark. (1996) Atık otomobil lastik parçacıklarını beton karışımında kullanıp, betonun gevrekliği üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Bazı beton elemanların birim ağırlığının düşük, tokluk ve çarpma dirençlerinin yüksek olması istenmektedir. Beton çok kullanılan yaygın bir inşaat malzemesi olmasına rağmen çoğunlukla bu ihtiyaçları karşılayamamaktadır. Bu nedenle, betonun bazı özelliklerini iyileştirmek için, son yıllarda hurda malzemelerinin kullanılması fikri hızlı bir şekilde yayılmaktadır.

Bu tür betonlar hakkında ilk inceleme Amerika'da Clemson Üniversitesi'nde Prof. Rad (1992) tarafından yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda içerisine atık lastik katılmış betonun basınç dayanımının, normal betonun basınç dayanımının %35'i kadar olduğu gözlenmiş ve bu tip betonların yapıların genellikle taşıyıcı olmayan kısımlarında kullanılması tavsiye edilmiştir. Basınç dayanımı 35 MPa olan betonlar üretilirken kaba agrega olarak, iki tip lastik parçası kullanılmıştır. İlk tipte, normal betonda kullanılan

kaba agreganın %25' i kadar lastik parçası kullanılmıştır. İkinci tipte ise kum yerine granüle hale getirilmiş lastik parçacıkları kullanılmış ve basınç dayanımında %85 ve çekme dayanımında da %50 azalma gözlenmiştir. Dayanım düşmesinin sebebi, yük taşıyan katı malzemenin miktarındaki azalma ve lastik agrega sınırlarındaki gerilme yoğunlaşmaları olarak belirtilmiştir. Lastiğin daha fazla enerji yutmasından dolayı, kırılma anındaki plastik deformasyonlar da artmaktadır.

(Sukontasukkul ve Chaikaew, 2005) “Properties of concrete pedestrian block mixed with crumb rubber” adlı çalışmalarında, atık lastiklerin demirsiz beton (parke tasları vb.) içindeki ince ve kalın agregaların yerine belli oranlarda kullanılabilmesi üzerinde çalışılmışlardır. Betona bu lastik parçalarının eklenmesinin betonu daha esnek yaptığını ve betona daha yumuşak bir yüzey kazandırdığını, bunun yanında basınç ve eğilme dayanımını ise bir miktar düşürdüğünü göstermişlerdir.

Çalışmaların birçoğu, beton içerisinde kullanılan lastik parçalarının, geleneksel betona oranla, mekanik özellikleri (basınç ve eğilme dayanımı) düşürdüğünü göstermiştir. Dayanımdaki düşüş, lastik parçası ve Portland çimentosunun birleşmemesinden kaynaklanmaktadır. Her ne kadar lastik parçaları olduğunda betonun mekanik özellikleri düşüyor gibi görünse de, betonun işe yarayan birçok başka özellikleri bulunmaktadır. Örneğin, çimento ağırlığının yaklaşık %30'u kadar lastik parça ile karıştırılmış betonun yapı dışı çatlak dayanımı, şok dalgası emilimi, aside dayanıklılığı iyileştirdiği ve ısı iletkenliğini ve ses seviyesini düşürdüğü görülmektedir. Ayrıca, lastik parçalı beton, geleneksel beton ile arılaştırıldığında, yaklaşık % 78' e kadar düşürülmüş özkütle ile daha hafiftir sonucuna ulaşmışlar.

(Topçu ve Özçelikörs, 1991) yine yukarıdaki düşünce ile % 10 ve 30 oranlarında lastik ilavesi ile elde ettikleri betonlarda fiziksel ve mekanik özellikler üzerinde durmuşlardır. Çalışmaları sonucunda %10 lastik ilaveli betonun tokluğundan % 23'lük bir artış sağlamışlardır. Birim ağırlığı 2060 kg/m^3 değerine düşen bu betonun, taşıyıcılığın aranmadığı ve ses yalıtımının gerekli olduğu yerlerde kullanılmasının yararlı olacağını öngörmüşlerdir. Eser (1992), Aydoğmuş (1993) ve Bıçak (1994) C16 kalitesindeki normal beton içine % 10, 20 ve 30 oranlarında atık oto lastikleri katmışlar ve bu betonların fiziksel ve dinamik özelliklerini incelemişlerdir. Eser ve Bıçak % 10 ve 30 oranlarında 25,4 mm 'lik atık oto lastiği katarak elde ettikleri betonlarda, % 10'luk lastik ilavesiyle üretilen normal betona göre % 23'lük daha fazla tokluğa sahip olduğunu saptamışlardır. 28 günlük silindir basınç dayanımlarında ise % 10 lastik ilavesi için % 65, % 30 lastik ilavesi için de % 94'lük azalmalar bulmuşlardır.

Aydoğmuş ise yaptığı çalışmaların sonucunda lastik ilavesi ile betonun taze ve sertleşmiş birim ağırlıklarında azalmalar olduğunu göstermiştir. Ağırlık bırakma yani çarpma deneyleri ile lastik miktarının vuruş sayısını ve geri tepme miktarını etkilediğini saptamıştır. Basınç ve çekme dayanımlarının lastik miktarının artısı ile orantılı olarak düştüğünü gözlemiştir. % 10 lastik katkılı betonun tokluğunun normal betona göre % 23 daha fazla olması, lastik agregalı betonun özellikle çarpma etkisinde kalan ve dayanımın beklenmediği yerlerde kullanılmasının yararlı olacağı sonucunu çıkarmaktadır.

(Aras 1995, Ersöz ve Girşen 1994) % 15, 30 ve 45 oranlarında atık oto lastiği katarak elde ettikleri betonların taze birim ağırlıklarını bulmuşlardır. Bulunan sonuçlar lastik ilavesiyle betonun taze birim ağırlığının düştüğünü göstermiştir. Bu düşüş, % 15 hacim değişmeleri için iri kırmataşlı ince lastik agregalı betonda 2480 kg/m^3 değerinden 2367 kg/m^3 'e, iri lastikli betonlarda ise 2320 kg/m^3 değerine azalma seklinde görülmektedir. Lastiğin beton agregasına oranla düşük olan birim ağırlığından kaynaklanan azalmalar iri kırma taşlı ince lastik agregalı betonlarda sırasıyla % 1, 2, 3 ve 4, iri lastik agregalı betonlarda ise % 2, 3 ve 6 civarında bulunmuştur. İnce tane boyutlu kırmataşların kullanıldığı ince lastik agregalı betonlarda 2367 kg/m^3 değerinden 2303 kg/m^3 değerine, iri lastikli betonlarda ise 2248 kg/m^3 değerine azalma seklinde görülmektedir. İnce kırmataş agregalı betonlarda lastiğin beton agregasına oranla düşük olan birim ağırlığından kaynaklanan azalmalar ince lastikli betonlarda % 2, 4 ve 7, kaba lastikli betonlarda ise % 2, 4 ve 5 civarında elde edilmiştir. Lastik miktarındaki artışla taze birim ağırlık miktarındaki değişmelerden en fazla etkilenen betonların ince kırmataşlı betonlar olduğu gözlenmiştir.

Girşen, Ersöz ve Aras'ın C16 kalitesindeki lastikli betonlarda yapmış oldukları deneysel çalışmalarda taze birim ağırlığın lastik yüzdesindeki artışla azalma gösterdiği açıkça görülmektedir. Girşen'in yapmış olduğu deneysel çalışmalarda, normal, ince ve iri lastik agregalı betonlarda taze birim hacim ağırlığının sırasıyla 2335 kg/m^3 den, 2125 ve 1940 kg/m^3 değerine düştüğü gözlenmiştir. Ersöz'n yapmış olduğu deneysel çalışmalarda ise normal, ince ve iri lastik agregalı betonlarda taze birim ağırlığın sırasıyla 2432 kg/m^3 den 2168 ve 2080 kg/m^3 değerine düştüğü gözlenmiştir. Bu deneysel çalışmalardan taze birim ağırlığın lastik yüzdesindeki artışla azalma kaydettiği sonucuna varılmıştır. Ayrıca ince lastik agregalı betonlardaki taze birim hacim ağırlık miktarının iri lastik agregalı betonlardaki taze birim hacim ağırlıktan daha fazla olduğu bulunmuştur.

(Ersöz, 1994 ve Yücel, 994) yapmış oldukları deneysel çalışmalarda, normal ve iri kırmataşlı, ince ve iri lastik agregalı betonların 20 farklı yüzey noktasında yapılan Schmidt deneylerinde elde edilen yüzey sertlik değerleri, normal betonlarda ortalama 29.10 olarak bulunmuş ve bu değerler iri kırmataşlı ince lastik agregalı betonlarda sırasıyla % 6.7, 17, 38 ve % 14, 35, 47 olarak, iri lastik agregalı betonlarda ise % 12, 30, 50 ve % 39, 67, 74 oranlarında azalışlar göstermiştir. Ersöz'ün yapmış olduğu çalışmalarda ortalama 23.8, 21.7, 18.3, 22.7, 19.5 ve 16.9 olarak belirlenen Schmidt yüzey sertlik değerleri, Yücel'in yapmış olduğu çalışmalarda ortalama 25.6, 21.4, 19.8, 20.9, 17.4 ve 16.7 olarak belirlenmiştir.

Lastik agregalı beton numunelere farklı 20 noktadan yapılan Schmidt yüzey sertliği deneysel çalışmalarında Schmidt sertliği değerleri azalmanın, iri lastik agregalı betonlarda ince lastik agregalı betonlardan daha belirgin olduğu gözlenmiştir. Schmidt değerindeki bu azalma sert bir malzeme olan kırmataşın betondan belli bir miktar çıkarılıp yerine esnek bir malzeme olan lastiğin katılmasından kaynaklanmaktadır. Karışımlara ilave edilen ince kırmataşlı lastik agregalı betonlarda, 7 günlük ağırlık kaybı değerleri sırasıyla % 10, 14 ve 21, 28 günlük ağırlık kaybı değerleri ise sırasıyla % 8, 5 ve 4'tür. Bu serinin ince kırmataşlı iri lastik ilavelerine karşılık 7 günlük ağırlık kaybı değerlerinde % 6, 23 ve 15, 28 günlük ağırlık kaybı değerlerinde ise % 4, 4 ve 2'lik azalışlar görülmektedir. İnce kırmataşlı normal betonun 7 ve 28 günlük ağırlık kaybı değerleri % 8 ve 17 iken % 45 ince lastik agregalı betonlarda % 21 ve 4, % 45 iri lastik agregalı betonlarda ise % 15 ve 2'lik azalışlar görülmektedir. Bu sonuçlardan açıkça görülmektedir ki iri ve ince kırmataşlı betonlarda lastik miktarının artması ile 28 günlük betonun ağırlık kaybı değerleri sistematik olarak azalma göstermektedir. Bu azalışların iri kırmataşlı betonlarda daha fazla olduğu belirlenmiştir. Ayrıca iri lastik agregalı betonların çarpma darbelerine karşı daha dayanıklı olduğu da gözlenmiştir.

Yılmaz ve Değirmenci; 0-0,25, 0,25-0,50 ve 0,50-1,00 mm olarak 3 farklı boyutta atık lastik, uçucu kül ve portland çimentosunun yapı malzemesi olarak bir arada kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Çalışmada; % 10 PÇ, % 70 uçucu kül ve % 20 oranlarında atık lastik ile % 10 PÇ, % 60 uçucu kül ve % 30 oranlarında atık lastik olmak üzere 2 grup örnek üzerinde deney yapılmıştır. 14, 28 ve 56 gün sonundaki eğilme ve basınç dayanım verilerine göre atık lastik oranının artması ile eğilme ve basınç dayanımı değerlerinin azaldığını; tane boyutlarının artması ile doğru orantılı olarak eğilme ve basınç dayanımı değerlerinin arttığını belirlemişlerdir (Yılmaz, Değirmenci, 2009).

(Eldin ve Senouci, 1994) “Measurement and prediction of the strength of rubberized concrete” adlı çalışmalarında lastik agregalı betonlarda üç tip lastik kullanılmıştır. Bu üç tip lastik ilavesiyle 35 MPa dayanımındaki betonlardan farklı bileşimlerde lastikli betonlar üretilmiştir. Birinci tip betonlarda normal beton içindeki iri agregaya yerine % 25 hacim oranında artan lastik agregaya, ikinci grup betonlarda ise sadece kum yerine öğütülmüş lastik ilave edilmiştir. İri agregaya yerine lastiklerin konulması ile basınç dayanımlarında % 85, çekme dayanımlarında ise % 50’ye varan azalmalar gözlenmiştir. Öğütülmüş lastikle kumun yer değiştirmesi sonucunda ise basınç dayanımlarında % 65’lik azalma belirlenmiştir. Dayanımdaki azalmalara taşıyıcı kum veya kırmataş miktarının azalmasıyla, lastik agregaların kumun kenarındaki çimento harcında oluşan gerilme yığılmalarının neden olduğu belirtilmiş ve lastik agregalı betonun yüksek dayanım istenmediği yerlerde kullanılabileceği söylenmiştir.

(Turatsinze, Bonnet ve Granju, 2005) “Mechanical characterisation of cement-based mortar incorporating rubber aggregates from recycled worn tyres” adlı çalışmalarında normal harç ile lastik agregalı harcı karşılaştırmışlardır. Harç karışımındaki kumu % 20 ve 30 oranında azaltarak yerine lastik agregaya koymuşlardır. Lastik ilavesinin, basınç ve çekme mukavemetlerini azalttığı, elastisite modülünü düşürdüğü ve deformasyon kapasitesi açısından yararlı olduğunu göstermişlerdir.

(Tantala, Lepore ve Zandi, 1996) “Quasi-elastic behavior of rubber included concrete ” adlı çalışmada yol kenarlarında bulunan ses kırıcı bariyerlerin, içerisinde atık lastik bulunan betonlardan yapılmasının uygun olacağını belirtmişlerdir. Savaş, Ahmad ve Fedroff (1996) % 10, %20 ve %30 atık lastik kullanılmış betonların donma-çözülme dirençlerinde önemli bir değişikliğin olmayacağını ileri sürmüşlerdir. Oysa atık lastik katılmış betonların içerisindeki hava miktarı oldukça fazladır. Beton içerisinde hava boşluğunun bulunması betonun donma-çözülme direncini önemli derecede iyileştirmektedir.

(Hernandez-Olivares ve Barluenga, 2000) “Fire performance of recycled rubberfilled high-strength concrete” adlı çalışmalarında silis dumanı içeren yüksek dayanımlı betona lastik agregaya katarak betonun yangın performansını artırmayı amaçlamışlardır. Yüksek sıcaklıklarda, lastik parçalarının yanmasıyla oluşacak kanallardan su buharının çıkış yapabileceğini, dolayısı ile betonun parçalanma riskinin azalacağını ve yangın testi yapılan örneklerin sabit derinliklerindeki ısının lastik miktarı arttıkça azaldığını belirtmişlerdir.

Pelisser ve Zavarise tarafından yapılan bir diğer araştırmada, referans, %0-6,5 arasındaki oranlarında doğal atık lastik ve sodyum hidroksit (1M NaOH) çözeltisinde yıkanarak iyileştirilmiş atık lastik ile %15 oranında silis dumanı katılarak hazırlanmış 3 farklı numune üzerinde 2, 7 ve 28 gün sonlarında basınç dayanımı deneyleri uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; iyileştirilmiş ve silis dumanı katılmış betonların 28 gün sonundaki basınç dayanımlarında referans betona göre %14 oranında bir azalma görölürken, silis dumanı katılmamış ve iyileştirilmemiş atık lastikli betonlarda %67 oranında bir dayanım düşüklüğü olduğu tespit edilmiştir (Pelisser ve Zavarise, 2011).

Benazzouk ve arkadaşları hafif inşaat malzemelerini geliştirmek için yapmış oldukları çalışmalarda; imento matrisi içerisinde ince agrega olarak atık lastiklerin kullanım potansiyelini araştırmışlardır. 28 günlük hidrasyon gelişimlerini esas alarak fiziksel ve mekanik deneyler yapmışlardır. Hazırlanan numunelere hacimce % 0, 10, 20, 30, 40 ve 50 oranlarında standart kum yerine atık lastik ilave etmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre numunelerin taze birim ağırlıkları sırasıyla 2010, 1917, 1834, 1772, 1706 ve 1600 kg/m³, sertleşmiş birim ağırlığı olarak ise 1910, 1740, 1620, 1473, 1300 ve 1150 kg/m³ olarak belirlenmiştir. Ayrıca basınç dayanımları yine sırasıyla 82, 49,7, 40,2, 23,3, 16 ve 10,5 MPa, eğilme dayanımları da 3,4, 3,8, 4,2, 4,0, 3,8 ve 3,2 MPa olarak tespit edilmiştir. Elde edilen verilere göre birim ağırlıklarında ve basınç dayanımlarında katkı oranı arttıkça bir azalma görölürken. Eğilme dayanımlarında ise %50 ilaveli numunelerde bir azalma görölürken diğer oranlarda bir artma görölürken (Benazzouk ve ark; 2007, 2008).

Topçu çalışmasında; betonda hacimce % 15, 30 ve 45 oranlarında ince veya kaba agrega yerine lastik agrega kullanmıştır. Betonda lastik miktarı arttıkça sertleşmiş birim ağırlık ve ultrases geçiş hızının azaldığını, bu azalmanın kaba agregalı betonlara göre ince agregalı betonlarda daha fazla olduğunu gözlemlemiştir (Topçu 1996).

(Albano ve ark., 2005) "Influence of scrap rubber addition to Portland I concrete composites: Destructive and non-destructive testing" adlı çalışmalarında atık oto lastiklerini beton içerisinde kısmi ince agrega olarak kullanarak elde ettikleri kompozitleri, hasarlı ve hasarsız deneylere tabi tutmuşlardır. Ağırlık oranının arttırılarak lastiklerin parçacık boyutu azatlığında (0.59 ve 0.29 mm) kompozitin taze haldeki akısı ve yoğunluğunun, aynı zamanda kuru durumda da basınç ve çekme dayanımının azaldığını belirtmişlerdir.

4. MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal ve yöntem bölümünde ilk olarak atık lastik katkılı beton üretiminde kullanılan malzemelerin tanımlanması yapılmakta, ardından beton karışımları için kabul edilen esaslar, bileşim hesaplamaları ve 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 deneyler ve deney sonuçları verilmektedir.

4.1. Kullanılan Malzemelerin Tanımlanması

Atık lastik katkılı hafif beton üretiminde; agrega olarak Batman ili sınırları içerisinde temin edilen Destar İnş. Harf. Ve Kum Ocağı'ndan alınan kırılmış iri ve ince agrega kullanılmıştır. Deney çalışmasında kullanılan lastik agregası Gaziantep yöresinde bulunan GAZİSAN Geri kazanım San ve Tic.Ltd.Şti 'den sağlanan lastik 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 oranında bulunan su miktarını 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; agrega 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 eleğin 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 5'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 4.1'deki elekler deney çalışmasında kullanılmıştır.



Şekil 4.1 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

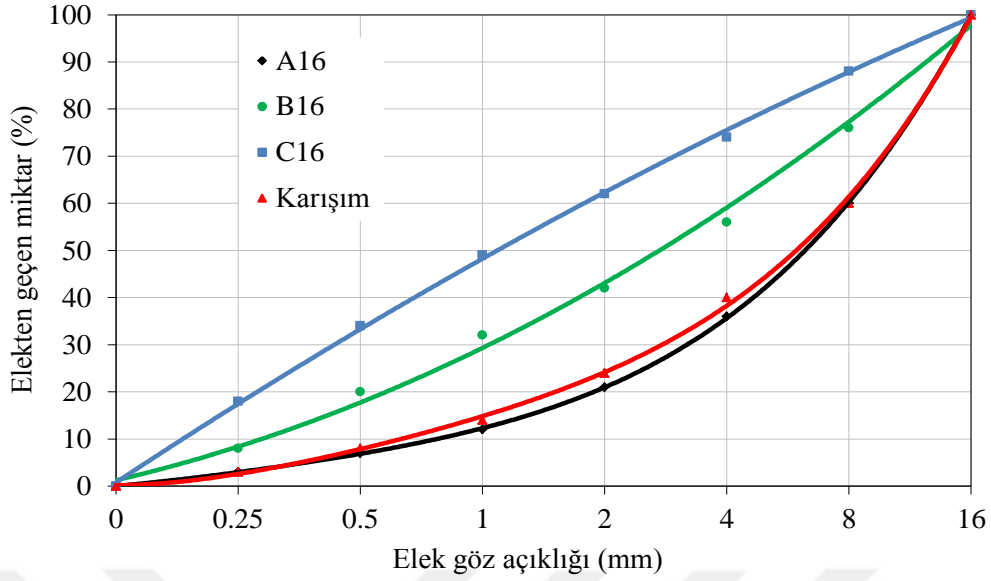
kullanılmasının daha uygun olduğunu göstermiştir. Deneysel araştırmaların sonucuna göre, imento miktarı az olan betonlarda, mümkün olan en büyük agrega tane boyutunun beton dayanımını artırdığı, fakat imento miktarı çok olan betonlarda en büyük tane boyutunun 25-40 mm'yi geçmemesi gerektiği belirtilmektedir. 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 izelge halinde gösterilir. A16: Elek açıklık oranı standartlarında en büyük agrega tanesi ifade eder. B16: Elek açıklık oranı standartlarında orta büyüklükte agrega tanelerini ifade eder. C16: Elek açıklık oranı standartlarında en küçük agrega tanesini ifade eder. Karışım agregaların elek analiz sonucu elekten geçen miktarı yüzde olarak Şekil 4.2'de görülmektedir.



Şekil 4.2 Karışım Agregalarının Elek Analizi

Agrega numunesindeki tanelerin değişik boyutlarda olması, sabit bir hacim içerisinde yer alan agregataneleri arasında daha az boşluk bulunmasına yol açmaktadır. Betonda kullanılan kum çok ince tanelerden oluşursa, taze betonun islenebilirliği artmakta fakat su ihtiyacı da artmaktadır. Karışımındaki su miktarı, taze betonun islenebilme özelliğini etkilemektedir. Su miktarı arttıkça islenebilirlik iyi olmaktadır. Ancak su/çimento oran arttıkça beton dayanımı ve dayanıklılığı azalmaktadır. Şayet kumdaki iri taneler fazla ise, islenebilme 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 atık lastik agregalarının fiziksel özellikleri Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1 Çalışmada Kullanılan Agregaların Fiziksel Özellikleri

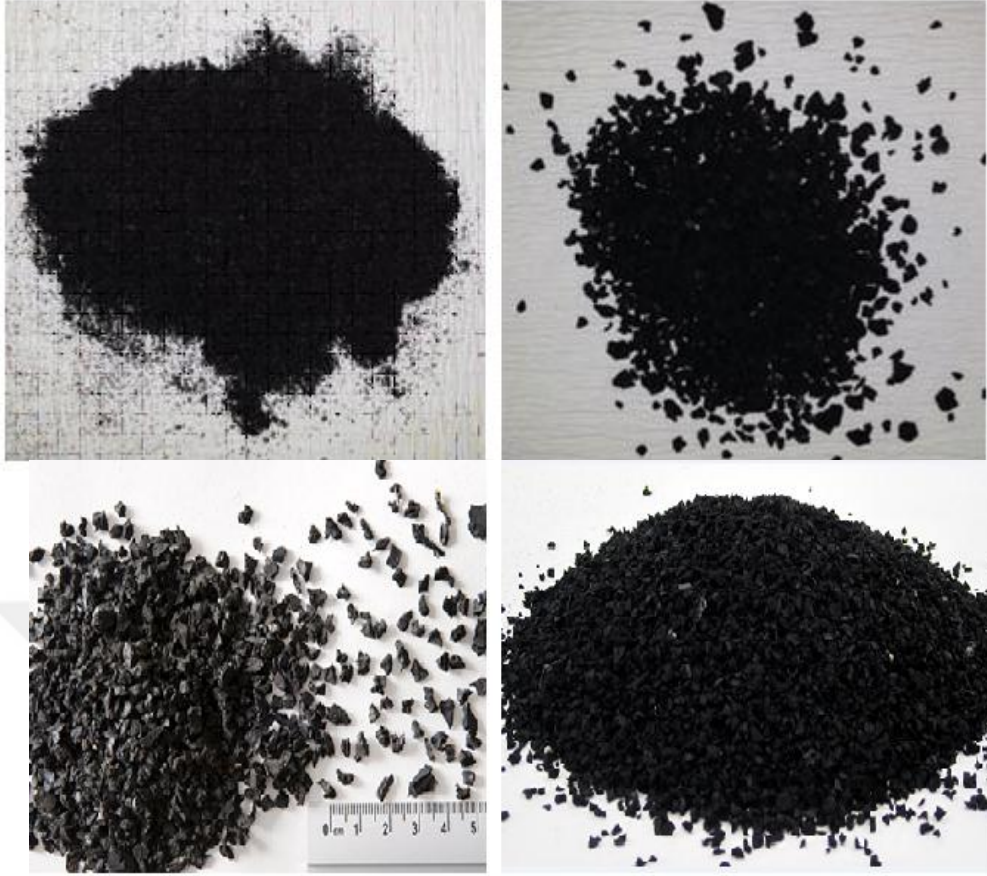
Agrega	Çakıl ve kum		ALA	
	Özgül ağırlık (g/cm ³)	Su emme (%)	Özgül ağırlık (g/cm ³)	Su emme (%)
8-16	2.683	0.431	-	-
4-8	2.671	0.666	1.080	-
2-4	2.694	0.661	1.115	-
1-2	2.680	0.683	1.005	-
0.5-1	2.632	2.195	0.712	-
0.25-0.5	2.574	2.949	1.027	-
0-0.25	2.510	3.445	1.091	-

4.1.2. Atık Lastik agregası

Ömrünü tamamlamış atık lastikler çeşitli kesim ve öğütme yöntemleri uygulanarak beton içerisinde agrega olarak kullanılmaya hazır hale getirilebilmektedir. Atık lastikler çeşitli firmaların ürettiği makineler sayesinde kolayca istenilen boyutta kesilebilmektedir. Kesim sonrasında parça lastiklerin boyutları kesim şartlarına ve kesim makinelerine bağlı olmakla birlikte uzunlukları 30-46 cm gibi büyük, genişlikleri ise 10-15 cm gibi düşük olmaktadır. Atık lastikler, bütün halinde parçalanmamış lastik olarak, yırtık lastik olarak, öğütülmüş lastik olarak veya kırıntı lastiklerden elde edilebilirler (Emiroğlu, 2006).

Atık lastiklerin birim ağırlıkları lastiği üreten firmaya göre değişiklik göstermektedir. Bu durum sadece bütün lastiklerde ve ince kırıntı halindeki lastiklerde meydana gelmektedir. Deney çalışmasında kullanılan atık lastik agregalarının fiziksel ve kimyasal özellikleri verilmiştir (Emiroğlu, 2006).

Lastikler sudan biraz daha hafiftirler ve su üzerinde yüzdükleri için birim ağırlıklarını tayin etmek oldukça zordur. Şekil 4.3'te aşağıda farklı boyutlarda kıyılmış atık lastik agregaları şekilde gösterilmiştir.



Şekil 4.3 Atık Lastik Agregaları

Lastik ve lastik ürünlerinin zemin ve taşlardan daha hafif oldukları açıktır. Diğer katı malzemelerde olduğu gibi parça boyutunun azalması ve dış basınç artışı genellikle lastik parçacıklarının yoğunluğunu artırır. Fakat lastik parçacıklarının esnekliği ve şekil değiştirebilmesi bu yoğunluk değişimini etkiler. Lastik kauçuğun ısı iletkenliği oldukça kötüdür ve zemin ve agreganın tersine daha iyi ısı yalıtıcıdır. Isı yalıtkanları parça boyutuna, takviye çelik içeriğine, sıkıştırma oranına, nem içeriğine, çevre sıcaklığına ve diğer değişkenlere bağlıdır. Örneğin, nem içeriği %1'den daha az ve 1 mm boyutundaki parçacıkların ısı geçirgenliği $301,68 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ iken nem içeriği %5 ve 25 mm boyutundaki parçacıkların ısı geçirgenliği $529,2 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ olmaktadır. Lastik kauçukların ses geçirgenliğinin zayıf olması nedeniyle ses yutucu olarak kullanılabilirler. Lastik kauçuklar, mimari amaçlarla kullanılan ağaç, kâğıt, köpük ve kumaş gibi bazı yapı malzemelerinde daha yüksek bir sıcaklıkta (yaklaşık $306 \text{ }^\circ\text{C}$) yanmaya başlamaktadırlar. Lastik parçacıklarının sıkıştırılabilirliği, lastiklerin titreşimleri soğurmasına imkân

tanır. Lastik parçacıklarının deprem titreşim kontrolü olarak kullanımı hakkındaki çalışmalar sürmektedir (Emiroğlu, 2006).

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 4.2'de verilmektedir.

Tablo 4.2 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. Deney çalışmalarında kullanılan silis dumanının fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 4.3 'te verilmiştir.

Tablo 4.3 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

Atık lastik katkılı 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 4.4'te verilmiştir.

Tablo 4.4 Süper Akışkanlaştırıcı ve Hava sürükleyicisi Fiziksel Özellikleri

Katkı	Süper akışkanlaştırıcı	Hava sürükleyicisi
Yoğunluk (g/cm ³), 20°C	0.45-0.6	1.00 - 1.02
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. Atık Lastikli Beton Karışımlarının 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 atık lastik agregasının hacimce karışım oranlarına karar verilmiştir. Agregat 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 4.4'te görüldüğü gibi beden gücü kullanılarak karıştırma işlemi yapılmıştır.



Şekil 4.4 Betonun Hazırlanması

Yapılan literatür araştırmalarında akışkanlaştırıcı katkı maddesi ve hava sürükleyici katkı maddesinin kullanım dozajları aralığında en uygun 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 gereken orana karar verilmiştir. Yukarda anlatılan araştırma sonucunda üretilecek tüm atık lastikli hafif betonların etkin su/çimento oranı 0,48 olarak belirlenmiştir. Üretilen hafif beton karışımlarında toplam agrega hacminin sırasıyla normal beton %10, %20, %30, %40, %50, %60 oranında atık lastik kullanılmıştır. Hazırlanan betonun küp kalıplara yerleştirilmesi ve 24 saat dinlenmeye bırakılması işlemi için Şekil 4.5'te görüldüğü gibi istiflenmiştir.



Şekil 4.5 Betonun Numunelere Yerleştirilmesi

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

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

Atık Lastik -10 : %10 atık lastik agregası, %90 kum içeren hafif beton

Atık Lastik -20 : %20 atık lastik agregası, %80 kum içeren hafif beton

Atık Lastik -30 : %30 atık lastik agregası, %70 kum içeren hafif beton

Atık Lastik -40 : %40 atık lastik agregası, %60 kum içeren hafif beton

Atık Lastik -50 : %50 atık lastik agregası, %50 kum içeren hafif beton

Atık Lastik -60 : %60 atık lastik agregası, %40 kum içeren hafif beton

4.2.1. Atık Lastikli Hafif Betonun Üretimi, Yerleştirilmesi ve Saklanması

Belirlenen karışımlarla her seride elastisite modüllerin bulunması için 10x10x10 cm boyutlarında 6'er 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 çıkarılarak 28 gün boyunca $22\pm 3^{\circ}\text{C}$ 'deki doymuş su içinde saklanmıştır. Üretilen betonların gerçek bileşimleri ve taze beton özellikleri Tablo 10'te verilmektedir. Üretilen betonlar küp kalıplara bırakıldıktan 24 saat sonra Şekil 4.6 'da görüldüğü gibi kalıplardan çıkarılmış ve kür havuzuna yerleştirilmiştir.



Şekil 4.6 Numunelerin Kalıplardan Çıkarılması

Tablo 4.5'in oluşturulması aşamasında, öncelikle yukarıda belirtilen bağıntılar kullanılarak teorik malzeme miktarları ve teorik taze beton birim ağırlıkları hesaplanmıştır. Farklı oranlarda atık lastik agregası içeriğine sahip karışımlar, hesaplanan teorik malzeme miktarlarına göre üretilmiş ve her üretim sonunda taze betonların gerçek birim ağırlıkları belirlenmiştir. Küp kalıplardan çıkarılan numuneler Şekil 4.7'de görüldüğü 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 m³'lük beton hacminden, toplam malzeme hacminin çıkartılması ile hesaplanmıştır.



Şekil 4.7 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 4.5'te verilmekte olan gerçek malzeme miktarlarına ulaşılmıştır.

Tablo 4.5 1 m³'lük Beton İçin Karışım Oranları

Karışım tipi		Normal Beton	Atık Lastikli Beton					
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	1.750	1.750	3.500	3.500	5.250	5.250
Hava sürükleyicisi (kg)		-	1.260	1.260	1.260	1.260	1.260	1.260
Normal agrega (kg)	16-8	748.969	678.040	678.040	674.463	674.463	670.886	670.886
	8-4	372.780	337.477	337.477	335.696	335.696	166.958	-
	4-2	300.774	272.290	272.290	169.284	-	-	-
	2-1	187.032	118.524	50.796	-	-	-	-
	1-0.5	110.205	49.884	16.628	-	-	-	-
	0.5-0.25	89.834	32.531	-	-	-	-	-
	0.25-0	52.561	31.722	-	-	-	-	-
ALA (kg)	8-4	-	-	-	-	-	67.521	135.041
	4-2	-	-	-	42.043	112.114	111.519	111.519
	2-1	-	19.041	44.430	63.136	63.136	62.801	62.801
	1-0,5	-	13.498	22.496	26.853	26.853	26.710	26.710
	0.5-0.25	-	19.467	32.445	32.274	32.274	32.103	32.103
	0.25-0	-	6.892	20.676	20.567	20.567	20.458	20.458

4.3. Atık Lastikli 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 atık lastik katkılı hafif betonların taze beton birim ağırlıkları Tablo 10' 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. Agregası 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. Aradaki yükseklik farkı çökme değeri olarak Şekil 4.8'de gösterildiği gibi (cm) cinsinden vermiştir.



Şekil 4.8 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 doymun 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. Her bir yaş için 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 ağırlığına ulaşmalarının ardından, mekanik

deneyler yapılmıştır. Mekanik deneyler uygulanan numunelerin, hava kuru birim ağırlıkları Tablo 12’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 cm boyutlarındaki 5 adet küp numune kullanılarak 0.24 MPa/sn (ATTM C39) yükleme hızında basınç deneyleri yapılmıştır. Küp basınç dayanımı deneylerinde 1000 KN kapasiteli KAL-TEST 3000 Marka basınç presi kullanılmıştır. Şekil 4.9’da görüldüğü gibi basınç dayanımı deneyi sırasında kullanılan küp numunelerdeki değişim görülmektedir.



Şekil 4.9 Küp Basınç Dayanım Deneyi

Yapılan basınç dayanımı deneylerinde hafif beton numunelerindeki dayanım ile ilgili oluşan ekran görüntüsü Şekil 4.10’da görülmektedir.



Şekil 4.10 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. Deney Aşamaları;

Düzgün 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 doygun hale getirilmiş numune Şekil 4.11'de görülen Arşimed terazisinin kefesine konularak su içerisine daldırılır. Kefe hariç numune kütlesi 0.1 gram hassasiyetle tartılır (M_{ds}), Nemli bez ile silinen numunenin bekletilmeksizin 0.1 gram hassasiyetle havadaki kütlesi tartılır (M_{dh}), 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_k 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 4.11 Arşimed Terazisinin

$$\text{Kuru yoğunluk : } \rho_k = M_k / V \text{ (g/cm}^3\text{)} \quad (4.1)$$

$$\text{Kuru birim hacim ağırlığı: } \gamma_k = 9,81 \times \rho_k \text{ (kN/m}^3\text{)} \quad (4.2)$$

Tartım işlemleri sonucunda üretilen beton numunelerinin kuru yoğunlukları yukarıda gösterilen formüller kullanılarak elde edilen veriler kaydedilmiştir.

4.3.2.3. Gözeneklilik ve Su emme Deneyi

Deney numunesi yüzeyi pürüzsüz olanlar arasından seçilir ve tartılır. Alınan numune 24 saat süreyle suda bekletilir. Sudun çıkarılan küp numune yüzeyindeki su süzülecek kadar kurutulmaya bırakılır. Numune tartılarak elde edilen değer kaydedilir. (M_2) 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. (M_1) 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:

$$m = [(M_1 - M_2)/M_1] \times 100 \quad (4.3)$$

Burada:

m: İri agreganın su emme oranı (%)

M_1 : Numunenin etüv kurusu ağırlığı (g)

M_2 : Numunenin Doygun Kuru Yüzey durumdaki ağırlığı (g)

M_3 : 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.

$$U_{sh} = \frac{\Delta L}{t} \quad (4.4)$$

Ses iletkenliklerin belirlenmesi deneyleri yapılmadan önce yaklaşık 100 mm çapında ve 10 mm kalınlığındaki numuneler TS 3649 'da belirtildiği şekilde $105 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5$ $^\circ\text{C}$ sıcaklıktaki etüvde 24 saat ara ile yapılan ardışık tartımlarda elde edilen ağırlık farkı %1 veya daha az oluncaya kadar kurutulmuştur. Hazırlanan numuneler Şekil 4.12'de gösterildiği gibi ses iletkenlik ölçümü yapılmıştır.



Şekil 4.12 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 tel yöntemidir. Plaka yönteminde malzemenin iki yüzeyi arasında okuma yapılır. Sıcak tel yönteminde malzemenin iki yüzenden ölçüm yapılması gerekmektedir. Her iki yöntem de beton için uygulanabilmektedir. Sıcak tel yönteminde daha fazla okuma yapılabilmesi sebebiyle daha uygun ve ekonomiktir. Bu sebeple ısı iletkenliklerinin belirlenmesi amacıyla sıcak tel yöntemi tercih edilmiştir.

Isıl özellikleri değerlerinin belirlenmesi deneyleri 10x10x10 cm 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 4.13'te gösterildiği gibi ISOMET Marka 2104 Model (*HEAT TRANSFER ANALYZER*) cihaz kullanılarak ölçüm yapılmıştır.



Şekil 4.13 Isıl Özellik Ölçüm Cihazı

Kullanılan cihazın ölçüm parametreleri ve hassasiyeti aşağıda Tablo 4.6'da verilmiştir.

Tablo 4.6 Isıl Özellik Analizörü 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 4.13'te görüldüğü gibi üçüncü bir ölçüm yapılmıştır. Yapılan 3 ölçümün ortalama değeri alınarak elde edilen ısıl özellik değerleri kaydedilmiştir.

5. ARAŞTIRMA BULGULAR VE TARTIŞMA

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 değerleri Tablo 5.1'de gösterilmektedir. Atık lastik agregası kullanımına bağlı olarak çökme değerlerinde artma ve azalma meydana geldiği tespit edilmiştir.

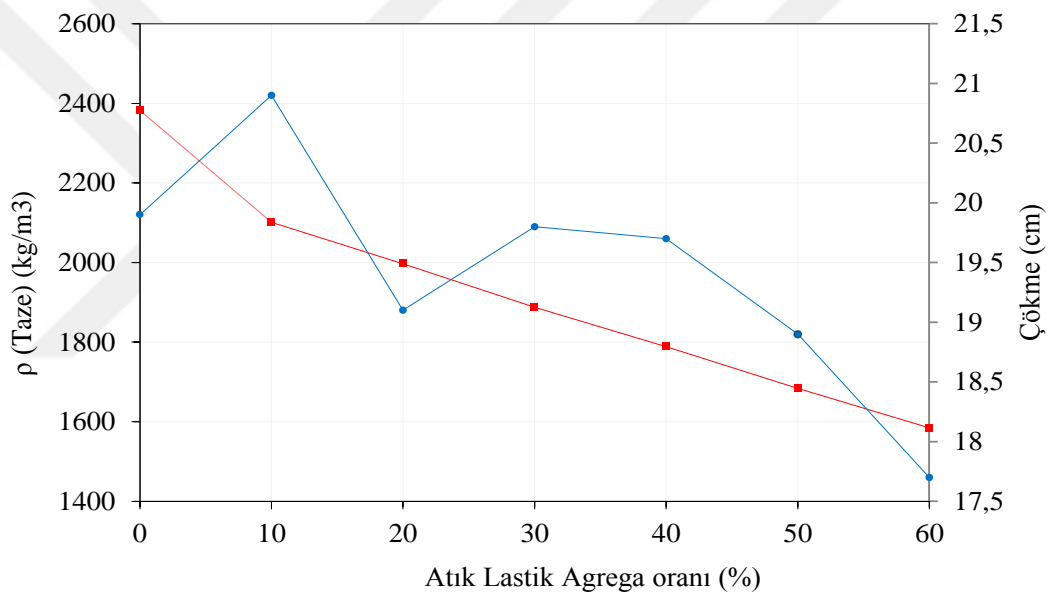
Tablo 5.1 Taze Beton Sonuçları

	ρ (Taze) (kg/m ³)	Çökme (cm)
Normal Beton	2382,385	19,9
Lastik- 10	2100,856	20,9
Lastik- 20	1996,768	19,1
Lastik- 30	1887,556	19,8
Lastik- 40	1788,343	19,7
Lastik- 50	1683,946	18,9
Lastik- 60	1584,508	17,7

Atık lastik agregası kullanımına bağlı olarak yoğunluk değerlerinde azalma eğilimi olduğu, maksimum-minimum taze yoğunluk 2100,856 – 1584,508 kg/m³ arasında değerler aldığı tespit edilmiştir. Elde edilen taze betonda lastik miktarına bağlı olarak birim ağırlıktaki değişim sonuçları, teorik olarak hacimsel beton karışım hesabındaki değerlerle paralellik göstermektedir. Deney sonuçları, beton içerisinde lastik miktarı arttıkça taze betonun birim ağırlığının da düştüğünü göstermiştir. Beton içerisine hacimce %10, 20, 30, 40, 50 ve 60 oranlarında lastik ilavesi ile taze beton yoğunluğun normal betona oranla %50,6 oranında, atık lastik ilavesi ile birim ağırlıkta azalmalar meydana gelmiştir. Yoğunluktaki azalmasının sebebinin, hafif agregası olan atık lastik agregasının kullanılmasından kaynaklı olduğu anlaşılmaktadır.

Beton içerisindeki lastik agregası miktarı arttıkça çökme değerlerinde bir azalma meydana gelmektedir. Görüldüğü gibi taze beton değerleri Atık lastikli agregasının %10 ile %60 oranında kullanılması durumunda maksimum ve minimum çökme değerleri sırasıyla 20,9 – 17,7 cm arasında değerler aldığı hesaplanmıştır. Ayrıca %60 Atık lastik kullanımında en yüksek değeri olan 17,7 cm çökme olduğu tespit edilmiştir. Yapılan araştırmalarda Tablo 2.2'de çökme sınır değeri 12 cm olarak bulunmuştur.

Deney sonuçlarına bakıldığında normal beton ile %60 atık lastik agregası kullanıldığında çökme değerlerinin işlenebilirlik açısından bir sorun oluşturmadığı tespit edilmiştir. Şekil 5.1'de grafikte görüldüğü gibi taze yoğunluk ve çökmenin atık lastik agregası kullanmasına bağlı olarak ilişki elde edilmiştir.



Şekil 5.1 Taze Yoğunluk ve Çökme Arasındaki İlişki

Çökme miktarındaki değişim, lastiklerin az da olsa su emme kapasitesinden ve lastikler ile çimento harcı arasındaki yüzeysel sürtünmelerden meydana gelmektedir. İnce lastik agregası, iri lastik agregasına oranla daha fazla çökme göstermişlerdir. Bu nedenle, çökme miktarının lastiklerin su emme kapasitesinden ziyade lastikler ile çimento harcı arasındaki yüzeysel sürtünmelerden kaynaklandığı açıktır.

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, Gözeneklilik, Su Emme Kapasitesi, Kuru ve Doygun yoğunluk değerleri, Isı iletkenlik, Özgül Isı, Isı Yayımlım, Ultra Ses hızı, Ultra Ses Geçiş Hızı ve Çökme değişimleri gözlenmiştir.

5.2.1. Basınç Dayanımı, Emme Kapasitesi

Bu çalışmada, betona atık lastik içeren ve içermeyen beton numunelerin basınç dayanımları 28. günün sonunda belirlenmiştir. Deney sonuçları Tablo 5.2’de ve Şekil 5.2’te verilmektedir.

Tablo 5.2 Sertleşmiş Beton Sonuçları

	σ (Mpa)	Su emme (%)
Normal Beton	61,52	1,453
Lastik- 10	35,03	1,892
Lastik- 20	19,90	2,893
Lastik- 30	10,52	5,087
Lastik- 40	6,24	5,922
Lastik- 50	4,47	6,279
Lastik- 60	2,94	7,265

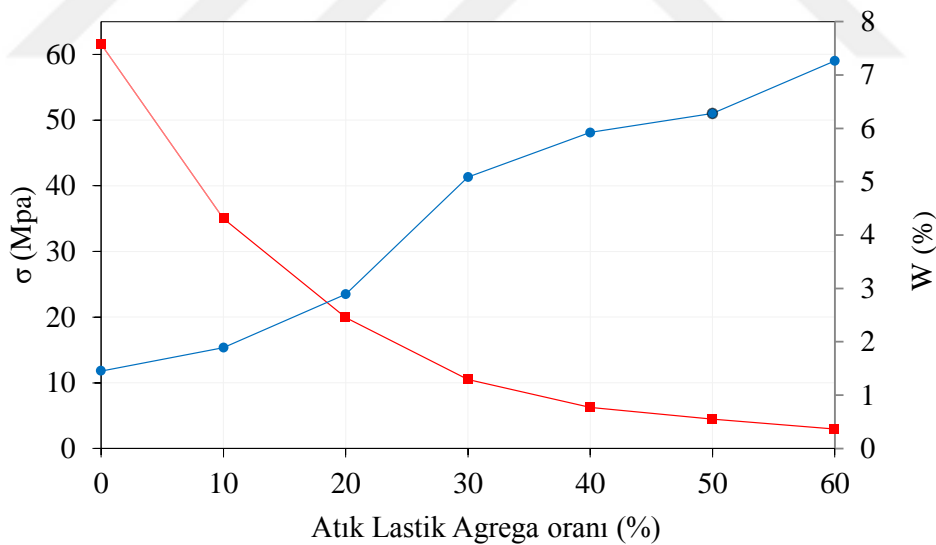
Şekil 5.2’de görüldüğü gibi 28. günlük maksimum-minimum basınç dayanımı değerleri 61,52 – 2,94 MPa değerleri arasında basınç dayanım azalması meydana gelmiştir. Normal beton ile %10 ve %60 oranında atık lastik ile üretilen numunelerde yapılan hesaplamalar sonucunda, numunenin basınç dayanımında % 95 oranında azalma olduğu görülmüştür.

Beton içerisindeki lastik agrega miktarı arttıkça basınç dayanımında azalma meydana gelmiştir. Şekil 5.2’de görüldüğü gibi atık lastikler ile çimento harcı arasındaki yapışma yüzeyine göre daha az olması basınç dayanımında düşmesinde

önemli rol oynamıştır. Basınç dayanımındaki azalmanın bir diğer sebebi de kullanılan hava sürükleyici katkı maddesidir.

Bu azalmanın sebebi kullanılan atık lastik 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 hafif ve esnek agregalarla değişmesi sonucunda betonun içerisindeki artan boşluktan kaynaklanmaktadır. Betonun içindeki boşluk miktarı arttıkça basınç dayanımında düşüş meydana gelmektedir. Sonuç olarak %10 ve % 20 atık lastikle üretilen numunelerin beton yapı elemanlarında kullanılmasında 17,3MPa altına düşmediği elde edilmiştir (Neville, 2006).

Şekil 5.2'de görüleceği gibi su emme kapasitesi ile agrega oranı arasında doğru orantı vardır. Atık lastik oranı arttıkça su emme kapasitesi de artmakta. Normal betonun su emme kapasitesi %1,453 iken %60 atık lastik kullanımında bu değer %7,265 yükseldiği görülmektedir.



Şekil 5.2 Basınç Dayanımı, Su Emme Kapasitesi Arasındaki İlişki

Bu çalışmada ortaya çıkan en olumsuz durum, lastik içeren numunelerinin su emme yüzdelerinin, lastik yüzdesi arttıkça artmasıdır. Normalde lastik su emmesi oldukça düşük olan bir malzemedir. Ancak taze karışımın kalıplara sıkıştırılması esnasında, lastikte meydana gelen esnemelerden dolayı, beton ile lastik arasında

boşluklar oluşmaktadır. Daha sonra bu boşluklar su ile dolmaktadır. Diğer bir ifadeyle, lastik yüzdesi arttıkça, boşluk oranı artmakta ve dolayısıyla su emme yüzdesi de artmaktadır. Bu çalışmada kullanılan numunelerin hiçbiri için su emme değeri, öngörülen sınır değerinde değildir.

5.2.2. Yoğunluk, Ultra Ses Geçiş Hızı ve Ultra Ses Geçiş süresi

28. günün sonunda beton numuneleri üzerinde yapılan yoğunluk ve ultra ses geçiş hızı değerleri beton içerisindeki lastik agrega içeriği arttıkça azalma göstermiştir.

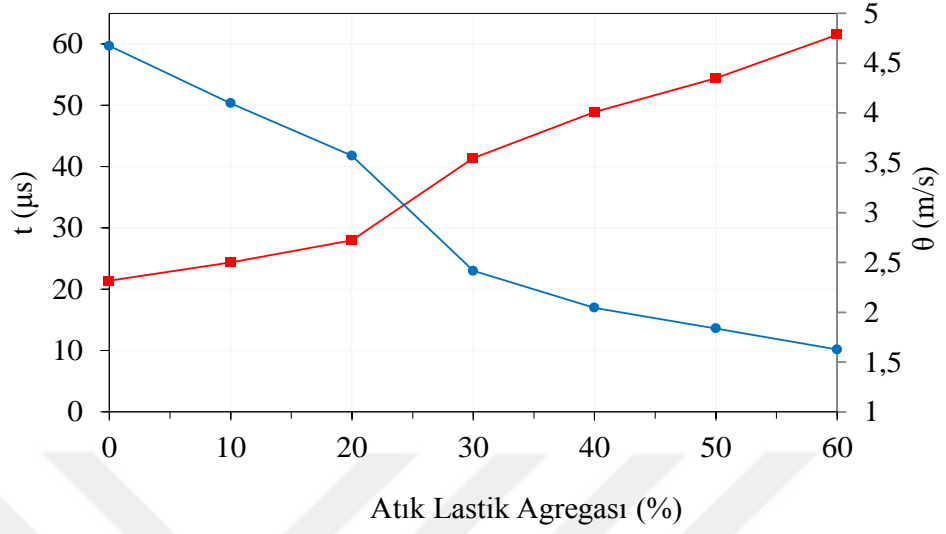
Elde edilen taze betonda lastik miktarına bağlı olarak birim ağırlıktaki değişim sonuçları, teorik olarak hacimsel beton karışım hesabındaki değerlerle paralellik göstermektedir. Deney sonuçları, beton içerisinde lastik miktarı arttıkça taze betonun birim yoğunluğunun da düştüğünü göstermiştir.

Tablo 5.3 Taze Sertleşmiş Beton Sonuçları

	Ultra ses geçiş süresi (μ s)	Ultra ses geçiş hızı (m/s)	ρ (kuru) (kg/m^3)	ρ (doymun) (kg/m^3)
Normal Beton	21,4	4,673	2434,30	2469,67
Lastik- 10	24,4	4,098	2224,09	2266,18
Lastik- 20	28	3,571	2122,88	2184,28
Lastik- 30	41,4	2,415	1920,16	2017,83
Lastik- 40	48,9	2,045	1805,82	1912,75
Lastik- 50	54,4	1,838	1782,13	1894,03
Lastik- 60	61,5	1,626	1658,99	1779,52

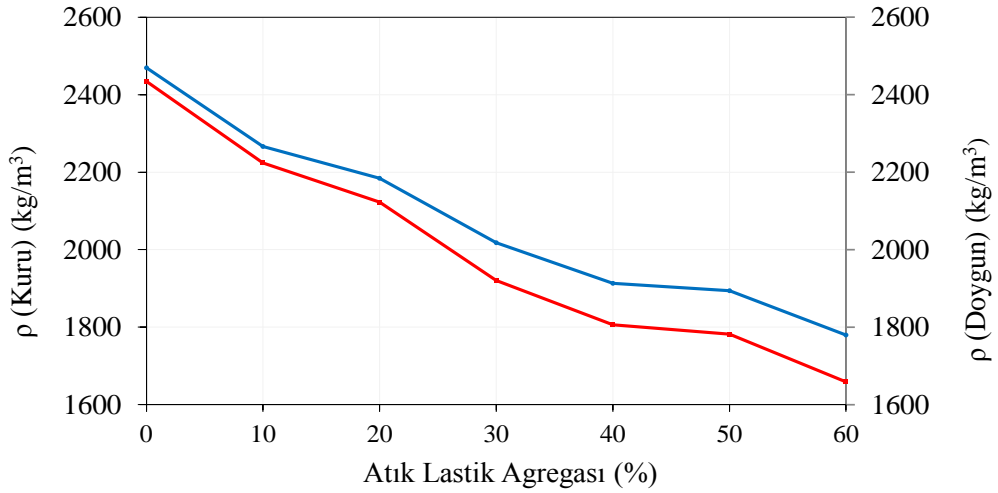
Şekil 5.3'te ve Tablo 5.3'te görüleceği gibi üretilen normal betondaki ultra ses geçiş hızı 4,673 m/s ölçülmüş %60 oranında atık lastik ile üretilen numunenin ultra ses geçiş hızı 1,626 m/s düşmüş elde edilen sonucun ultra ses geçiş hızının %66 azaldığı görülmüştür. Ultra ses geçiş hızının yüksek olması numuneden geçen ultra ses geçiş süresinin düşük olmasına, ultra ses geçiş hızının düşük olması ultra geçiş süresinin daha fazla olmasına sebep olmaktadır. Yapılan deneylerde elde edilen ses geçiş süreleri; normal beton numunesinde ultra geçiş süresi 21,4 μ s ölçülmüş, %60 oranında atık lastik ilaveli numunesinde ultra ses geçiş süresi 61,5 μ s olarak hesaplanmıştır. Atık lastik

oranın artması ses hızını ve yoğunluğu düşürmüş ses geçiş süresi artmasına neden olmuştur.



Şekil 5.3 Ses Geçiş Hızı, Ses Geçiş Süresi Arasındaki İlişki

Şekil 5.4'de Atık lastik agrega kullanımına bağlı olarak yoğunluk değerlerinde azalma eğilimi olduğu, betonun kuru yoğunluğu maksimum-minimum 2434,30-1342,44 kg/m³ ve betonun suya doymun yoğunluğu maksimum-minimum 2469,67-1579,09 kg/m³ arasında değerler aldığı tespit edilmiştir. Beton "içerisine hacimce %10, 20, 30, 40, 50 ve 60 oranlarında lastik ilavesi, kuru ve suya doymun yoğunluk betonun sırasıyla %31,8 ve %27,9 oranlarında, atık lastik ilavesi ile birim ağırlıkta azalmalar meydana gelmiştir.



Şekil 5.4 Kuru ve Doymun Yoğunluk Arasındaki İlişki

5.2.3. Isıl İletkenlik, Özgül Isı, Isıl Yayımlım ve Gözeneklilik

Binaların soğutma yükünü tespit etmek için gerekli olan üç parametredir. Bunlar İletkenlik, Özgül Isı ve Isıl yayınımdır. Şekil 5.5'te görüldüğü gibi bir betonda ısı iletkenlik ve termal yayınıma etki eden en önemli nedeninin, betonun içerisinde artan boşluk olduğu tespit edilmiştir. Bunun sebebi ise atık lastik agregasının gözenekler içerisindeki havanın düşük ısı iletkenlik katsayısına sahip olmasıdır. Tablo 5.4'te üretilen numunelerin, elde edilen ısı özellik sonuçları verilmiştir.

Tablo 5.4 Taze Sertleşmiş Beton Sonuçları

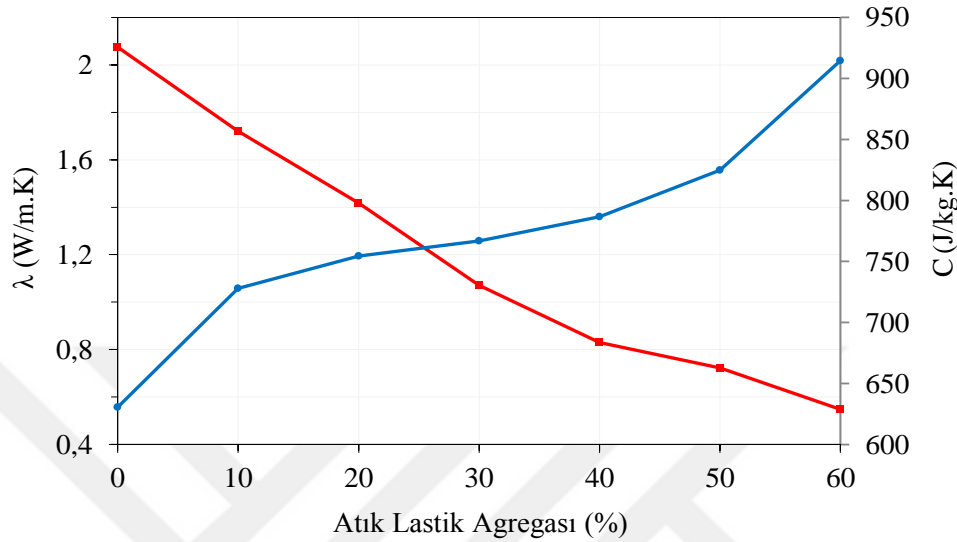
	λ (W/m.K)	C (J/kg.K)	α (m ² /sn)	ϕ (%)
Normal Beton	2,075	630,57	1,35E-06	3,538
Lastik- 10	1,720	727,94	1,06E-06	4,209
Lastik- 20	1,417	754,50	8,84E-07	6,141
Lastik- 30	1,070	766,76	7,27E-07	9,850
Lastik- 40	0,829	786,68	5,84E-07	10,721
Lastik- 50	0,722	824,86	4,91E-07	11,191
Lastik- 60	0,548	914,53	3,61E-07	12,053

Malzemelerdeki normal beton ile %60 arasında değişen atık lastik agregası kullanımına bağlı olarak betonların özgül ısı değerlerinin 630,57 - 914,53 J/kg.K arasında değişmekte olduğu Tablo 5.4'te görülmektedir. Isıl iletkenlik ve özgül ısının arasındaki ilişki grafik halinde Şekil 5.5'de verilmiştir.

Tablo 15'ten de anlaşılacağı gibi kullanılan atık lastik agregası oranı arttıkça; ısı iletim katsayısı değeri betondan düşük olan atık lastik agregası üretilen beton numunesinde ısı iletim katsayısını azaltmaktadır. Atık lastik agregası katılarak üretilen beton numunesi, özgül ısı artış olduğu sonucu elde edilmiştir.

Bu özgül ısı artışının temel sebebi lastiğin özgül ısı yüksek olmasında kaynaklanmıştır. Atık lastik agrega miktarının artmasıyla ısı iletkenlik katsayısı azalmış, özgül ısı ise atık lastik miktarının artmasıyla artmıştır. Bu sonuçta atık lastik

%45 ısı kapasiteyi artırmıştır. Beton malzemesine kıyasla, çok daha düşük ısı iletim katsayısına sahip atık lastik katkısının ısı tutumu açısından bu olumlu etkisine karşın; betonun mekanik dayanımını düşürmesi gibi olumsuz etkileri söz konusudur.

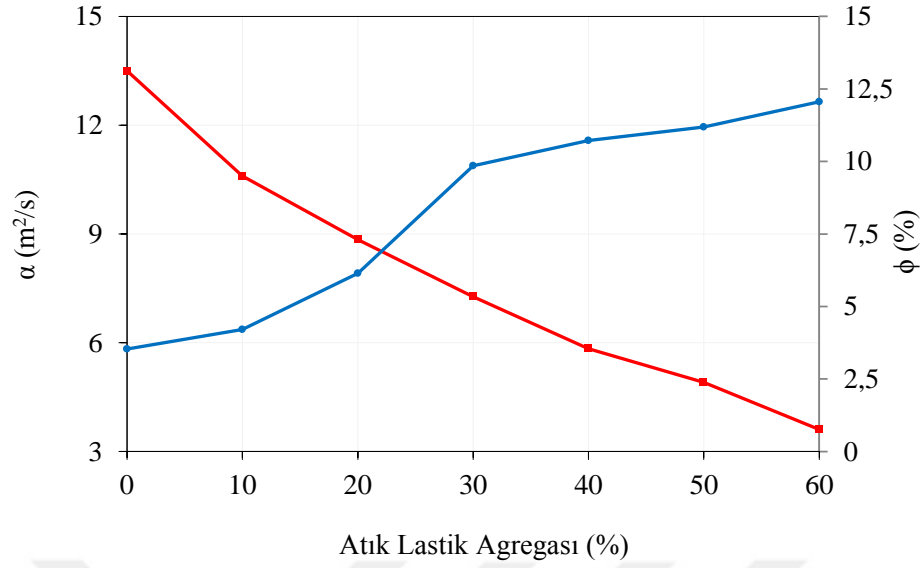


Şekil 5.5 Isıl İletkenlik ve Özgül ısı Arasındaki İlişki

Tablo 5.4'ten de anlaşılacağı gibi kullanılan atık lastik agregası oranı arttıkça, lastik agregası yüzeyin bulunan gözenekler esnek olduğu için dökme esnasında ilk olarak sıkışır, bu sıkışma belli bir süre sonra lastiğin elastik özelliğinden dolayı tekrar eski formuna döner ve yüzeyde bulunan gözenekler artmaya başlar. Bu normal beton numunesinde gözeneklilik %3,538 atık lastik kullanımına bağlı olarak maksimum gözeneklilik % 12,05 olduğu hesaplanmıştır.

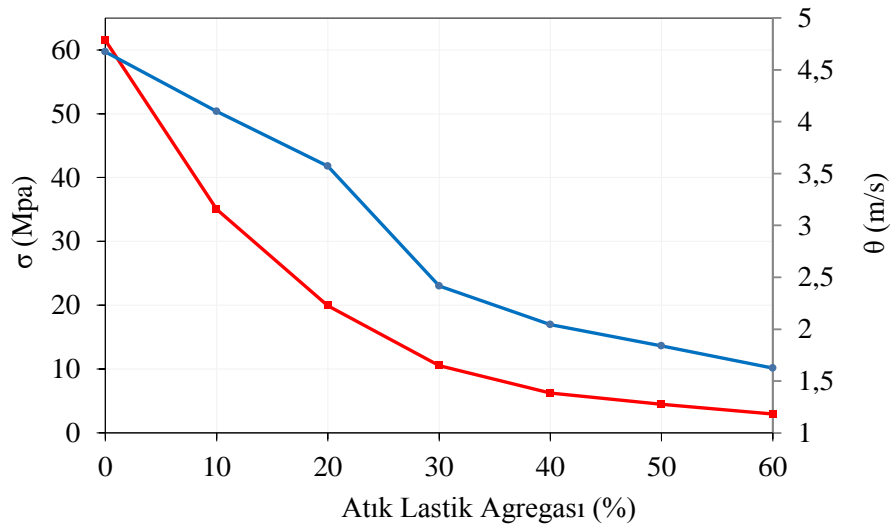
Beton içerisinde lastik oranı artırılmasıyla gözeneklerin artması neden olur. Bu gözeneklerin artması üretilen beton numunesinde hava boşluğunun artmasına bu oranın artması dayanımı düşürür aynı zamanda ısı olarak kazanım sağlar. Bu deney sonucunda lastik oranının artması gözenekleri artırmış ve ısı yayılmasını düşürmüştür. Şekil 5.6'da aşağıdaki grafikte ısı yayılmasını ve gözenekler bir karşılaştırma yapılmıştır. Normal beton numunesinde ısı yayılım değeri $1,35E-06$ ve %60 atık lastik agregası kullanılarak üretilen beton numunesi $3,61E-07$ ölçülmüştür.

Özgül ısı yüksek olan lastiğin ve hava boşlukların artması, ısı yayılımının azaltacağı için üretilen numunenin ısı yayılması %73,2 oranında azaldığı sonucu tespit edilmiştir. Şekil 5.6'da verilmiş olup atık lastik oranı ile gözeneklilik arasında doğru orantı olduğu, ısı yayılma ile ters orantılı olduğu elde edilmiştir.



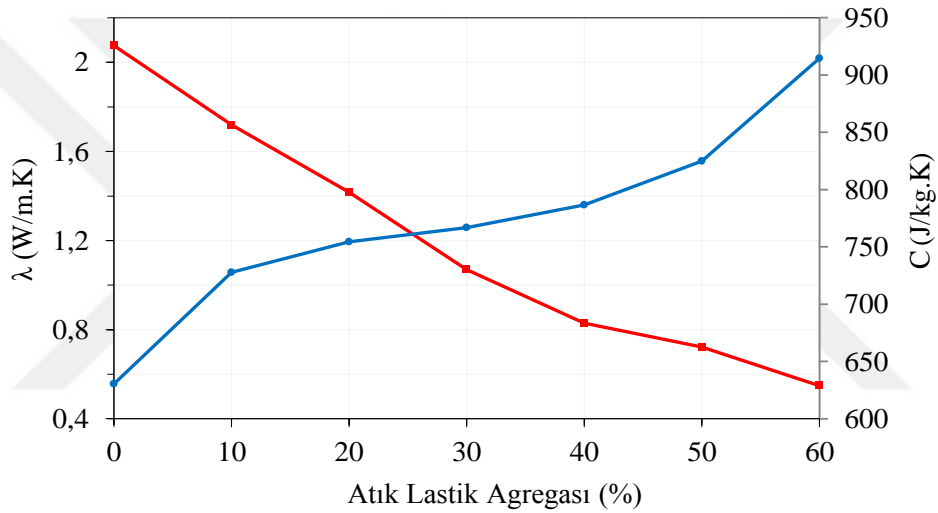
Şekil 5.6 Isıl Yayımlı, Gözeneklilik Arasındaki İlişki

Şekil 5.7'de görüldüğü gibi beton içerisindeki atık lastik agregası miktarı arttıkça basınç dayanımında bir azalma gözlenmektedir. Beton içerisindeki atık lastik agregası miktarı arttıkça basınç dayanımında ve ses geçiş hızında azalma olduğu gözlenmektedir. Bu azalmaların sebebi lastiğin esnek olmasından dolayı sesi absorbe etmesi aynı şekilde esnek olması basınç dayanımını önemli ölçüde düşürmüştür. Şekil 5.7'de grafikte atık lastik agregası oranı ile basınç dayanımı ve ses geçiş hızı arasında ters orantı olduğu elde edilmiştir.



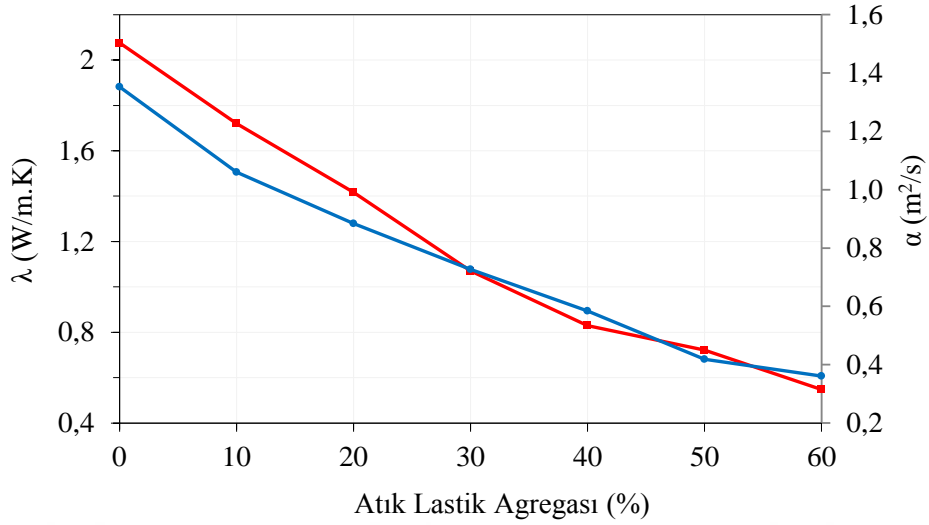
Şekil 5.7 Basınç Dayanımı, Ses Geçiş Hızı Arasındaki İlişki

Tablo 5.4'te okunabileceği gibi normal agregası kullanılarak üretilen numunenin ısı iletkenlik katsayısı 2,075 W/m.K iken %60 oranında atık lastik agregası kullanılarak üretilen numunenin ısı iletkenlik katsayısı 0,548 W/m.K bunun sonucunda ısı iletkenlik % 73,5 azalma olduğu tespit edilmiştir. Atık lastik agregası miktarının artmasıyla ısı iletkenlik katsayısı azalmış, özgül ısı ise atık lastik miktarının artmasıyla artmıştır. Bu özgül ısı artışının temel sebebi lastiğin özgül ısı yüksek olmasında kaynaklanmıştır. Dulong-Petit kanununda elementlerin özgül ısıları ve atom numaraları arasında ters bir orantı olduğunu bulmuşlardır. Buna göre çoğu elementin özgül ısıları ve çarpımları sabit bir sayıyı verir. Şekil 5.8'de görüldüğü gibi yüksek yoğunluklu malzemeler düşük özgül ısı, düşük yoğunluklu malzemeler yüksek özgül ısı sahiptir.



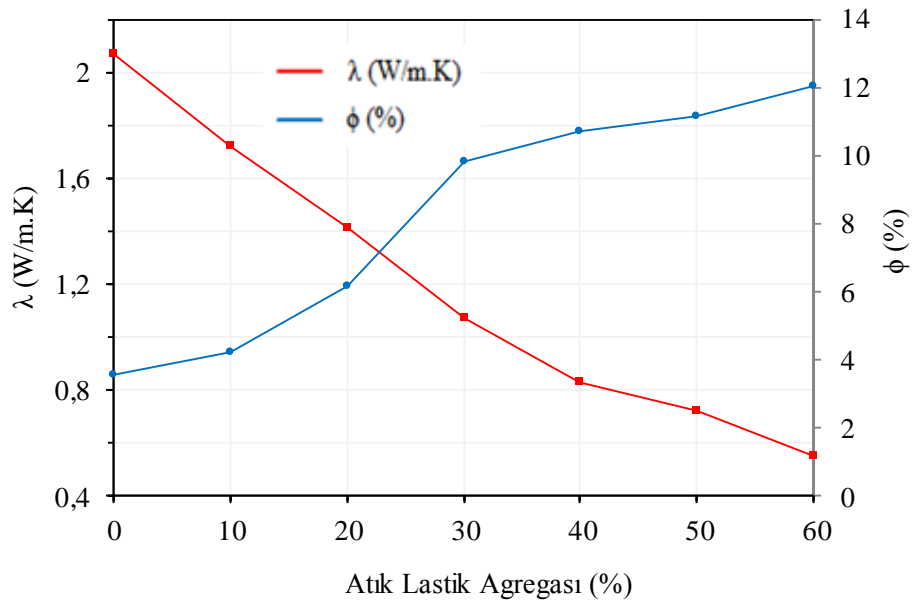
Şekil 5.8 Isıl İletkenlik ve Özgül ısı Arasındaki İlişki

Tablo 5.4'te okunabileceği gibi normal agregası kullanılarak üretilen numunenin atık lastik oranı artıkça ısı iletkenlik ile ısı yayılımı arasında doğru orantı olduğu Şekil 5.9'da anlaşılmaktadır. Bunun sonucunda lastiğin ısı iletim katsayısı çok düşük olduğu için aynı şekilde beton içerisinde ısı yayılımını da düşmesine neden olmaktadır.

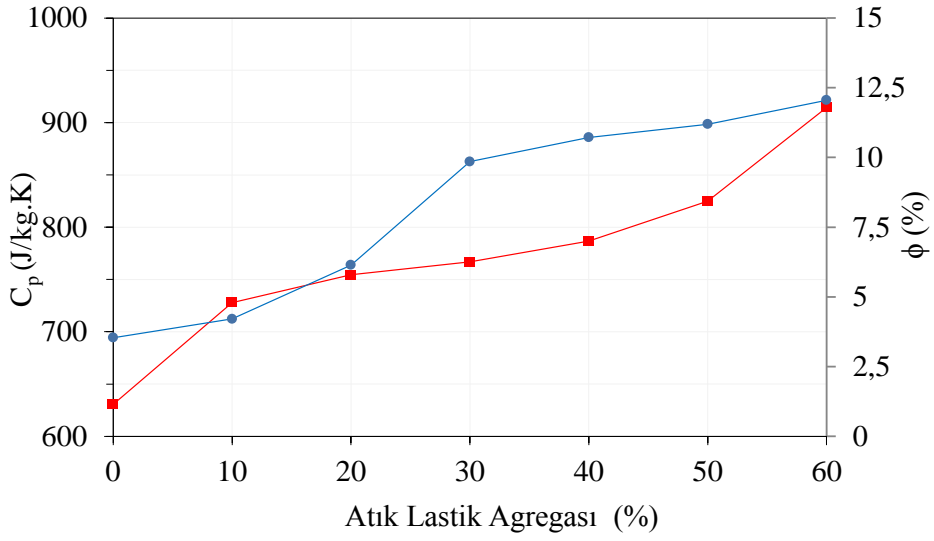


Şekil 5.9 Isıl İletkenlik ve Isı Yayınmı Arasındaki İlişki

Şekil 5.10'da da görüleceği gibi ısı iletkenlik ile gözeneklilik arasında ters orantı vardır. Özgül ısı ve gözeneklilik arasında atık lastik miktarını artmasıyla doğru orantılı bir şekilde artmışlar. Kullanılan atık lastik agrega oranı arttıkça betonda meydana gelen boşluk artmakta bu nedenle özgül ısı, gözeneklilik'te artma ve ısı iletkenlik azalma olmuştur.

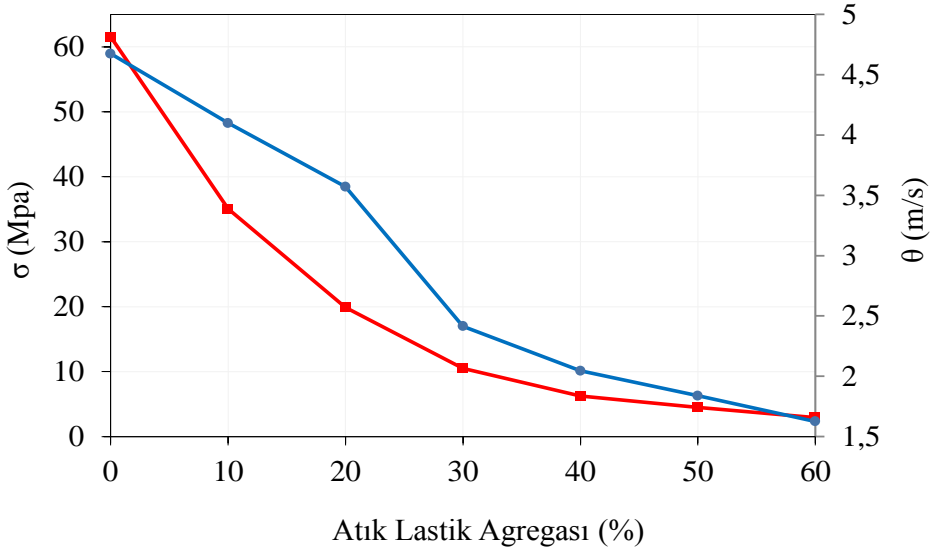


Şekil 5.10 Isıl İletkenlik, Gözeneklilik Arasındaki İlişki



Şekil 5.11 Özgül ısı ve Gözeneklilik Arasındaki İlişki

Şekil 5.12’de görüldüğü gibi atık lastikler beton içerisindeki miktarı arttıkça basınç dayanımında azalma meydana gelmiştir. Ultra ses geçiş hızı atık lastiklerin betona katılmasıyla ultra ses geçiş hızında azalma meydana gelmiştir.



Şekil 5.12 Basınç Dayanımı ve Ultra Ses Geçiş Hızı Arasındaki İlişki

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada önce taze betonun fiziksel özellikleri belirlenmiş ve daha sonra 28. günün sonunda sertleşmiş haldeki betonun fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Yapılan bütün deneysel çalışmaların sonuçları aşağıda değerlendirilmiştir.

- Taze beton üzerinde yapılan fiziksel özelliklerden biri olan birim hacim ağırlık deneyi sonucunda, beton içerisindeki lastik agrega miktarı arttıkça betonun birim hacim ağırlığı azalmıştır. Atık Lastik agrega kullanımına bağlı olarak yoğunluk değerlerinde azalma eğilimi olduğu, maksimum ve minimum yoğunluk değerleri sırasıyla 2434,30 – 1658,99 kg/m³ arasında değerler almıştır. Kuru yoğunluk ve suya doymun yoğunluk sırasıyla %31,8 ve %27,9 oranlarında, atık lastik ilavesi ile birim ağırlıkta azalmalar meydana gelmiştir. Bu da düşük birim hacim ağırlığı istenen yerlerde lastikli betonun kullanılabilceğini göstermektedir.
- Yapılan araştırmalarda çökme sınır değeri 12 cm olarak bulunmuştur. Deney sonuçlarına bakıldığında normal beton ile %60 atık lastik agregası kullanıldığında çökme değerlerinin işlenebilirlik açısından bir sorun oluşturmadığı tespit edilmiştir.
- Beton içerisindeki lastik agrega miktarının, taze betonda çökmeyi azaltıcı yönde etki yaptığı gözlenmektedir. Beton içerisinde lastik miktarı önce çökmede artış gözlenmiş daha sonra lastik oranı arttıkça çökme değerinde bir azalma meydana gelmektedir. Çökme miktarındaki değişim, lastiklerin az da olsa su emme kapasitesinden ve atık lastikler ile çimento harcı arasındaki yüzeysel sürtünmelerini azaltan akışkanlaştırıcılar meydana gelmektedir. Buda atık lastik agregalı beton daha iyi bir işlenebilirlik özeliğine sahip olduğunu göstermektedir. Bu seviyede bir ağırlık azalması, nakliye, işçilik ve bina konstrüksiyon işlemleri açısından önemli bir avantaj sağlamaktadır.
- Beton içerisindeki atık lastik agrega miktarı arttıkça basınç dayanımında bir azalma gözlenmektedir. Basınç dayanımları ile ilgili yapılan deneylerde normal beton ile %60 oranında atık lastik ile üretilen numunelerde yapılan hesaplamalar sonucunda, numunenin basınç dayanımında %95 oranında azalma olduğu görülmüştür. Bu sonucunda taşıyıcılık özeliği istenmeyen yerlerde kullanılabilceğini göstermektedir. Bu düşüş özellikle deprem esnasında yapının yükünü azaltarak, binanın kendi ağırlıklarıyla ezilmesini ve depremin yıkıcı zararlarını absorbe ederek azalmaktadır.

- Beton içerisindeki lastik agrega miktarı arttıkça, ultra ses geçiş hızı değerlerinde bir azalma meydana gelmiştir. Üretilen normal betondaki ultra ses geçiş hızı 4,673 m/s iken atık lastik ile üretilen numunenin ultra ses geçiş hızının 1,626 m/s düştüğü görülmektedir. Ses yalıtımı %65,2 sağlayarak gürültünün zararlı etkilerinden korunması gereken alanda atık lastikli betonlar kullanılabilir.
- Normal beton numunesinin özgül ısı değeri 630,57 J/kg.K olup, %60 atık lastik agregası ile üretilen beton numunesinin özgül ısı değeri 914,53 J/kg.K çıkmıştır. Bu sonuçta atık lastik %45 ısı kapasiteyi artırmıştır. Beton malzemesine kıyasla, çok daha düşük ısı iletim katsayısına sahip atık lastik katkısının ısı tutumu açısından bu olumlu etkisine karşın; betonun mekanik dayanımını düşürmesi gibi olumsuz etkileri söz konusudur.
- Normal agrega kullanılarak üretilen numunenin ısı iletkenlik katsayısı 2,075 W/m.K iken %60 oranında atık lastik agregası kullanılarak üretilen numunenin ısı iletkenlik katsayı 0,548W/m.K olduğu sonucuna ulaşılmış %73,5 bir azalma tespit edilmiştir.
- Elde edilen sonuçlar doğrultusunda lastikli betonların yapılarda izolatör olarak, çarpma etkilerine maruz kalan bölgelerde, ses yalıtımı istenen hafif ve boşluklu bölme duvarlarında, köprü ayak ve pabuçlarında, bazı dekorasyon işlerinde ve ısı yalıtımı istenen yerlerde kullanılabileceği önerilebilir.
- Yapılan araştırma sonunda atık lastiğin geri kazanımına yönelik çok büyük bir potansiyele sahip olan çimento ve beton sektöründe yaygınlaştırılmasıyla; ekonomik verimlilik, sürdürülebilirlik ve çevre korunması gibi avantajların sağlandığı görülmektedir. Sonuç olarak atık lastiğin çevre ve ekonomi boyutu göz önüne alındığında; kullanım ve geri dönüşüm stratejilerinin çok iyi planlanması ve toplumun gündeminde tutulmasının önemli olduğu düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Aiello, M. A., and Leuzzi, F.** (2010), "Waste tyre rubberized concrete: Properties at fresh and hardened state." *Journal of Waste Management, ELSEVIER*, 30, 1696-1704.
- Albano, C.,** Camacho, N., Reyes, J., Feliu, J.L., Hernandez, M., 2005, Influence of Scrap Rubber Addition to Portland I Concrete Composites: Destructive and non-destructive Testing, *Composite Structures*, 71, 439-446.
- Amari T., J. T. Nicolas,** and K. W. Iddo, "Resource Recovery From RubberTires", *Resources Policy*, 25:179-188, 1999.
- Atahan A. O.,** U. K. Sevim, "Testing and Comparison of Concrete Barriers Containing Shredded Waste Tire Chips", *Materials Letters*, 62: 3754–757, 2008.
- Aras, Ü.,** 1995, Lastik Agregalı Betonların Fiziksel, Mekanik, Dinamik, Teknolojik ve Çevresel Tesirlere Dayanıklılığının ve Kompozit Malzeme Kurallarıyla incelenmesi, Bitirme Ödevi.
- Aydoğmuş K.,** 1993, Lastik Agregalı Betonun Dinamik Özellikleri, Anadolu Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, inşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Bitirme Ödevi.
- Bekaroğlu M.,** 2012. Kompozit Yapıda Pomza Agregası İçeren Köpük Beton Özellikleri ve Teknik Parametrelerinin İncelenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta
- Benazzouk A, O.** Douzane, T. Langlet, K. Mezreb, J.M. Roucoult, M. Queneudec, "Physico-Mechanical Properties and Water Absorption of Cement Composite Containing Shredded Rubber Wastes", *Cement & Concrete Composites*, 29: 732–740, 2007.
- Benazzouk A, O.** Douzane, T. Langlet, K. Mezreb, J.M. Roucoult, M. Queneudec, "Thermal Conductivity of Cement Composites Containing Rubber Waste Particles: Experimental Study and Modelling", *Construction and Building Materials*, 22: 573–579, 2008.
- Bıçak, C.,** 1994, Lastik Agregalı Betonun Özelliklerinin incelenmesi, Anadolu Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, inşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Bitirme Ödevi.
- Bilgiç, M.,** 2009. Yüksek performanslı prefabrik hafif betonların özelliklerinin araştırılması. SDU. Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 81s, Isparta.
- 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.
- 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.**, Örüng I., Gül R., 2001. Effects of expanded perlite aggregate and mineral admixtures on the compressive strength of low-density concretes. Cem. and Conc. Res., Vol.32, 1627-1632.
- Dimon, M.N. et al.** (2006). The Study of Normal Incidence Sound Absorbtion Coefficiencie of Wood Circular Perforated Panel Using Numerical Modelling Technique .Research Vot no:75117. UTM.2006.
- Doğan Ö.**, "Lastik Agregalı Betonların Özelliklerinin Deneysel Olarak İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2005.
- Eldin, N.N. and Senocui, A.B.**, 1994, Measurement and Prediction of the Strenght of Rubberized Concrete, Cement and Concrete Composites, 16, 287–298.
- Eminoğlu M.**, 2006 Atık taşıt Lastiklerin Beton İçerisinde Kullanımı ve Betonun Karakteristiklerine etkisi Fırat üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ.
- Emiroğlu M.**, S. Yıldız, "Atık lastiklerin inşaat sektöründe kullanılması", Uluslararası Sürdürülebilir Yapılar Sempozyumu (ISBS), Ankara, Türkiye, 837-839, 2010.
- Ersöz, E.**, 1994, Lastik Agregalı Betonların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri, Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, inşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Bitirme Ödevi.
- Eser, Ö.F.**, 1992, Lastik Agregalı Betonun Özelliklerinin incelenmesi, Anadolu Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Bitirme Ödevi.
- Fedroff D., Ahmad, S., and Savas, B. Z.**, "Mechanical Properties of Concrete with Ground Waste Tire Rubber," Transportation Research Record, No. 1532, pp. 66–72 September 1996.
- Girsen, E.**, 1994, Lastik Agregalı Betonların Fiziksel ve Dinamik Özellikleri, Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, inşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Bitirme Ödevi.

- Gökçe, H.S.**, Hafif Beton Üretiminde Ham ve Genleştirilmiş Perlitin Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniversitesi, Ankara, 2010.
- Gönüllü M. T.**, “Atık Lastiklerin Yönetimi”, Katı Atık Geri Dönüşüm Teknolojileri Semineri, İstanbul Sanayi Odası, İstanbul, 2004.
- Güneyisi, E.**, Gesoglu, M., and Ozturan, T. (2004), “Properties of rubberized concretes containing silica fume.” *Journal of Cement and Concrete Research*, ELSEVIER, 34, 2309-2317.
- Gündüz, L.**, Şapçı, N., Bekar, M., (2006). Genleşmiş kilin hafif agrega olarak kullanılabilirliği, *Kil Bilimi ve Teknolojisi Dergisi*, 1(2), 43-49.
- Hansen, T.C.**, 1965, Influence of Aggregate and Voids on the Modulus of Elasticity of Concrete, *Cement Mortar and Paste*, *ACI Journal*, Proceedings, 6, 2, 193 – 216.
- Humphrey D. N.**, “Civil Engineering Application of Tire Shreds”, The Tire Industry Conference, 1-16, 1999.
- Isıkel, K.**, 1999. Yeni TS 825 ve Enerjiyi Verimli Kullanan Binalar, *İzolasyon Dünyası*, 18: 15-18 .
- Karataş, E.**, Sülfat Etkisine Maruz Betonun Performansı, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2002.
- 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.
- 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.
- Kocataşkın, F.**, (1991), "Betonun Dünü Bugünü Yanını" , Yüksek Dayanımlı Beton, 2. Ulusal Beton Kongresi Kardeşler Matbaası , (TMMOB Lışaat Mühendisleri Odası) , sf.23-42
- Konuk, H.**, 2003. Hafif agregalı betonların mekanik özellikleri ve ısı yalıtımı, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kocataşkın F.**, “Beton Özelliklerinin Kompozit Malzeme Kuralları ile İncelenmesi”, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi, Yapı Malzemesi Seminerleri, İstanbul, 1985.
- 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.

- Mehta P.K., Monteiro P.J.M.** (1997): “Concrete Microstructure, Properties and Materials”, Chapter 8: Admixtures, Indian Concrete Institute, Chennai, pp.256-271.
- Milli Eğitim Bakanlığı,** 2009, Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi, Isı Transferi, Ankara
- Milli Eğitim Bakanlığı,** 2008, Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi, Lastik Hamuru Oluşturma, Ankara
- Neville, A.M.,** (1992) Concrete In Year 2000, "Advances In Concrete Technology", CANMET, Canada Communication Group, Ottawa, pp.1-21
- Neville A.M.,** Properties of Concrete, Pearson Education Limited, Fourth Edition, England, 2004.
- Neville, A. M.,** 1996. Properties of Concrete, John Wiley&Sons Inc, New York.
- Neville A. M.,** “Properties of concrete”, Pearson Education limited, England, 2006.
- Özgülven, H.N.** (2008). Gürültü Kontrolü. Ankara: Türk Akustik Derneği Yayını .35-196.
- Özısık, G,** 1998. Beton. İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü 250S, İstanbul.
- Pelisser F., N. Zavarise, T. Longo, A. Bernardin,** “Concrete Made with Recycled Tire Rubber: Effect of Alkaline Activation and Silica Fume Addition”, Journal of Cleaner Production, Basımda.
- Rad F.,** Rubberized Concrete, New Horizons in Construction Materials, Envo Publishing Company, (1992) Pp: 287-292.
- Savaş B.Z., Ahmad S., Fedroff D.,** Freeze-thaw durability of concrete with ground wastetire rubber, Transportation Research Record No. 1574, (1996), pp: 80-88.
- Segre, N., Joekes, I.,** 2000, Use of Tire Rubber Particles as Addition to Cement Paste, Cement and Concrete Research, 30, 1421-1425.
- Short, A. and Kinniburgh.,** 1978. Lightweight Concrete. Applied Science Publishers Ltd, 443p, London, U.K.
- Snelson D. G., J.M. Kinuthia, P.A. Davies, S. R. Chang,** “Sustainable Construction: Composite Use of Tyres and Ash in Concrete”, Waste Management, 29: 360–367, 2009.
- Steiger, R. W. and Hurd, M. K.** 1978. Lightweight insulating concrete for floors and roof decks, Concr. Constr., 23, 411-422.
- Sukontasukkul, P., Chaikaew, C.,** 2005, Properties of Concrete Pedestrian Block Mixed with Crumb Rubber, Construction and Building Materials, Article in Press.

- Sweat VE.** 1986. Thermal properties of foods. In Engineering Properties of Foods, MR Rao and SSH Rizvi (eds.), pp. 49-88, Marcel Dekker Inc., New York.
- Tantala M.W.,** Lepore J.A., Zandi, I., Quasi-elastic behavior of rubber included concrete, 12th International Conference on Solid Waste Technology and Management, Philadelphia -USA (1996).
- Taşdemir, M. A.,** 1982. Taşıyıcı hafif agregalı betonların elastik ve elastik olmayan davranışları, Doktora Tezi, İTÜ İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- Taşdemir, C.,** 2003, Combined effects of mineral admixtures and curing conditions on the sorptivity coefficient of concrete, cement and concrete research.
- Topçu İ. B.,** Avcular N., Analysis of Rubberized Concrete as a Composite Material, Cement and Concrete Research, 27, 1135–1139, (1997a).
- Topçu İ.B.,** Avcular N., Collision Behaviors of Rubberized Concretes, Cement and Concrete Research., 27, 1893–1898, (1997b).
- Topçu İ.B.,** Özçelikörs Y., Atık Lastikli Beton, Isparta Mühendislik Fakültesi 7. Mühendislik Haftası - Isparta (1991).
- Topçu İ.B.,** The Properties of Rubberized Concretes, Cement and Concrete Research, 25,304-310,(1995).
- Topçu, D.B.** 2006. Beton Teknolojisi. Uğur Ofset, 570, Eskişehir.
- Turatsinze, A.,** Bonnet, S., Granju, J.L., 2005, Mechanical Characterisation of Cement-Based Mortar Incorporating Rubber Aggregates from Recycled Worn Tyres, Construction and Building Materials, Article in Press.
- Tosun F.,** Çimento Fabrikalarında Alternatif Yakıt Olarak Katı Atıkların Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006.
- Toutanji, H. A.** (1996), “The use of rubber tire particles in concrete to replace mineral aggregates.” Journal of Cement & Concrete Composites, ELSEVIER, 18, 135-139.
- Turgut P.,** B. Yeşilata, Y. Işiker, “Kompozit Yapı Malzemelerinde Isıl Özellik Ölçümü-2: Hurda Lastik
- 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.
- 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.
- Yeğınobalı, A.,** 2004. Çimento Bülteni, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Ankara.

Yılmaz A., N. Değirmenci, “Possibility of Using Waste Tire Rubber And Fly Ash With Portland Cement As Construction Materials”, Waste Manegement, 29: 1541-1546, 2009.

Yücel, L., 1994, Lastik Agregalı Betonların Sünme Davranışı, Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Bitirme Ödevi.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Sezai KIZAR
Uyruğu : T.C
Doğum Yeri ve Tarihi : Batman - 08.05.1987
Telefon : +90 543 481 75 02
Faks :
e-mail : szrkzr@hotmail.com

İTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Batman Lisesi,Merkez,Batman	2006
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi	2010
	: Batman Üniversitesi,Merkez,Batman	2014
Yüksek Lisans	: Batman Üniversitesi,Merkez,Batman	2017
Doktora	:	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
06.2013-09.2013	Türkiye Petrol Rafineleri A.Ş	Stajyer Mühendis
06.2014-09.2014	Fernas Alçı ve Sanayi Ticaret A.Ş	Stajyer Mühendis
06.2015-11.2016	ALL Metal	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
- Basınçlı kaplar Kontrol Sertifikası
- Bilgisayar İşletmeliği Sertifikası

- Bilgisayar Destekli Proje Çizimi Sertifikası (AutoCAD, Solidwork ve CATIAV5)
- CNC Freze ve Torna Sertifikası
- Bilgisayar Destekli Üretim Sertifikası (masterCAM, solidCAM)
- 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