



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK ORANDA HURDA LASTİK KULLANIMININ TAŞIYICI HAFİF VE
NORMAL BETONUN BASINÇ DAYANIMI VE EĞİLME DAYANIMI İLE
TİTREŞİM ÖZELLİĞİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ**

Mohammed Ibrahim Majeed AL-HADEETHI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Mayıs 2023
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Mohammed Ibrahim Majeed AL HADEETHI tarafından hazırlanan “Yüksek Oranda Hurda Lastik Kullanımının Taşıyıcı Hafif ve Normal Betonun Basınç Dayanımı ve Eğilme Dayanımı ile Titreşim Özelliği Üzerindeki Etkisi” adlı tez çalışması 25/5/2023 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Hasan Hüsnü KORKMAZ

.....

Danışman

Dr. Öğr. Üy. Ali Serdar ECEMİŞ

.....

Üye

Prof. Dr. Musa Hakan ARSLAN

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun/.../20.. gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Şerife Yurdağül KUMCU
FBE Müdürü

*Bu tez çalışması BAP tarafından 221319005 nolu proje ile desteklenmiştir.

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

I hereby declare that all information in this tez 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.

İmza

Mohammed Ibrahim Majeed AL HADEETHI

Tarih:

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YÜKSEK ORANDA HURDA LASTİK KULLANIMININ TAŞIYICI HAFİF VE NORMAL BETONUN BASINÇ DAYANIMI VE EĞİLME DAYANIMI İLE TİTREŞİM ÖZELLİĞİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Mohammed Ibrahim Majeed AL-HADEETHI

**Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ali Serdar ECEMİŞ

2023, 113 Sayfa

Jüri

**Dr. Öğr. Üyesi Ali Serdar ECEMİŞ
Prof. Dr. Hasan Hüsnü KORKMAZ
Prof. Dr. Musa Hakan ARSLAN**

Son yıllarda, dünya nüfusunun katlanarak artması sebebiyle, atılan hurda lastiklerin sayısı ciddi bir ekolojik sorun haline gelmiştir. Ayrıca agreganın çıkarılması sırasında meydana gelen çevresel ve sosyal zararlar ise arazi kullanımının tartışılan konularından biridir. Bu nedenle bu iki sorunu çözümlen yolları aranmakta olup, bu yöntemlerden biri de beton üretiminde doğal agrega yerine hurda lastiklerden retimli kauçuğun kullanılmasıdır. Bu çalışmada pomza tipi doğal hafif agrega kullanılarak üretilen taşıyıcı hafif beton ve normal betonun basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve titreşim özellikleri üzerinde hurda lastik kullanımının etkisi karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Taşıyıcı hafif ve normal betonun doğal agregası 4 tip lastikle (kırıntı ve lif formunda ve bu iki formun her biri ince ve iri) ağırlıkça %5, %10, %15 ve %20 değiştirme yaparak 6 farklı seri kauçuklaştırılmış hafif ve normal beton karışımları üretilmiştir. (28) günlük numunelerin hedef basınç dayanımı 30 MPa (küp) olarak belirlenmiştir. Hurda kauçuk içeriğinin artmasıyla kauçuklaştırılmış hafif betonun basınç ve eğilme dayanımındaki düşüş miktarı tüm serilerde kauçuklaştırılmış normal betondan daha az olmuştur. Titreşim test sonuçları incelenip analiz edildiğinde beklenmedik bir şekilde, her iki beton türünde de kullanılan kauçuk oranlarıyla orantılı olarak sönüm oranlarındaki artma veya azalmasında tutarlı bir yaklaşımın olmadığı fark edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kauçuk, Kauçuklaştırılmış hafif beton, Kauçuklaştırılmış normal ağırlıklı beton, pomza.

ABSTRACT

MS THESIS

THE EFFECT OF HIGH RATE OF SCRAP TIRE USAGE ON THE COMPRESSIVE STRENGTH, FLEXURAL STRENGTH AND VIBRATION PROPERTIES OF LIGHTWEIGHT AND NORMAL CONCRETE

Mohammed Ibrahim Majeed AL-HADEETHI

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE
OF NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN CIVIL ENGINEERING**

Advisor: Asst. Prof. Dr. Ali Serdar ECEMİŞ

2023, 113 Pages

Jury

Asst. Prof. Dr. Ali Serdar ECEMİŞ

Prof. Dr. Hasan Hüsnü KORKMAZ

Prof. Dr. Musa Hakan ARSLAN

In recent years, due to the exponential increase in the world population, the number of discarded scrap tires has become a serious ecological problem. In addition, environmental and social damages that occur during the extraction of aggregate is one of the controversial issues of land use. For this reason, ways to solve these two problems are sought, and one of these methods is to use rubber manufactured from scrap tires instead of natural aggregate in concrete production. In this study, the effect of the use of scrap tires on the compressive strength, bending strength and vibration properties of structural lightweight concrete and normal weight concrete produced using pumice type natural lightweight aggregate was investigated comparatively. 6 different series of rubberized light and normal concrete mixtures were produced by changing the natural aggregate of the carrier light and normal concrete with 4 types of rubber (in crumb and fiber form, and of each of these two forms a fine and a coarse size) by 5%, 10%, 15% and 20% by weight. The target compressive strength of (28) days old samples was determined as 30 MPa (cube). With the increase of scrap rubber content, the decrease in compressive and flexural strength of rubberized lightweight concrete was less than that of normal rubberized concrete in all series. When the vibration test results were examined and analyzed there was unexpectedly no consistent approach to the increase or decrease in damping ratios proportional to the rubber ratios used in both concrete types.

Keywords: Rubber, Rubberized lightweight concrete, Rubberized normal weight concrete, pumice

ÖNSÖZ

Hamd, lütfuyla hayırlara vesile olan, lütfuyla hayır ve bereket indiren, ve lütfuyla başarı ve hedeflere ulaştıran Allah'a olsun. Peygamber efendimiz, "İnsanlara teşekkür etmeyen Allah'a da şükretmez" buyurmuştur.

Bu vesileyle tez danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Ali Serdar Ecemiş'e gösterdiği büyük yardım ve işbirliğinden dolayı en içten teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunuyorum. Tezimin hazırlanmasında verdikleri rehberliklerle tezimi zenginleştiren Necmettin Erbakan Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü başkanı Prof. Dr. Hicran Açıkel ve ayrıca Dr. Öğr. Üyesi Yunus Dere ve Prof. Dr. Hasan Hüsnü Korkmaz'a teşekkür etmek istiyorum. Necmettin Erbakan Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü tüm hocalarına benimle ilgilenerek gösterdikleri nezaket ve zarafetlerinden dolayı da ayrıca teşekkür ediyorum. Deneylerden birini tamamlamak için çok ihtiyaç duyduğum yedek parçayı temin konusunda yardımını esirgemeyen Güzel Sanatlar ve Mimarlık Fakültesi/ Endüstriyel Tasarım Bölümünde Doç. Dr. Ahmet Can'a teşekkürlerimi sunuyorum. Konya Çimento Hazır Beton Tesisi ve Konya Çimento Fabrikası'na, özellikle laboratuvar müdürü Ercan KARATAŞ'a, çimento temininde gösterdiği büyük cömertlik ve iş birliğine ve beton üretimindeki tecrübesiyle bize yardım ettiğinden dolayı teşekkürlerimi sunuyorum. Bu tezin metnini gözden geçiren edebiyat öğretmeni Mehmet Kayhan Bey'e ve deney betonlarının karıştırılmasında ve numunenin bir kısmının oluşturulmasında yardım sağlayan Musab Adnan Mahmoud Bey'e teşekkür ediyorum. Bana maddi manevi her türlü desteği sağlayan akrabalarıma ve arkadaşlarıma da çok teşekkür ediyorum. Akademik kariyerim dâhil, eğitim öğretimimin her kademesinde benden maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen anne ve babamı da rahmet ve şükranla anıyorum. Maddi ve manevi her konuda benden desteklerini esirgemeyen kardeşlerime de çok teşekkür ediyorum. Son olarak, beni motive eden ve lisansüstü çalışmalarımı tamamlamamda beni teşvik eden ve ilerlememde büyük katkıları olan ve bu tezin tercümesinde gösterdikleri emekten dolayı eşime ve dört evladıma en içten ve sonsuz teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunuyorum.

Mohammed Ibrahim Majeed AL-HADEETHI
KONYA-2023

İÇİNDEKLİLER

ÖZET	iv
BSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKLİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xii
1. GİRİŞ	1
1.1 Beton ve Hurda Lastiklerin Çevreye Etkisi	7
1.1.1 Betonun çevreye etkisi.....	7
1.1.2 Hurda lastiğinin çevreye etkisi ve yönetim seçenekleri.....	9
1.1.2.1 Hurda lastiğın çevreye etkisi.....	9
1.1.2.2 Hurda lastik yönetim seçenekleri	13
1.1.2.2.1 İmha etme	13
1.1.2.2.2 Geri dönüşüm	16
1.2 Beton Üretiminde Atık Lastik Kauçuklarının Kullanımı	23
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	27
2.1 Basınç Dayanımı	27
2.2 Eğilme Dayanımı	30
2.3 Dinamik ve Titreşim Özelliklerinde Etkisi	32
2.4 Kauçuklaştırılmış Betonnun Mekanik Özelliklerinin Azaltılmasına Yönelik Yaklaşımlar	Error! Bookmark not defined.
3. MATERYAL VE YÖNTEM	37
3.1 Materyal	37
3.1.1 İri hafif agrega (pomza)	37
3.1.2 Normal ağırlıklı agrega	39
3.1.3 Kauçuk agrega	40
3.1.4 Çimento.....	42
3.1.5 Beton katkısı	43
3.1.6 Karışım suyu	43
3.2 Yöntem	44
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	55
4.1 Basınç Dayanımı	55
4.2 Eğilme Dayanımı	62
4.3 Titreşim Özelliği	78
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	90
5.1 Sonuçlar.....	90

5.2 Öneriler	91
KAYNAKLAR.....	93



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Lastiklerin yapısı (GTradial, 2016)	11
Şekil 1.2. Lastikler düzenli depolama (Ashey, 2017).....	14
Şekil 1.3. Hurda lastiklerinin açık yakılması (TheNewsWheel, 2016)	15
Şekil 1.4. AB'deki her ülke için ömrünü yitirmiş lastik yönetim sistemi (ETRMA, 2017)	17
Şekil 1.5. Bazı hurda lastik geri dönüşüm seçenekleri (Utires, 2017).....	20
Şekil 1.6. Lastik parçalamasının farklı aşamaları (Roychand ve ark., 2020)	23
Şekil 2.1. Kauçuk içerikli kauçuklanmış betonun basınç dayanımının değişimi (Siddika ve ark., 2019)	29
Şekil 2.2. Kauçuk içeriği ile dayanım azaltma değişimi (Siddika ve ark., 2019).....	31
Şekil 2.3. Kauçuklaştırılmış betonun sönümlene oranının kırıntı kauçuk içeriği ile değişimi (Siddika ve ark., 2019).....	33
Şekil 3.1. İri hafif agregası (pomza), bu agreganın ne kadar hafif olduğunu sudaki yüzüşünden görebiliriz.....	38
Şekil 3.2. Hafif agregaların gevşek ve sıkışık yığın yoğunluğu (birim ağırlık) , tane yoğunluğu (özgül ağırlık) ve su emme oranı deneyleri	38
Şekil 3.3. İri normal ağırlıklı agregası ve ince normal ağırlıklı agregası.....	39
Şekil 3.4. Hurda kauçuk agregası.....	41
Şekil 3.5. Hafif betonda kullanılmak üzere iri hafif agregası hazırlama aşamaları	45
Şekil 3.6. Çalışma ortamı.....	46
Şekil 3.7. Karıştırma için kullanılan mikser (UTEST, n.d.)	47
Şekil 3.8. Referans hafif beton karışımların küp numuneleri	48
Şekil 3.9. Karışıma kauçuk agregası ilavesi ve kauçuk agregası ilavesinden elde edilen kauçuklaştırılmış beton karışımı	50
Şekil 3.10. Yapılan ve test edilen kauçuklaştırılmış hafif beton numuneleri	51
Şekil 3.11. Yapılan ve test edilen kauçuklaştırılmış normal beton numuneleri	52
Şekil 4.1. Basınç dayanım testi makinesi	57
Şekil 4.2. Kauçuklaştırılmış hafif beton, kauçuklaştırılmış normal beton ve referans betonlar için küp numunelerinin kırılma tipleri örnekleri	58
Şekil 4.3. Kauçuklaştırılmış hafif betonda hurda kauçuk içeriği ve şekli ile basınç dayanımının ilişkisi ve davranışı	60
Şekil 4.4. Kauçuklaştırılmış normal betonda hurda kauçuk içeriği ve şekli ile basınç dayanımının ilişkisi ve davranışı	60
Şekil 4.5. Kauçuklaştırılmış hafif betonda hurda kauçuk içeriği ve şekli ile basınç dayanımındaki azalma miktarı.....	61
Şekil 4.6. Kauçuklaştırılmış normal betonda hurda kauçuk içeriği ve şekli ile basınç dayanımındaki azalma miktarı.....	61
Şekil 4.7. Eğilme dayanımı testi için kullanılan makinesi.....	63
Şekil 4.8. Kauçuklaştırılmış hafif beton numunelerinde kırılma numunelerini	66
Şekil 4.9. Kauçuklaştırılmış normal beton numunelerinde kırılma numunelerini.....	69

Şekil 4.10. Kauçuklaştırılmış hafif betonda kauçuk içeriğinin artmasıyla segregasyon miktarındaki azalmayı.....	69
Şekil 4.11. Kauçuklaştırılmış hafif betonda hurda kauçuk içeriği ve şekli ile eğilme dayanımının ilişkisi ve davranışı	71
Şekil 4.12. Kauçuklaştırılmış normal betonda hurda kauçuk içeriği ve şekli ile eğilme dayanımının ilişkisi ve davranışı	71
Şekil 4.13. Kauçuklaştırılmış hafif betonda hurda kauçuk içeriği ve şekli ile eğilme dayanımındaki azalma miktarı.....	72
Şekil 4.14. Kauçuklaştırılmış normal betonda hurda kauçuk içeriği ve şekli ile eğilme dayanımındaki azalma miktarı.....	72
Şekil 4.15. Kauçuklaştırılmış hafif betonda hurda kauçuk içeriği ve şekli eğilme dayanımının basınç dayanımına oranının ilişkisini gösteren şekil	73
Şekil 4.16. Kauçuklaştırılmış normal betonda hurda kauçuk içeriği ve şekli eğilme dayanımının basınç dayanımına oranının ilişkisini gösteren şekil	73
Şekil 4.17. Kauçuklaştırılmış hafif betonda hurda kauçuk içeriği ve şekli ile basınç dayanımı ve eğilme dayanımındaki azalma miktarı	74
Şekil 4.18. Kauçuklaştırılmış normal betonda hurda kauçuk içeriği ve şekli ile basınç dayanımı ve eğilme dayanımındaki azalma miktarı	74
Şekil 4.19. Kauçuklaştırılmış hafif beton, kauçuklaştırılmış normal beton ve referans betonlarda kuvvet ve sehim arasındaki ilişki.....	77
Şekil 4.20. Titreşim ölçüm cihazının parçalarını ve ölçüm yöntemi	81
Şekil 4.21. Kauçuklaştırılmış hafif beton ve referans hafif betonda ivme zamanı tepkisi	84
Şekil 4.22. Kauçuklaştırılmış normal beton ve referans normal betonda ivme zamanı tepkisi.....	87
Şekil 4.23. Kauçuklaştırılmış hafif betonda sönüm oranı ile hurda kauçuk içeriği ve şekli ilişkisini	89
Şekil 4.24. Kauçuklaştırılmış normal betonda sönüm oranı ile hurda kauçuk içeriği ve şekli ilişkisini	89

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 1.1. Ağırlığa göre üretilen lastiklerin standart bileşimi (Pehlken & Essadiqi, 2016).....	11
Çizelge 1.2 Dünya'nın en önemli pomza üretici ülkeleri ve üretim miktarları (DİKİCİ, 2010).....	26
Çizelge 2.1. Normal betondan kauçuklaştırılmış betonun basınç dayanımında azalma. (AGB; beton karışımının en zayıf kısmı). (Siddika ve ark., 2019).....	29
Çizelge 3.1. Beton karışımlarında kullanılan agreganın elekler üzerinde kalan yüzdeleri (kümülatif elekte kalan) ve ince agreganın incelik modülü.....	40
Çizelge 3.2. Agregaların gevşek ve sıkışık yığın yoğunluğu (birim ağırlık) , tane yoğunluğu (özgül ağırlık) ve su emme oranı deneylerin sonuçları	40
Çizelge 3.3. CEM I 42.5 R çimentosunun kimyasal ve fiziksel değerler	42
Çizelge 3.4. Referans ve kauçuklaştırılmış hafif beton karışımlarının bileşenleri	53
Çizelge 3.5. Referans ve kauçuklaştırılmış normal beton karışımlarının bileşenleri	54
Çizelge 4.1. Kauçuklaştırılmış hafif beton, kauçuklaştırılmış normal beton ve referans betonlar için (28) günlük basınç dayanımı testlerinin sonuçları.....	59
Çizelge 4.2. Kauçuklaştırılmış hafif beton, kauçuklaştırılmış normal beton ve referans betonlar için (28) günlük eğilme dayanımı testlerinin sonuçları	70
Çizelge 4.3. Kauçuklaştırılmış hafif beton, kauçuklaştırılmış normal beton ve referans betonlar için sönüm oranı	88

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

- A_0 : İlk genlik
 A_n : n salınım döngüsünden sonraki genlik
 $d_1 d_2$: Numunenin en kesit boyutları , mm
 f_{cf} : Eğilme dayanımı , MPa (N/mm^2)
 F : En büyük yük , N
 L : Mesnet silindirleri arasındaki açıklık , mm
 n : Salınım döngü sayısı
 δ : Sönüm katsayısı
 ζ : Sönüm oranı

Kısaltmalar

RHB: Referans Hafif Beton Karşımı

RNB: Referans Normal Ağırlığı Beton Karşımı

1S: 1. Seri Karışımları (İri hafif agregayı iri kırıntılı kauçuk agregayla ve ince normal agregayı ince kırıntılı kauçuk agregayla değiştirime)

2S: 2. Seri Karışımları (İri hafif agregayı iri lifli kauçuk agregayla ve ince normal agregayı ince lifli kauçuk agregayla değiştirime)

3S: 3. Seri Karışımları (İri hafif agregayı iri kırıntılı kauçuk ve iri lifli kauçuk agregayla ve ince normal agregayı ince kırıntılı kauçuk ve ince lifli kauçuk agregayla değiştirime)

1S-5KHB: 1. Seri %5 Kauçuk Değişimi ile Kauçuklaştırılmış Hafif Beton

1S-10KHB: 1. Seri %10 Kauçuk Değişimi ile Kauçuklaştırılmış Hafif Beton

1S-15KHB: 1. Seri %15 Kauçuk Değişimi ile Kauçuklaştırılmış Hafif Beton

1S-20KHB: 1. Seri %20 Kauçuk Değişimi ile Kauçuklaştırılmış Hafif Beton

2S-5KHB: 2. Seri %5 Kauçuk Değişimi ile Kauçuklaştırılmış Hafif Beton

2S-10KHB: 2. Seri %10 Kauçuk Değişimi ile Kauçuklaştırılmış Hafif Beton

2S-15KHB: 2. Seri %15 Kauçuk Değişimi ile Kauçuklaştırılmış Hafif Beton

2S-20KHB: 2. Seri %20 Kauçuk Değişimi ile Kauçuklaştırılmış Hafif Beton

3S-5KHB: 3. Seri %5 Kauçuk Değişimi ile Kauçuklaştırılmış Hafif Beton

3S-10KHB: 3. Seri %10 Kauçuk Değişimi ile Kauçuklaştırılmış Hafif Beton

3S-15KHB: 3. Seri %15 Kauçuk Değişimi ile Kauçuklaştırılmış Hafif Beton

3S-20KHB: 3. Seri %20 Kauçuk Değişimi ile Kauçuklaştırılmış Hafif Beton
1S-5KNB: 1. Seri %5 Kauçuk Değişimi ile Kauçuklaştırılmış Normal Beton
1S-10KNB: 1.Seri %10 Kauçuk Değişimi ile Kauçuklaştırılmış Normal Beton
1S-15KNB: 1.Seri %15 Kauçuk Değişimi ile Kauçuklaştırılmış Normal Beton
1S-20KNB: 1.Seri %20 Kauçuk Değişimi ile Kauçuklaştırılmış Normal Beton
2S-5KNB: 2. Seri %5 Kauçuk Değişimi ile Kauçuklaştırılmış Normal Beton
2S-10KNB: 2.Seri %10 Kauçuk Değişimi ile Kauçuklaştırılmış Normal Beton
2S-15KNB: 2.Seri %15 Kauçuk Değişimi ile Kauçuklaştırılmış Normal Beton
2S-20KNB: 2.Seri %20 Kauçuk Değişimi ile Kauçuklaştırılmış Normal Beton
3S-5KNB: 3. Seri %5 Kauçuk Değişimi ile Kauçuklaştırılmış Normal Beton
3S-10KNB: 3.Seri %10 Kauçuk Değişimi ile Kauçuklaştırılmış Normal Beton
3S-15KNB: 3.Seri %15 Kauçuk Değişimi ile Kauçuklaştırılmış Normal Beton
3S-20KNB: 3.Seri %20 Kauçuk Değişimi ile Kauçuklaştırılmış Normal Beton

1. GİRİŞ

Beton, temel bir yapı malzemesi olarak dünyada yaygın olarak kullanılan, gelecekte de talep görmeye devam edecek, çimento ve agregalar ana bileşenleri olan inşaat malzemelerinden biridir. Dayanımı iyi olan bir betonun kürlenmesi için 28 gün gerekir. Beton için birden fazla özellik söz konusudur: İşlenebilirlik taze beton özelliği olarak kabul edilirken, basınç dayanımı, çekme ve eğilme dayanımları sertleşmiş beton özelliklerine aittir. Betonda kullanılan kaba ve ince agrega, malzemede doldurulma ve yoğunlaştırılma görevi görür (Khitab ve ark., 2017). Aşağıdaki özelliklerine göre sınıflandırılacak farklı beton türleri vardır (BIS, 2022):

- 1- Betonun birim ağırlığına göre sınıflandırma: Beton, birim ağırlığına göre aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir. (BIS, 2022):
 - i) Ağır beton: Kütle yoğunluğu 2500 kg/m^3 'ten fazla olan ağır beton. Yüksek kütle yoğunluğu, barit, demir cevheri (manyetit, hematit ve limonit), kıymıklar veya özel olarak yapılmış demir ve çelik bilyeler gibi ağır agregalar kullanılarak elde edilir. Ağır betonun koruyucu özelliklerini geliştirmek için betona Bor veya Lityum bileşikler eklenir. Ağır betonun basınç dayanımları yüksek değildir, 40 MPa 'yı geçmez. Çekme dayanımı ise 1 ila 3 MPa arasında değişir (BIS, 2022). Bu tip beton, atomik ve nükleer radyasyona karşı koruma sağlamak için kullanılır, çünkü betonun bu radyasyonları emme yeteneği, ağırlığı veya yoğunluğu ile orantılıdır ve bu nedenle bu tür yapılarda duvarlar, yer karoları ve tavanlar ağır betondan yapılmıştır (Emam, 2005).
 - ii) Normal ağırlıklı beton: Kütle yoğunluğu 1900 kg/m^3 ile 2500 kg/m^3 arasında olan normal ağırlıklı beton. Dünyada en yaygın kullanılan ve kaba agrega birim hacim ağırlığı $1200\text{-}1750 \text{ kg/m}^3$ ve ince agrega birim hacim ağırlığı $1450 - 2082 \text{ kg/m}^3$ olan agregalar ile üretilen beton tipi.
 - iii) Hafif beton: Hafif betonların sınıflandırılması, genellikle hem dayanıma hem de birim ağırlığına göre yapılmaktadır. Bütün hafif betonların türlerinde birim

ağırlık bakımından sınıflandırılmasında farklı görüşler vardır. Hafif betonları fonksiyonlarına göre üç ayrı gruba ayırmak mümkündür: Yalıtım betonları, Orta mukavemetli betonlar ve Taşıyıcı betonlar. Birim ağırlıkları 1842kg/m^3 'ü geçmeyen ve 28 günlük silindir basınç dayanımı 17 MPa'yi aşan betonlar taşıyıcı hafif beton sınıfına girerler (ACI Committee 211, 1998). Ancak Türkiyede ve diğer bazı ülkelerin standartlarında hafif beton birim ağırlığının 1900 kg/m^3 'e çıkmasına izin verilir, ayrıca mekanik özelliklerin iyileştirilmesi söz konusu olduğunda 2100 kg/m^3 'e kadar çıkartılabilir ve bu durumda Alman literatüründe belirtildiği gibi yarı hafif beton olarak kabul edilir. Genel olarak hafif betonların birim ağırlıklarının pratik değişim aralığı $300\text{-}1800\text{ kg/m}^3$ 'tür. Hafif betonları fonksiyonlarına göre üç ayrı gruba ayırmak mümkündür (Konuk, 2003):

- a) Taşıyıcı hafif beton: Birim ağırlığı $1450\text{-}1800\text{ kg/m}^3$ arasında değişmekte ve çoğunlukla birim ağırlık $1600\text{ - }1700\text{ kg/m}^3$ arasında kalmaktadır.
- b) Orta mukavemetli betonlar.
- c) Yalıtım betonları: Dayanımları $7\text{ - }17\text{ MPa}$ arasında olan betonlardır.

Hafif beton üretimi betonun birim ağırlığının azaltılması ile yapılır, ve betonun birim ağırlığının azaltılması başlıca üç yolla yapılır:

- i- Normal agregaların yerine boşluklu olan hafif agregaların kullanılmasıyla üretilen hafif agregalı betonlar, (Konuk, 2003) hafif agrega (Hafif kaba agrega 880 kg/m^3 ve hafif İnce agrega 1120 kg/m^3 için maksimum kuru gevşek birim ağırlığı) iki türe ayrılır: a) Yüksek fırın cürufu, kil, diatomit, uçucu kül, şeyl veya arduvaz gibi ürünlerin genleştirilmesi, peletlenmesi veya sinterlenmesiyle hazırlanan agregalar ve b) Pomza, cüruf veya tuf gibi doğal malzemelerin işlenmesiyle hazırlanan agregalar (ASTMC330-99, 1999).

- ii- Beton içinde fiziksel veya kimyasal yolla büyük miktarda boşluk oluşturularak üretilen gaz ve köpük betonlar. Bu tip betonlar havalı, hücreli, köpüklü veya gaz beton gibi değişik isimlerle bilinirler (Konuk, 2003).
- iii- Sadece kaba agraga (10 ile 20 mm arasında) ve çimentodan oluşan ve arasına köpüklü maddelerin eklenmesiyle havanın kullanıldığı hafif beton. Bu tip hafif beton, normal ağırlıklı betonun üretildiği agreganın aynısını kullanarak normal ağırlıklı betonun birim ağırlığının 2/3 ile 3/4 arasında birim ağırlığa sahip betondur (Emam, 2005).

Hafif betonların normal ağırlıklı betonlara göre avantajları aşağıdaki gibi özetlenebilir (Konuk, 2003);

- a- Isı iletkenliği düşüktür iyi birer ısı ve ses yalıtıma sahiptir.
- b- Üretim ve yerleştirme kolaylaşır çünkü birim hacimdeki toplam malzeme ağırlığının azalması beton kalıbında daha düşük basınç oluşturur.
- c- Rötire süresince çatlama meydana gelme olasılığı düşüktür çünkü yüksek çekme dayanımı / basınç dayanımı oranına sahiptir.
- d- Yatay ve düşey yapı yükleri azalır, bu azalma ile temeller ve diğer yapı elemanları daha küçük boyutlarda yapılarak ekonomi sağlanır.
- e- Normal betona göre yangına daha dayanıklı.

Hafif betonların normal ağırlıklı betonlara göre dezavantajları ise aşağıdaki gibi özetlenebilir (Konuk, 2003);

- a- Mukavemetleri düşüktür çünkü boşlukludurlar. Bu nedenle yüksek mukavemetli beton gerektiren uygulamalarda tercih edilmez.
- b- Aşınmaya karşı dayanıksızdır.
- c- Rutubete karşı yalıtılmalıdır.

d- Elastiklik modülü düşüktür.

e- Normal betona göre sünmesi ve rötresi daha yüksektir.

2- Bağlayıcı türüne göre betonun sınıflandırılması: Beton hazırlamak için kullanılan bağlayıcı türüne bağlı olarak:

- i) Çimento betonları: Farklı tip ve sınıftaki Portland çimentosunun bağlayıcı olarak kullanıldığı betondur (BIS, 2022).
- ii) Asfalt betonları: İşlendikten sonra petrolün bağlayıcı olarak kullanılmasıyla elde edilen betondur. Asfalt üretiminde kenarları yuvarlatılmış agrega (çakıl) yerine kırmataş olarak da adlandırılan keskin kenarlı agrega kullanılmaktadır. Asfalt - beton, esnek (elastik) yapılar için, çoğunlukla cadde ve yolların asfaltlanması için kullanılır. Örtüşebilecekleri alanlar olsa da amaçları tamamen farklıdır (BIS, 2022).
- iii) Polimer betonlar: Polimer betonlar (PB), hazırlanmasında bağlayıcı olarak çimento yerine polimer kullanılan beton türüdür. (BIS, 2022). Polimer veya reçine, yüksek moleküler ağırlıklı birçok benzer molekülden oluşan organik bir malzemenin adıdır. Bu moleküllerin bir molekülüne monomer denir ve kullanılan en önemli türleri: epoksi, polyester, fenol formaldehit ve furfural asetonudur. Genel olarak, polimer içeren beton üç tipe ayrılır. (Emam, 2005):
 - a) Polimer beton (PB): Bağlayıcı olarak epoksi, polyester, fenol formaldehit ve furfural aseton kullanılarak üretilen betondur.
 - b) Polimer Çimento Betonu (PÇB) veya Polimer Modifiye Beton (PMB): Beton katkısı olarak polimerin kullanıldığı betondur. (BIS, 2022) .
 - c) Polimer Emprenyeli Beton (PEB): Önceden dökülüp sonra düşük viskoziteli monomerler tarafından enjekte edilen ve daha sonra bu monomerlerin beton içinde iken polimerizasyonunun yapıldığı, sertleştirilmiş çimento betonudur. Üç tipe ayrılır: Tamamen enjekte edilmiş beton, kısmen enjekte edilmiş beton ve yüzeysel olarak enjekte edilmiş beton (Emam, 2005).

- 3- Taze beton kıvamına göre sınıflandırma: Dört tip taze beton kıvamı vardır: katı, düşük-plastik, plastik ve sıvı. Taze betonun kıvamı, taze betonun işlenebilirliğini ve işlenmesi etkileyen tüm taze beton özelliklerinin toplamıdır. Beton kıvamı, taze betonun rijitlik veya hareketlilik derecesi olarak da tanımlanabilir. (BIS, 2022).
- 4- Beton sınıfına göre sınıflandırma: Beton sınıfı, betonun MPa cinsinden ölçülen standart basınç dayanımına göre sınıflandırılır. Basınç dayanımının, 15 cm çapında ve 30 cm yüksekliğinde bir silindir veya 15×15×15 cm boyutlarında bir küp veya onaylanmış standartlarına göre diğer boyutlar bir beton numunesinin 28 günlükken eksenel basınç testi ile elde edildir.
- 5- Betonun amacına göre sınıflandırma: Beton, kullanım amacına göre aşağıdaki şekilde ayrılabilir: Düz Beton, Betonarme, Hidroteknik betonlar, Kaplama yapısı betonları, Öngerilmeli betonlar, Prekast betonlar, Kendiliğinden Yerleşen Beton, Püskürtme beton, Dekoratif (görünür) betonlar, Kütle Beton (baraj betonu ve zemin tank betonu), Radyasyondan korunma betonları (ağır beton), Isı yalıtımlı betonlar (hafif betonlar), Su yalıtım betonları, Ses yalıtım betonları (hafif betonlar), yangından korunma, Tamir için beton ve harç, Yüksek Mukavemetli Beton, Lifli Beton, Hazır Beton, Boşluklu Beton, Çivileme Betonu, Kükürtlü Beton vb. (BIS, 2022; Emam, 2005).

Daha önce de belirtildiği gibi agrega, beton üretimindeki ana bileşenlerden biridir. Bu agrega ürünleri, günlük yaşamda önemli bir rol oynar. Birçok altyapı binası, örneğin yollar, kaldırımlar, temeller, kanalizasyonlar hatta binaların kendileri bile agregaları kullanır. Tartışma sebebi olan arazi kullanımlarından biri agregaların çıkarmasıdır, bu tartışmanın sebebi büyük ölçüde agregaların çıkarmasından kaynaklanan çevresel ve sosyal zararından kaynaklanır (Winfield & Taylor, 2005). Ayrıca, çimento karbon izi ve üretim maliyetleri sebebiyle çevresel ve ekonomik açıdan zorluklar içerir. Sonuç olarak, agregalar ve çimentonun üretiminin ve tüketiminin, CO₂ emisyonu ve atık madde birikimi açısından çevreye etkisini azaltmak için geri dönüşüm en iyi alternatiftir. Bu bakımdan inşaat ve beton endüstrisi, geri dönüştürülmüş (özellikle hurda lastiklerinin geri dönüşümü) malzemeleri ve endüstriyel yan ürünleri tüketmek için en iyi alternatiflerden biri olarak düşünülebilir (Jalal ve ark., 2019).

Agrega, genellikle betonun hacmini ve ağırlığını ifade eden, aktif olmayan bir dolgu maddesi olarak kabul edilir. Agreganın özellikleri, betonun mukavemetini ve dayanıklılığını etkileyen fiziksel ve mekanik özelliklere katkıda bulunur; bu özellikler güç, gradasyon, absorpsiyon, nem içeriği, özgül ağırlık, şekil ve dokudur. Son 10 yılda yayınlanan bir çalışmada, agreganın içindeki kum ve küçük taşların ister öğütülmüş ister toz haline getirilmiş olsun kauçuk ile yer değiştirilmesinin tokuşunun mümkün olduğu gösterilmiştir (Valente & Sibai, 2019).

Beton, dünya çapında en çok kullanılan yapı malzemesidir. Mevcut küresel bir zorluk, maliyeti optimize etmek ve betonun mukavemetini ve dayanıklılığını en üst düzeye çıkarmakla birlikte beton yapının yeşilliğini (çevresel etkisini) iyileştirmektir. Bu sorunu çözmek için betonun geleneksel bileşenlerinin yerini alabilecek gelişmiş malzemeler gerekmektedir. Hurda lastikler iyi mukavemet, süneklik ve gerinim kontrol özellikleri göz önüne alındığında, bazı beton bileşenlerinin yerini alabilir (Siddika ve ark., 2019). Lastik atıkları, ince agregalar ve iri agregalar yerine kullanılarak beton ve harçta değerlendirilebilir veya bağlayıcı olarak kullanılabilir. Kırıntı kauçuğun herhangi bir çimentolu kompozite dâhil edilmesi, CO₂ emisyonlarını düşürerek çevrenin yeşilliğini artırmasını sağlar (Zhang ve ark., 2015).

Dünya çapında, çevreyi ciddi şekilde tehdit eden çok sayıda atık lastik çöpe atılmakta veya gömülmektedir. Hurda lastik kauçuğunun imhası, dünya çapında kritik bir çevresel sorun haline gelmiş bulunmaktadır. Sektör hesaplamalarında belirtildiği gibi, şu anda Amerika Birleşik Devletleri'nde doğada 2 milyara yakın atık lastik bulunmaktadır, ve her yıl Amerika Birleşik Devletleri'nde yaklaşık 240 milyon lastik bu sayıya dâhil olmaktadır ve bunun ikiyüz milyonu otomobil lastiği geri kalan kırk milyonu da kamyon lastiğidir, bu miktar yıllar geçtikçe daha da artmaktadır (Estakhri ve ark., 1992).

Yakma (Thomas ve ark., 2016) ve depolama (Park ve ark., 2015) gibi hurda lastiklerinden kurtulmanın farklı yolları vardır. Depolanmış lastiklerden hava, su ve toprak kirliliği yoluyla sağlık, çevre ve ekonomik riskler oluşmaktadır (Park ve ark., 2015). Son yıllarda araştırma yönelimlerinden biri, önemli miktarda doğal hammadde tüketen önemli bir yapı malzemesi olan beton üretim teknolojilerinde hurda lastiklerin de kullanılmasıdır. Önem taşıyan atılmış lastik kauçuk kullanımlarından biri, bunları

çimento ve doğal agregaların yerine betona dâhil edilmesidir. Hurda lastik parçacıklarının çimento betonunda agregalar olarak kullanılması, kaynakları koruyan ve çevre dostu bir yaklaşım olarak kabul edilmektedir (Y. Li ve ark., 2019).

1.1 Beton ve Hurda Lastiklerin Çevreye Etkisi

Şu anda insan varlığının karşı karşıya olduğu en tehlikeli sorunlardan biri çevre kirliliğidir. Bu kirlilik, endüstriyel emisyonlar, aşırı enerji kullanımı, yeryüzünün bakir kaynaklarının kullanımı ve uygun olmayan atık biriktirme yöntemlerinden kaynaklanmaktadır. Hızlı nüfus artışı, ve artan üretkenlik ve tüketim, atık üretiminin ve birikiminin artmasına yol açmıştır. Bunun sonucu olarak da atık birikimi çeşitli sorunlara yol açmaktadır. Atıkların yanlış yerlerde depolanması bu sorunları daha da ağırlaşmasına yol açmaktadır. Chiras'a göre, çevre sorunlarını çözmek ve sürdürülebilir yaşamı muhafaza etmek için atık yönetimi de dâhil olmak üzere temel insani sistemleri yeniden düşünmek ve yeniden yapılandırmak bir zorunluluktur. Sürdürülebilir bir gelecek inşa etmek için atık izleme ile de ilgilenmek bir zorunluluk haline gelmiştir (D.Chiras, 2001).

1.1.1 Betonun çevreye etkisi

Beton, dört temel malzemedен oluşmaktadır. Bunlar: Su, çimento, ince agrega, iri agregadır. Farklı uygulamalar için geliştirilmiş birden fazla beton türü olmakla beraber bu betonların ortak bilinen özellikleri, çok yönlülük, mukavemet, dayanıklılık, geniş kullanılabilirlik, yangına dayanıklılık, elemanlara direnç ve nispeten düşük maliyettir.

Son 20 yılda çevresel sürdürülebilirlik, inşaat sektöründe üretimle ilişkilendirilmiştir. Kyoto Protokolü (1997) ve Paris İklim Konferansı (2015), küresel

sıcaklıktaki aşırı artışı önlemek amacıyla kirlenici emisyonları (CO₂ ve diğer sera gazları) için standart seviyeleri ayarlanmaktadır. Beton endüstrisi, istenmeyen emisyonlar açısından sorumlu önemli bir sektördür. Yıllık ortalama çimento üretimi 2,8 milyar tondur ve önümüzdeki 10 yıl içinde 4 milyar tona çıkmasını beklenilmektedir. Yaygın Portland çimentoları için üretim süreci, enerji açısından oldukça büyük bir israftır (ısıtma işlemleri 1400°C'nin üzerindeki sıcaklıkları gerektirir), bu da her bir ton klinkerin 0.9 ton CO₂ emisyonuna karşılık gelir (Valente & Sibai, 2019). Çimento ve beton malzemelerin evrimiyle karşı karşıya olan çok büyük sorunlar ve zorluklar vardır. Bunlardan bir tanesi, çimento üretiminin yüksek enerjiye ihtiyaç duyması ve büyük miktarda karbondioksit açığa çıkarmasıdır. Buna ek olarak, çimento hammaddelerinin çoğu yenilenemez niteliktedir. Bahsedilen bu zararlar, çevre üzerinde büyük baskı yaratmaktadır (Khitab & Anwar, 2016).

Kaba agregalar, taş ocağı ve kırma yoluyla dağlardan ve kayalardan çıkarılır: Bununla birlikte bu prosedürler tehlikelidir ve çevreye çok fazla zarar vermektedir (Khitab & Anwar, 2016). Dahası, doğal kumun toplanması nehir akışının yönünü değiştirmekte ve nehir yatağının dengesini kaybetmesine sebep olmaktadır. Bu tür kötü etkiler, doğal kum kullanma yerine inşaat amaçlı atık malzemelerin kullanılmasıyla azaltılabilir (Pacheco-Torres ve ark., 2018).

Sivil inşaat sürecinde meydana gelen yıkım, yer ve kaynak tüketen, öncelikle çöplüklere ve depolama alanlarına atılan büyük miktarda atık betonlar ortaya çıkmasına yol açmaktadır. Yapılan araştırmacılar, atık betonun geri dönüşümü konusunda çok sayıda çalışmayı ortaya çıkartmıştır. Bunların arasında birincil geri dönüşüm modu, atık betonu agregalar halinde ezmek ve geri dönüştürülmüş agrega betonu üretmektir (Feng ve ark., 2015).

Sürdürülebilirliği teşvik etmek için birçok potansiyel projeksiyon bulunmaktadır: ikame hammadde kullanımı (alkali ile aktive edilmiş bağlayıcılar, Kalsiyum Sülfatlı çimentosu; köprüler, havalimanları ve yollar içinde betonda on yıllardır bağlayıcı olarak kullanılmıştır), beton bileşimini değiştirmek veya endüstriyel atık malzemeleri eklemek. Bu son yaklaşım, doğal kaynakların kullanımında bir azalmaya izin veren ve aynı zamanda çimento konglomeratları güçlendiren yeşil bir çözümü temsil etmektedir (Valente & Sibai, 2019).

Yeşil beton kavramının arkasındaki üç ana hedef şunlardır: (i) Çimento endüstrisinden kaynaklanan sera gazı emisyonunu CO₂ azaltmak, (ii) Kalker, şist, kil, doğal nehir kumu, doğal kayalar) gibi doğal kaynakların kullanımını azaltmak, ve (iii) beton üretiminde su, toprak ve hava kirliliğine neden olan atık malzemelerin kullanımını arttırmak. CO₂ emisyonlarının artması ve dünyadaki iklim koşullarını ve farklı yaşam biçimleri ciddi bir şekilde etkileyen küresel ısınmanın artmasına sebep olan bu kirlilik, ülkeleri bu soruna farklı alanlarda çözüm bulmaya zorlamaktadır. Bu çözümlerden biri inşaat alanıdır. Bu sebeple, yapılarda kullanılan malzemeler kadar işlevsellik, menşe açısından da çevre dostu konut kompleksler ve binalar inşa edilmeye başlanmıştır. İnşaatlarda en önemli ve en çok kullanılan malzemelerden birisi de sade beton veya betonarme betondur. CO₂ emisyonlarının yaklaşık %8-10'u, beton endüstrisi tarafından imalat ve nakliyeden kaynaklanmaktadır. Ayrıca bir metreküp betonda çimento bileşiminin ağırlıkça %17'ye kadar çıktığı görülmüştür. Böylelikle yeşil beton kullanımı ile atmosferdeki CO₂ emisyonunun azaltılması mümkündür (Goyal & Kumar, 2018).

1.1.2 Hurda lastiğinin çevreye etkisi ve yönetim seçenekleri

Ömrünü yitirmiş lastik veya hurda lastik, orijinal işlevini yerine getirmeyi bırakmış, tüm yeniden kullanım seçeneklerini tüketmiş ve orijinal biçiminde veya ikinci el satın alma olarak yeniden kullanılamayan lastiği ifade eder. Bu lastiklerin yönetimi de çevreye olan zararlı etkisinden dolayı büyük önem arz etmektedir (Feng ve ark., 2015).

1.1.2.1 Hurda lastiğin çevreye etkisi

Atılan ve terkedilen lastiklerin geri dönüşüm veya geri kazanım süreci, ne yeniden kullanılabilir ne de yeniden yapılandırılabilir olduğunda başlar. 1972 Stockholm Çevre Konferansı'ndan bu yana çevresel sürdürülebilirlik, artan çevre

kirliliği karşısında tekrarlayan bir tema olmuştur. Kirlilik, yan ürünleri zamanla çevreye zararlı veya olumsuz etkileri olan maddelerin çevreye girmesidir. Çevre kirliliği, doğrudan ve dolaylı olarak çevreyi etkileyen insan faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır. Garip malzemelerin büyük ve kontrolsüz konsantrasyonlarda çevreye girmesi, kirletici ve çevre için bir tehdit olacaktır. Avrupa Çevre Ajansı, kirliliğin çevreye yabancı maddelerin veya enerjinin girmesi, insan sağlığını tehlikeye atacak, canlı kaynaklara ve eko sistemlere zarar verecek nitelikte zararlı etkilere neden olan maddeler olduğunu belirtmektedir. Ayrıca kirlilik çevrenin meşru kullanımına zarar vermek veya müdahale etmektir. Atık lastik kauçuğu, toksik ve tehlikeli bir atık olarak nitelendirilmiştir. Ömrünü yitirmiş lastiklerin geri kazanılması ve elden çıkarılması, bu atığın güçlü bir çevresel, ekonomik ve sosyal etkilere sahip olması sebebiyle “kara kirliliği” olarak nitelendirilmiştir (Feng ve ark., 2015).

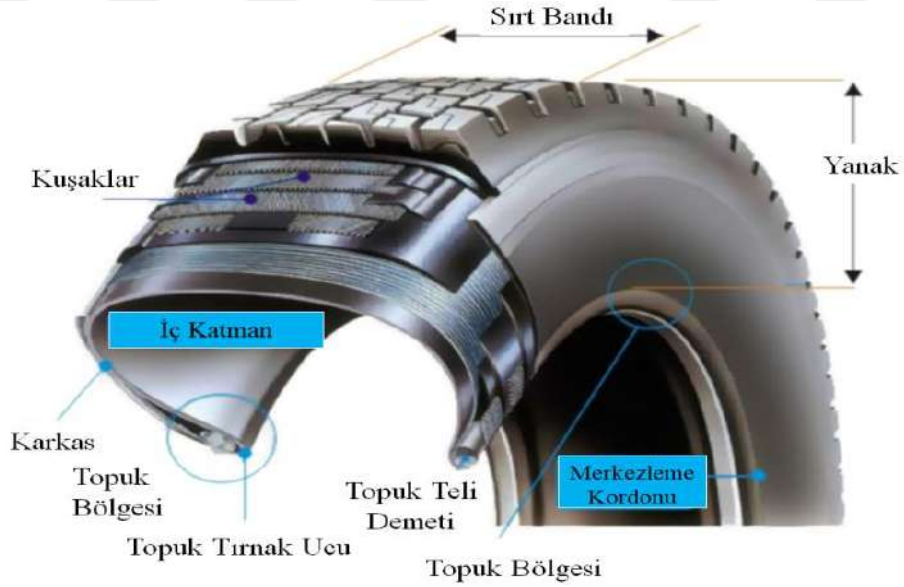
Atılan lastiklerin büyük bir kısmı, depolamadan önce herhangi bir özel işleme tabi tutulmadan atık imha alanlarında (genellikle denetimsiz) depolanır. Bu atık depo alanlarının artan sayısı, bitki ve insan sağlığı riski oluşturmakta, kolayca yangın çıkma olasılığını artırmakta, uzun süre (aylar boyunca) yanarak havada ve yerde kirlenmeye yol açmaktadır. Hurda lastiklerin boşaltılması insan sağlığı için çok tehlikeli olabilir; çünkü lastik kauçuğu, insanlar için gerçekten zararlı olan son derece toksik bileşen olan stiren içermektedir (Kaewunruen ve ark., 2018).

Hurda lastiklerin neden çevresel tehlike olduğunu anlamak için, lastiklerin özelliklerini anlamak önemlidir. Bir lastik, esnek bir tampon sağlamak ve yolla yumuşak bir temas oluşturmak için pnömatik olarak şişirilmiş ve yerleştirilmiş yuvarlak bir tekerlek olan kauçuk bir kaplamadır. Lastikler; binek otomobiller, bisikletler, üç tekerlekli bisikletler, kamyonetler, kamyonlar, uçaklar gibi hemen hemen her tür mekanik araçta kullanılmak üzere üretilir. Tipik otomobil lastiğinin ağırlığı 9 kg iken, bir kamyon lastiğinin ağırlığı yaklaşık 45 kg dir. Çizelge 1.1. lastikleri üretmek için kullanılan temel malzemeleri, her bir malzemenin temsil ettiği tamamlanmış lastiğin toplam ağırlığının yüzdesine göre göstermektedir (Siddique & Naik, 2004).

Çizelge 1.1. Ağırlığa göre üretilen lastiklerin standart bileşimi (Pehlken & Essadiqi, 2016)

Kompozisyon	Otomobil Lastiği	Kamyon Lastiği
Ortalama ağırlık:	Yeni 108 N (11 kg) Hurda 88N (9 kg)	Yeni 530 N (54 kg) Hurda 441 N (45 kg)
Doğal kauçuk	% 14	%27
Sentetik kauçuk	%27	% 14
Karbon siyahı	%28	%28
Çelik	% 14-15	% 14-15
Kumaş, dolgular, hızlandırıcılar, antiozonantlar vb.	% 16-17	% 16-17

Lastikler, topuk teli demetinden diğer topuk teli demetinin enine uzanan takviye kordonu katmanlarından yapılmıştır ve bunların üstünde, Şekil 1.1.'de görüldüğü gibi sırt bandı altında bulunan bir kuşak bulunur (Siddika ve ark., 2019).



Şekil 1.1. Lastiklerin yapısı (GTradial, 2016)

Modern pnömatik lastiklerin malzemeleri (Kauçuk İmalatçıları Derneği, 2000) 'e göre aşağıda listelenmiştir (Siddique & Naik, 2004):

- 1- Sentetik kauçuk
- 2- Doğal kauçuk
- 3- Kükürt ve kükürt bileşikleri
- 4- Fenolik reçine
- 5- Petrol mumları
- 6- Yağ (I) Aromatik (II) Naftenik (III) Parafinik
- 7- Karbon siyahı
- 8- Kumaş (I) Polyester (II) Naylon
- 9- Pigmentler (I) Çinko oksit (II) Titanyum dioksit
- 10- Yağ asitleri
- 11- İnert malzemeler
- 12- Çelik teller

ABD'de atık lastik sayısı yıllık 550 milyona ulaşmıştır ve bu rakam giderek artmaktadır. AB'de bile yılda 1 milyar hurda lastiğe ulaşan büyük bir tüketim söz konusudur (Valente & Sibai, 2019). LMC Automotive tarafından yapılan tahminlere göre, 2024 yılına kadar araç filosu dünya çapında% 25'ten fazla büyüyecek ve AB'de yıllık yaklaşık 355 milyon lastik üretileceği tahmin edilmektedir (Torretta ve ark., 2015 ;The ETRMA Statistics Report, 2019). Kâğıt veya cam gibi diğer ürünlerin aksine, yeni lastiklerin üretiminde geri dönüştürülmüş malzeme kullanımı, diğer hususların yanı sıra, sıkı güvenlik gereklilikleri sebebiyle pratik değildir. Bu sebeple, yeni lastiklere olan talebin artması, daha fazla hammadde tüketimini de beraberinde getirmektedir (Pacheco-Torres ve ark., 2018).

Lastikler, kullanım sürelerini tamamladıktan sonra, genellikle ya çöplüklere atılır ya açık alanda depolanır yada yakılır. Dünyanın pek çok bölgesinde ömrünü yitirmiş lastikler genellikle geri kazanılmaz veya geri dönüştürülmez, ancak depolanır veya yakılır. Ömrünü yitirmiş lastikler, biyolojik olarak parçalanmaz ve karmaşık sorunlara sebep olurlar, çözünemezler ve doğal olarak parçalanmaları onlarca yıl alabilir. Sonuç olarak, sürdürülebilir atık lastik atıklarının imhası ve yönetimi için yeşil veya çevre dostu teknolojilere başvurulur. Yeşil lastik atık işleme veya geri dönüşüm teknolojisinin

evrimi veya benimsenmesi, bir ülkenin ekonomik ve endüstriyel durumuna bağlıdır (Nkemjika, 2019).

1.1.2.2 Hurda lastik yönetim seçenekleri

Hurda lastiklerin yönetimi için dünyada genel olarak imha etme ve geri dönüştürme olmak üzere iki yöntem kullanılmaktadır.

1.1.2.2.1 İmha etme

Otomobillerin ve diğer araçların artan kullanımının nedeniyle klasik hurda lastiği eleme yöntemleri, kirliliğinin artmasına yol açarak, dünya çapında büyük bir endişe haline gelmeye başlamıştır. Ancak atık lastikler, uygun olmayan şekilde yok edildiğinde çevreyi olumsuz etkilemektedir. Aşağıda, çevreyi olumsuz etkileyen hurda lastik yok etme yöntemlerine ilişkin örnekler verilmiştir.

- 1- Yer altı depolama / stoklama: Dünya çapında yer altında depolama, atık lastiklerinin en yaygın yok etme yöntemlerinden biridir. Yılda milyonlarca ton lastik atığı, zaten atıklarla aşırı dolmuş olan katı atık sahalarında toplanmaktadır. Lastikler, büyük hacimleri sebebiyle atık sahalarında geniş alanlara ihtiyaç duymakta, bu sebeple mevcut depolama alanların yetersizliği sorununu ortaya çıkarmaktadır. Lastiklerin karmaşık kimyasal ve fiziksel bileşimi nedeniyle biyolojik olarak parçalanmaz haldedirler. Buna ek olarak, lastiklerin yapıldığı malzeme olan sentetik kauçuklar (elastomerler), mümkün olduğu kadar uzun süre dayanacak şekilde tasarlanmıştır (aynı sebeple elastomerler de mikroorganizmalara karşı yüksek direnç gösterir) (Torretta ve ark., 2015). Lastik atıkları depolandığında, su toplarlar ve böylece sivrisinekler, sıçanlar, fareler, haşarat ve sıtmaya sebep olan uygun üreme alanları sağlarlar (Naik & Singh, 1991). Sadece düzenli depolama alanlarında değerli olan araziyi tüketmekle kalmazlar, aynı zamanda kaza sonucu çıkan yangınlar, ve zehirli

maddelerin toprağa sızması tehlikesi de oluşturlar (Roychand ve ark., 2020). Lastik atıklarının depolanmasının olumsuz çevresel etkisi çok büyüktür. Yukarıda belirtilen sebeplerden ötürü, bazı ülkelerde tam veya parçalanmış lastiklerin depolanması tamamen yasaklanmıştır, ancak depolama, ömrünü yitirmiş lastikleri gibi katı atıkların en ucuz ve en uygun bertaraf yöntemidir. Avrupa Birliği'nde, tamamen ve parçalanmış lastiğin depolanması yasal olarak yasakken, Güney Avustralya'da, sadece tam lastiklerin depolanması yasaklanmıştır (Messenger, 2013). Depolama yasağı veya kısıtlamaları iyi planlandığında ve ayarlamalar için yeterli zaman ile yürütüldüğünde, lastik atıklarının atılmasında önemli azalmalara yardımcı olabilir ve kaynakların geri kazanılmasını artırabilir ('*Landfill Ban Investigation- Final Report,*' 2011). Şekil 1.2. lastiklerin depolanması gösterilmektedir.



Şekil 1.2. Lastikler düzenli depolama (Ashey, 2017)

- 2- Atık lastiklerinin yakılması: Yakma, atık lastik tehdidinden ve uzun vadeli olumsuz çevresel etkilerine karşı geçici bir rahatlama sağlar. Atık lastiklerin çöp sahalarında ve çöplüklerde açık yakılması, çoğunlukla az gelişmiş ülkelerde yapılmaktadır. Hurda lastiklerin yakılmasından kaynaklanan büyük miktarlarda ağır ve kalın siyah

zehirli duman ve tehlikeli gaz emisyonları oluşmaktadır. Yayılan bu kirletici gazlardan birkaç tanesi (CO, NO₂ ve SO₂)'dir (Nkemjika, 2019). Atık lastiklerinin yanmasından kaynaklanan, çevreye, halk sağlığı ve güvenliğine ciddi tehditler oluşturabilecek kalın siyah toksik duman sebebiyle (CO, NO₂ ve SO₂) büyük toksik kalıntılar ve tehlikeli gaz emisyonları oluşur (Jimoda et al., 2017). En kolay ve en ucuz yok etme yöntemi olan lastik yakmasından ciddi yangın tehlikeleri oluşabilmektedir (Gesoglu & Güneyisi, 2011). Lastikte %75 boş alan olması sebebiyle bol miktarda serbest oksijen bulunabilir, ve bu durum yangın alevlendiğinde söndürmek çok zor olmasına sebep olur. Ayrıca, yanmanın tamamlanmasından sonra oluşan kalıntı toz ile toprak kirlenebilir, lastiklerin erimesinden kaynaklanan yağ da toprağı ve suyu kirletebilir. Bununla birlikte, yanma sırasında oluşan aşırı duman hava kirliliğine sebep olur. Bu kirleticilerin çoğu, özellikle dioksinler, emisyon kaynaklarından uzun mesafelere taşınır ve daha az zararlı bileşiklere ayrılmadan on yıllarca atmosferde kalır ve toprakta birikir. Su ve gıda kaynakları açısından bu yöntem, birçok ülkede yasalarla yasaklanmıştır. (Siddique & Naik, 2004; Sukontasukkul & Chaikaew, 2006). Şekil 1.3. hurda lastikler için açık yakma yöntemini göstermektedir.



Şekil 1.3. Hurda lastiklerinin açık yakılması (TheNewsWheel, 2016)

1.1.2.2.2 Geri dönüşüm

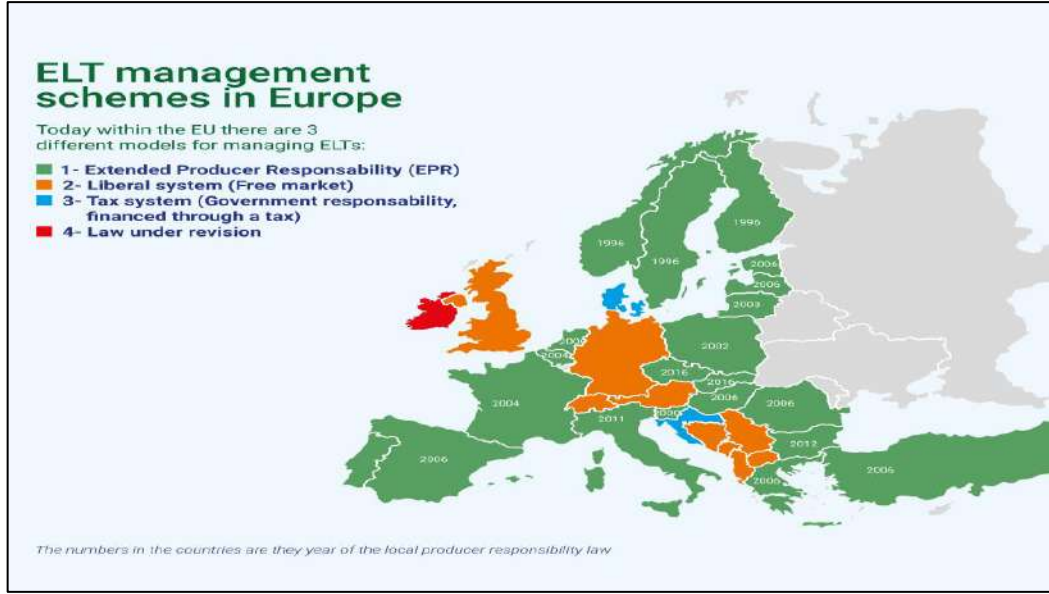
Geri dönüşüm, depolamadaki lastik sayısının azaltılmasında yardımcı olur. Lastikler;

- içinde bakterilerin yavaş büyümesi,
- küf, ısı, nem, güneş ışığına karşı mükemmel direnç göstermesi,
- yağlara, asitlere ve diğer kimyasallara karşı direnç göstermesi ve
- elastik ve iyi darbe emme özelliği

gibi özellikleri sebebi ile geri dönüşüm için birinci sınıf bir kaynaktır.

Hurda lastiğinin işlenmesi sonucunda % 65 parça kauçuk ve %35 de çelik kordlar, lifler, naylon lif, kirli kauçuk ve kauçuk lif tozundan oluşan katı atık meydana gelir . Toplam atık lastik hacminin %8'ini oluşturan (katı atığın yaklaşık % 25'i) kauçuk tozu ve naylon elyafıdır (Gheni ve ark., 2019).

ETRMA (Avrupa Lastik ve Kauçuk üreticileri birliği), 35 ülkeyi (EU28, Norveç, Sırbistan, İsviçre, Türkiye, Çek Cumhuriyeti, Slovakya ve son olarak 2017'de İrlanda) kapsayan 2017 için kullanılmış lastik yönetimi verilerini birleştirmişti. Bu ülkelerde ömrünü yitirmiş lastik yönetimi, üretici sorumluluğu altındadır ve üretici, üründen kaynaklanan atığın çevreye zarar vermeyecek şekilde yok edilmesinden sorumludur. Ömrünü yitirmiş lastiğin yönetilmesindeki sorumluluk, tasarım ve üretimin diğer tüm aşamalarında olduğu gibi, lastik endüstrisinin temel faaliyetlerinden biridir. AB'de Şekil 1.4.'de görüldüğü gibi kullanım ömrünü yitirmiş lastiğin yönetimi için farklı sistemler bulunmaktadır (ETRMA, 2017).



Şekil 1.4. AB'deki her ülke için ömrünü yitirmiş lastik yönetim sistemi (ETRMA, 2017)

1.1.2.2.2.1 Geri dönüştürülmüş hurda lastiğin faydaları

Valente & Sibai, (2019)'e göre geri dönüştürülmüş hurda lastiğin başlıca faydaları şunlardır:

- 1- Ekonomik faydalar: John Dunham ve öğretim üyeleri tarafından yürütülen bir araştırmanın gösterdiği gibi geri dönüşümdeki artış önemli ekonomik faydalara neden olmaktadır; lastik geri dönüşümü endüstrisi yılda 1,6 milyar ABD doları üretmekte ve bu da yeni iş imkamlarının ortaya anlamına çıkacağı gelmektedir.
- 2- Çevresel faydalar: Büyük çok uluslu atık geri dönüşüm firmaları, atığın çevre üzerindeki bazı yıkıcı etkilerini hafifletmek ve lastiklerin geri dönüşüm oranını %90'dan fazla artırmak için çalışmaktadır.

1.1.2.2.2 Hurda lastik geri dönüşümü için gelecek vaat eden seçenekler

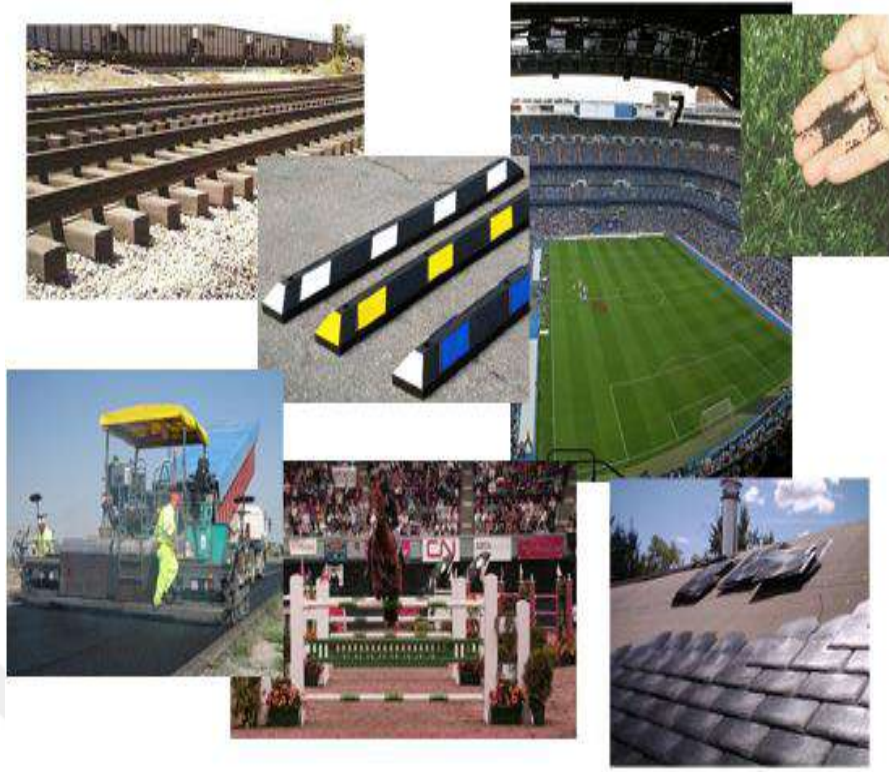
Bir hurda lastiğin yeniden kullanılması, bir lastiğin birincil kullanım amacı sonlandıktan sonra lastiğin tamamı veya bir parçası için farklı bir kullanım amacı bulmak anlamına gelir. Pek çok kişi geri dönüşümü ve yeniden kullanımı karıştırırsa da bu, geri dönüştürülmüş araba lastiklerini içermemektedir. Çocuklar için salıncaklar, diğer ilgi çekici yerler, saksılar, paspaslar, patikalar ve çok daha fazlası dâhil olmak üzere ev ve aile ihtiyaçları için lastikler yeniden kullanılabilir. Lastiklerin evde nasıl yeniden kullanılacağına dair birçok yaratıcı fikir vardır (Utires, 2017). Lastik geri dönüşüm seçenekleri ise şunları içerir:

- 1- Atık lastikler asfalt, menfez, tuğla, parke taşı, akustik panel gibi çeşitli inşaat malzemelerinde, spor zeminlerinde malç olarak ve asfaltta bağlayıcı değiştirici olarak, yol ve bent dolguları gibi jeoteknik uygulamalarda kullanılabilir (Gheni ve ark., 2019).
- 2- Asfalt kaplamalarda, lastik kullanımı teknik ve ekonomik olarak uygulanabilmekte ancak atık lastiklerin sadece küçük bir yüzdesi asfalt endüstrisinde kullanılmaktadır (Thomas ve ark., 2016).
- 3- Asfalt beton karışımlarında lastik kauçuğu kullanımı: Kauçukla modifiye edilmiş asfalt betonu esaslı normal yol kaplaması ve havaalanı kaplaması (havaalanı kaplaması için geri dönüştürülmüş beton ve kauçuklanmış beton) üzerine araştırmalar bulunmaktadır (G. Li ve ark., 2004).
- 4- Beton karışımlarında lastik kauçuğu kullanımı ve beton üretiminde endüstriyel kullanım (Pacheco-Torres ve ark., 2018). Hurda lastik kauçuğunun kullanımı, bazı doğal agregaların yerini almak için çimento esaslı malzemelere entegre edilmesidir. Harçta, hurda lastik külünün kullanılması; 850 ° C sıcaklığında 72 saat boyunca toplanan ve yakılan lastik kauçuk yongalarıdır. Lastik kauçuk külü, kum ağırlığına göre % 2,5'lik bir artışla, % 0 ile % 10 arasında değişen beşe ayrılan kum ikamesi olarak kullanılmıştır. Ayrıca akışkan dolguda hurda lastik kauçuğunun kullanımı ve kırıntı kauçuk bazlı akışkan bir dolgu, temel dolguları, köprü mesnet (abutment)

dolguları ve hendek dolguları gibi çok sayıda inşaat uygulamasında kullanılabilir (Siddique & Naik, 2004).

- 5- Lastik yakılmasından buhar üretimi.
- 6- Kauçuk kalıplı ürünlerin imalatı ve zemin lastiği kauçuğunun bir dizi plastik ve kauçuk üründe yeniden kullanılması.
- 7- Lastik türevli yakıt: Çimento sanayisinde, kâğıt/kağıt hamur sanayisinde, yardımcı kazanlarda ve endüstriyel kazanlarda yakıt olarak kullanılabilir. Hurda lastikler ısı değeri yüksek yakıt olarak kullanılabilceği gibi, beton üretiminde kauçuk külü ve çelik liflerin yan ürünleri de kullanılabilir. Ancak bu kullanım teknik olarak mümkün olduğu halde, yüksek başlangıç maliyetleri nedeniyle ekonomik olarak çok cazip değildir. Aynı zamanda büyük miktarlarda Karbondioksit yayarak çevreyi de kirletir (Thomas ve ark., 2016). Bununla birlikte, kullanımları, çimentonun kimyasal bileşimini etkileyen yanma işlemi sırasında yüksek CO₂ ve Kükürt dioksit emisyonlarına sebep olmuş, bu da gecikmiş etrenjit (Sulu kalsiyum alüminyum sülfat minerali) oluşumuna ve beton elemanlarda potansiyel çatlamalara sebep olmuştur.
- 8- Karbon siyahı üretiminde kauçuk lastiklerinin kullanılması.
- 9- Deniz ortamında yapay kayalık olarak kullanılması (Siddique & Naik, 2004).

Şekil 1.5. bazı hurda lastik geri dönüşüm seçeneklerini gösterir.



Şekil 1.5. Bazı hurda lastik geri dönüşüm seçenekleri (Utires, 2017)

1.1.2.2.3 İşlenmiş hurda lastiklerinin sınıflandırılması

Genel olarak atık lastikleri geri dönüştürülmesi: atık lastiklerin yenilenmesi, kauçuk tozu üretimi, geri kazanılmış kauçuk üretimi, piroliz ve arıtma yöntemi olmak üzere 5 yöntemden oluşmaktadır. Ama, teknik ve ekonomik kısıtlamalar veya ciddi çevre kirliliği sebebiyle bu yöntemlerin hiçbiri geniş ölçekte kullanılmamaktadır (Zhu ve ark., 2019; W. Li ve ark., 2014).

1- Hurda lastikler: Tam lastik olarak ele alınabilir. Tüm lastikler toplanır, tamir edilerek teslim edilir ve yeniden satılır. Kanada'da her yıl özellikle kamyonlardan gelen milyonlarca lastik geri çekilir, onarılır ve yeniden satılır. Düşük ağırlık, yüksek deranj kabiliyeti, nispeten sıkıştırılabilir olmaları ve düşük ısı iletkenliğine sahip olmaları gibi fiziksel özelliklerinden dolayı lastiklerin tamamı mühendislik

yapılarında kullanılabilir. Özellikle ıslak veya kırılğan ve mümkün olan en az yüke ihtiyaç duyan topraklarda kullanım için uygundur. Herhangi bir fiziksel veya kimyasal işlem olmaksızın geri dönüştürülebilirler. Gürültü bariyerleri, yapay bariyerler ve balyalar, tüm lastik uygulamasının bazı örnekleridir (Pastor ve ark., 2014).

- 2- Yarık lastikler: Lastik kesme makinelerinde üretilir. Bu makineler lastiği iki yarıya bölebilir veya yan duvarları lastiklerin dışından ayırabilir. Lastikler, ayakkabı, giysi vb. ürünlerde kullanılmak üzere parçalara ayırmak için döngüsel bir yöntem kullanarak kesilir.
- 3- Rendelenmiş / yontulmuş lastikler: Lastiğin parçalanıp boyutunun küçültülmesidir, Geri dönüşümde ucuz bir işlemdir. Lastikler üzerinde yapılan birincil, ikincil veya her iki parçalama işlemi vardır. Bu parçalama işlemleri, kauçuğun mekanik olarak parçalanmasına, yırtılmasına veya parçalara ayrılmasına neden olur. Üreticinin parçalayıcı modeline ve kesici kenarların durumuna bağlı olarak, birincil parçalama işleminde elde edilen lastik parçalarının boyutu 300 ila 460 mm (12-18 inç) uzunluğunda ve 100-230 mm (4-9 inç) genişliği arasında değişebilir. 100-150 mm (4-6 inç) uzunluğunda kadar küçülür. Lastik yongalarının üretimi, normal boyutunun 76 (3 inç) ila 13 mm (0,5 inç) arasında değiştiği yeterli hacim azalmasını sağlamak için hem birincil hem de ikincil parçalama gerektirir. Yongalar hafiftir, sıkıştırılabilir veya kalınlaştırılabilir. Diğer malzemelerle karşılaştırıldığında, düşük basınç altında kullanılabilirler, düşük ısı iletkenliğine ve yüksek drenaja sahiptirler. Yongalar, son derece olumsuz koşullar altında eriyecek gibi görünmelerine rağmen biyolojik olarak parçalanmazlar. En yaygın kullanımı alanları hafif dolgu, drenaj ve yalıtımdır (Torretta ve ark., 2015).
- 4- Öğütülmüş kauçuk: Ticari uygulamalar için kullanılabilir. zemin kauçuğu nominal olarak 19 mm (veya 3/4 inç) genişliğinde veya 0.15 mm (No. 100 elek) kadar küçük boyutlandırılabilir. Başlıca kullanım alanları arasında katı tekerlekler, çiftlik hayvanları yatakları, yer karoları, çatı kaplama malzemeleri, titreşim, yol işaretleme malzemeleri, kauçuk modifiye asfalt, kauçuk asfalt, bordürler, yol bariyerleri, çarpma yastığı, kalıplanmış ve ekstrüzyonlu ürünler, yeni lastik imalatı, spor zeminleri gibi atletik ve rekreasyonel uygulamalardır.

5- Kırıntı kauçuğu: Kırıntı kauçuğu 9,5 mm (3/8 inç) ila 0,075 mm (75 µm) boyutunda (No. 200 Elek) parçacıklardan oluşur. Hurda lastikleri kırıntı kauçuğuna dönüştürmek için, tipik olarak kullanılan yöntemler: (i) granüler işlem: granülatör, düşük yüzey alanına sahip kübik, tek tip şekilli bir kesik partikül üretir. Parçacıklar, tipik olarak 9,5 mm'den 2,00 mm'ye ((3/8 inç ila No. 10 elek) kadar çeşitli boyutlarda üretilebilir. Bu ürüne granüle edilmiş kırıntı kauçuk malzemesi denir, (ii) kraker değirmen işlemi: Kauçuk maddelerini dönen oluklu çelik tamburlar arasından geçirerek, kraker değirmeni işlemi lastik kauçuğunu parçalara ayırır veya küçültür. Bu yöntem, düzensiz şekilli ve geniş bir yüzey alanına sahip yırtık parçacıklar üretir. Bu parçacıkların boyutları 4,74 mm'den 425 µm'ye (No. 4 –No. 40 Elek) değişir ve yaygın olarak öğütölmüş kırıntı kauçuğu olarak adlandırılır, (iii) mikro öğütme işlemi: çok ince öğütölmüş kırıntı kauçuk malzemesi üretir. Parçacıklar, 425 µm'den 75 µm'ye kadar boyut aralığı (No. 40 ila No. 200 elek) arasında değişir (HEITZMAN, 1992). Çoğu durumda, toz, işlenmemiş malzeme ile karıştırılan bir bileşimin bir bileşenidir. Bu toz, daha sonra yolların yapımında veya bir kauçuk süspansiyon oluşturmak için bir çözücüye eklenerek bir kaplama malzemesi olarak kullanılır. Bu ürün su yalıtımı için kullanılabilir. Ayakkabı tabanları, spor tesisleri, elektrik kabloları kaplamaları, otomobil parçaları, boyalar, mürekkepler, gözenekli asfalt için bağlayıcılar, kaplamalar ve sızdırmazlık malzemeleri ve döşeme başlıca kullanım alanlarıdır.

Roychand ve ark., (2020) 'e göre beton üretiminde agrega olarak kullanılmak üzere parçalanmış geri dönüştürölmüş lastikler üç kategoriye ayrılır:

- i) Kaba agrega olarak kullanılan parçalanmış veya yontulmuş kauçuk, iki aşamalı bir işlemde üretilir. Birinci aşamada lastik kauçuğunu 300–460 mm uzunluğunda ve 100–230 mm genişliğinde parçalar, sonrasında ikinci aşamada boyutları 13 mm ile 76 mm arasında değişen partiküller üretilir.
- ii) İnce agrega olarak kullanılan kırıntı kauçuğu iki yöntemle üretilir: (a) kraker değirmenleri kullanılarak ortam sıcaklığında ve (b) kriyojenik bir işlemle sıvı nitrojen kullanılarak -80 °C'den düşük sıcaklıklarda, 4.75 mm'den <0.075 mm'ye kadar değişen partikül boyutlarında üretilir.

- iii) Çok ince agrega olarak kullanılan, mikro öğütme veya ıslak öğütme işlemi kullanılarak üretilen, 0,5 mm ila 0,075 mm arasında değişen parçacık boyutuna sahip ince öğütülmüş kauçuk.

Şekil 1.6.'de lastik parçalamanın farklı aşamaları gösterilmiştir (Roychand ve a., 2020).



Şekil 1.6. Lastik parçalamasının farklı aşamaları (Roychand ve ark., 2020)

1.2 Beton Üretiminde Atık Lastik Kauçuklarının Kullanımı

Son yıllarda yapılan araştırmalar, inşaatta en çok kullanılan malzeme olan ve büyük miktarda doğal kaynak tüketen beton üretim teknolojilerinde hurda lastiklerin kullanımına yoğunlaşmaktadır. Lastik yok edilmesine ilişkin çevresel endişeleri çözmek için, geri dönüştürülmüş lastik kauçuğunun beton karışımlarında kullanılması, çimento

ve doğal agregaların yerine betona dâhil edilerek kullanılması geleneksel beton karışımlarına olası bir alternatif olarak sunulmuştur. Bu sebeple, atık lastik kauçuğun betonda yeniden kullanılması hem çevresel faydalara sahip olabilir hem de ekonomik uygulanabilirliği garanti edebilir. Bu bağlamda, hurda lastik kauçuğun çimento betonundaki ince agregaların yerine kısmen kullanılması, çevre kirliliğini kontrol etme ve doğal kaynakları koruma çabasıdır (Y. Li ve ark., 2019). Bu yeniden kullanım, çevre dostu binaların geliştirilmesini teşvik eder ve daha ekonomik bir tasarıma ulaşmaya yardımcı olan sürdürülebilir üretim fikrini destekler. Şu anda, kauçuk betonun geliştirilmesi ve kullanımı henüz başlangıç aşamasındadır ve çoğu araştırmacı yalnızca mekanik performansına veya çalışma performansına odaklanmaktadır.

Pek çok araştırma, sürdürülebilir beton üretmek için agrega olarak lastik kauçuğunun kullanımına odaklanmaktadır (Batayneh ve ark., 2007). Agregaların ikamesi olarak kauçukla beton üretimi, atılmış lastiklerin yeniden kullanımı için sadece normal betonda değil, aynı zamanda silindirle sıkıştırılmış betonda, kendiliğinden yerleşen betonda ve yüksek mukavemetli beton üretiminde gelişmekte olan bir alandır (Ismail & Hassan, 2016).

Farklı şekil ve boyutlarda kauçuk agregaların kullanılması doğal kaynaklardan tasarruf sağlar, temiz bir ortamın korunmasına yardımcı olur, betonun birim hacmini azaltır, betonun davranışını kırılığandan sünek hale getirir, enerji emilimini ve esnekliğini artırır (Ali & Hasan, 2019).

Dünya çapındaki araştırmacılar arasında, kauçuklaştırılmış beton oluşturmak için ezilmiş hurda lastiklerin betona eklenmesi geniş ilgi görmüş ve çalışma alanları kauçuklaştırılmış betonun yapısal ilişkileri, yorulma performansı, darbe performansı, donma / çözülme performansı, dayanıklılık performansını olarak ilerlemiştir. Çalışmalar, sınırlı hacimde kauçuk içeren betonun genellikle yapısal bileşenler olarak kullanılabilirliğini göstermiştir (Feng ve ark., 2015).

Kauçuk beton, atık lastiklerin geri dönüşüm yollarını genişletmek ve aynı zamanda beton performansını iyileştirmek için katkısı kısmen atık lastik tozları ile değiştirilen yeni bir beton türüdür. Kırıntı kauçuğu, öğütülmüş lastik kauçuğunun küçük parçacıklı bir şeklidir ve beton gibi çimento esaslı malzemeler gibi uygulamalarda

kullanılabilir. Bununla birlikte, kauçuklaştırılmış betonun, kauçukla agrega ikamesinin ağırlık yüzdesi artışıyla mukavemetinin düşmesi açısından büyük bir zayıflığa sahip olduğu bildirilmiştir. Buna rağmen ürün, hafifliği, sünekliği, darbeye dayanıklılığı ve çevresel avantajları açısından büyük potansiyel göstermiştir. Kauçuğun betondaki etkilerini değerlendirmek için çok sayıda araştırma yapılmıştır (Park ve ark., 2015).

Yang ve ark., (2001)'e göre kauçuklaştırılmış beton kullanımının menfezler, çarpma bariyerleri, kaldırımlar, koşu yolları, ses emiciler ve diğer ikincil yapısal bileşenler ile sınırlı olması gerektiğini bildirmektedir. Yaya beton bloklarda iri ve ince agregaların yerine parça kauçuğunun kullanılması, daha yumuşak bloklar üretecek ve yüzey yumuşaklığı sağlayacaktır (Sukontasukkul & Chaikaew, 2006). İlginç bir alternatif, geri dönüştürülmüş lastiklerden kauçuğun beton kaplamalara dâhil edilmesidir. Bu uygulama beton kaplamaların bazı kritik özelliklerini iyileştirmektedir (Pacheco-Torres ve ark., 2018).

Betonda geri dönüştürülmüş kauçuk kullanılması ile birim ağırlığın düşürülmesi, süneklik ve tokluğun iyileştirilmesi ve çatlak direnci kapasitesinin artırılması gibi birçok arzu edilen iyileştirme elde edilmiştir. Kauçuklaştırılmış beton, geleneksel beton karışımlarına kıyasla daha iyi donma ve çözülme dayanıklılığı ve sülfat direnci sergilemiştir. Dolayısıyla, kauçuklaştırılmış beton teorik olarak aşağıdaki alanlarda kullanılabilir (Siddique & Naik, 2004):

- 1- Tren istasyonları için ve içinde dönen makine temel yastığı gibi titreşim sönümlemesine ihtiyaç duyulan yerlerde.
- 2- Hendek doldurma ve boru döşeme, kazık başları ve kaldırım döşemelerinde.
- 3- Demiryolu tamponlarında, jarse bariyerlerde (otoyol bölücü olarak ve yasaklı alana erişimi engelleme aracı olarak kullanılan koruyucu beton bariyer) ve sığınaklarda olduğu gibi darbe veya patlamaya karşı direncin gerekli olduğu yerlerde.
- 4- Kauçuk betonun hafif birim ağırlığından (900 ila 1600 kg/m^3) dolayı beton çivileme, sahte cepheler, taş destek ve iç yapı elemanları gibi mimari uygulamalarda kullanılabilir.

- 5- Ayrıca kauçuk-beton, (i) amortisör olarak otoyol yapımında, (ii) ses bariyerlerinde, ses yükselticide (sesi etkin bir şekilde kontrol eden) ve (iii) binalarda deprem şoku dalga emicisi olarak kullanılabilir. Ancak, kesin önerilerden önce ilerici araştırmalara ihtiyaç vardır.

Normal ağırlıklı betondaki ince ve / veya iri agreganın yerine kullanılan geri dönüştürülmüş hurda lastik kauçuğunun kullanımı , taze ve sertleşmiş aşamalarındaki bu beton özellikleri üzerindeki etkilerini araştıran çok sayıda araştırma bulunmaktadır. Ancak, hurda lastik kullanımının hafif betonun özellikleri üzerindeki etkisini ele alan çok az çalışma bulunmaktadır. Çizelge 1.2.'de gösterildiği gibi de Türkiye'nin en önemli üretici ülkelerinden biri olduğu pomza tipi doğal hafif agregalar kullanılarak üretilen hafif betonlarda hurda lastik kauçuğunun kullanımı etkisini ele alan bir araştırma yok. Ayrıca, hurda lastik kullanımının normal ağırlıklı beton üzerindeki etkisi ile hafif beton üzerindeki etkisini karşılaştıran daha önce yapılmış bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada pomza tipi doğal hafif agrega kullanılarak üretilen taşıyıcı hafif beton ve normal betonun basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve titreşim özellikleri üzerinde hurda lastik kullanımının etkisi karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Çizelge 1.2 Dünya'nın en önemli pomza üretici ülkeleri ve üretim miktarları (Dikici, 2010)

Ülkeler	Üretim Miktarları (ton/yıl)
A.B.D	12,250,000
İtalya	4,600,000
Yunanistan	1,600,000
Türkiye	800,000
İspanya	600,000
Almanya	550,000
Guadalup	210,000
İran	150,000
Martinik	130,000

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Kullanılmış lastiğin normal ağırlıklı betonda kullanımı konusunu ve bunun normal betonun taze ve sertleşmiş fazlarındaki tüm özellikleri üzerindeki etkisini inceleyen birçok araştırma vardır. Ancak, lastik kullanımının hafif betonun özelliklerine etkisi hakkında yapılan çok az çalışma vardır. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar, hurda lastik kauçuğu ile doğal agrega değişimi, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, yarıma gerilme dayanımı ve elastisite modülü gibi betonun mekanik özellikleri üzerinde olumsuz etkileri olabileceğini ortaya çıkarmıştır. Ancak bu olumsuz etkiler, hurda kauçuk ile doğal agrega değişimi düşük olduğunda kabul edilebilir sınırların ötesine geçmemiştir. Ek olarak, hurda lastik kauçuğu ile doğal agrega değişimi, geleneksel betona kıyasla darbe direncini, sünekliği, yorulma direnci gibi dinamik faktörleri olumlu etkilemesi, ve ayrıca daha yüksek tokluk ve daha düşük yoğunluk sağlamıştır (Siddika ve ark., 2019). Hurda lastikleri betona dahil edilmesi, kırılma modunu etkilemiş ve betonu kırılma halden sünek hale getirmiştir (Noaman ve ark., 2016).

2.1 Basınç Dayanımı

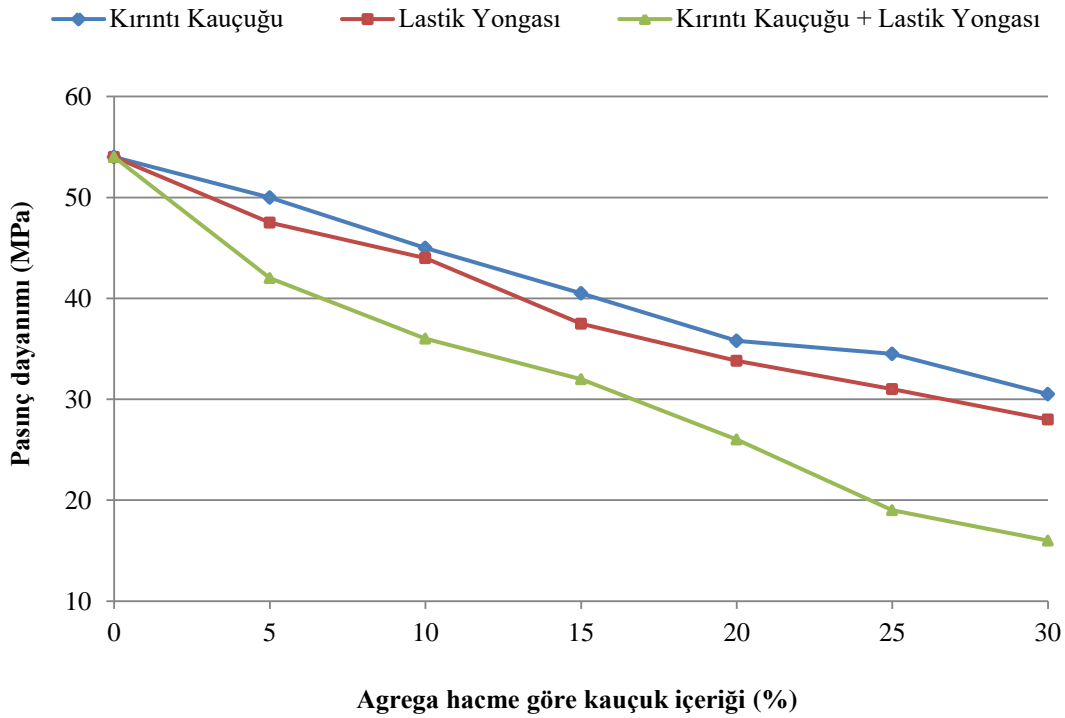
Eldin & Senouci, (1993), Topcu, (1995), yaptıkları çalışmalarda, kauçuklaştırılmış beton karışımlarının basınç dayanımının kauçuk parçacıklarının boyutu, oranları ve yüzey dokusundan büyük ölçüde etkilendiğini göstermişlerdir. Eldin & Senouci, (1993)'e göre, lastik yongaları ve kırıntı kauçuk agregaları içeren beton karışımları, normal Portland çimento betonundan daha düşük basınç dayanımı gösterir. Khatib & Bayomy, (1999), Topcu, (1995), kaba agrega tamamen iri kırıntı kauçuk yongalarla değiştirildiğinde, basınç mukavemetinde yaklaşık %85 azalma olduğunu belirtmiştir. Bununla birlikte, ince agrega tamamen ince parça kauçuğu ile değiştirildiğinde, basınç mukavemetinde yaklaşık %65 azalma gözlenmiştir. Betona iri kauçuk yonga ilavesi, ince kırıntı kauçuğunun ilavesinden daha fazla basınç dayanımını azaltır.

Duarte ve ark., (2016), Siddika ve ark., (2019)'e göre, kauçuklaştırılmış betonun basınç dayanımı genellikle normal betonunkinden daha düşüktür. Khalid B. Najim & Hall, (2012), 0,075 mm'den 6 mm'ye kadar değişen boyutlarda doğal agregaların kauçuk içeriği %5-50 olan betonda, mukavemette yaklaşık %4-70'lik bir azalma gözlemlenmiştir. Çizelge 2.1.'de Siddika ve ark., (2019) yaptığı çalışmaya göre basınç dayanımındaki azalma gösterilmiştir. Ganjian ve ark., (2009), kauçuklaştırılmış beton mukavemetindeki genel azalma, boyut, şekil, mekanik özellikler ve kauçuk agrega değişim seviyelerinin yüzdesine bağlamıştır. Siddika ve ark., (2019)'a göre, Şekil 2.1.'te gösterdiği gibi kauçuk agreganın boyutu ne kadar büyükse, kauçuklaştırılmış betonun basınç dayanımındaki azalma da o kadar büyük olur. Batayneh ve arkl., (2008)'e göre, sıkıştırılmış beton için, %100 parça kauçuk değişiminin kullanılması, basınç mukavemetinde %90'a kadar azalma göstermiştir.

Valente & Sibai, (2019)'e göre, agregasyondaki parça kauçuğu yüzdesini artırarak, basınç dayanımı kademeli olarak azalır. Maksimum %20 miktarda kauçuk içeren betonda, lastiksiz sıradan betona göre basınç dayanımını %50 azaltır. Basınç dayanımının azalması, çimento ile kauçuk parçacıkları arasındaki zayıf yapışma sebebiyledir. Bu kusurlar, malzeme basınç gerilimine maruz kaldığında, çatlaklara sebep olan mekanik zayıflık kaynaklarını yansıtır. Bu testler üzerine yapılan araştırmaların çoğu, çimentodaki %5'lik kırıntı kauçuğunun beton mukavemetinde herhangi bir olumsuz etkisi veya azalması olmadığını göstermektedir.

Çizelge 2.1. Normal betondan kauçuklaştırılmış betonun basınç dayanımında azalma. (AGB; beton karışımının en zayıf kısmı). (Siddika ve ark., 2019)

Kauçuk agrega boyut(mm)	Değiştirme Seviye	Örnek özellikleri	Basınç dayanımı değişimi	Elastisite modülü değişimi	Notlar
1.18–2.36	%5–15 İnce agrega	Küp (s/ç = 0.47 orantılı 1:1.7:2.1)	Azaldı %12.7–26	Azaldı %9.4–18.5	Artan boyut ve kauçuk agrega içeriği ile birlikte basınç dayanımı azalır
Ortalama 1.18	%6–18 İnce agrega	Cylinder (s/ç = 0.5 orantılı 1:1.5:2.7)	Azaldı %10.9–30.9	Azaldı %2.2–10.1	Kauçuk ilavesiyle süneklik artar
1.18 ve 2.36	%6–18 İnce agrega	Silindir (s/ç = 0.5 orantılı 1:1.7:2.7)	Azaldı %11.5–31.9	Azaldı %4.4–13.7	Kauçuk agrega, betonun enerji yutma kapasitesini ve tokluğunu iyileştirdi
<10 45µm-1.2	%5–10 İri agrega %5–10 Bağlayıcı	Silindir (s/ç = 0.5 orantılı 1:2.26:2.44)	Azaldı %10–23 Azaltıldı %20–40	Azaldı %17–25 Azaltıldı %18–36	Kauçuk bir boşluk görevi görür ve AGB'deki herhangi bir konsantr yük, betonun hızlı bir şekilde parçalanmasına neden olur



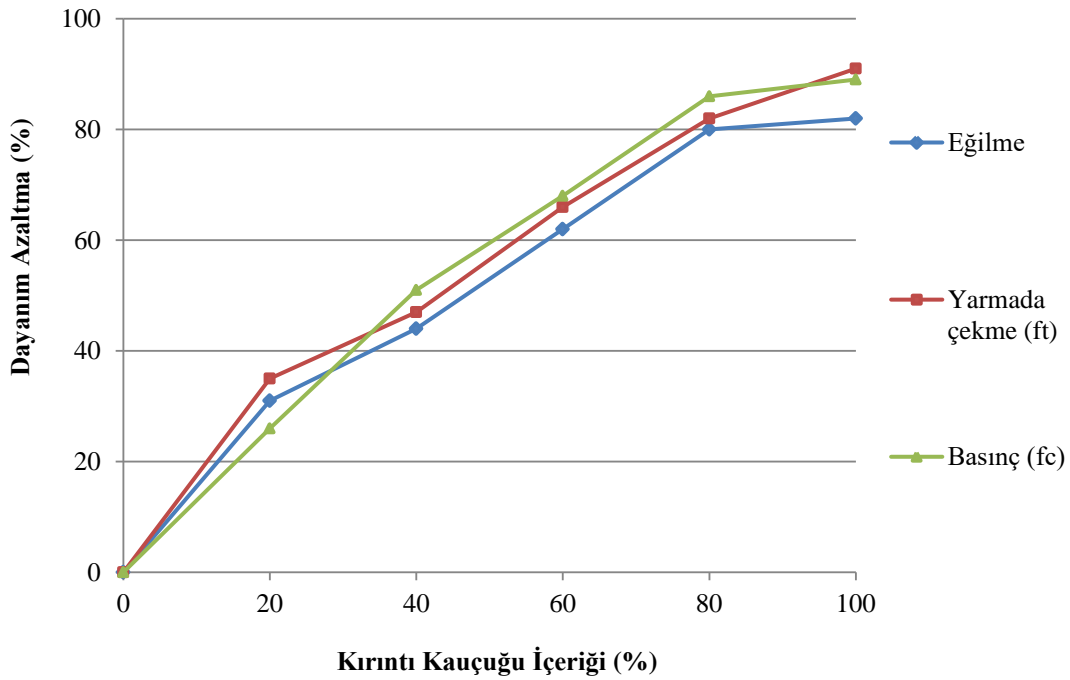
Şekil 2.1. Kauçuk içerikli kauçuklanmış betonun basınç dayanımının değişimi (Siddika ve ark., 2019)

Farklı çalışmalarda, artan kauçuk içeriği ile kauçuklanmış betonun basınç dayanımındaki düşüş eğiliminin sebepleri gösterilmiştir. Kauçuk esaslı agreganın kullanımına bağlı olarak beton basınç dayanımındaki azalmanın ana sebepleri şu şekilde sıralanabilir: (i) kauçuk, betonda bir boşluk gibi davrandığından, betondaki kauçuk ve çimento macunu arasındaki çok düşük yapışma beton matris ve bu tür matrisin yoğunluğunu düşürür ve bu basınç değerlerindeki düşüş eğiliminin ana sebeplerinden biridir Ganjian ve ark., (2009), Aslani, (2016), Ganjian ve ark., (2009), Záleská ve ark., (2019)'e göre, (ii) Agregayı çevreleyen kauçuk partiküllerini içeren çimento macunu, kauçuk içermeyen macundan çok daha yumuşaktır, bu da yükleme sırasında kauçuk partiküllerinin etrafında hızlı çatlakların oluşmasına sebep olur; (iii) Kauçuk parçacıkları ile çimento macunu arasında uygun bağın olmaması; (iv) Basınç dayanımı, kullanılan malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerine bağlıdır, doğal agreganın kauçuğa göre daha yüksek mekanik dirence sahiptir, buna göre doğal agreganın bir kısmını kauçukla değiştirilse basınç dayanımında bir azalma beklenir; (v) kauçuklu beton daha yüksek gözenekliliğe sahiptir. Bu da basınç dayanımının azalmasına sebep olur ve (vi) Siddika ve ark., (2019)'e göre, kauçuklaştırılmış beton, basınç gerilimine maruz kaldığında, kauçuk parçacığın yüzeyi ve bağlı çimento macunu boyunca çekme gerilmelerinin gelişmesine ve betonun çatlamasına neden olur. Betondaki kauçuk ve çimento hamurunun birleşim yeri yakınında başlayan ve hızla kopmaya yayılan kauçuk parçacık çatlaklarının yumuşaklığı bu tür gerilmelere sebep olur. Kauçuklu betonda, kauçuk agreganın hidrofobik yapısı çimento hamurunu ittiği için çok geniş ve gözenekli zayıf bir arayüzey geçiş bölgesi (AGB; beton karışımının en zayıf kısmı) gözlenmektedir.

2.2 Eğilme Dayanımı

Batayneh ve ark., (2008)'ya göre, kauçuğun ağırlıkça yüzdesi arttıkça, kauçuklaştırılmış beton karışımının eğilme dayanımı giderek azalır. Kauçuklaştırılmış betonun eğilme mukavemetinin azalma eğilimi, basınç ve yarmada çekme dayanımı ile neredeyse benzerdir. Thomas ve ark., (2015) de benzer şekilde, betonda %20 kumun yerine parça kauçuğu kullanıldığında eğilme çekme dayanımında %25-27 azalma

oluşturduğunu belirtmiştir. Siddika ve ark., (2019)'ya göre, Kauçuklaştırılmış betonun erken aşamadaki eğilme dayanımı, düşük su-çimento oranına sahip %30'a kadar kauçuk içeren düz betondan büyük ölçüde daha düşük değildir. İyi olan nokta, kauçuklaştırılmış betonun normal beton gibi eğilme altında aniden bozulmamasıdır. Böylelikle, eğilme yükü altında, kauçuklaştırılmış beton gevrek kırılma göstermez ve belirli bir miktarda deformasyonla uğrar ancak tam parçalanmaya ulaşmaz. Bu davranış yontulmuş ve öğütülmüş kauçuk olmak üzere iki çeşit kauçuk takviye için geçerlidir. Araştırmacılar, agregasyon işlemi sırasında yontulmuş kauçuğun çimento ile zayıf bağlanması nedeniyle, beton numuneleri kırıldıktan sonra yontulmuş kauçuğun karışımdan kolayca çıkarılabileceğini kaydetmiştir. Bu, eğilme ve basınç dayanımındaki kademeli azalmanın önemli bir sebebi olarak kabul edilir. Şekil 2.2.'da gösterilen, Kauçuk ve çimento hamuru arasındaki zayıf bağ, basınç dayanımındaki düşüşe kıyasla eğilme dayanımında daha keskin bir azalmaya neden olur.



Şekil 2.2. Kauçuk içeriği ile dayanım azaltma değişimi (Siddika ve ark., 2019)

2.3 Dinamik ve Titreşim Özelliklerinde Etkisi

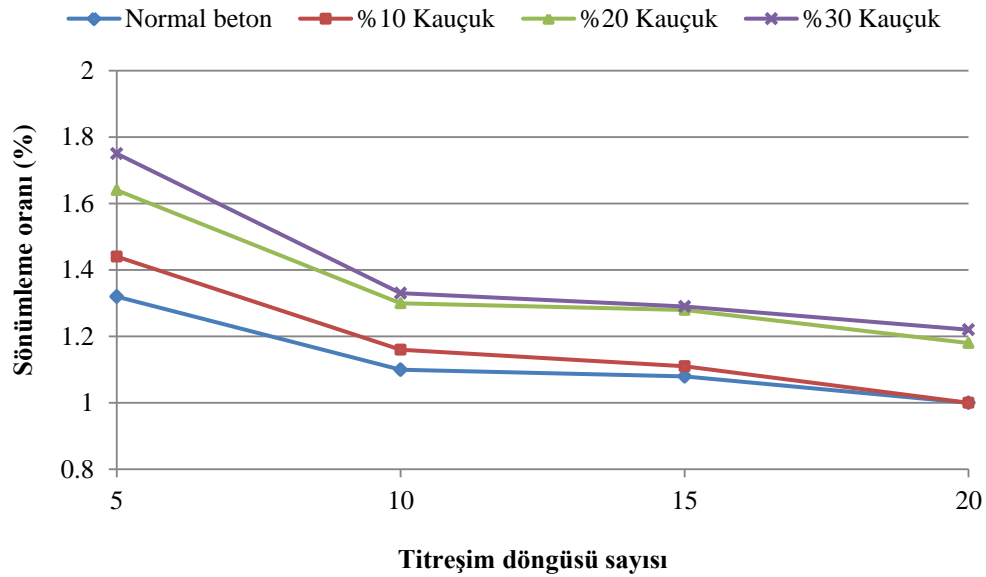
Bala & Gupta, (2021)'ya göre, kauçuklaştırılmış beton, kauçuk parçacıklarının viskoz yapısı nedeniyle geleneksel beton karışımına kıyasla daha yüksek titreşim sönümlenmesi sergiler. Böylece sismik yükler altında daha yüksek enerji yutma kapasitesine sahip olur. Kauçuk içeriği ve kauçuk granül boyutunun artmasıyla titreşim sönümlenme oranı artar. Titreşim sönümlenme, genellikle kauçuklu beton numuneler üzerinde serbest titreşim testleri kullanılarak ölçülür.

K. B. Najim & Hall, (2010)'a göre, kauçuk agrega eklendiğinde betonun dinamik özellikleri gelişmiştir. Roychand ve ark., (2020) dinamik bir darbe testinde, kauçuk içeriğindeki artışla birlikte maksimum kopma yükü azalırken, numuneler tarafından emilen enerji, maksimum %80 seviyesine kadar iyileşmiştir. Maksimum yükün azalması ve maksimum yükteki harcanan enerjinin artışı, toplam çarpma süresindeki artışa ek olarak, daha küçük yavaşlama kuvvetine yol açarak, araç hasar şiddeti ve kauçuk beton güvenlik bariyerleri ile ilişkili yolcu yaralanması risklerinde azalmaya sebep olmuştur. Darbeli bükme ile ilgili olarak, maksimum %20'lik ikame seviyesine kadar kauçuk içeriği artışı ile tepe bükülme yükü ve kırılma enerjisi artmıştır.

Siddika ve ark., (2019)'a göre kauçuklaştırılmış betonun sönümlenme oranı, normal betonunkinden çok daha iyidir. Kauçuklaştırılmış beton, normal betondan daha fazla titreşim enerjisini emebilir ve demiryolu traverslerinin yapımında kullanılabilir. Kauçuklu betonda kauçuk agrega miktarlarının artması ile titreşim eme ve sönümlenme oranı iyileştirmiştir. Betona entegre edilmiş ince taneli kauçuk agregasının sönümlenme oranı, kaba olandan daha büyüktür.

Şekil 2.3.'de gösterdiği gibi, betondaki kauçuk içeriği ile sönüm oranındaki değişimin karakteristik diyagramını göstermektedir. Grafik, artan kauçuk içeriği ile sönüm oranındaki artış eğilimini göstermektedir ve artış, yük döngüsünün erken aşamasında önemlidir. Bu sebeple, dinamik (simsik) yükleme altında, kauçuklaştırılmış beton, çatlak başlangıcını geciktirdiğinden dolayı, normal betona göre tercih edilebilir, dolayısıyla daha düşük donatı ihtiyacı sebebi ile ekonomik faydalar sağlanabilir.

Deprem etkisine karşı, yüksek histerik sönümlenme oranı ve enerji yayma kapasitesi nedeniyle kauçuklanmış beton kullanılabilir.



Şekil 2.3. Kauçuklaştırılmış betonun sönümlenme oranının kırıntı kauçuk içeriği ile değişimi (Siddika ve ark., 2019)

Siddika ve ark., (2019), Genel mekanik mukavemet açısından, kauçuk miktarının artırılması betonu zayıflatığını söylemiştir. Kauçuğun beton karışımı içindeki zayıf yapışması ve yığılma topaklanma bazen enerji dağıtma kapasitesinin azalmasına sebep olabilir. Bununla birlikte, aşırı kauçuk içeriğinin eklenmesi, betonun dinamik yükler altında olan enerjiyi emme kapasitesi üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olabilir (Siddika ve ark., 2019). Duarte ve ark., (2016) ise betondaki artan kauçuk içeriği ile kauçuklaştırılmış betonun dinamik modülünün azaldığını ve düşük elastisite sebebi ile yüksek deformasyonlara sebep olduğunu belirtmiştir. Kauçuklu betonun çelik borulara dâhil edilmesi, kauçuklanmış betonun yüksek enerji emme kapasitesi ve sünek yapısından yararlanarak yüksek sismik verimlilik sağlamıştır. Kew ve ark., (2014), son zamanlarda yapılan birçok araştırma, yapıların, özellikle dinamik yüklere ve sismik faaliyetlere maruz kalanların davranışlarını iyileştirmesi gerektiğini göstermekte olduğunu belirtmiştir. Ismail & Hassan, (2016), atık kauçuğun bir agrega ikame

maddesi olarak yeniden kullanımının, daha dinamik özelliklere ve daha fazla sünekliğe sahip beton geliştirmek için olası bir alternatif yol olduğunu göstermiştir.

Rahman ve ark., (2013) 'ye göre, bir referans karışımı ile karşılaştırıldığında, kauçuklaştırılmış karışımlar (1-4 mm hurda kamyon lastiği kırıntısı kauçuk parçacıkları ile kütlece %5, %7,5 ve %10 agrega ikameleri ile), betonarme kirişlerin doğal frekanslarında kademeli azalmalar göstermiştir. En büyük azalmayı gösteren en yüksek kauçuk yüzdesini içeren karışımdır. Kauçuklaştırılmış karışımın genel mukavemet kaybına rağmen geliştirilmiş enerji emme kapasitesinin bir sonucu olarak, yüklendiğinde esneklik göstermiştir. %10 kauçuk içeren bir kombinasyonun %26'ya varan bir azalmaya sahip olduğu gösterilmiştir. Bulgular, kauçuklaştırılmış betonun daha iyi titreşim önleme özelliklerine sahip olduğunu ve demiryolu tamponları, sığınaklar ve jarse bariyerler (otoyol ayırıcı ve yasak bölgeye erişimi engelleme yöntemi olarak kullanılan koruyucu bir beton bariyer) gibi darbe veya patlamaya karşı direncin gerekli olduğu yerlerde titreşim azaltma malzemesi olarak kullanılmaya uygun bir alternatif olabileceğini göstermiştir.

2.4 Kauçuklaştırılmış Betonun Mekanik Özelliklerindeki düşüşü Azaltılmaya Yönelik Yaklaşımlar

Atık kauçuğun kullanımı ile ilgili çoğu araştırma, kauçuk içeriğinin artmasının betonun mekanik özelliklerini olumsuz etkilediğini göstermiştir. Araştırmacılar, kauçuk agregaların eklenmesi sebebiyle mekanik özelliklerdeki düşüşü en aza indirmek için birçok yöntem önermiştir.

Eldin & Senouci, (1993)'e göre, atık lastik kauçuğunun kullanımı, ince ve iri agrega ikame malzemesi olarak büyük bir potansiyel sunarken, çimento matrisi içindeki bağlanma eylemlerinin verimliliği için önemli bir zorluk teşkil etmektedir. Kauçuk partiküllerinin çimento macunu ile bağlanmasının zayıf performansı, mekanik performansında ve muhtemelen dayanıklılık özelliklerinde önemli bir düşüşe sebep olmaktadır. Araştırmacılar, bu zorluğun üstesinden gelmek için kauçuk parçacıklarının

bağlanma verimliliğini iyileştirmenin ve kauçuk betonun mekanik ve dayanıklılık özelliklerini geliştirmenin farklı yollarını aramaktadır. Mekanik özellikleri iyileştirmek için farklı parametreler araştırılmıştır. Bu parametreler şunları içerir:

- 1- Betondaki kauçuk içeriğinin yüzdesi, kauçuk tane boyutu ve değiştirilen malzeme (çimento, ince agrega ve iri agrega).
- 2- Roychand ve ark., 2020'ye göre, kauçuk partiküllerinin su yıkama, su ıslatma, çimento macunu ve harç kaplama, NaOH, Silan bağlama maddesi, polivinil alkol, kısmi oksidasyon, organik sülfür bileşikleri, akrilik asit ve polietilen glikol, ultraviyole ve gama radyasyonu, metanol, etanol ve aseton muamelesi gibi çözücüler ve kireçtaşı tozu, karboksilat stiren-bütadien kauçuğu, KMnO₄ ve NaHSO₃, ısıtma işlemi, sülfürik asitle (H₂SO₄) asit muameleleri, HCl, HNO₃, CH₃COOH, Ca (OH)₂, kalsiyum klorür (CaCl₂), hidrojen peroksit (H₂O₂) ve karbon disülfür (CS₂) ile işlenmesi gibi yöntemlerle kauçuklaştırılmış betonun mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi için çalışmalar yapılmıştır. Y. Li ve ark., (2019), kırıntılı kauçuk agregası ile çimento macunu arasındaki yapışmayı artırmak için yüzey modifikasyon yöntemlerinin kullanılması gerektiğini söylemiştir. (Ali & Hasan, 2019), ise diğer araştırmacıların kauçuklanmış betonun mekanik özelliklerinin, kauçuk ve çimento macunu arasındaki yapışmayı artıran kauçuk yüzeyi için kimyasal ön işlem kullanılarak geliştirilebileceğini öne sürdüğünü belirtmiştir. Buna ek olarak Siddika ve ark., (2019), kauçuk ve beton arasındaki yapışmayı artırmak için belirli bir çözücü, emülsiyon, reçine gibi modifiye edici veya diğer spesifik olarak kanıtlanmış faydalı maddeler kullanılarak kauçuk agregasının ön işleminden geçirilmesi gerektiğini söylemiştir.
- 3- Y. Li ve ark., (2019) ve Roychand ve ark., (2020)'ye göre, beton karışımına mekanik özellikleri iyileştirmek için silika dumanı, stiren bütadien kopolimeri (önceden kaplanmış), lifler ve tamamlayıcı çimento malzemeleri (öğütülmüş yüksek fırın cürufu) metakaolin, cam tozu, kum tozu, nano-silika ve doğal zeolit gibi katkı malzemeleri eklenebilir. Y. Li ve ark., (2019)'a göre lifler ve tamamlayıcı çimentolama malzemeleri eklemek, kırıntılı kauçuk betonun mekanik özelliklerini iyileştirebilir.

- 4- Batayneh ve ark., (2007) sonlu elemanlar yöntemine kullanılarak parametrik bir analiz gerçekleştirmiştir. Analizlerine dayanarak, maksimum kauçuk talaş boyutunun azaltılmasıyla kauçuklaştırılmış betonun mukavemetinin artırılacağı sonucuna varmıştır; daha sert iri agrega kullanılması; üniform kaba agrega boyut dağılımının kullanılması; ve mukavemeti yüksekse daha sert çimento harcı kullanmak veya sünekliği yüksekse daha yumuşak çimento harcı kullanmak. Ayrıca kauçuk talaş içeriğinin pratikte kullanılabilmesi için belirli bir aralıkla sınırlandırılması gerektiği sonucuna varmışlardır. Ali & Hasan, (2019)'a göre lastik liflerinin sertliğini artırmak ve ince lifler kullanmak kauçuklanmış betonun mukavemetini ve sertliğini iyileştirmeye yardımcı olacaktır.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

3.1.1 İri hafif agregâ (pomza)

Tez çalışmasında kullanılan hafif agregâ (pomza) Nevşehir bölgesinden temin edilmiştir Şekil 3.1. Elde ettiğimiz agregâ, yüksek oranda ince ve hafif agregâ içerdiğinden dolayı iri agregâ olarak sınıflandırılmamıştır. Bu yüzden agregâ manuel eleme yapılarak, 4 mm'lik eleğinden geçen ve 22.4 mm'lik eleğinde kalan agregâ atılmış, ve geri kalan agregâlar (16) mm'lik elekte kalan, 11.2 mm'lik elekte kalan, 8 mm'lik elekte kalan ve 4 mm'lik elekte kalan agregâ olarak gruplara ayrılmıştır. Eleklerin üzerinde kalan hafif iri agregâlar Çizelge 3.1'de belirtilen oranlara göre karıştırılmıştır (Hossain & Lachemi, 2007) (Green et al., 2011).

Hafif agregâların gevşek ve sıkışık yığın yoğunluk hesapları için testler TS EN 1097-3 Türk Standardına göre yapılmıştır. Etüvde kurutulmuş esasta tane yoğunluğu, doymun ve yüzeyi kurutulmuş esasta tane yoğunluğu, görünür tane yoğunluğu ve su emme oranı hesaplama testleri de Türk Standardı TS EN 1097-6'ya göre yapılmıştır. 30 dakika sonra kütlece su emme oranı da hesaplanmıştır.

Deney aşamasındaki resimler Şekil 3.2.'de, deneylerden edilen sonuçlar ise Çizelge 3.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. İri hafif agrega (pomza), bu agreganın ne kadar hafif olduğunu sudaki yüzüşünden görebiliriz



Şekil 3.2. Hafif agregaların gevşek ve sıkışık yığın yoğunluğu (birim ağırlık) , tane yoğunluğu (özgül ağırlık) ve su emme oranı deneyleri

3.1.2 Normal ağırlıklı agrega

Tez çalışmasında kullanılan kırmataş iri normal ağırlıklı agrega ve kırmataş ince normal ağırlıklı agrega Konya yöresinden elde edilmiştir. İri normal ağırlıklı agrega 4-11.2 mm ve 11.2-22.4 mm olmak üzere 2 boyutta, ince normal ağırlıklı agrega ise 0.4 mm boyutlarında kullanılmıştır. Kullanılan normal ağırlıklı agregalar Şekil 3.3'de gösterilmiştir.

Normal ağırlıklı agregaların Türk Standardı TS EN 933-1'e göre elek analizi yapılmış ve sonuçları Çizelge 3.1'de gösterilmiştir. Normal ağırlıklı agregaların gevşek ve sıkışık yığın yoğunluk hesapları için Türk Standardına göre TS EN 1097-3 testleri yapılmıştır. Etüvde kurutulmuş esasta tane yoğunluğu, doymun ve yüzeyi kurutulmuş esasta tane yoğunluğu, görünür tane yoğunluğu ve su emme oranı hesaplama testleri de Türk Standardı TS EN 1097-6'ya göre yapılmıştır.

Bahsedilen testlerin tüm sonuçları Çizelge 3.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.3. İri normal ağırlıklı agrega ve ince normal ağırlıklı agrega

Çizelge 3.1. Beton karışımlarında kullanılan agreganın elekler üzerinde kalan yüzdeleri (kümülatif elekte kalan) ve ince agreganın incelik modülü

Elek çapı (mm) Agrega tipi	22.4	20	16	12.5	11.2	8	5.6	4	2	1	0.5	0.25	0.125	0.063	Pan	İncelik modülü
İri hafif agrega (pomza) 4-16 mm	0	-	3	-	28	60	-	100	-	-	-	-	-	-	-	-
İri normal ağırlıklı agrega 4-11,2 mm	0	0	0	0.7	4.2	50.1	91.1	96.8	98.5	-	-	-	-	-	100	-
İri normal ağırlıklı agrega 11,2 -22,4 mm	0	3.5	28.5	68.7	88.4	98.9	98.9	-	-	-	-	-	-	-	100	-
İnce normal ağırlıklı agrega 0-4mm	-	-	-	-	-	0	0.2	2.2	34.3	53.8	66.5	76.1	82.1	86	100	3.1

Çizelge 3.2. Agregaların gevşek ve sıkışık yığın yoğunluğu (birim ağırlık) , tane yoğunluğu (özgül ağırlık) ve su emme oranı deneylerin sonuçları

Özelliği Agrega tipi	Gevşek Yığın Yoğunluğu (Mg/m^3)	Sıkışık Yığın Yoğunluğu (Mg/m^3)	Görünür Tane Yoğunluğu (ρ_a) (Mg/m^3)	Etüvde Kurutulmuş Esasta Tane Yoğunluğu (ρ_{ra}) (Mg/m^3)	Doygun ve Yüzeyi Kurutulmuş Esasta Tane Yoğunluğu (ρ_{ssd}) (Mg/m^3)	24 Saat Sonra Kütlece Su Emme Oranı (WA_{24}) (%)	30 Dakika Sonra Kütlece Su Emme Oranı (%)
İri hafif agrega (pomza) 4-16 mm	0.430	0.477	1.181	0.861	1.132	31.430	16.180
İri normal ağırlıklı agrega 4-11,2 mm	1.22	1.45	2.71	2.66	2.68	0.38	-
İri normal ağırlıklı agrega 11,2 -22,4 m	1.40	1.82	2.72	2.69	2.70	0.26	-
İnce normal ağırlıklı agrega 0-4 mm	1.40	1.81	2.69	2.61	2.64	1.15	-


M: Megagram

3.1.3 Kauçuk agregası

Çalışmada farklı şekil ve boyutlarda olmak üzere 4 farklı kauçuk agregası kullanılmıştır. Bunlar:

- 1- 16 mm elekten geçen ve 4 mm elek üzerinde kalan iri kırıntı kauçuk agregası.
- 2- 16 mm elekten geçen ve 4 mm elek üzerinde kalan iri lif kauçuk agregası
- 3- 4 mm elekten geçen ince kırıntı kauçuk agregası.
- 4- 4 mm elekten geçen ince lif kauçuk agregası.

Kullanılan kauçuk agregalara ilişkin görseller Şekil 3.4’de verilmiştir.

ince lif kauçuk agregası	iri lif kauçuk agregası	ince kırıntı kauçuk agregası	iri kırıntı kauçuk agregası
			
ince kırıntı kauçuk agregası	iri kırıntı kauçuk agregası	ince kırıntı kauçuk agregası	iri kırıntı kauçuk agregası

Şekil 3.4. Hurda kauçuk agregası

3.1.4 Çimento

Çalışmada Konya Çimento fabrikası tarafından üretilen ve özgül yüzey 3862 cm²/gr olan CEM I 42.5 R tipi çimento kullanılmıştır. Türk standartı olan TS EN 197-1'e uygun olarak üretilen çimento, fabrika laboratuvarında uygunluk açısından test edilmiş ve çimento test sonuçları Çizelge 3.3.'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. CEM I 42.5 R çimentosunun kimyasal ve fiziksel değerler

KİMYASAL ÖZELLİKLER	Elde edilen değerler	TS EN 197-1	
		En Az	En Çok
Kızdırma Kaybı (%)	4.22		5.00
Çözünmeyen Kalıntı (%)	0.42		5.00
Kükürt trioksit (SO ₃) (%)	3.47		4.00
Klorür (Cl) (%)	0.017		0.10
K ₂ O (%)	0.62		
Na ₂ O (%)	0.29		
FİZİKSEL ÖZELLİKLER	Elde edilen değerler	TS EN 197-1	
		En Az	En Çok
Özgül Yüzey (cm ² /gr)	3862		
2 Günlük Basınç Dayanım (MPa)	25.8	20.0	
28 Günlük Basınç Dayanım (MPa)	47.1	42.5	62.5
Priz Başlangıcı (dak)	154	60	
Hacim Genleşmesi (mm)	2		10

3.1.5 Beton katkısı

Polikarboksilat bazlı, betonun karışım suyunu azaltarak tüm dayanımları arttıran ve taze betonun işlenebilirlik süresini oldukça iyileştiren, hiper akışkanlaştırıcı beton katkısı olan Polisan 612 kullanılmıştır. Bu hiper akışkanlaştırıcı katkı maddesi betonun performansı üzerindeki etkisi hakkında sınır değerler TS EN 934-2 ve ASTM C 494 no.lu standartlarda yer almaktadır (PolisanKimya, n.d.) .

Polisan 612 hiper akışkanlaştırıcı beton katkısının özellikleri (PolisanKimya, n.d.) :

- 1- Segregasyona neden olmadan taze betonda yüksek işlenebilirlik sağlar.
- 2- Düşük su/çimento oranlarına sahip beton karışım tasarımların oluşturulmasına imkân verir.
- 3- Sertleşmiş betonun çevresel etki şartlarına karşı dayanıklılığını artırır
- 4- Klorür iyonları içermez. Donatı korozyonuna neden olmaz.
- 5- Taze betona uzun süre boyunca kıvamını koruyabilmesini sağlar. Bu da taze beton karışımının bozulmadan uzun mesafeler boyunca taşınmasını sağlar.

3.1.6 Karışım suyu

Konya ili Meram ilçesinde bulunan Necmettin Erbakan Üniversitesi'nin yapısal testler laboratuvarında bulunan şebeke suyu kullanılmıştır.

3.2 Yöntem

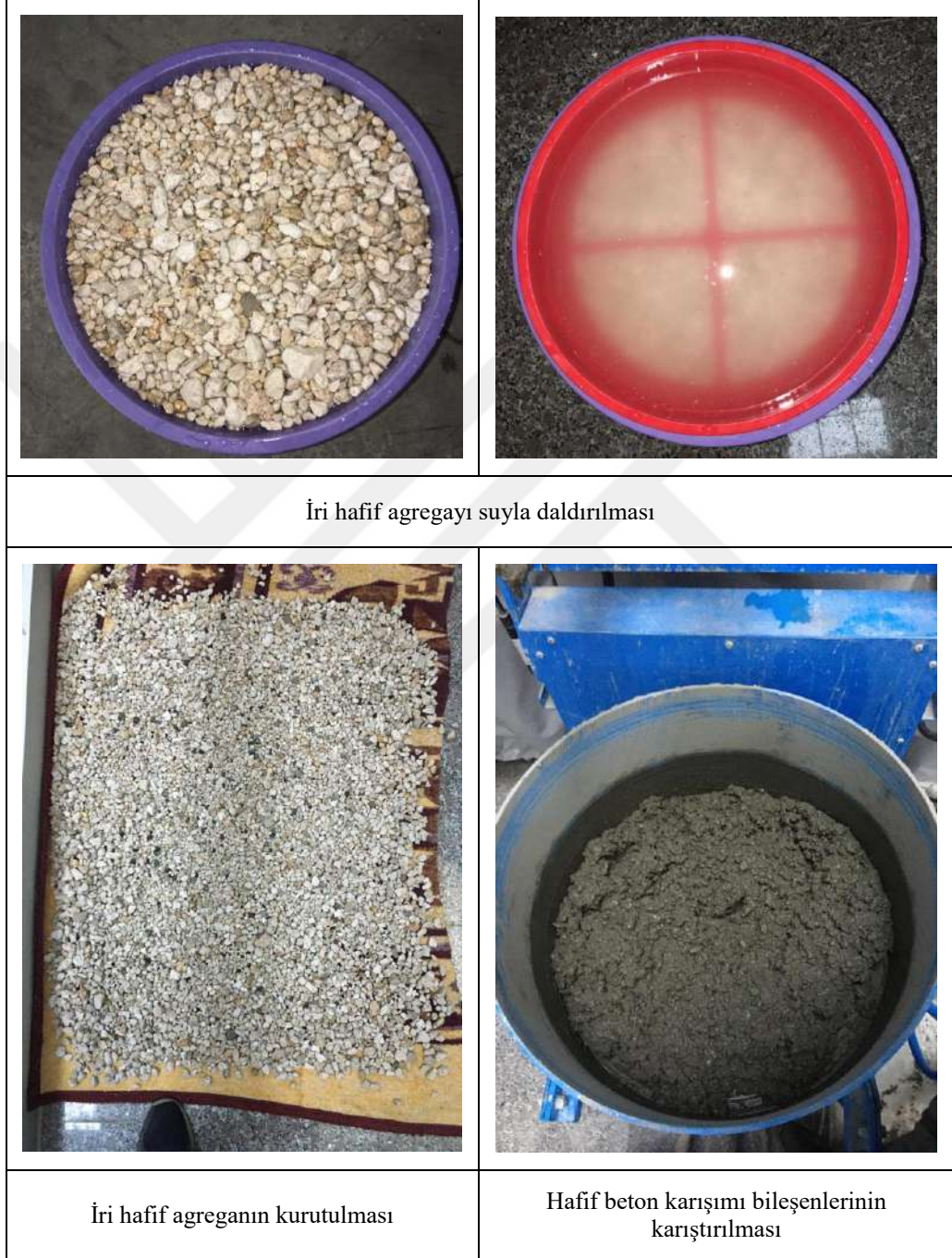
Çalışmada kullanılacak her iki referans beton tipi için hedef küp basınç dayanımı 30 MPa olarak belirlenmiştir. Referans hafif betonda (RHB) bu hedef basınç dayanımı hafif agrega (pomza) kullanarak elde etmek için ilk deneysel referans karışımı (RHB1) ACI 211.2-98 göre matematiksel denklemler kullanılmıştır (Abdullahi et al., 2009). Bu RHB1 karışımından karışım oranları çimento içeriği 430-560 kg/m³ ve süper akışkanlaştırıcı içerip içermediği ve hafif agreganın 30 dakika yada 24 saat ön su emdirme gibi parametreler dikkate alınarak 9 farklı karışım daha 30 MPa küp basınç dayanımı elde etmek için hazırlanmıştır (Açikel & Günaydın, 2006; Hossain & Lachemi, 2007; Green ve ark., 2011; Konuk, 2003) .

Yukarıda belirtilen on karışım iki grup ve iki periyot halinde yapılmıştır. Beş deneysel karışımından oluşan ilk grup çalışmada , hedef basınç dayanım 30 MPa'yı elde edilememiştir. İkinci aşamada birinci gruptan en yüksek basınç dayanımını elde ettiğimiz karışımda çimento miktarını artırarak veya süper akışkanlaştırıcılar kullanarak veya çimento içeriğini artırarak ve süper akışkanlaştırıcıları birlikte kullanarak modifikasyon yaparak beş deneysel karışım daha hazırlanmıştır. Bu ikinci grubun karışımlarından hedef küp basınç dayanımı olan 30 MPa değerine ulaşılmıştır.

Hedef küp basınç dayanımı 30 MPa elde edilen RHB karışımının üretimi için iri hafif agrega (pomza) hazırlama yöntemi:

- İri hafif agrega tartılarak 30 dakika ön su emdirmeye tabi tutuldu. Bu işlem normal betonda, doğal iri agrega için yapılmadı.
- Kısmen suya doymun (kısmen doymun, 30 dakika boyunca suya daldırmak demektir) hale gelen hafif agrega sudan çıkarılarak 5 dakika kağıt havlu , 10 dakika saç kurutma makinası ile kurutularak kısmen suya doymun yüzeyi kuru hale getirildi.
- Daha sonra 30 dakika boyunca kütlece emilen su oranına %16.18 bağlı nem ağırlığı çıkarılmış ve yüzeyi kuru olan kısmen doymun hafif agrega ağırlığına bağlı karışımın geri kalan bileşenlerin ağırlıkları hesaplandı.

Şekil 3.5.'te hafif betonda kullanılmak üzere hafif iri agrega hazırlama aşamaları gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Hafif betonda kullanılmak üzere iri hafif agrega hazırlama aşamaları

Daha sonra, Şekil 3.7.'de görülen, UTC-0751 Kap Tipi Frekans Kontrollü mikser (UTC-0751 Concrete Mixer Pan Type, Frequency Controlled) kullanarak karıştırma işlemi gerçekleştirildi. Karıştırıcı dönüşü başlamadan önce, iri hafif agrega ile süper akışkanlaştırıcıyı içeren karıştırma suyunun bir kısmı eklenerek karıştırıcı 1 dakika çalıştırıldı (kauçuklaştırılmış hafif beton KHB ve kauçuklaştırılmış normal beton KNB üretilirken kaba ve ince kauçuk agrega eklenerek bu işlem yapıldı). 1 dakika sonra mikser çalışırken sırayla doğal ince agrega, çimento ve suyun geri kalanı eklenerek 3 dakika karıştırma işlemine devam edildi. Ardından 3 dakika dinlendirildi ve ardından 2 dakikalık son bir kere daha karıştırıldı. Daha sonra beton temiz ve ıslak bir karıştırma kabına boşaltılarak ve homojen hale getirmek ve ayrışmayı ortadan kaldırmak için elle ve mala ile yeniden karıştırıldı (ASTM C 192/C 192M – 02, 2002).

Şekil 3.6.'de laboratuvardaki çalışma ortamı gösterilmektedir.



Şekil 3.6. Çalışma ortamı



Şekil 3.7. Karıştırma için kullanılan mikser (UTEST, n.d.)

Daha sonra basınç dayanımını test etmek için her bir karışım için TS EN 12390-2'ye uygun $15 \times 15 \times 15$ cm boyutlarında üç küp numune hazırlandı. Her test küpü 3 katman halinde (5 cm) döküldü ve her bir katman standart 16 mm çapında dairesel çubuk ile 36 kez (inç başına şişleme) şişlenerek numuneler hazırlandı. Her tabaka sıkıştırıldıktan sonra, betonun içine hapsolmuş hava kabarcıklarından kurtulmak için kalıbın her bir dış yüzüne bir kauçuk tokmakla 15 kez vuruldu. Daha sonra beton yüzü iyice tesviye edildi ve üzerine bilgiler yazılarak numune hazırlama işlemi tamamlandı ve plastik bir örtü ile kaplandı.

Ayrıca titreşim ve eğilme dayanımı testlerini yapmak için gerekli numuneler hazırlanarak her iki test için de her bir karışımdan $40 \times 10 \times 10$ cm boyutlarında üç kiriş döküldü. Her bir kiriş iki katman halinde (katman başına 5 cm) döküldü ve her katman standart bir yuvarlak çubukla 64 kez (inç başına şişleme) şişlendi. Her tabaka sıkıştırıldıktan sonra, küp numune hazırlama işleminde olduğu gibi betonun içine hapsolmuş hava kabarcıklarından kurtulmak için kalıbın her bir dış yüzüne bir kauçuk tokmak ile 15 kez vuruldu. Daha sonra beton yüzeyi iyice tesviye edildi numuneler üzerine bilgiler yazıldı ve plastik bir örtü ile kaplandı. 24 saat sonra, numuneler kalıplardan çıkarıldı ve 20°C sabit sıcaklıktaki kür havuzuna yerleştirdi.

Numuneler test tarihinden 24 saat önce (27 gün) oda sıcaklığında kurumaları için kür havuzundan çıkarılarak kurutuldu ve 28. gün testler gerçekleştirildi (Açikel & Günaydın, 2006).

Şekil 3.8.'de referans hafif beton karışımların küp numuneleri gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Referans hafif beton karışımların küp numuneleri

Daha sonra referans normal beton RNB için TS 802'ye göre referans karışım tasarlanmış ve yapılmıştır. İri doğal agregaya 30 dakika suya daldırılmadan, KHB numunelerinin yapımında kullanılan aşamalar takip edilerek testler için gerekli numuneler hazırlanarak kür havuzuna yerleştirildi.

Daha önceki araştırmalara göre doğal agregaların kauçuk agregalarla değişimi kütleli yöntem (Sukontasukkul & Wiwatpattanapong, 2009), (Rahman ve ark., 2013), (Almaleeh ve ark., 2017), (Záleská ve ark., 2019) ve hacimsel yöntem olmak üzere iki

yolla yapılmaktadır. Bu çalışmada kütsel yöntem izlenmiştir. İri ve ince doğal agrega kütlece %5, %10, %15 ve %20 oranlarında kırıntı ve/veya lif şeklinde (ve her şeklin iki hacmi var, ince ve kaba) kauçuk agrega ile değiştirilmiş ve yukarıda bahsedilen üretim yöntemi takip edilerek 3 seri kauçuklaştırılmış hafif beton karışımı KHB ve 3 seri kauçuklaştırılmış normal beton karışımı KNB hazırlanmıştır. Hazırlanan karışımlar sırası ile aşağıda verilmiştir:

- 1) **1.Seri Kauçuklaştırılmış Hafif Beton (1S-KHB) ve 1.Seri Kauçuklaştırılmış Normal Beton (1S-KNB)** : iri doğal agrega kütselinin ve ince doğal agrega kütselinin %5, %10, %15 ve %20'si sırasıyla iri kırıntı kauçuk agregayla ve ince kırıntı kauçuk agregayla değiştirilerek bu iki serinin her birinden dört karışım yapılmıştır ((1S-5KHB, 1S-10KHB, 1S-15KHB ve 1S-20KHB) ve (1S-5KNB, 1S-10KNB, 1S-15KNB ve 1S-20KNB)).
- 2) **2.Seri Kauçuklaştırılmış Hafif Beton (2S-KHB) ve 2.Seri Kauçuklaştırılmış Normal Beton (2S-KNB)** : iri doğal agrega kütselinin ve ince doğal agrega kütselinin %5, %10, %15 ve %20'si sırasıyla iri lif kauçuk agregayla ve ince lif kauçuk agregayla değiştirilerek bu iki serinin her birinden dört karışım yapılmıştır ((2S-5KHB, 2S-10KHB, 2S-15KHB ve 2S-20KHB) ve (2S-5KNB, 2S-10KNB, 2S-15KNB ve 2S-20KNB)).
- 3) **3.Seri Kauçuklaştırılmış Hafif Beton (3S-KHB) ve 3.Seri Kauçuklaştırılmış Normal Beton (3S-KNB)** : doğal iri agrega kütselinin ve doğal ince agrega kütselinin %5, %10, %15 ve %20'si kırıntı ve lif şekilli iri kauçuk agrega ve kırıntı ve lif şekilli ince kauçuk agrega ile değiştirerek (her şekilden eşit miktarda değiştirdik %2.5, %5, %7.5 ve %10) bu iki serinin her birinden dört karışım yapılmıştır ((3S-5KHB, 3S-10KHB, 3S-15KHB ve 3S-20KHB) ve (3S-5KNB, 3S-10KNB, 3S-15KNB ve 3S-20KNB)).

Çizelge 3.4. ve Çizelge 3.5. yukarıda belirtilen seri ve karışımlar ve karışım oranlarını göstermektedir.

Şekil 3.9. karışıma kauçuk agrega ilavesini ve kauçuk agrega ilavesinden elde edilen kauçuklaştırılmış beton karışımını göstermektedir.



Şekil 3.9. Karışıma kauçuk agrega ilavesi ve kauçuk agrega ilavesinden elde edilen kauçuklaştırılmış beton karışımı

Yukarıda belirtilen altı serideki tüm kauçuklaştırılmış beton karışımları için (3 KHB seriyi ve 3 KNB seriyi) toplamda 24 karışım vardır. Karışımlardan basınç dayanımı testleri için $15 \times 15 \times 15$ cm boyutlarında 72 küp, eğilme ve titreşim testleri için $40 \times 10 \times 10$ cm boyutlarında 72 kiriş yapılmış ve kürlenmiştir. Yukarıdaki numune sayısına, referans ve deneysel karışımlar için 60 küp tanesi ve 6 kiriş tanesi eklendiğinde, yapılan ve kürlenmiş toplam numune sayısı 210 numune olur (60 tane küp, 10 deneysel hafif beton karışımından ve 10 deneysel normal beton karışımından yapıldı. 6 tane kiriş ise, Hem deneysel hafif betonda hem de deneysel normal betonda hedef basınç dayanımını elde ettiğimiz karışımdan yapıldı). ve 288 test, yalnızca daha önce

bahsedilen numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir (titreşim testleri yapılan aynı numunelere de eğilme testleri de yapılmıştır).

Şekil 3.10. ve Şekil 3.11.'de, yapılmış ve test edilmiş kauçuklaştırılmış hafif beton ve kauçuklaştırılmış normal beton numunelerini gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Yapılan ve test edilen kauçuklaştırılmış hafif beton numuneleri



Şekil 3.11. Yapılan ve test edilen kauçuklaştırılmış normal beton numuneleri

Çizelge 3.4. Referans ve kauçuklaştırılmış hafif beton karışımlarının bileşenleri

Karışımlarının Bileşenleri		İri agregaya (kg/m^3)			İnce agregaya (kg/m^3)			Çimento (kg/m^3)	Su (kg/m^3)	S/Ç Oranı (%)	Katki maddeleri Süperakışkanlaştırıcı (SA) (kg/m^3)
		İri Hafif Agregaya (Pomza)	Kauçuk Agregaya		İnce Normal Agregaya	Kauçuk Agregaya					
			İri Kıvrımlı Kauçuk Agregaya	İri Lifli Kauçuk Agregaya		İnce Kıvrımlı Kauçuk Agregaya	İnce Lifli Kauçuk Agregaya				
Hafif Beton Karışımın Adı											
Referans Hafif Beton Karışımı (% 0 lastik) (RHB)		290	0	0	620	0	0	560	196	35	6.72
1. Seri Karışımları İri hafif agregayı iri kırntı kauçuk agregayla ve ince normal agregayı ince kırntı kauçuk agregayla değiştirim	% 5 Kauçuklaştırılmış Hafif Beton (1S-5KHB)	275.5	14.5	0	589	31	0	560	196	35	6.72
	% 10 Kauçuklaştırılmış Hafif Beton (1S-10KHB)	261	29	0	558	62	0	560	196	35	6.72
	% 15 Kauçuklaştırılmış Hafif Beton (1S-15KHB)	246.5	43.5	0	527	93	0	560	196	35	6.72
	% 20 Kauçuklaştırılmış Hafif Beton (1S-20KHB)	232	58	0	496	124	0	560	196	35	6.72
2. Seri Karışımları İri hafif agregayı iri lif kauçuk agregayla ve ince normal agregayı ince lif kauçuk agregayla değiştirim	% 5 Kauçuklaştırılmış Hafif Beton (2S-5KHB)	275.5	0	14.5	589	0	31	560	196	35	6.72
	% 10 Kauçuklaştırılmış Hafif Beton (2S-10KHB)	261	0	29	558	0	62	560	196	35	6.72
	% 15 Kauçuklaştırılmış Hafif Beton (2S-15KHB)	246.5	0	43.5	527	0	93	560	196	35	6.72
	% 20 Kauçuklaştırılmış Hafif Beton (2S-20KHB)	232	0	58	496	0	124	560	196	35	6.72
3. Seri Karışımları İri hafif agregayı iri kırntı kauçuk ve iri lif kauçuk agregayla ve ince normal agregayı ince kırntı kauçuk ve ince lif kauçuk agregayla değiştirim	% 5 Kauçuklaştırılmış Hafif Beton (3S-5KHB)	275.5	% 2.5 7.25	% 2.5 7.25	589	% 2.5 15.5	% 2.5 15.5	560	196	35	6.72
	% 10 Kauçuklaştırılmış Hafif Beton (3S-10KHB)	261	% 5 14.5	% 5 14.5	558	% 5 31	% 5 31	560	196	35	6.72
	% 15 Kauçuklaştırılmış Hafif Beton (3S-15KHB)	246.5	% 7.5 21.75	% 7.5 21.75	527	% 7.5 46.5	% 7.5 46.5	560	196	35	6.72
	% 20 Kauçuklaştırılmış Hafif Beton (3S-20KHB)	232	% 10 29	% 10 29	496	% 10 62	(10%) 62	560	196	35	6.72

Çizelge 3.5. Referans ve kauçuklaştırılmış normal beton karışımlarının bileşenleri

Normal Beton Karışımın Adı		İri agrega (kg/m^3)				İnce agrega (kg/m^3)			Çimento (kg/m^3)	Su (kg/m^3)	S/Ç Oranı (%)	Katki maddeleri Süperakışkanlaştırıcı (SA) (kg/m^3)
		İri Normal Agrega 4-11.2 mm	İri Normal Agrega 11.2-22.4 mm	Kauçuk Agrega		İnce Normal Agrega	Kauçuk Agrega					
				İri Kıvrımlı Kauçuk Agrega	İri Lifli Kauçuk Agrega		İnce Kıvrımlı Kauçuk Agrega	İnce Lifli Kauçuk Agrega				
Referans Normal Beton Karışımı (% 0 lastik) (RNB)		328	484	0	0	1107	0	0	270	186	69	1.08
1. Seri Karışımları İri normal agregayı iri kırntı kauçuk agregayla ve ince normal agregayı ince kırntı kauçuk agregayla değiştirim	% 5 Kauçuklaştırılmış Normal Beton (1S-5KNB)	312.6	459.8	40.6	0	1051.7	55.3	0	270	186	69	1.08
	% 10 Kauçuklaştırılmış Normal Beton (1S-10KNB)	295.2	435.6	81.2	0	996.3	110.7	0	270	186	69	1.08
	% 15 Kauçuklaştırılmış Normal Beton (1S-15KNB)	278.8	411.4	121.8	0	941	166	0	270	186	69	1.08
	% 20 Kauçuklaştırılmış Normal Beton (1S-20KNB)	262.4	387.2	162.4	0	885.6	221.4	0	270	186	69	1.08
2. Seri Karışımları İri normal agregayı iri lif kauçuk agregayla ve ince normal agregayı ince lif kauçuk agregayla değiştirim	% 5 Kauçuklaştırılmış Normal Beton (2S-5KNB)	312.6	459.8	0	40.6	1051.7	0	55.3	270	186	69	1.08
	% 10 Kauçuklaştırılmış Normal Beton (2S-10KNB)	295.2	435.6	0	81.2	996.3	0	110.7	270	186	69	1.08
	% 15 Kauçuklaştırılmış Normal Beton (2S-15KNB)	278.8	411.4	0	121.8	941	0	166	270	186	69	1.08
	% 20 Kauçuklaştırılmış Normal Beton (2S-20KNB)	262.4	387.2	0	162.4	885.6	0	221.4	270	186	69	1.08
3. Seri Karışımları İri normal agregayı iri kırntı kauçuk ve iri lif kauçuk agregayla ve ince normal agregayı ince kırntı kauçuk ve ince lif kauçuk agregayla değiştirim	% 5 Kauçuklaştırılmış Normal Beton (3S-5KNB)	312.6	459.8	% 2.5 20.3	% 2.5 20.3	1051.7	% 2.5 27.65	% 2.5 27.65	270	186	69	1.08
	% 10 Kauçuklaştırılmış Normal Beton (3S-10KNB)	295.2	435.6	% 5 40.6	% 5 40.6	996.3	% 5 55.35	% 5 55.35	270	186	69	1.08
	% 15 Kauçuklaştırılmış Normal Beton (3S-15KNB)	278.8	411.4	% 7.5 60.9	% 7.5 60.9	941	% 7.5 83	% 7.5 83	270	186	69	1.08
	% 20 Kauçuklaştırılmış Normal Beton (3S-20KNB)	262.4	387.2	% 10 81.2	% 10 81.2	885.6	% 10 110.7	% 10 110.7	270	186	69	1.08

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1 Basınç Dayanımı

Basınç dayanım testleri, TS EN 12390-3'e göre ve

Şekil 4.1. gösterilen TS EN 12390-4'e uygun olan basınç deney makinası kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen kauçuklaştırılmış hafif beton ve kauçuklaştırılmış normal beton sonuçları, Çizelge 4.1.'de tablo halinde, Şekil 4.3. ve Şekil 4.4.'te ise grafik olarak gösterilmiştir.

Söz konusu şekiller ve çizelge incelendiğine, hurda kauçuk içeriğinin artmasıyla, kauçuklaştırılmış hafif betonun üç serisinde ve kauçuklaştırılmış normal betonun üç serisinde beklendiği gibi basınç dayanımının düştüğü gözlenmiştir. Her iki beton tipinin basınç dayanımındaki düşüş miktarlarını karşılaştırıldığında, kauçuklaştırılmış hafif betonun basınç dayanımındaki düşüş miktarı kauçuklaştırılmış normal betondan tüm serilerde daha az olmuştur. Ayrıca her iki beton türü için de basınç dayanımındaki azalma miktarı 1S-KHB ve 1S-KNB serilerinde 2S-KHB ve 2S-KNB serilerine göre sırasıyla daha az olmuştur. Ayrıca, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da gösterildiği gibi, her iki beton türünde de basınç dayanımındaki en düşük azalma yüzdesi 1S-5KHB beton karışımında %17.16 iken, en yüksek basınç dayanımı düşüşü 2S-20KNB beton karışımında %90.22 olmuştur.

Çizelge 4.1.'den de, beton karışımındaki kauçuk içeriğindeki artışla birlikte her iki beton türü için de birim hacim ağırlığında bir azalma olduğunu görülebilir. Tüm serilerdeki kauçuklaştırılmış normal betonun birim hacim ağırlığındaki azalma miktarı, kauçuklaştırılmış hafif betonun birim hacim ağırlığındaki azalma miktarından daha fazla olmuştur. Bunun nedeni, normal doğal iri agregaya ile hafif doğal iri agregaya arasındaki birim ağırlıktaki büyük farktır. Normal betondaki normal doğal iri agreganın ağırlığı, hafif betondaki hafif doğal iri agreganın ağırlığından daha fazladır. Bu da, kauçuklaştırılmış normal betondaki ağırlığa göre değiştirilen kauçuğun hacmi, kauçuklaştırılmış hafif betona göre bir artışa yol açar. Bu nedenle, kauçuklaştırılmış

normal betonun birim hacim ağırlığındaki azalma miktarı, kauçuklaştırılmış hafif betonun birim hacim ağırlığındaki azalma miktarından daha fazla olmuştur. Buna rağmen hiçbir durumda kauçuklaştırılmış normal beton birim hacim ağırlığı kauçuklaştırılmış hafif beton birim hacim ağırlığı mertebelerine ulaşmamıştır.

Kauçuk içeriğindeki artışla birlikte her iki kauçuk beton tipinin basınç dayanımındaki azalma iki nedenden kaynaklanmaktadır:

1- Kauçuk agreganın özellikleri: Betonun basınç dayanımı betonda kullanılan malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerine bağlıdır. Kauçuk, doğal agregalara kıyasla düşük mekanik direnç ve yoğunluğa sahiptir. Ayrıca, esnek ve elastik bir malzeme olan kauçuk sıkıştırılabilirlik özelliğine sahiptir, bu da kauçuk granüllerin beton yapısında boşluk olarak davranmasına neden olur. Ayrıca kauçuk taneciklerinin apolar özelliğinden dolayı kauçuk taneleri hidrofobik olur, bu da suyun kauçuk taneciklerinden uzaklaştırılmasına ve havanın yaklaşmasına neden olarak hava gözenekler oluşturur. Kauçuk taneciklerin artmasıyla bu hava gözenekleri artar. Ayrıca çimento hamuru ile kauçuk granüllerin yüzeyleri arasındaki zayıf yapışması. Bu nedenlerin hepsi beton yapısını zayıflatır ve böylece kauçuk içeriğindeki artışla her iki tip kauçuk betonun basınç dayanımı azalır.


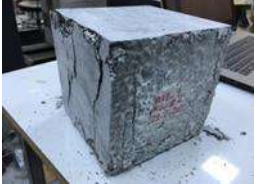











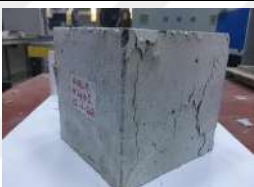










2- Agregaları değiştirmek için kullanılan yöntem: Kauçuk agrega içeriğindeki artışla birlikte, kauçuklaştırılmış betonda her iki tür doğal ve kauçuk agreganın etrafını saran bağlayıcı çimento hamurunun miktarında ve kalınlığında azalma meydana gelir. Bunun nedeni, kauçuk agreganın birim hacminin ağırlığının, doğal agreganın birim hacminin ağırlığından daha az olmasıdır ve bu nedenle, bunlar hemen hemen aynı granülometrede olduklarında, doğal agreganın belirli bir ağırlığını aynı ağırlıktaki kauçuk agrega ile değiştirirken, bu, kauçuk agreganın hacminin ve dolayısıyla yüzey alanının, değiştirilen doğal agreganın hacminden ve yüzey alanından daha büyük olmasına neden olur. Böylece, referans ve kauçuklaştırılmış karışımlarda aynı ağırlıkta çimento kullanılması, çimentonun kauçuklaştırılmış betondaki kapladığı kauçuk agregaları ve doğal agregaların alanı çimentonun referans betondaki kapladığı doğal agrega alanından daha büyük bir alan kaplamasına yol açar. Bu durum, çimento

hamurunun kalınlığının azalmasına ve dolayısıyla kauçuk içeriğinin artmasıyla birlikte kauçuklaştırılmış karışımlarında basınç dayanımının dışmesine neden olur.

şekil 4.2. kauçuklaştırılmış hafif beton, kauçuklaştırılmış normal beton ve referans betonların kp numunelerinin kırılma şekillerini göstermektedir.



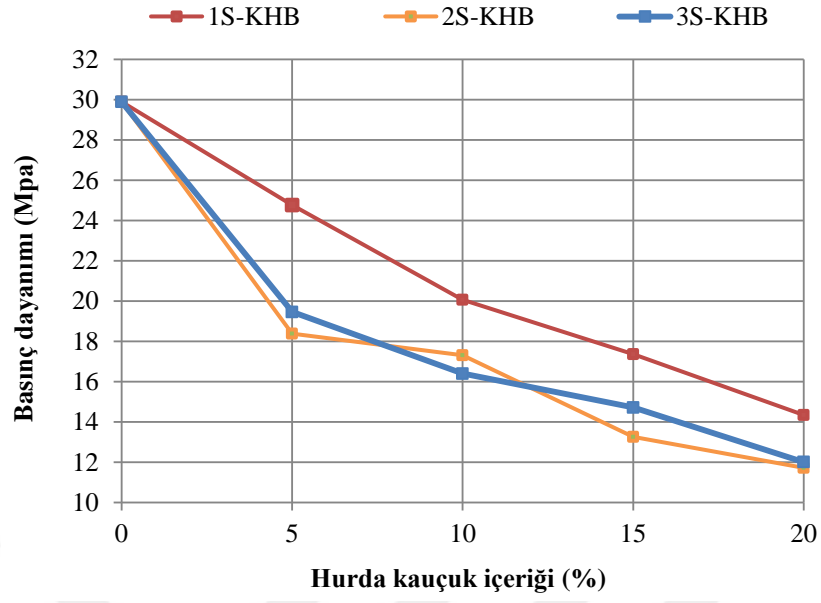
şekil 4.1. Basınç dayanım testi makinesi

			RHB
			1S-KHB
			2S-KHB
			3S-KHB
			RNB
			1S-KNB
			2S-KNB
			3S-KNB
%5 kauçuk içeriği	%10 kauçuk içeriği	%15 kauçuk içeriği	%20 kauçuk içeriği

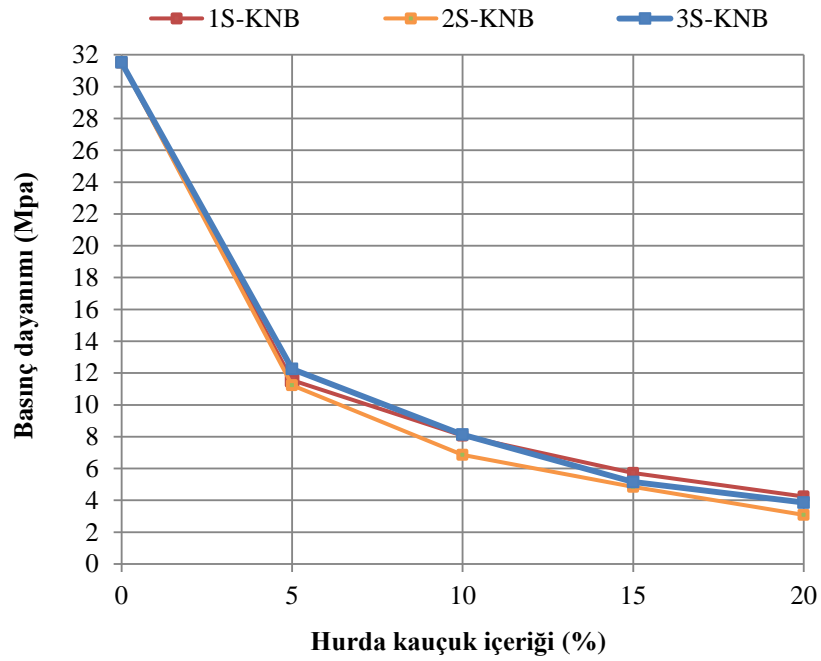
Şekil 4.2. Kauçuklaştırılmış hafif beton, kauçuklaştırılmış normal beton ve referans betonlar için küp numunelerinin kırılma tipleri örnekleri

Çizelge 4.1. Kauçuklaştırılmış hafif beton, kauçuklaştırılmış normal beton ve referans betonlar için 28 günlük basınç dayanımı testlerinin sonuçları

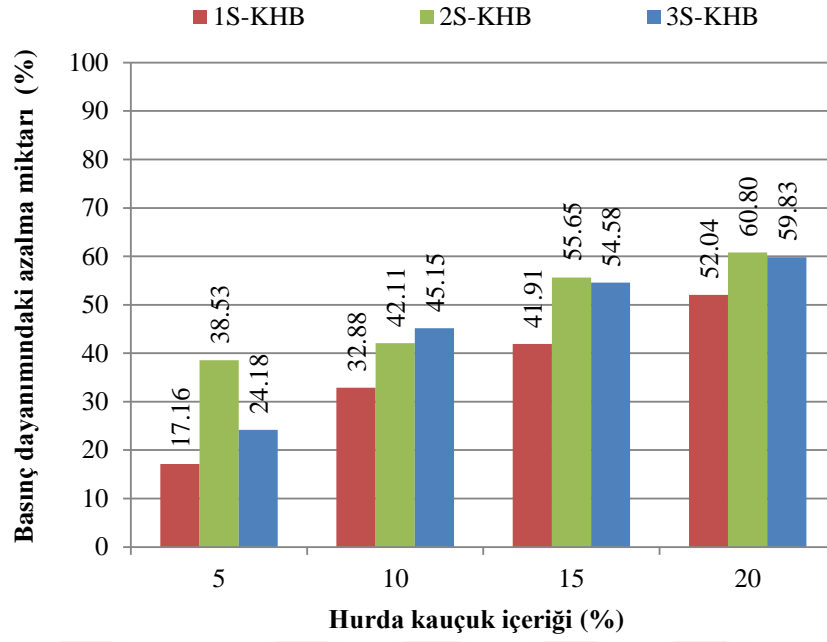
Karışım türü		Testten önce 24 saat boyunca laboratuvar atmosferinde kurutulmuş birim hacim ağırlık (kg/m ³)	Basınç dayanımı MPa (N/mm ²)	Standart sapma		
Hafif beton karışımları	RHB	1798.025	29.90	1.47		
	1S-KHB	1S-5KHB	1736.790	24.77	2.20	
		1S-10KHB	1685.926	20.07	1.32	
		1S-15KHB	1667.160	17.37	0.56	
		1S-20KHB	1652.593	14.34	1.52	
	2S-KHB	2S-5KHB	1760.000	18.38	2.13	
		2S-10KHB	1738.272	17.31	2.47	
		2S-15KHB	1706.667	13.26	0.83	
		2S-20KHB	1669.136	11.72	0.96	
	3S-KHB	3S-5KHB	1724.444	22.67	3.48	
		3S-10KHB	1710.617	16.40	0.56	
		3S-15KHB	1656.296	13.58	0.84	
		3S-20KHB	1654.815	12.01	0.21	
	Normal beton karışımları	RNB	2377.778	31.52	1.37	
		1S-KNB	1S-5KNB	2094.815	11.55	0.84
			1S-10KNB	2036.049	8.06	0.60
1S-15KNB			1959.506	5.72	0.19	
1S-20KNB			1889.877	4.25	0.12	
2S-KNB		2S-5KNB	2147.654	11.24	1.13	
		2S-10KNB	2064.198	6.86	0.32	
		2S-15KNB	1987.160	4.85	0.32	
		2S-20KNB	1845.432	3.08	0.06	
3S-KNB		3S-5KNB	2123.951	12.25	0.21	
		3S-10KNB	2040.494	8.13	0.55	
		3S-15KNB	1964.444	5.15	0.16	
		3S-20KNB	1880.000	3.86	0.08	



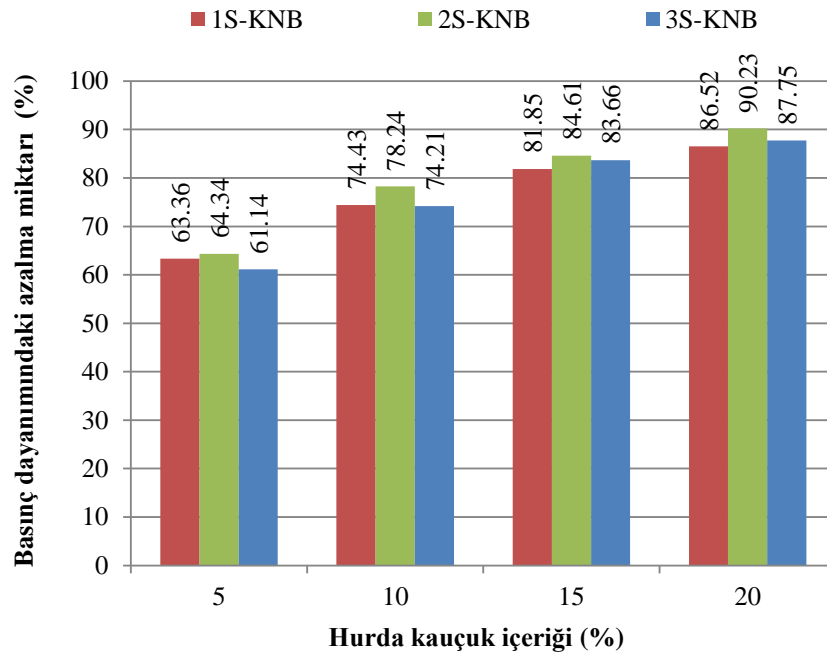
Şekil 4.3. Kauçuklaştırılmış hafif betonda hurda kauçuk içeriği ve şekli ile basınç dayanımının ilişkisi ve davranışı



Şekil 4.4. Kauçuklaştırılmış normal betonda hurda kauçuk içeriği ve şekli ile basınç dayanımının ilişkisi ve davranışı



Şekil 4.5. Kauçuklaştırılmış hafif betonda hurda kauçuk içeriği ve şekli ile basınç dayanımındaki azalma miktarı



Şekil 4.6. Kauçuklaştırılmış normal betonda hurda kauçuk içeriği ve şekli ile basınç dayanımındaki azalma miktarı

4.2 Eğilme Dayanımı

Eğilme dayanımı testleri, TS EN 12390-5 numaralı Türk şartnamesine göre iki noktadan yükleme yöntemi ve Şekil 4.7.'de gösterilen test makinesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.2.'de tablo haline getirilmiş ve bu sonuçlar Şekil 4.11. ve Şekil 4.12.'de grafik olarak gösterilmiştir.

Tablo ve grafiklerdeki sonuçlar incelendiğinde, beklendiği gibi kauçuk içeriğindeki artışla altı seride de yük taşıma kapasitesinde bir azalma ve eğilme dayanımında bir düşüş gözlenmiştir. Bu, eğilme dayanımının basınç dayanımı ile olan ilişkisinden ve bunun da kauçuk içeriğinin artmasıyla azalmasından ve basınç dayanımındaki azalmanın nedenlerini daha önce açıklarken belirttiğimiz nedenlerden kaynaklanmaktadır, özellikle çimento hamuru ile kauçuk granüllerin yüzeyleri arasındaki zayıf yapışması. Her iki beton türündeki eğilme dayanımındaki azalma miktarlarını karşılaştırıldığında, Şekil 4.13. ve Şekil 4.14.'te görüldüğü gibi, tüm serilerin kauçuklaştırılmış hafif betonun eğilme dayanımındaki azalma miktarı kauçuklaştırılmış normal betona göre daha az olduğu, ayrıca eğilme dayanımındaki azalma miktarı 3S-KHB serisinde 1S-KHB ve 2S-KHB serilerine göre ve 3S-KNB serisinde 1S-KNB ve 2S-KNB serilerine göre daha az olmuştur. Ayrıca değişim oranları %5 ve %10 olduğunda her iki beton türü için eğilme dayanımındaki azalma miktarı 1S-KHB ve 1S-KNB serilerinde 2S-KHB ve 2S-KNB serilerine göre sırasıyla daha fazla olduğu, değişim yüzdesi %15 ve %20'ye çıktığında ise tam tersinin meydana geldiği görülmektedir.

Ayrıca eğilme dayanımının basınç dayanımına oranı (olması gereken aralık %8 - %12) karşılaştırıldığında, her iki beton türünde ve tüm betonlarda kauçuk içeriği arttıkça bu oranın arttığı görülmektedir. Kauçuklaştırılmış normal betondaki bu artışın, Şekil 4.15. ve Şekil 4.16.'da görüldüğü gibi kauçuklaştırılmış hafif betondakinden daha fazla olduğu da not edilebilir. Bu durum, Şekil 4.17 ve Şekil 4.18'de görüldüğü gibi, her iki beton tipinde de kauçuk içeriğinin artmasıyla eğilme dayanımındaki azalma miktarının basınç dayanımındaki azalma miktarından daha az olduğunu göstermektedir.

Kauçuklaştırılmış hafif beton ve kauçuklaştırılmış normal betonun her ikisinde de, herhangi bir çökme uyarısı göstermeyen referans hafif betondaki ani çökme ve tam ayrışmasında olduğu gibi ne de normal betonda mikro çatlakların oluşup çökmesi gibi eğilme yükleri etkisi altında tam ayrışma ve çökme bir anda oluşmadı
















Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'da görülebileceği gibi, kauçuklaştırılmış hafif beton ve kauçuklaştırılmış normal betonun gevrek kırılma göstermeyerek, bunun yerine belirli bir miktarda deformasyon yaparak daha sünek davranış sergilemektedir.
















Test edilen numuneler incelendiğinde referans hafif beton karışımında iri hafif agrega da seergasyon olduğu görülmüştür, kauçuklaştırılmış hafif betondaki kauçuk miktarlarının artmasıyla bu seergasyonun azaldığını da Şekil 4.10'da görülebilir.

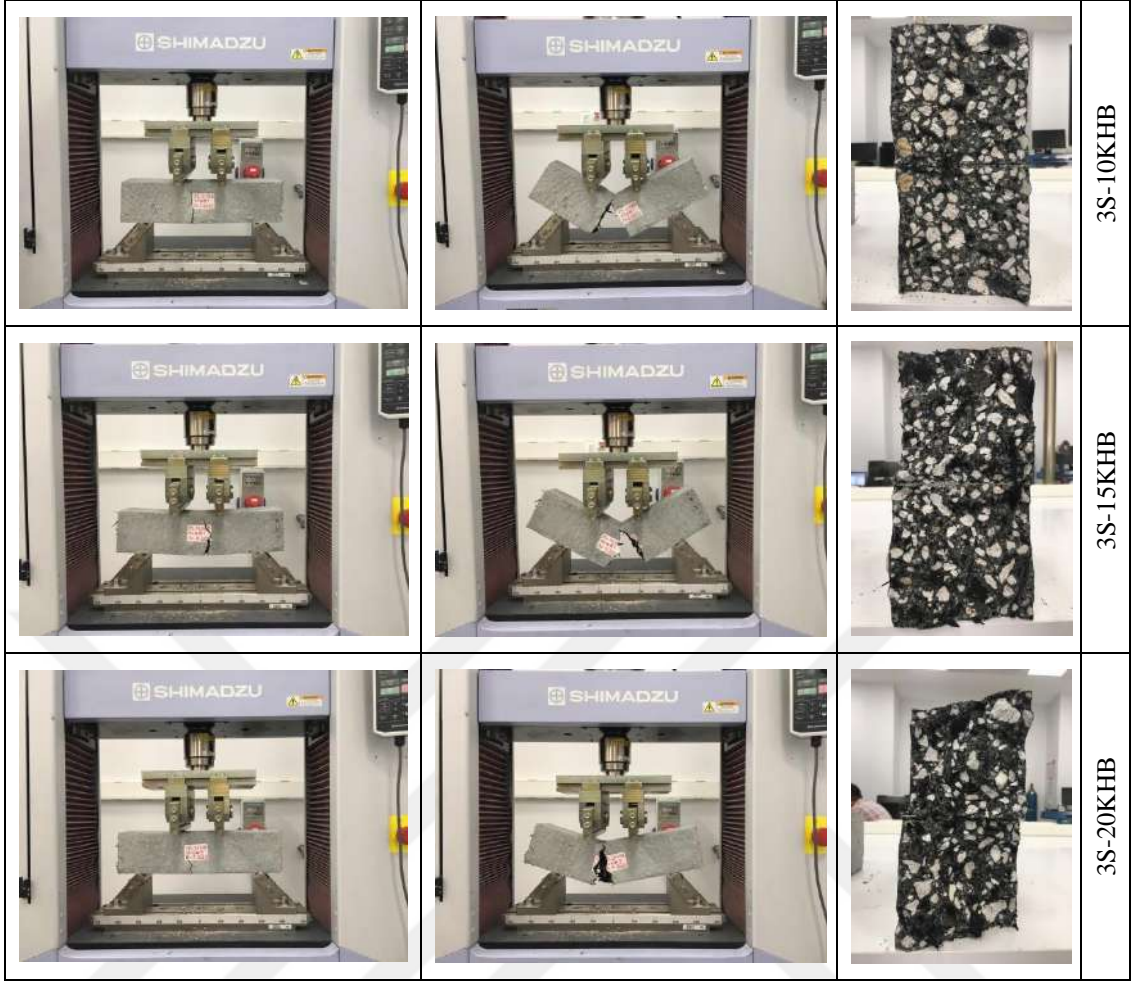
Kuvvet ve sehim arasındaki ilişkiyi temsil eden Şekil 4.19. incelediğinde, kauçuklaştırılmış hafif betonda kauçuk içeriği arttıkça maksimum kuvvet ve bu kuvvet altında sehimin azaldığı, buna karşılık kauçuklaştırılmış normal betonda kauçuk içeriğindeki artış ile maksimum kuvvetin azaldığı ve bu kuvvet altında sehimin arttığını görülebilir.




Şekil 4.7. Eğilme dayanımı testi için kullanılan makinası

			RHB
			1S-5KHB
			1S-10KHB
			1S-15KHB
			1S-20KHB

			2S-5KHB
			2S-10KHB
			2S-15KHB
			2S-20KHB
			3S-5KHB



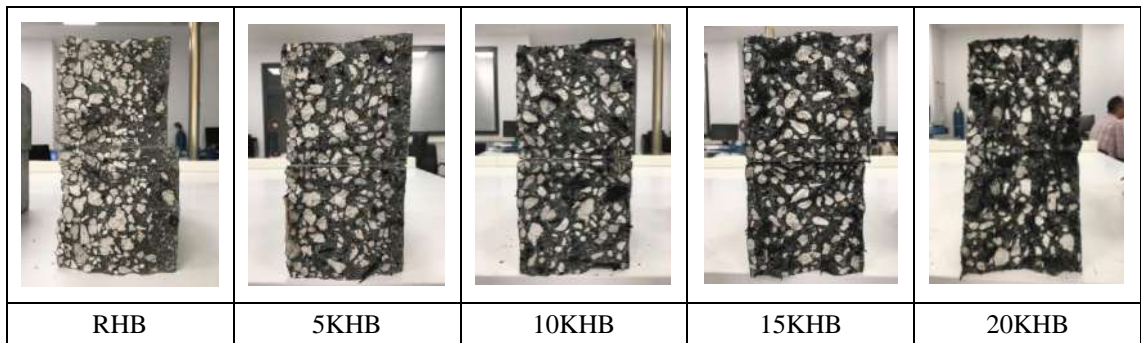
Şekil 4.8. Kauçuklaştırılmış hafif beton numunelerinde kırılma numunelerini

			RNB
			1S-5KNB
			1S-10KNB
			1S-15KNB
			1S-20KNB

			2S-5KNB
			2S-10KNB
			2S-15KNB
			2S-20KNB
			3S-5KNB



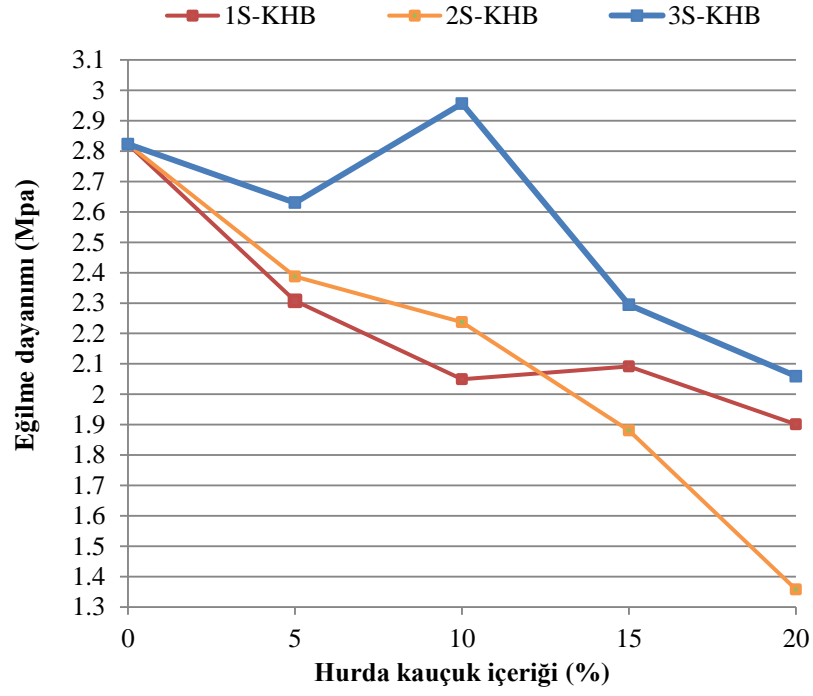
Şekil 4.9. Kauçuklaştırılmış normal beton numunelerinde kırılma numunelerini



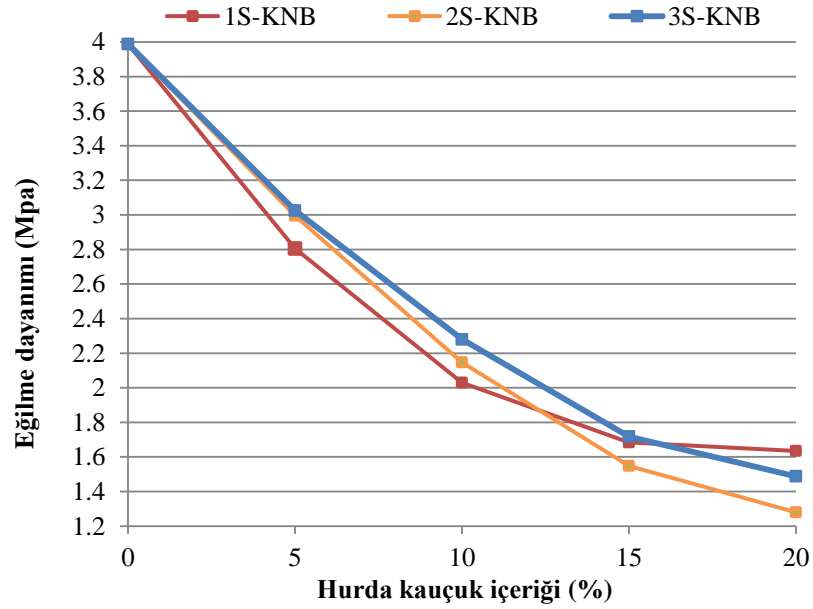
Şekil 4.10. Kauçuklaştırılmış hafif betonda kauçuk içeriğinin artmasıyla segregasyon miktarındaki azalmayı

Çizelge 4.2. Kauçuklaştırılmış hafif beton, kauçuklaştırılmış normal beton ve referans betonlar için (28) günlük eğilme dayanımı testlerinin sonuçları

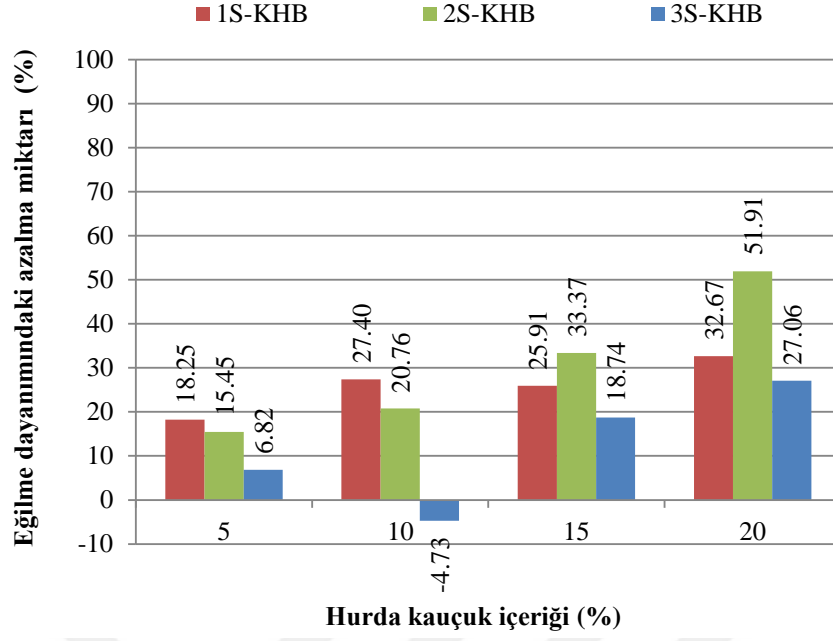
Karışım türü		Max_Kuvvet (N)	Eğilme dayanımı (Max_Gerilme) (MPa)	Standart sapma		
Hafif beton karışımları	RHB	9410.28	2.82	0.16		
	1S-KHB	1S-5KHB	7692.68	2.31	0.24	
		1S-10KHB	6831.52	2.05	0.06	
		1S-15KHB	6971.84	2.09	0.21	
		1S-20KHB	6336.16	1.90	0.36	
	2S-KHB	2S-5KHB	7956.74	2.39	0.37	
		2S-10KHB	7457.12	2.24	0.19	
		2S-15KHB	6270.3	1.88	0.32	
		2S-20KHB	4525.25	1.36	0.21	
	3S-KHB	3S-5KHB	8768.18	2.63	0.22	
		3S-10KHB	9855.44	2.96	0.20	
		3S-15KHB	7647.14	2.29	0.14	
		3S-20KHB	6863.73	2.06	0.12	
	Normal beton karışımları	RNB	13294.1	3.99	0.28	
		1S-KNB	1S-5KNB	9351.24	2.81	0.39
			1S-10KNB	6766.75	2.03	0.18
1S-15KNB			5611.91	1.68	0.08	
1S-20KNB			5448.32	1.63	0.09	
2S-KNB		2S-5KNB	9986.89	3.00	0.33	
		2S-10KNB	7157.90	2.15	0.14	
		2S-15KNB	5161.85	1.55	0.09	
		2S-20KNB	4262.80	1.28	0.01	
3S-KNB		3S-5KNB	10085.2	3.03	0.23	
		3S-10KNB	7598.95	2.28	0.27	
		3S-15KNB	5725.11	1.72	0.02	
		3S-20KNB	4958.64	1.49	0.09	



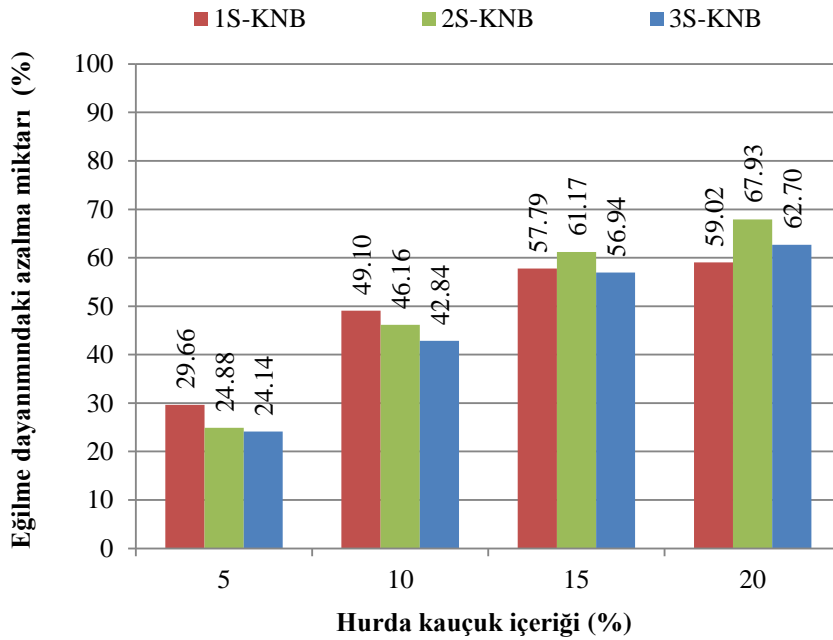
Şekil 4.11. Kauçuklaştırılmış hafif betonda hurda kauçuk içeriği ve şekli ile eğilme dayanımının ilişkisi ve davranışı



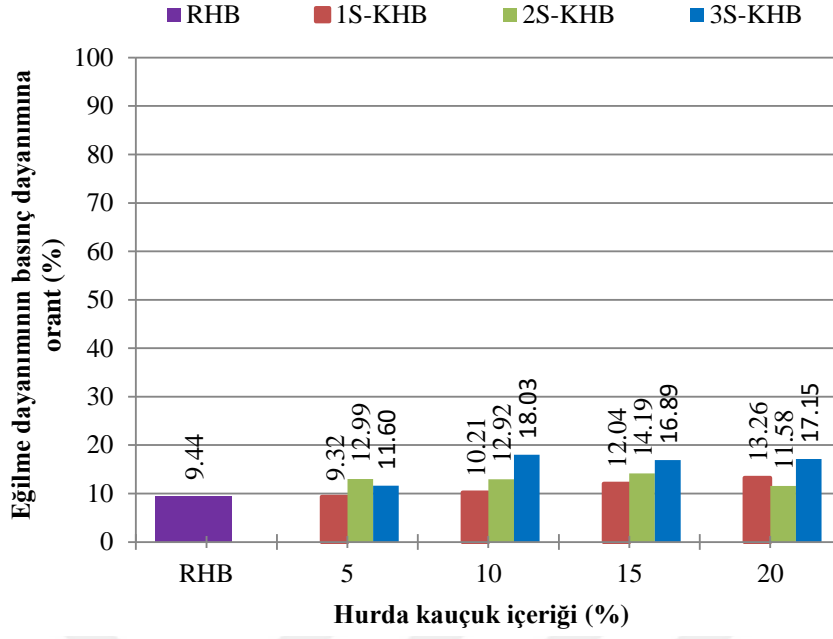
Şekil 4.12. Kauçuklaştırılmış normal betonda hurda kauçuk içeriği ve şekli ile eğilme dayanımının ilişkisi ve davranışı



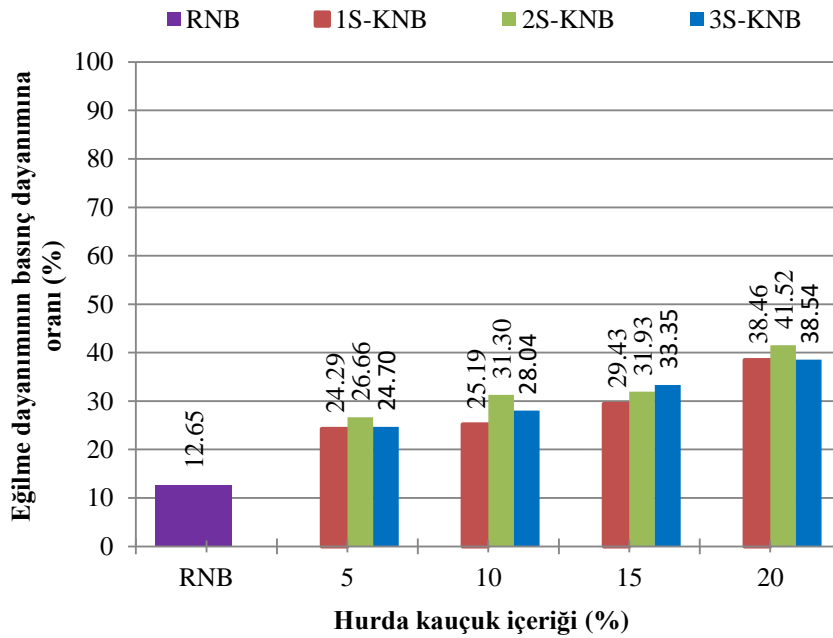
Şekil 4.13. Kauçuklaştırılmış hafif betonda hurda kauçuk içeriği ve şekli ile eğilme dayanımındaki azalma miktarı



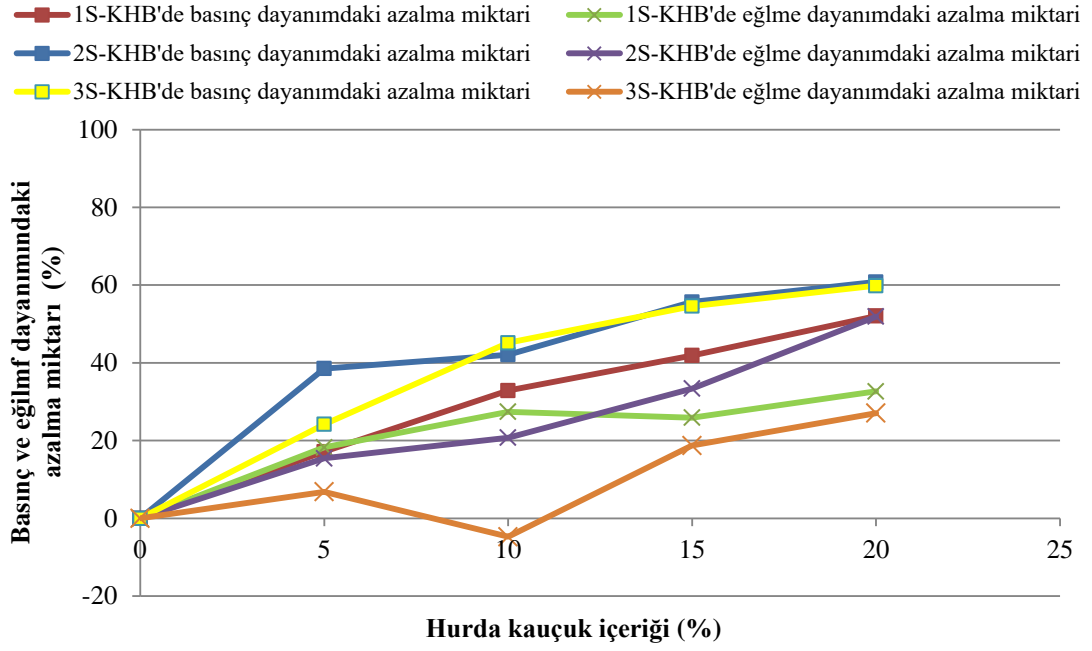
Şekil 4.14. Kauçuklaştırılmış normal betonda hurda kauçuk içeriği ve şekli ile eğilme dayanımındaki azalma miktarı



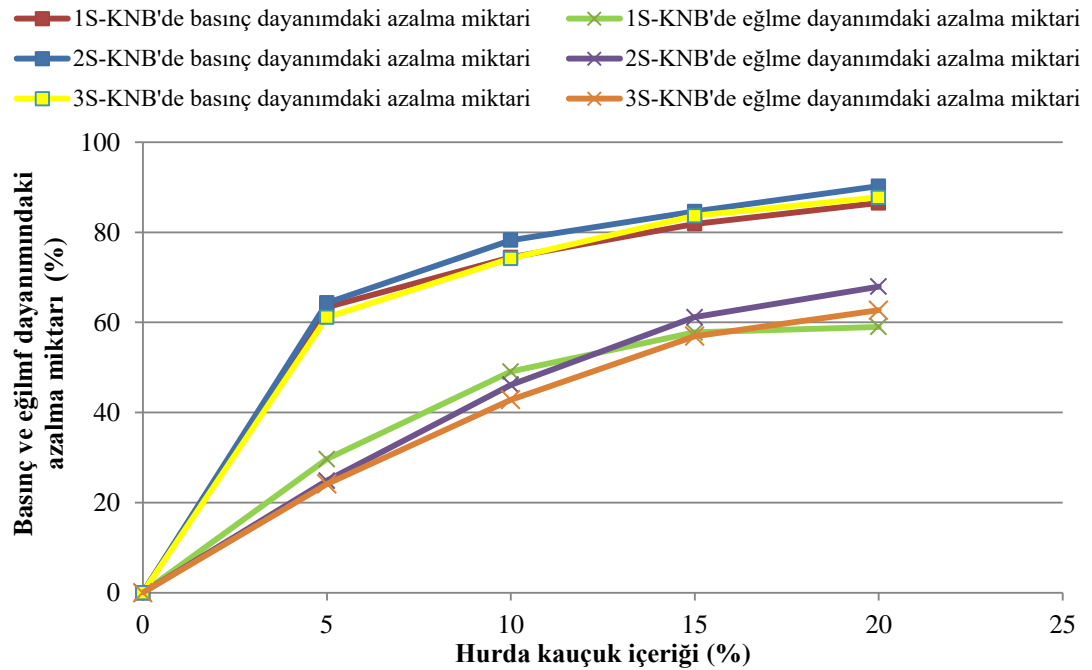
Şekil 4.15. Kauçuklaştırılmış hafif betonda hurda kauçuk içeriği ve şekli eğilme dayanımının basınç dayanımına oranının ilişkisini gösteren şekil



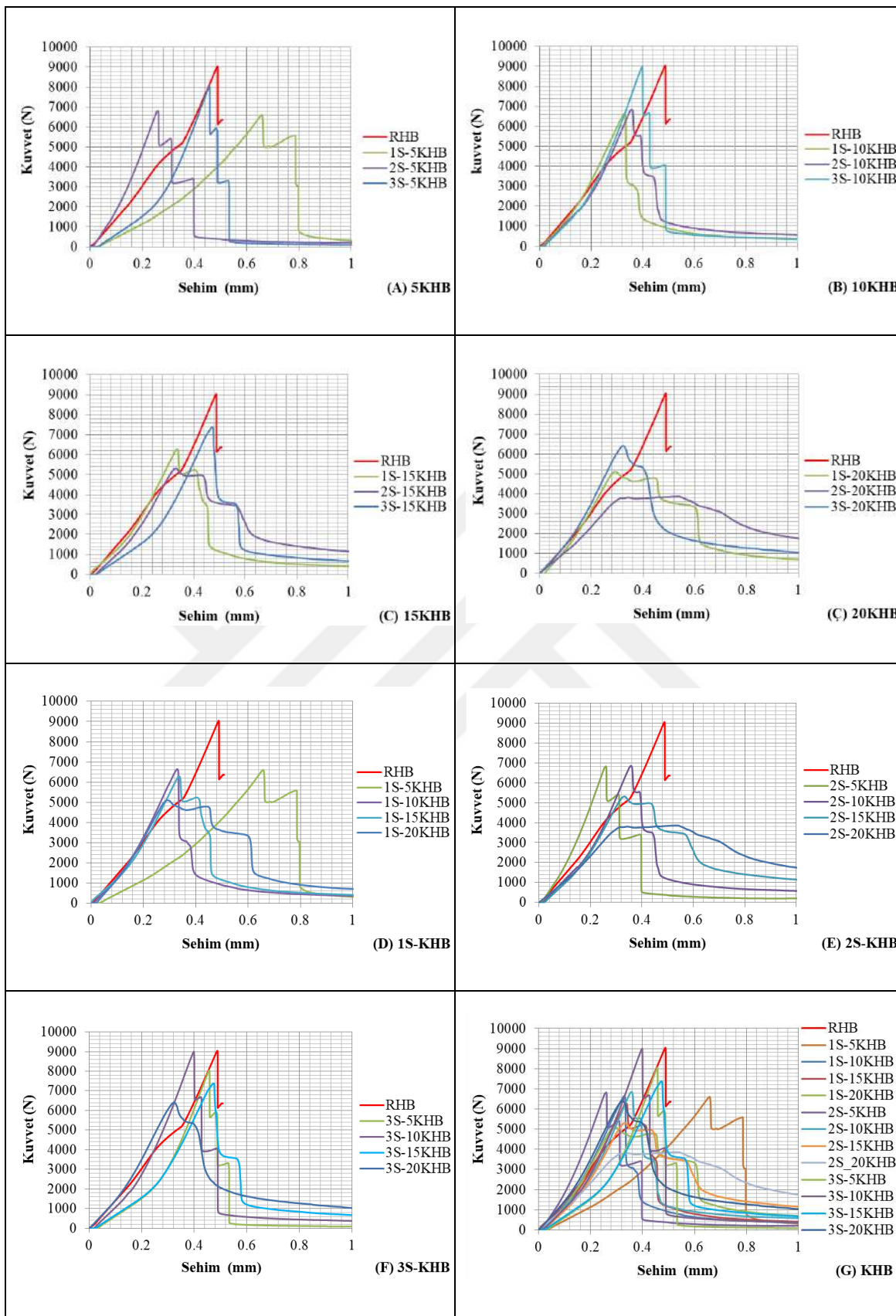
Şekil 4.16. Kauçuklaştırılmış normal betonda hurda kauçuk içeriği ve şekli eğilme dayanımının basınç dayanımına oranının ilişkisini gösteren şekil

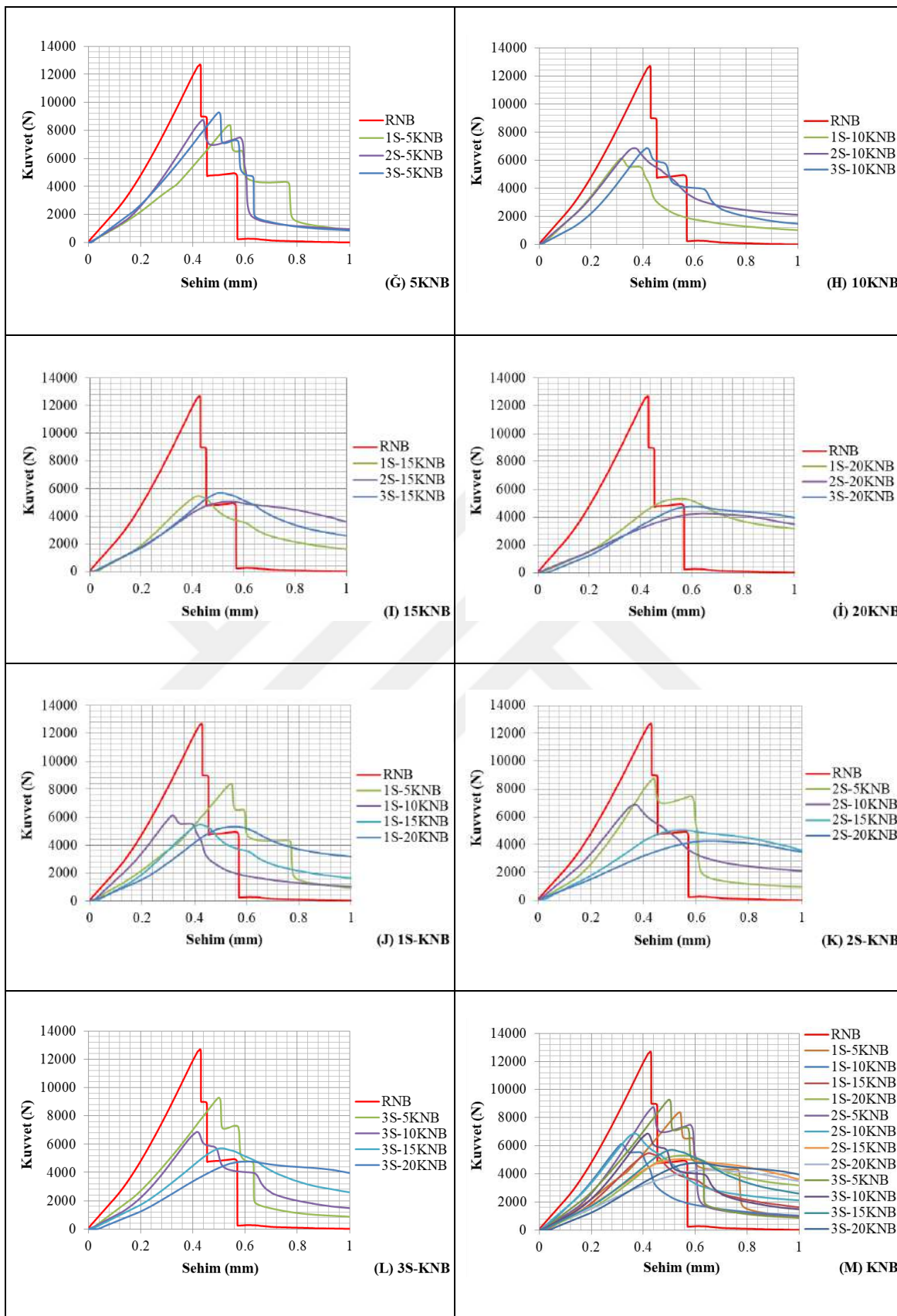


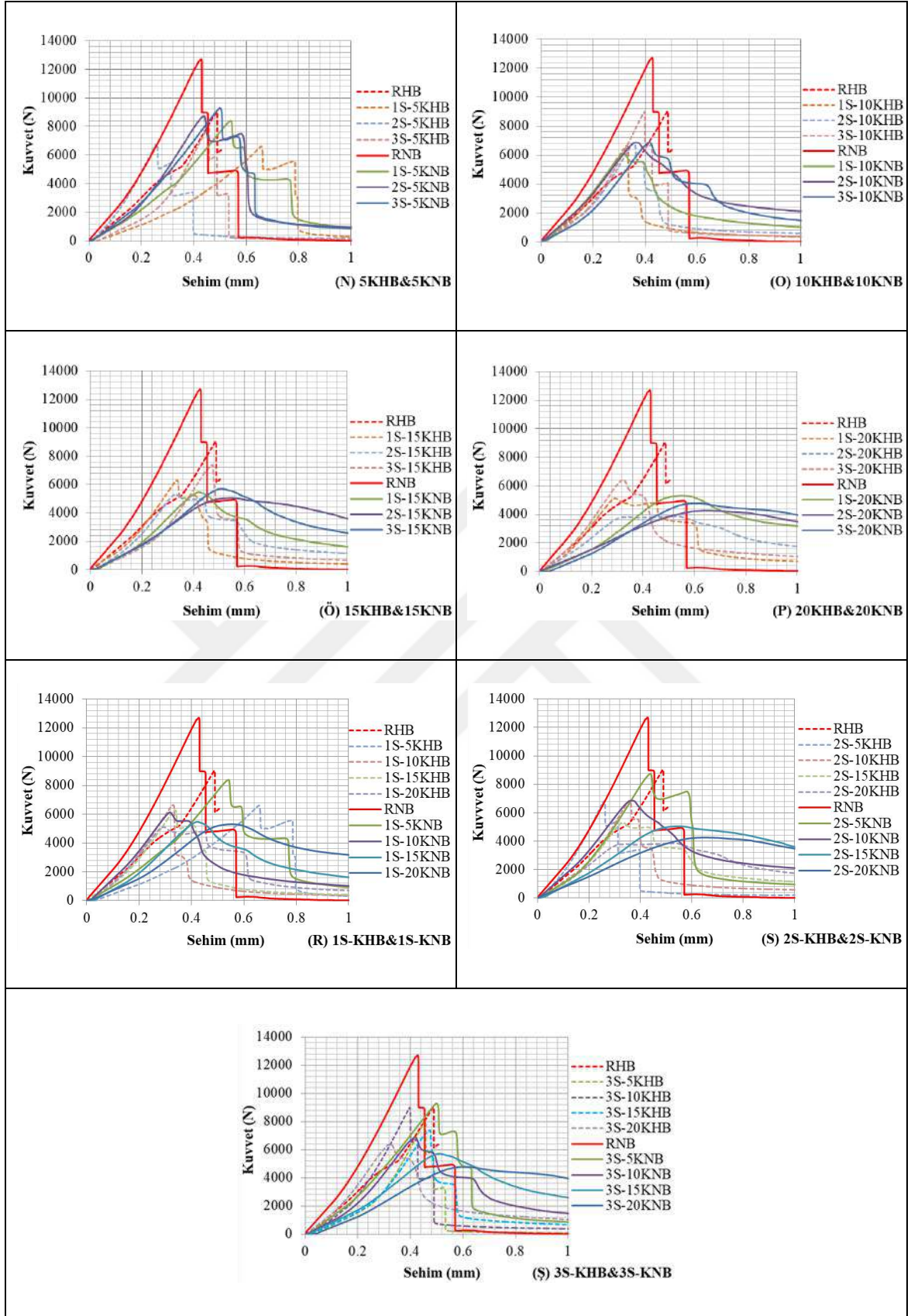
Şekil 4.17. Kauçuklaştırılmış hafif betonda hurda kauçuk içeriği ve şekli ile basınç dayanımı ve eğilme dayanımındaki azalma miktarı



Şekil 4.18. Kauçuklaştırılmış normal betonda hurda kauçuk içeriği ve şekli ile basınç dayanımı ve eğilme dayanımındaki azalma miktarı







Şekil 4.19. Kauçuklaştırılmış hafif beton, kauçuklaştırılmış normal beton ve referans betonlarda kuvvet ve sehim arasındaki ilişki

4.3 Titreşim Özelliği

Titreşim özelliği, depreme dayanıklı binaların en önemli ve temel dinamik özelliklerinden biri olarak kabul edilmektedir. Titreşim özelliğinin test edilip incelenmesi sönümleme özelliğinin incelenmesi ile yapılmıştır. Sönümleme özelliği ise malzemenin dış etkilere maruz kaldığında yapıda oluşan titreşimlere direnme yeteneği ve malzemenin titreşim enerjisini düzensiz termal enerji olarak dağıtma yeteneği olarak tanımlanır. Titreşim sönümlemesi, dış kuvvetlere maruz kaldığında bir sistem veya yapıdaki titreşim salınımlarının zayıflama modelini tanımlayan önemli bir dinamik performans göstergesi olan sönüm oranı hesaplanarak belirlenir (Bala & Gupta, 2021).

Eğilme testini yapmak için kullanılan kiriş numunelerin 40 x 10 x 10 cm üzerinde, titreşim testleri PCB PIEZOTRONICS ivme ölçerler ve NI veri toplama cihazı ile gerçekleştirilmiştir.

Şekil 4.20'de gösterilen bu test cihazı aşağıdaki bölümlerden oluşmaktadır:

- a- Darbe Çekici (Model : 086C03 | ICP)
- b- İvme ölçer , ICP (Model : 351B42)
- c- İvme ölçer , ICP, Sismik (Model : 393B04)
- d- Bilgisayar yazılımı (National Instruments Signal Express)

Numuneler

Şekil 4.20.'de gösterildiği gibi 7 cm sabitleme mesafesi ile dikey olarak sabitlendi. Ardından, yukarıda bahsedilen 2 sensör, test numunenin üst serbest ucundan sırasıyla 1 cm ve 31.5 cm mesafeyle yerleştirildi. Bu sensörlerin görevi, yukarıda bahsedilen çekiç kullanılarak titreştirilen numunede meydana gelen titreşimin genliğinin ölçülmesidir. Bu çekiçle, test numunesinin sensörlerin takılı olduğu yüzün tam karşı (arka) yüzündeki noktaya (test numunesinin serbest ucundan 1 cm uzaklığındaki

sensörün karşı tarafındaki nokta) vuruldu. Numunelerin doğal titreşim frekansını hesaplamak için titreşim verileri, zaman tanım alanından frekans tanım alanına bilgisayar yazılım paketleri (National Instruments Signal Express) aracılığıyla dönüştürülmüş ve Şekil 4.21. ve Şekil 4.22.'de sunulmuştur (Numunenin tabanına yerleştirilen sensör tarafından okunan titreşim verileri, küçük değerleri nedeniyle ihmal edilmiştir) . Daha sonra azalan logaritma yaklaşımı ve denklem 4.1 ve denklem 4.2 kullanılarak serbest titreşim için sönüm oranı hesaplandı (Bala & Gupta, 2021):

$$\delta = \frac{1}{n} \ln \frac{A_0}{A_n}; n = 1,2,3 \dots \quad (4.1)$$

$$\zeta = \frac{1}{\sqrt{1+(\frac{2\pi}{\delta})^2}} \approx \frac{\delta}{2\pi} = \frac{1}{2\pi n} \ln \frac{A_0}{A_n}; n = 1,2,3 \dots \quad (4.2)$$

Bu denklemlerde:

δ ; sönüm katsayısı,

n ; salınım döngü sayısı,

A_0 ; ilk genlik,

A_n ; n salınım döngüsünden sonraki genlik ve

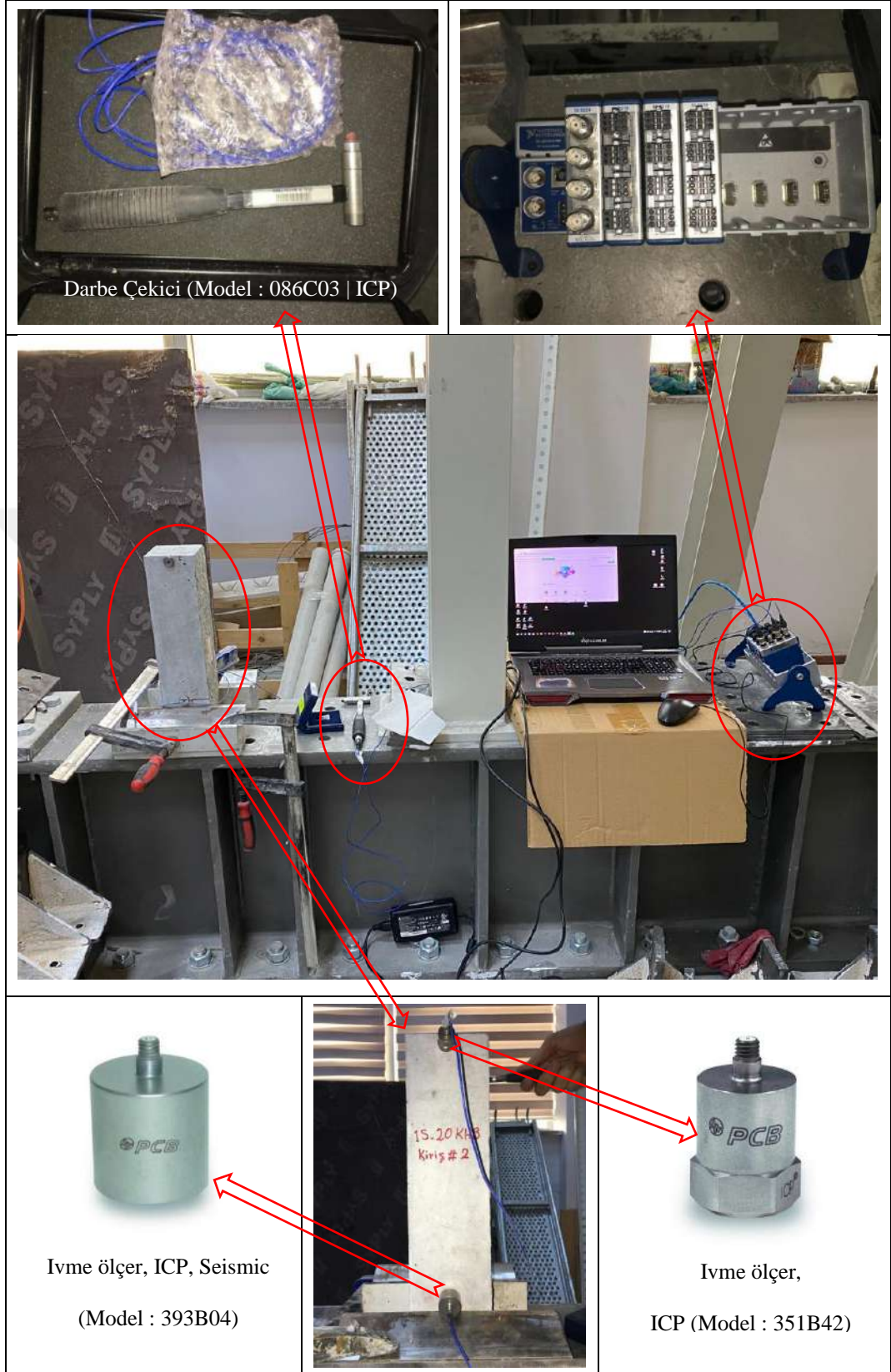
ζ ; sönüm oranını

ifade etmektedir

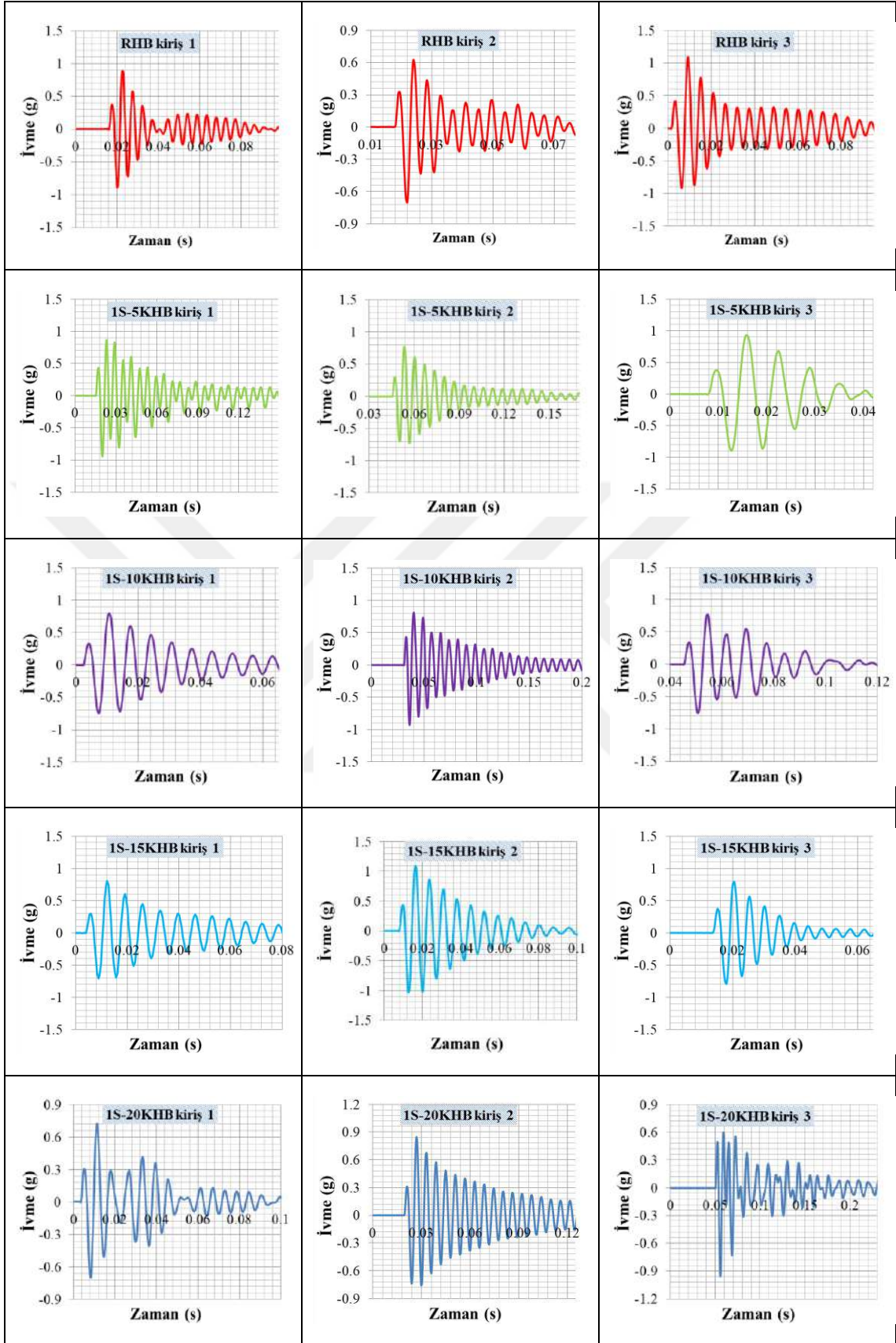
Titreşim testleri laboratovarda gerçekleştirildikten sonra ve Çizelge 4.3.'te verilen, Şekil 4.23. ve Şekil 4.24.'te grafiksel olarak gösterilen sönüm oranlarının hesabı sırasında fark edilmiştir ki sönüm oranlarında referans numunelerle diğer numuneler arasında karşılaştırıldığında, her iki beton türünde de kullanılan kauçuk

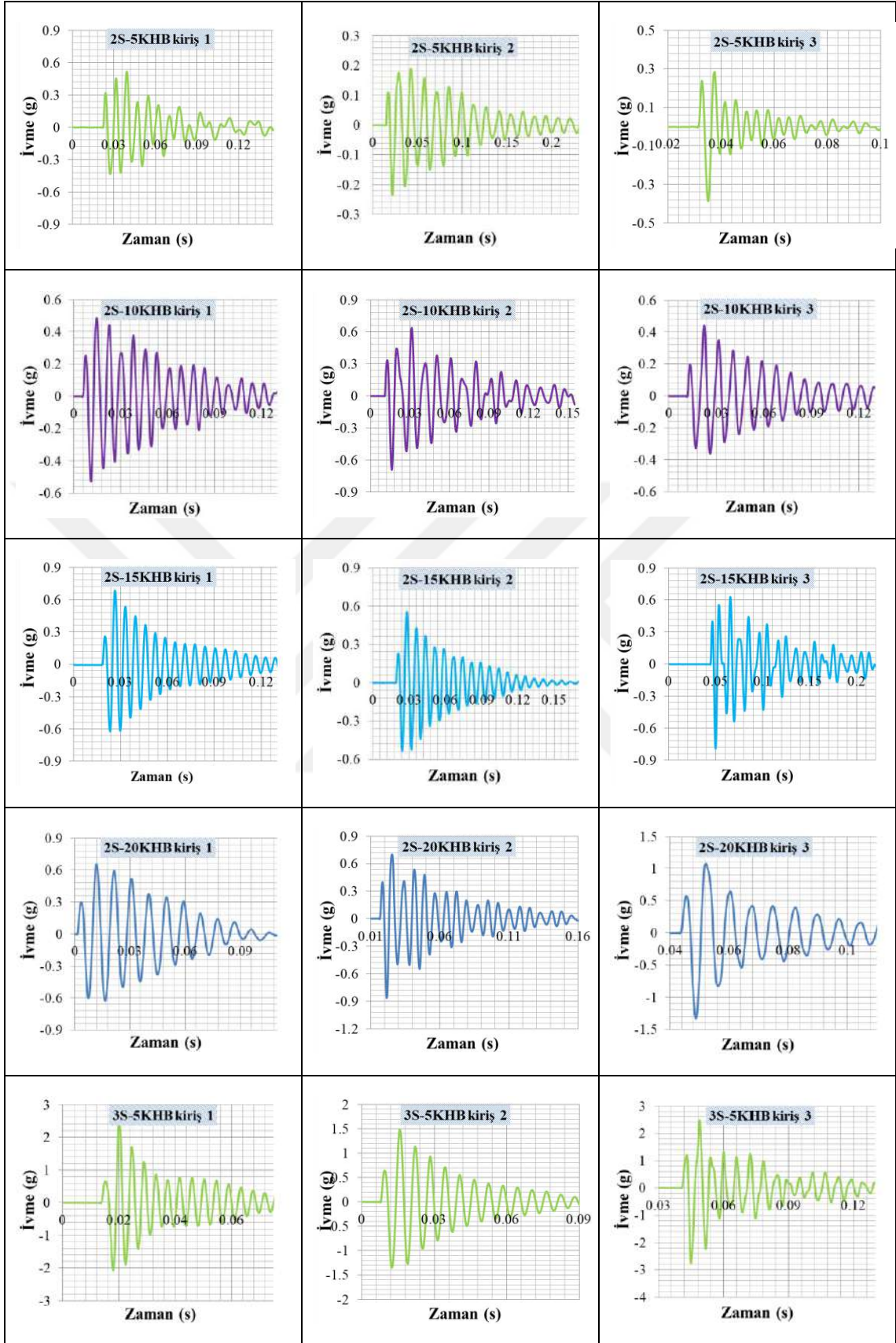
oranlarıyla orantılı olarak sönüm oranlarındaki artma veya azalmasında tutarlı sonuçlar elde edilmediğini fark edilmiştir.

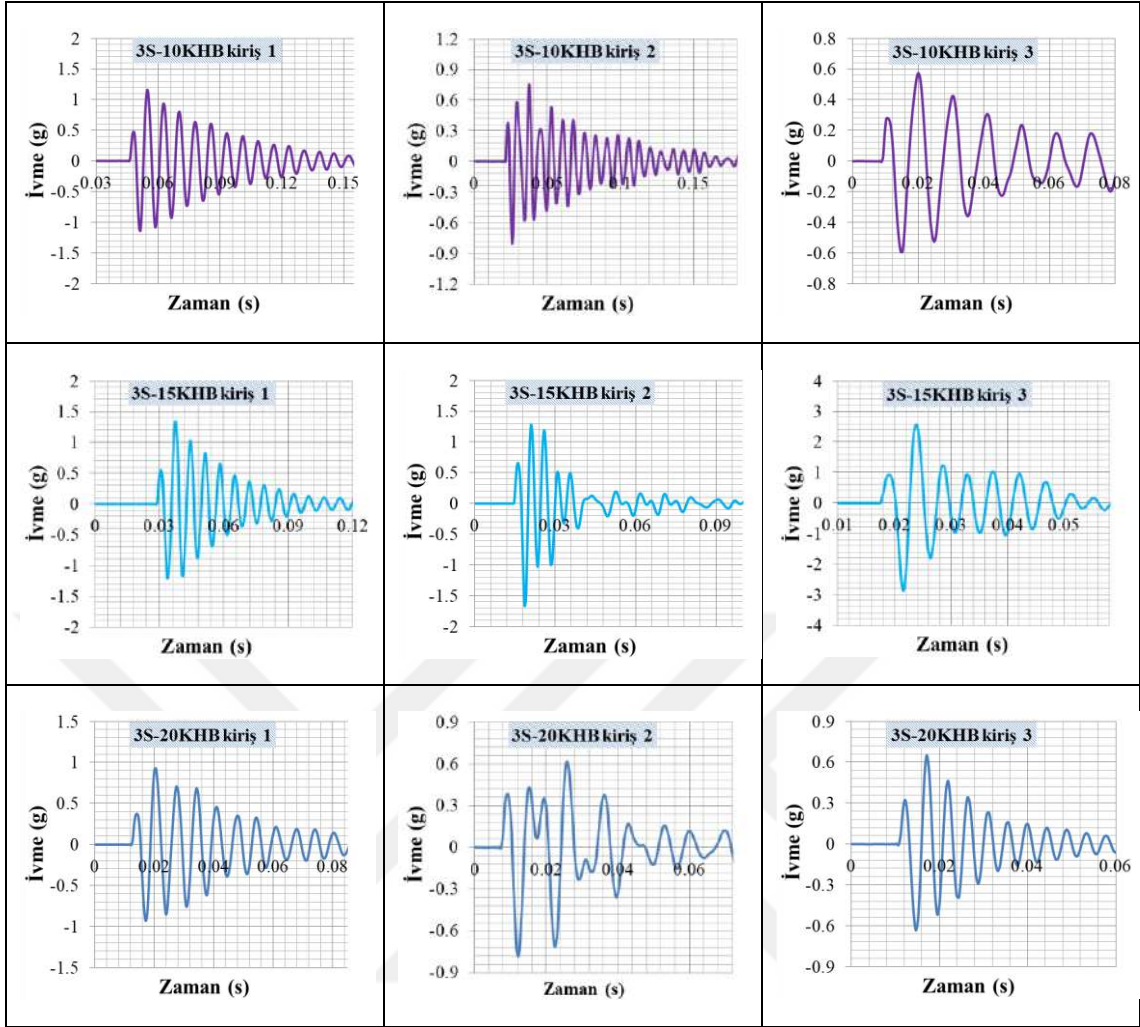
Bunun nedeni, belirli bir kaza sonucu düşme veya çarpma olasılığı nedeniyle ivme ölçerlerde bir sorun olabilmesidir. Ve bu ivme ölçerleri kalibre edecek bir durumumuz yoktu, bu yüzden doğru ölçüp ölçmediğini bilmemiz mümkün değildi. Aynı zamanda bu numuneleri biz alt taraftan mengene ile sıkıştırdık. Bu sıkıştırma sırasında bazen tam sıkışmamış olabilir ve bir miktar titreşime sebep olmuş olabilir, ayrıca numunenin oturduğu çelik kirişle numune arasında ufak titreşimler olmuş olabilir. Bunlar da sonuçları etkilemiş olabilir. Başka bir sebep de ivme ölçerinin numuneye kurulma yöntemi olabilir. Bunun nedeni ivme ölçerlerini numunelere silikonu kullanarak sabitleştirilmiş olmasıdır ve bu silikon miktarında numuneden diğerine farklılık gösterebilir, yani bunun titreşim ölçülerine etkisi olabilir.



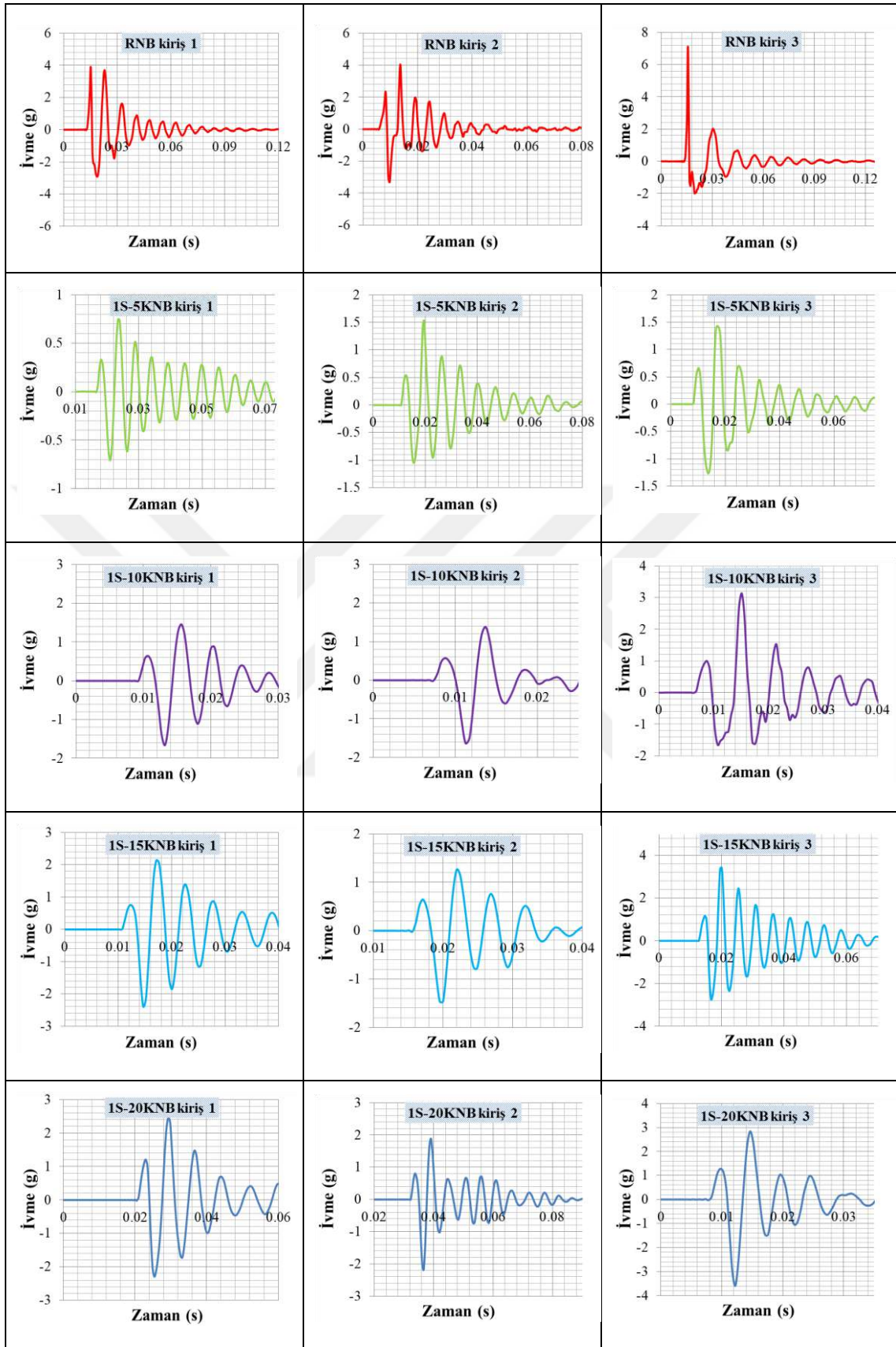
Şekil 4.20. Titreşim ölçüm cihazının parçalarını ve ölçüm yöntemi

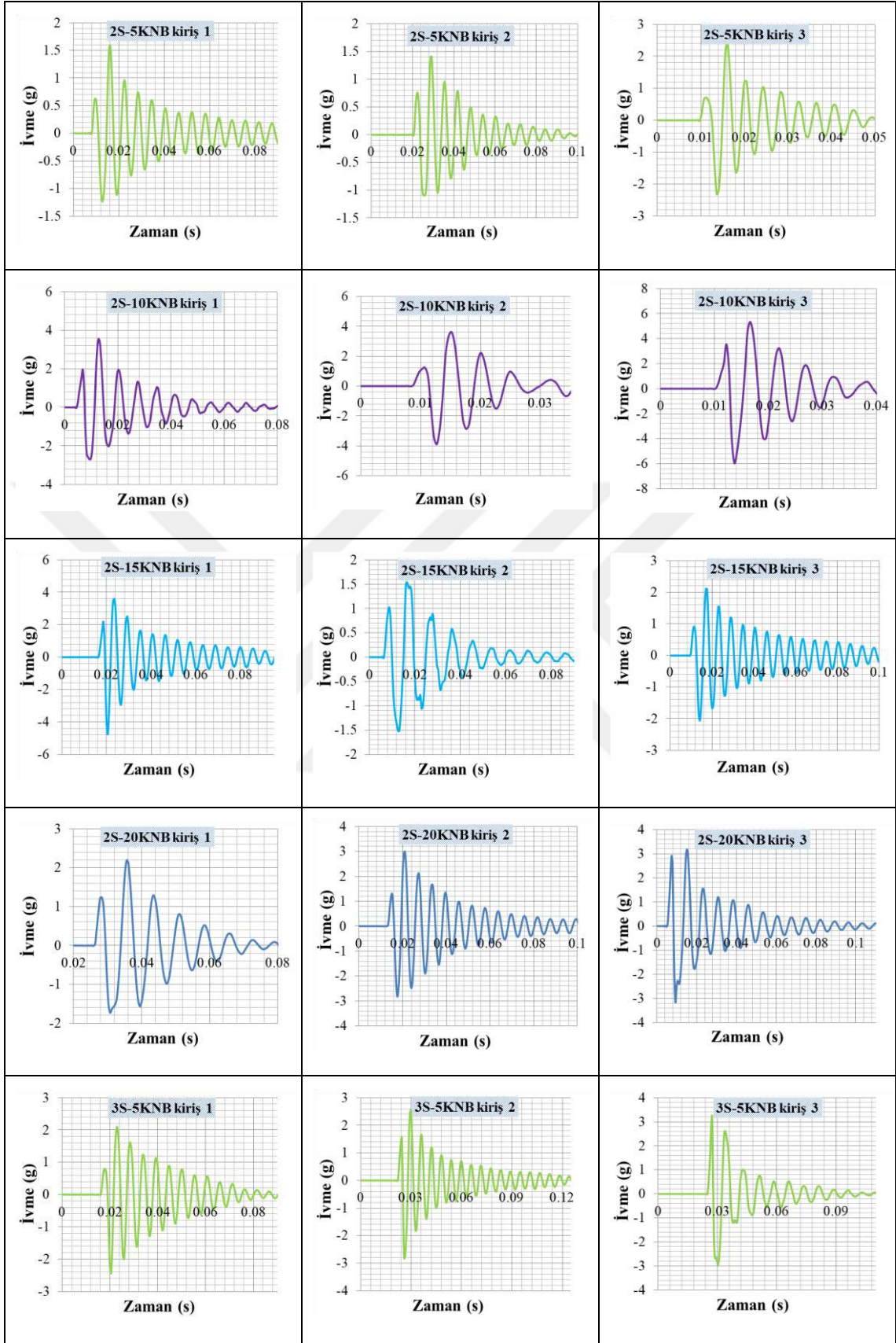


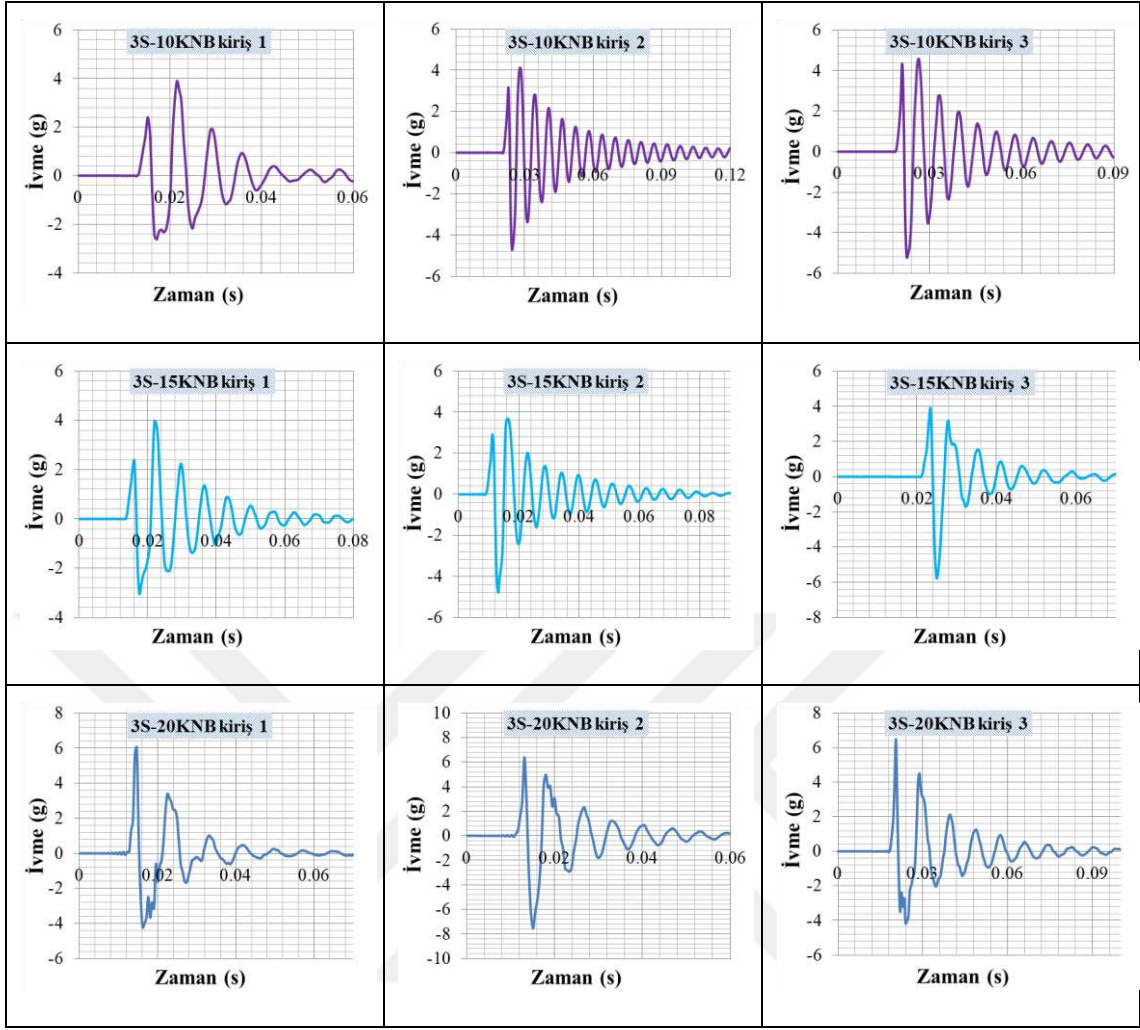




Şekil 4.21. Kauçuklaştırılmış hafif beton ve referans hafif betonda ivme zamanı tepkisi



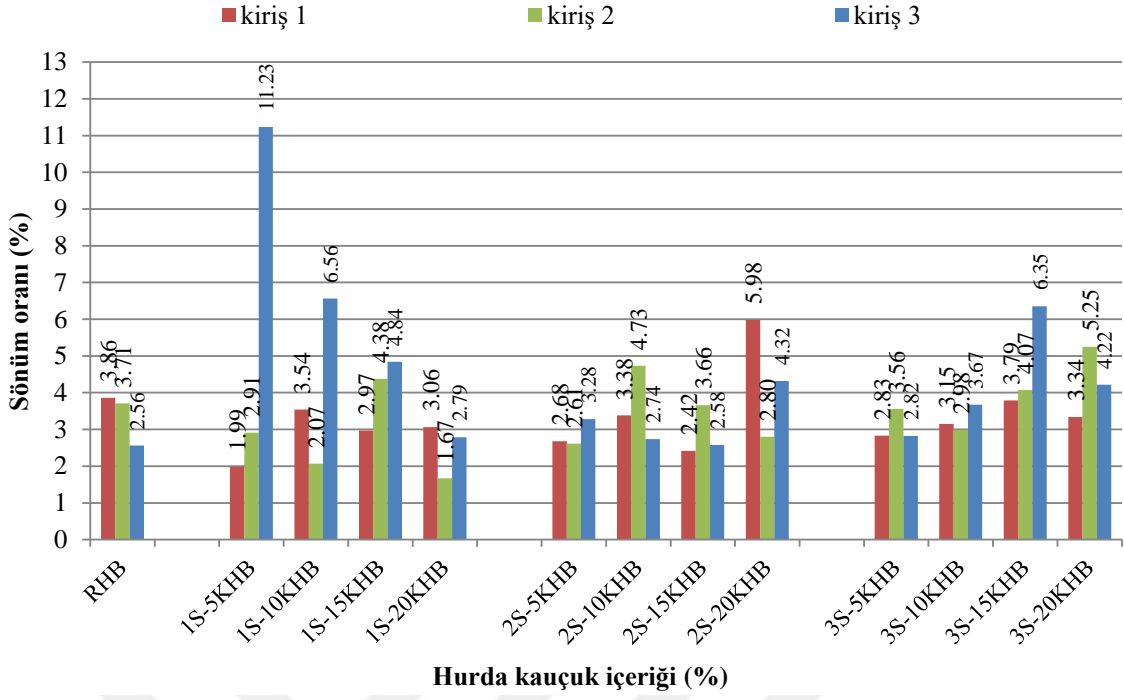




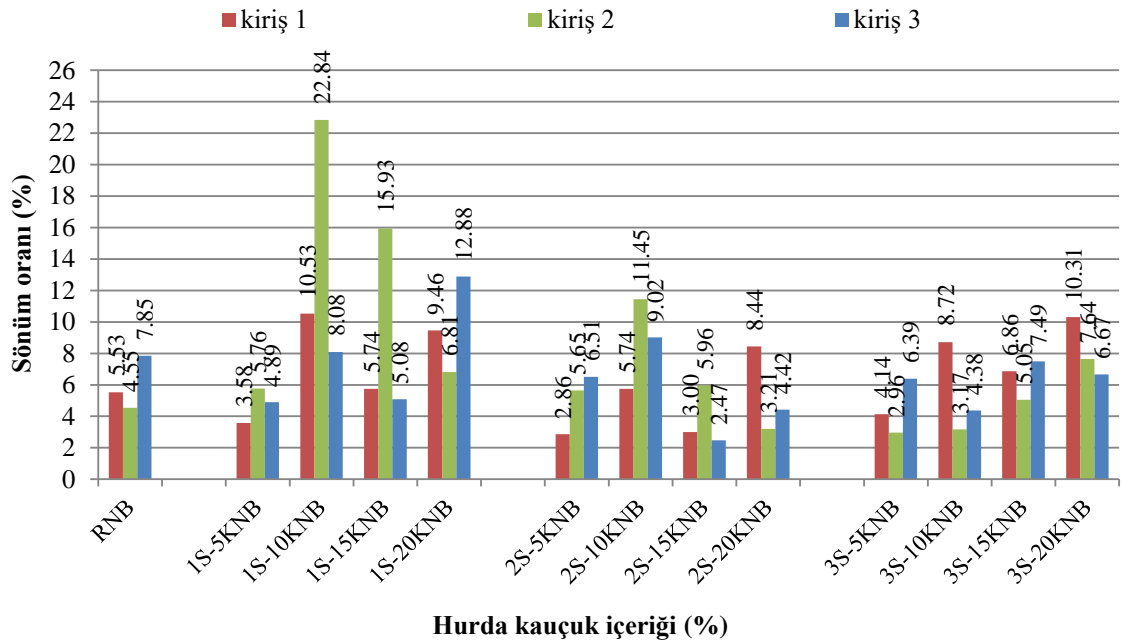
Şekil 4.22. Kauçuklaştırılmış normal beton ve referans normal betonda ivme zamanı tepkisi

Çizelge 4.3. Kauçuklaştırılmış hafif beton, kauçuklaştırılmış normal beton ve referans betonlar için sönüm oranı

Kirişlerin sönüm oranı		Sönüm oranı (%)				
		Kiriş 1	Kiriş 2	Kiriş 3		
Hafif beton karışımları	RHB		3.86	3.71	2.56	
	1S-KHB	1S-5KHB	1.99	2.91	11.23	
		1S-10KHB	3.54	2.07	6.56	
		1S-15KHB	2.97	4.38	4.84	
		1S-20KHB	3.06	1.67	2.79	
	2S-KHB	2S-5KHB	2.68	2.61	3.28	
		2S-10KHB	3.38	4.73	2.74	
		2S-15KHB	2.42	3.66	2.58	
		2S-20KHB	5.98	2.80	4.32	
	3S-KHB	3S-5KHB	2.83	3.56	2.82	
		3S-10KHB	3.15	2.98	3.67	
		3S-15KHB	3.79	4.07	6.35	
		3S-20KHB	3.34	5.25	4.22	
	Normal beton karışımları	RNB		5.53	4.55	7.85
		1S-KNB	1S-5KNB	3.58	5.76	4.89
			1S-10KNB	10.53	22.84	8.08
1S-15KNB			5.74	15.93	5.08	
1S-20KNB			9.46	6.81	12.88	
2S-KNB		2S-5KNB	2.86	5.65	6.51	
		2S-10KNB	5.74	11.45	9.02	
		2S-15KNB	3.00	5.96	2.47	
		2S-20KNB	8.44	3.21	4.42	
3S-KNB		3S-5KNB	4.14	2.96	6.39	
		3S-10KNB	8.72	3.17	4.38	
		3S-15KNB	6.86	5.05	7.49	
		3S-20KNB	10.31	7.64	6.67	



Şekil 4.23. Kauçuklaştırılmış hafif betonda sönüm oranı ile hurda kauçuk içeriği ve şekli ilişkisini



Şekil 4.24. Kauçuklaştırılmış normal betonda sönüm oranı ile hurda kauçuk içeriği ve şekli ilişkisini

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Tezde ulaşılan sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Her iki tip kauçuklaştırılmış hafif beton ve kauçuklaştırılmış normal ağırlıklı betonda kauçuk içeriğinin artması ile basınç dayanımı ve eğilme dayanımındaki düşüş olmuş, ancak kauçuklaştırılmış normal ağırlıklı betonda basınç dayanımı ve eğilme dayanımındaki azalma miktarı kauçuklaştırılmış hafif betondakine göre daha fazla olmuştur.
2. Kauçuklaştırılmış hafif betonda basınç dayanımındaki azalma miktarı 2S-20KHB karışımında en fazla %60.8, en düşük basınç dayanımı düşüşü ise 1S-5KHB karışımında %17.16 olmuştur.
3. Kauçuklaştırılmış normal betonda basınç dayanımındaki azalma miktarı 2S-20KNB karışımında en fazla %90.23, en düşük basınç dayanımı düşüşü ise 3S-5KNB karışımında %61.14 olmuştur.
4. Kauçuklaştırılmış hafif betonda eğilme dayanımındaki azalma miktarı 2S-20KHB karışımında en fazla %51.91, en düşük basınç dayanımı düşüşü ise 3S-5KHB karışımında %6.82 olmuştur.
5. Kauçuklaştırılmış normal betonda eğilme dayanımındaki azalma miktarı 2S-20KNB karışımında en fazla %67.93, en düşük basınç dayanımı düşüşü ise 3S-5KNB karışımında %24.14 olmuştur.
6. Kullanılan kauçuk şeklinin her iki beton tipinin basınç dayanımına etkisi. Her iki beton türü (kauçuklaştırılmış hafif beton ve kauçuklaştırılmış normal ağırlıklı beton) için basınç dayanımındaki azalma miktarının lif kauçuk kullanıldığında, kırıntı kauçuk kullanımına göre daha fazla olmuştur.

7. Kullanılan kauçuk şeklinin her iki beton tipinin eğilme dayanımına etkisi. Her iki beton türünde eğilme dayanımındaki azalma miktarı değişim oranları %5 ve %10 olduğunda ve kırıntı kauçuk kullanıldığında, lif kauçuk kullanımına göre daha fazla, değişim oranları %15 ve %20'ye çıktığında ise bunun tersi olarak gerçekleşmiştir.
8. Her iki beton türünde de kullanılan kauçuk oranlarıyla orantılı olarak titreşim sönümlenme oranlarındaki artma veya azalmasında tutarlı bir yaklaşımın olmadığı fark edildi. Bunun nedeni ivme ölçerlerde bir problem veya onların numunelere sabitleşme yönteminde bir sorun olabilmektedir.
9. %15 oranında kauçuk ikamesi ile bile taşıyıcı kauçuklaştırılmış hafif beton elde edilebilirken, ama bu çalışmada kullanılan oranların hiçbirisiyle kauçuk değişimi yapıldığında taşıyıcı kauçuklaştırılmış normal ağırlıklı beton elde edilememiştir.
10. Hafif betonda iri agreganın hafif olması nedeniyle oluşan segregasyonu hurda kauçuk kullanarak azaltmak mümkündür, kauçuk içeriğinin artması ile segregasyon azalmaktadır.
11. Hurda kauçuğu kullanarak, hafif betondan daha hafif taşıyıcı kauçuklaştırılmış hafif beton elde edebileceği gibi, normal ağırlıktaki betondan da kauçuklaştırılmış hafif beton elde edilebilmektedir.

5.2 Öneriler

Bu çalışmada, doğal agregaların kauçuk agregalarla değiştirilmesi için kütleli yöntem kullanılmıştır. Normal ağırlıktaki doğal agrega, hafif ağırlıktaki doğal agrega ve kauçuk agrega arasındaki özgül ağırlıkta büyük bir fark bulunmaktadır. Özgül ağırlık ile bu farka sahip agregaların değiştirilmesinde kütle yönteminin kullanılması, kauçuklaştırılmış hafif beton ve kauçuklaştırılmış normal ağırlıklı beton arasında değiştirilen kauçuk agreganın ağırlık ve hacminde büyük bir farka neden olur

(değiştirilen kauçuk agrega kauçuklaştırılmış normal ağırlıklı betonda daha büyüktür). Bu nedenle, her iki beton tipinde değiştirilen kauçuğun hacminin yakın olması için agregaların hacimsel yöntem kullanılarak değiştirildiği başka bir araştırmanın yapılması ve agreganın kütleli ve hacimsel değiştirme yöntemlerinin kullanımının her iki beton tipinin özellikleri üzerindeki etkisi arasında bir karşılaştırma yapılması önerilmektedir.

Dayanıklılık özelliklerinin yanı sıra aderans özelliği ve kesme davranışı de dahil olmak üzere taşıyıcı kauçuklaştırılmış hafif betonun (pomza kullanılarak üretilen) diğer özelliklerine ilişkin başka araştırmalar yaptıktan sonra bu araştırmaların sonucu ışığında inşaat yapılarında veya tavanlar gibi yapıların bazı kısımlarında bu tip betonun kullanılmasına karar verilebilir ve böylece binalardaki sabit yükleri azaltabilir.



KAYNAKLAR

- Abdullahi, M., Al-Mattarneh, H. M. A., & Mohammed, B. S. (2009). Equations for mix design of structural lightweight concrete. In *European Journal of Scientific Research* (Vol. 31, Issue 1, pp. 132–141).
- ACI Committee 211. (1998). *Standard Practice for Selecting Proportions for Structural Lightweight Concrete* (p. 20). Technical Documents. <https://www.concrete.org/publications/internationalconcreteabstractsportal/m/details/id/5093>
- Açıklık, H., & Günaydın, M. (2006). *Nevşehir Bims Agregasından Kendiliğinden Yerleşen Hafif Beton Üretimi*. <http://hdl.handle.net/123456789/7660>
- Ali, A. S., & Hasan, T. M. (2019). Properties of different types of concrete containing waste tires rubber- a review. *International Conference on Civil and Environmental Engineering Technologies IOP Publishing IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 584 (2019) 012051* Doi:10.1088/1757-899X/584/1/012051.
- Almaleeh, A. M., Shitote, S. M., & Nyomboi, T. (2017). Use of waste rubber tyres as aggregate in concrete. *Journal of Civil Engineering and Construction Technology*, 8(2), 11–19. <http://www.academicjournals.org/JCECT>
- Ashey, S. (2017). *The world's largest rubber tire cemetery in Kuwait*. <https://dkhlak.com/worlds-biggest-tire-graveyard/>
- Aslani, F. (2016). Mechanical Properties of Waste Tire Rubber Concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 28(3), 1009–1025.
- ASTM C 192/C 192M – 02. (2002). Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory. In *Management* (Vol. 04, pp. 1–8).
- ASTMC330–99. (1999). *Standard Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete*.
- Bala, A., & Gupta, S. (2021). Thermal resistivity, sound absorption and vibration damping of concrete composite doped with waste tire Rubber: A review. *Construction and Building Materials*, 299(0950–0618), 123939. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061821016998>
- Batayneh, M., Marie, I., & Asi, I. (2007). Use of selected waste materials in concrete mixes. *Waste Management*, 27(12), 1870–1876. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.07.026>
- Batayneh, M., Marie, I., & Asi, I. (2008). Promoting the use of crumb rubber concrete in developing countries. *Waste Management*, 28(11), 2171–2176.
- BIS, B. A. of C. P. of S. (2022). *Classification of concrete*. <https://bis.org.rs/en/about-concrete/classification-of-concrete>

- D.Chiras, D. (2001). *Environmental Science: Creating a Sustainable Future* 6th edition. In *Sudbury, MA: Jones and Bartlett*.
- Dikici, T. (2010). *TAŞIYICI HAFİF BETONUN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ* [Dokuz Eylül Üniversitesi]. <https://acikerisim.deu.edu.tr/xmlui/handle/20.500.12397/8076>
- Duarte, A. P. C., Silva, B. A., Silvestre, N., Brito, J. de, Julio, E., & Castro, J. M. (2016). Tests and design of short steel tubes filled with rubberised concrete. *Engineering Structures*, *112*, 274–286.
- Eldin, N. N., & Senouci, A. B. (1993). Rubber-Tire Particles as Concrete Aggregate. *Journal of Materials in Civil Engineering*, *5*(4), 478–496.
- Emam, M. (2005). Special Types of Concrete. In *The concrete* (pp. 23–56). <https://www.noor-book.com/en/ebook-الخرسانه-اد-محمود-امام-pdf>
- Estakhri, C. K., Button, J. W., & Fernand, E. G. (1992). Use, Availability, and Cost-Effectiveness of Asphalt Rubber in Texas. *TRANSPORTATION RESEARCH Record No 1339 / NATIONAL RESEARCH COUNCIL WASHINGTON, D.C., 1339*, 30–37.
- ETRMA. (2017). Annual Report 2017: Moving innovation that cares. In *Annual Report*. <http://www.etrma.org/uploads/Modules/Documentsmanager/20170905---etrma-annual-report-2016-17---final.pdf>
- The ETRMA Statistics Report, (2019).
- Feng, L., Liang-yu, M., Guo-Fang, N., & Li-Juan, L. (2015). Fatigue performance of rubber-modified recycled aggregate concrete (RRAC) for pavement. *Construction and Building Materials*, *95*, 207–217.
- Ganjian, E., Khorami, M., & Maghsoudi, A. A. (2009). Scrap-tyre-rubber replacement for aggregate and filler in concrete. *Construction and Building Materials*, *23*(5), 1828–1836.
- Gesoğlu, M., & Güneyisi, E. (2011). Permeability properties of self-compacting rubberized concretes. *Construction and Building Materials*, *25*, 3319_3326.
- Gheni, A. A., Alghazali, H. H., ElGawady, M. A., Myers, J. J., & Feys, D. (2019). Durability properties of cleaner cement mortar with by-products of tire recycling. *Journal of Cleaner Production*, *213*, 1135–1146.
- Goyal, M., & Kumar, H. (2018). Green Concrete: A Literature Review. In *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)* (Vol. 6, Issue 11, pp. 11–13).
- Green, S. M. F., Brooke, N. J., McSaveney, L. G., & Ingham, J. M. (2011). Mixture Design Development and Performance Verification of Structural Lightweight Pumice Aggregate Concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, *23*(8), 1211–1219. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)mt.1943-5533.0000280](https://doi.org/10.1061/(asce)mt.1943-5533.0000280)

- GTradial. (2016). *Lastik Bakımı / Lastik Nedir ?* www.gtradial-tr.com.
- HEITZMAN, M. (1992). Design and Construction of Asphalt Paving Materials with Crumb Rubber Modifier. *TRANSPORTATION RESEARCH Record No 1339 / NATIONAL RESEARCH COUNCIL WASHINGTON, D.C., 1339*, 1–8. <https://doi.org/10.1201/b16730-44>
- Hossain, K. M. A., & Lachemi, M. (2007). Mixture Design, Strength, Durability, and Fire Resistance of Lightweight Pumice Concrete. *Aci Materials Journal*, 104(5), 449–457. https://www.researchgate.net/publication/279889925_Mixture_Design_Strength_Durability_and_Fire_Resistance_of_Lightweight_Pumice_Concrete
- Ismail, M. K., & Hassan, A. A. A. (2016). Use of metakaolin on enhancing the mechanical properties of self-consolidating concrete containing high percentages of crumb rubber. *Journal of Cleaner Production*, 125, 282–295.
- Jalal, M., Nassir, N., & Jalal, H. (2019). Waste tire rubber and pozzolans in concrete: A trade-off between cleaner production and mechanical properties in a greener concrete. *Journal of Cleaner Production*, 238, 117882.
- Jimoda, L. A., Sulaymon, I. D., Alade, A. O., & Adebayo, G. A. (2017). Assessment of environmental impact of open burning of scrap tyres on ambient air quality. *International Journal of Environmental Science and Technology*, DOI 10.100.
- Kaewunruen, S., Li, D., Chen, Y., & Xiang, Z. (2018). Enhancement of Dynamic Damping in Eco-Friendly Railway Concrete Sleepers Using Waste-Tyre Crumb Rubber. *Materials*, 11(7), 1107–1169.
- Kew, H. Y., Cairns, R., & Kenny, M. J. (2014). The Use Of Recycled Rubber Tyres in Concrete. In *Used/Post-Consumer Tyres 3* (pp. 135–142).
- Khatib, Z. K., & Bayomy, F. M. (1999). Rubberized Portland cement concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 11.3, 206–213.
- Khitab, A., & Anwar, W. (2016). Advanced Research on Nanotechnology for Civil Engineering Applications, 1st ed. In *IGI Global publishing Hershey, PA*.
- Khitab, A., Arif, I., Awan, F. A., Anwar, A., & Mughal, A. (2017). Use of Waste Rubber Tyre in Concrete: Mini Review. *International Journal for Innovative Research in Multidisciplinary Field*, 3(12), 86,87.
- Konuk, H. (2003). *Hafif agregalı betonların mekanik özellikleri ve ısı yalıtımı*. <https://polen.itu.edu.tr/items/0edc20d7-ae02-40f5-9280-3010847881ea>
- '*Landfill Ban Investigation- Final Report.*' (2011). Australian Government Department of the Environment. <http://www.environment.gov.au/protection/waste-resource-recovery/publications/landfill-ban-investigation-final-report>
- Li, G., Stubblefield, M. A., Garrick, G., Eggers, J., Abadie, C., & Huang, B. (2004). Development of waste tire modified concrete. In *Cement and Concrete Research* (Vol. 34, Issue 12, pp. 2283–2289).

<https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.04.013>

- Li, W., Huang, Z., Wang, X. C., & Zhan, J. P. (2014). Experimental Study on the Mechanical Properties of the Crumb Rubber Concrete Modified by Latex. *Advanced Material Reaserch*, 941–944, 739–742.
- Li, Y., Zhang, S., Wang, R., & State, F. D. (2019). Potential use of waste tire rubber as aggregate in cement concrete – A comprehensive review. *Construction and Building Materials*, 225, 1183–1201.
- Messenger, B. (2013). Tackling Tyre Waste. In *WMW Magazine*.
- Naik, T. R., & Singh, S. S. (1991). Utilization of discarded tires as construction materials for transportation facilities. In *70th Annual Meeting of Transportation Research Board*.
- Najim, K. B., & Hall, M. R. (2010). A review of the fresh/hardened properties and applications for plain- (PRC) and self-compacting rubberised concrete (SCRC). *Construction and Building Materials*, 42(11), 2043–2051.
- Najim, Khalid B., & Hall, M. R. (2012). Mechanical and dynamic properties of self-compacting crumb rubber modified concrete. *Construction and Building Materials*, 27(1), 521–530.
- Nkemjika, C. (2019). Environmental impact of End of Life Tyre (ELT) or scrap tyre waste pollution and the need for sustainable waste tyre disposal and transformation mechanism in Nigeria. *Nnamdi Azikiwe University Journal of International Law and Jurisprudence*, 10(2), 60–70.
- Noaman, A. T., Abu Bakar, B. H., & Hazizan Md. Akil. (2016). Experimental investigation on compression toughness of rubberized steel fibre concrete. *Construction and Building Materials*, 115, 163–170.
- Pacheco-Torres, R., Cerro-Prada, E., Escolano, F., & Varela, F. (2018). Fatigue performance of waste rubber concrete for rigid road pavements. *Construction and Building Materials*, 176, 539–548. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.030>
- Park, Y., Abolmaali, A., Mohammadagha, M., & Lee, S. (2015). Structural performance of dry-cast rubberized concrete pipes with steel and synthetic fiber. *Construction and Building Materials*, 77, 218–226.
- Pastor, J. M., García, L. D., Quintana, S., & Peña, J. (2014). Glass reinforced concrete panels containing recycled tyres: Evaluation of the acoustic properties of for their use as sound barriers. *Construction and Building Materials*, 45, 541–549.
- Pehlken, A., & Essadiqi, E. (2016). SCRAP TIRE RECYCLING IN CANADA 2005-08NRCAN MTL. *Research Gate*, August.
- PolisanKimya. (n.d.). *POLITON 612 Yüksek Oranda Su Azaltıcı Süper Akışkanlaştırıcı Beton Katkısı*. <https://polisankimya.com.tr>

- Rahman, M., Al-Ghalib, A., & Mohammad, F. (2013). Anti-vibration characteristics of rubberised reinforced concrete beams. *Materials and Structures*, 47, 1807–1815.
- Roychand, R., Gravina, R. J., Zhuge, Y., Ma, X., Youssf, O., & Mills, J. E. (2020). A comprehensive review on the mechanical properties of waste tire rubber concrete. *Construction and Building Materials Journal*, 237, 1175651.
- Siddika, A., Mamun, M. A. Al, Alyousef, R., Amran, Y. H. M., Aslani, F., & Alabduljabbar, H. (2019). Properties and utilizations of waste tire rubber in concrete: A review. *Construction and Building Materials*, 224, 711–731.
- Siddique, R., & Naik, T. R. (2004). Properties of concrete containing scrap-tire rubber - An overview. In *Waste Management* (Vol. 24, Issue 6, pp. 563–569). <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2004.01.006>
- Sukontasukkul, P., & Chaikaew, C. (2006). Properties of concrete pedestrian block mixed with crumb rubber. *Construction and Building Materials*, 20(7), 450–457. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.01.040>
- Sukontasukkul, P., & Wiwatpattanapong, S. (2009). Moderate Lightweight Concrete Mixed with Recycled Crumb Rubber. *Thammasat Int. J. Sc. Tech.*, 14(1), 1–9. <https://www.researchgate.net/publication/268428397>
- TheNewsWheel. (2016). *Massive Tire Fire Darkens Skies Over Madrid*. <https://thenewswheel.com>
- Thomas, B. S., Gupta, R. C., Mehra, P., & Kumar, S. (2015). Performance of high strength rubberized concrete in aggressive environment. *Construction and Building Materials*, 83, 320–326.
- Thomas, B. S., Gupta, R. C., & Panicker, V. J. (2016). Recycling of waste tire rubber as aggregate in concrete: durability-related performance. *Journal of Cleaner Production*, 112, 504–513.
- Topcu, I. B. (1995). The properties of rubberized concrete. *Cement and Concrete Research*, 25(2), 304–310.
- Torretta, V., Rada, E. C., Ragazzi, M., Trulli, E., Istrate, I. A., & Cioca, L. I. (2015). Treatment and disposal of tyres: Two EU approaches. A review. *Waste Management Journal*, 45, 152–160.
- UTEST, M. T. (n.d.). *Concrete Mixer Pan Type*. <https://www.utest.com.tr/en/>
- Utires. (2017). *How Are Automobile Tires Recycled?* <https://www.utires.com/articles/>
- Valente, M., & Sibai, A. (2019). Rubber/crete: Mechanical properties of scrap to reuse tire-derived rubber in concrete; A review. *Journal of Applied Biomaterials & Functional Materials*, 10.1177/22.
- Winfield, M. S., & Taylor, A. (2005). *Rebalancing the Load; the Need for an Aggregates Conservation Strategy for Ontario*. The Pembina Institute for Appropriate Development.

- Yang, S., Kjartanson, B. H., & Lohnes, R. A. (2001). Structural performance of scrap tire culverts. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 28, 179–189.
- Záleská, M., Pavlík, Z., Cítek, D., Jankovsky, O., & Pavlíková, M. (2019). Eco-friendly concrete with scrap-tyre-rubber-based aggregate – Properties and thermal stability. *Construction and Building Materials*, 225, 709–722.
- Zhang, Z., Ma, H., & Qian, S. (2015). Investigation on properties of ECC incorporating crumb rubber of different sizes. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 13, 241–251.
- Zhu, Q., Dai, H., Chen, D., & Liang, Z. (2019). Study on Influence of Waste Tire Rubber Particles on Concrete Crack Resistance at Early Age. *4th International Conference on Energy Equipment Science and Engineering I.O.P Conf. Series: Earth and Environmental Science 242 (2019) 052060 Doi:10.1088/1755-1315/242/5/052060*.

