T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ATIK LASTİK AGREGASI İÇEREN NORMAL VE YÜKSEK DAYANIMLI BETONLARIN AŞINMA VE TERMAL İLETKENLİK DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Alparslan ULUSOY

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA
2021

T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ATIK LASTİK AGREGASI İÇEREN NORMAL VE YÜKSEK DAYANIMLI BETONLARIN AŞINMA VE TERMAL İLETKENLİK DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Alparslan ULUSOY

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA
2021

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
ÇİZELGELER DİZİNİ v
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ vi
1.GİRİŞ 1
1.1.Genel 1
1.2.Çalışmanın amacı 2
1.3.Tezin içeriği 3
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 4
2.1. Atık lastiğin stoklanma işlemi ve çevresel tehditler 6
2.1.1. Lastik içeriği 6
2.1.2. Lastiklerin üretimi 9
2.1.3. Atık lastiklerin depolanması 11
2.1.4. Atık lastiklerin çevresel etkileri 13
2.2 Atık Lastiklerin Sınıflandırılması 14
2.2.1. Atık lastiğin kesim işlemi 14
2.2.2. Hurda lastikler 15
2.2.3. Yırtık lastikler 15
2.2.4. Parçacık lastik/çip lastik 15
2.2.5. Öğütülmüş lastikler 15
2.2.6. Kırıntı lastikler 15
2.3. Atık Lastiğin Yönetimi ve Geri Dönüşümü 16
2.3.1. Yeniden kaplanarak geri dönüşüm 18
2.3.2. Yakıt olarak geri dönüşüm 19
2.3.3. Piroliz ile geri dönüşüm 21
2.3.4. Lastikten türetilmiş ürün 23
2.3.5. Malzeme geri dönüşümü 24
2.4. İşlenebilirlik 25
2.5. Basınç Dayanımı, Yarmada Çekme Dayanımı ve Elastisite Modülü 28
2.6. Ses Yalıtımı ve Ultrases Geçiş Hızı 31
2.7. Betonda Kütle Kaybı ve Geçirimlilik (Porozite) 33
2.8. Zeminde Kohezyon ve İç Sürtünme Açısı 35
2.9. Isıl İletkenlik ve Gözeneklilik 37
2.10. Aşınma Direnci 38
3. MATERYAL ve YÖNTEM 41
3.1. Materyal 41
3.1.1. Çimento 41
3.1.2. Agrega 42
3.1.3. Atık lastik agrega 42
3.1.4. Kimyasal katkı 43
3.1.5. Aşındırıcı toz (zımpara tozu) 43
3.1.6. Karışım tasarımı 43
3.1.7. Deney numuneleri 44
3.2. Yöntem 47
3.2.1. Ultrases geçiş hızı deneyi (UPV) 47
3.2.2. Basınç dayanımı deneyi 48
3.2.3. Böhme aşınma deneyi 49
3.2.4. Isıl iletkenlik katsayısı deneyi 51
4.ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA 53

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER 60
KAYNAKLAR 62

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ATIK LASTİK AGREGASI İÇEREN NORMAL VE YÜKSEK DAYANIMLI BETONLARIN AŞINMA VE TERMAL İLETKENLİK DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Alparslan ULUSOY

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Kasım MERMERDAŞ
İkinci Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Yusuf IŞIKER
Yıl: 2021, Sayfa: 66

Katı atıklar, günümüzde ülkemiz de dahil olmak üzere neredeyse tüm ülkelerin en mühim çevre sorunu haline gelmiştir. Atık taşıt lastikleri de, katı atıklar kategorisinde değerlendirilmektedir. Bu tez çalışmasında, atık lastiğin betonda agrega ile birlikte kullanımı ele alınmıştır. Bunun için farklı yüzdelerde (%0, %10, %20 ve %30) hacimce agrega ikamesi (yer değiştirme) yapılıp atık lastik parçaları kullanılarak, farklı su/çimento oranları ile toplamda 12 karışım elde edilmiştir. Beton içerisine konulan atık lastik parçalarının beton üzerindeki etkileri; 28 günlük deney numuneleri üzerinde yapılan basınç dayanımı, Böhme aşınma direnci, ultrases geçiş hızı ve ısıl iletkenlik katsayısı deneyi gibi birtakım deneysel çalışmalarla ortaya çıkarılmıştır. Yapılan deneylerde sonuç olarak, atık lastik agregalı betonun basınç dayanımında iyileşme görülmemiştir. Ancak ısı iletkenliğinin azaldığı ve aşınma direncinin iyileştiği görülmüştür. Ayrıca bu çalışma, geri dönüştürülmüş lastiğin inşaat uygulamalarında ve beton teknolojisinde geri dönüştürülmüş malzeme olarak nasıl kullanılabileceğine dair geniş bir literatür taramasını kapsamaktadır. Bu sebeple, son literatür çalışmalarında sunulan deneysel çalışmaların bulguları sunulmuş ve geri dönüştürülmüş lastiklerin, lastik kırıntıları ve lastik parçaları şeklinde beton özellikleri üzerindeki önemli etkileri vurgulanmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Atık lastik, agrega ikamesi, beton teknolojisi, basınç dayanımı, Böhme aşınma direnci.

ABSTRACT

MSc Thesis

INVESTIGATION OF ABRASION AND THERMAL CONDUCTIVITY PROPERTIES OF NORMAL AND HIGH STRENGTH CONCRETES INCLUDING WASTE TIRE AGGREGATE

Alparslan ULUSOY

Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Kasım MERMERDAŞ
Co-Supervisor: Assist. Prof. Dr. Yusuf IŞIKER
Year: 2021, Page: 66

Solid wastes have become the most important environmental problem of almost all countries, including our country. Waste vehicle tires are also considered in the solid waste category. In this thesis, the use of waste tire in concrete as an aggregate replacement material is studied. For this, a total of 12 mixtures with different water/cement ratios were obtained by using waste rubber pieces by replacing aggregates by volume at different percentages (0%, 10%, 20% and 30%). Effects of waste tire replacement on concrete were evaluated through compressive strength, Böhme abrasion resistance, ultrasound pulse velocity and thermal conductivity tests at the end of 28-day curing. As a result of the experimental study, it was observed that there was no improvement in the compressive strength of the waste tire aggregate concrete. However, it has revealed a positive result in terms of thermal conductivity and abrasion resistance. In addition, this study includes an extensive literature review on how recycled tire can be used as a recycled material in construction applications and concrete technology. Therefore, the findings of the experimental studies presented in recent literature studies have been presented and the important effects of recycled tires on the properties of concrete in the form of tire crumbs and tire chips are highlighted.

KEY WORDS: Waste tire, aggregate substitution, concrete technology, compressive strength, Böhme abrasion resistance.

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanması sırasında bana rehberlik eden, yardımlarını esirgemeyen ve akademik gelişimime katkı sağlayan danışman hocalarım Sayın Doç. Dr. Kasım MERMERDAŞ ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Yusuf IŞIKER'e, verdiği değerli bilgiler ve katkılarından dolayı Sayın Dr. Öğr. Üyesi Süleyman İPEK'e, çalışmalarım sürecinde fedakârlık göstererek bana yardımcı olan arkadaşım ve meslektaşım İnş. Müh. Sedat DEMİR'e en içten duygularımla şükranlarımı sunuyorum.

Son olarak öğrenim hayatım boyunca, her zaman arkamda olduğunu bildiğim ve yanımda hissettiğim Aileme bana gösterdikleri sabır ve sonsuz güven için çok teşekkür ederim.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Tipik atık lastikleri alanı ... 1
Şekil 2.1. Betonda agrega değişim malzemesi olarak kullanılacak parça lastik ve kırıntı lastiği ... 5
Şekil 2.2. a) % 0, b) % 5, c) % 15, d) % 25 kırıntı lastik ikamesi (kum yerine) ile üretilen lastik agregalı betonlar ... 6
Şekil 2.3. a) doğal kauçuk, b) sentetik kauçuk ve c) karbon siyahı'nın fotografik görüntüsü ... 8
Şekil 2.4. Araç lastiğinin iç yapısı ... 9
Şekil 2.5. Otomobil lastiği bileşimi ... 10
Şekil 2.6. a) Atık lastik stok yığınının görünüşü, b) Atık lastiklerin stok sahasına boşaltılması ... 12
Şekil 2.7. Lastik stoklarının yakılması ... 13
Şekil 2.8. Atık lastik öğütmedeki işlem sırası ... 14
Şekil 2.9. Atık lastiğin öğütme işlemleri ... 14
Şekil 2.10. Binek lastiklerinin kesitinin şematik gösterimi ... 18
Şekil 2.11. Atık lastiklerin pirolitik olarak yeniden işlenmesi ... 22
Şekil 2.12. Atık lastiklerin çocuk oyun alanlarında kullanımı ... 24
Şekil 2.13. Atık lastiklerin hayvanlar için yem kutusu işlevini görmesi ... 24
Şekil 2.14. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) 'ndan alınan Resimler: Kriyojenik Kırıntı Lastik (solda) ve Geleneksel Kırıntı Lastik (sağda) ... 25
Şekil 2.15. Lastik içeriğinin, taze betonun işlenebilirliğine etkisi ... 26
Şekil 2.16. Atık lastik agrega oranına göre betonun çökme ve yoğunluğu ... 28
Şekil 2.17. Lastik içeriğinin, betonun 28 günlük basınç dayanımı üzerindeki etkisi ... 29
Şekil 2.18. Lastik içeriğinin, betonun 28 günlük yarmada çekme dayanımı üzerindeki etkisi ... 29
Şekil 2.19. Lastik içeriğinin betonun elastisite modülü üzerindeki etkisi ... 30
Şekil 2.20. Farklı ikame yüzdelerinde, geleneksel beton ve atık lastik agregalı betonun zayıflama katsayısı ... 31
Şekil 2.21. Ultrases geçiş hızı – ses geçiş süresi arasındaki ilişki ... 33
Şekil 2.22. 300 donma-çözülme döngüsünden sonra lastiğin ikame seviyesine karşı, atık lastikli geçirgen beton kütlesindeki yüzde kütle kaybı ... 34
Şekil 2.23. Atık lastikli betonların lastik içeriğine göre toplam gözenekliliği ... 35
Şekil 2.24. Atık lastik kauçuk lifinin kohezyon üzerindeki etkisi ... 36
Şekil 2.25. Atık lastik kauçuk lifinin iç sürtünme açısı üzerindeki etkisi ... 36
Şekil 2. 26. Isıl iletkenlik ve özgül ısı arasındaki ilişki ... 38
Şekil 2.27. Atık lastik değişim oranına göre betonun aşınma direnci ... 39
Şekil 3.1. Kaba, orta ve ince agregaların fotoğrafları ... 42
Şekil 3.2. Parça ve kırıntı lastiğinin fotoğrafları ... 43
Şekil 3.3. Beton harç karıştırma mikseri ... 45
Şekil 3.4. Kalıplara doldurulan numuneler ... 46
Şekil 3.5. Kür havuzunda bekletilen numuneler ... 46
Şekil 3.6. UPV ölçüm cihazı ... 47
Şekil 3.7. UPV testi çalışma prensibi ... 48
Şekil 3.8. Pres makinesine yerleştirilen numune ... 49
Şekil 3.9. Kırılan deney numunesi ... 49
Şekil 3.10. Numunelerin etüvde kurutulması işlemi ... 51
Şekil 3.11. Böhme aşınma cihazı ... 51
Şekil 3.12. Hot Disk termal özellik analiz cihazı ve ölçüm ... 52
Şekil 4.1. Lastik ikame oranlarına göre ultrases geçiş hızları (m/s) ... 53
Şekil 4.2. Lastik agrega oranı ve s/ç oranına göre basınç dayanımları (MPa) ... 55
Şekil 4.3. Lastik agrega değişim oranlarına göre numunelerdeki kütle kaybı (g) ... 57
Şekil 4.4. Lastik agrega değişim oranlarına göre numunelerdeki aşınma derinliği (mm) ... 57
Şekil 4.5. Lastik agrega ve s/ç oranlarına göre ısı iletkenlik katsayıları ... 59

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 2.1. İnşaat mühendisliği uygulamalarında parçalanmış atık lastiklerin geri dönüşüm malzemesi olarak kullanımı 5
Çizelge 2.2. Lastik üretiminde kullanılan materyaller 10
Çizelge 2.3. Sektördeki firmaların yıllık dış lastik üretim miktarları 11
Çizelge 2.4. Her bir malzeme sınıfının temsil ettiği tamamlanmış lastiğin toplam ağırlık yüzdesine göre (ABD ve Avrupa'da) lastik üretiminde kullanılan tipik malzemeler 17
Çizelge 2.5. Enerji içeriği ve yakıtlardan kaynaklanan CO_2 emisyonları 21
Çizelge 2.6. Lastik agregalı taze beton sonuçları 27
Çizelge 2.7. Lastik agregalı betonlara ait fiziksel ve mekanik özellikler 30
Çizelge 2.8. Atık lastik agregalı betonun ultrases geçiş süreleri ve hızları 32
Çizelge 2.9. Atık lastik agregalı betonun ısıl özellik deney sonuçları 37
Çizelge 2.10. Atık lastik agregalı geçirimli betonların aşınma direnci sonuçları 39
Çizelge 3.1. Çimentonun fiziksel özellikleri ve kimyasal bileşenleri 41
Çizelge 3.2. Kaba, orta ve ince agregaya ait elek analizi sonucu ve fiziksel özellikler 42
Çizelge 3.3. s/ç oranı 0,35 olan beton karışım miktarları (kg) 44
Çizelge 3.4. s/ç oranı 0,45 olan beton karışım miktarları (kg) 44
Çizelge 3.5. s/ç oranı 0,55 olan beton karışım miktarları (kg) 44
Çizelge 3.6. UPV deneyinde beton kalitesi ile ilgili sınır değerler 48
Çizelge 4.1. Ultrases geçiş hızları 53
Çizelge 4.2. Basınç dayanımı sonuçları 54
Çizelge 4.3. Aşınma sonrası kütle kayıpları (g) 56
Çizelge 4.4. Aşınma derinliği (mm) 56
Çizelge 4.5. Isı iletkenlik katsayıları (λ) 58

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

c	Özgül ısı
J	Joule
K	Kelvin
s/ç	Su/çimento oranı
SA	Süperakışkanlaştırıcı
UPV	Ultrases geçiş testi
α	Isıl yayılım
λ	Isıl iletkenlik katsayısı
μs	Ultrases geçiş süresi

1.GİRİŞ

1.1.Genel

Lastikler, en önemli amacı yoldaki bir taşıtın güvenlik koşullarında yer ile temasını sağlayan tek ve en önemli parçasıdır. 1846'da İskoç demiryolu mühendisi Robert William Thomson tarafından "hava tekerleği" için üretildi ve patenti alındı. Kumaş, sakız, deri ve hava ile ilgili kusurlu lastikler 1888 yılında veteriner hekim John Boyd Dunlop tarafından icat edildi. Bugünün lastikleri ise, 1891'de iki erkek kardeş, Andre ve Edouard Michelin tarafından çıkarılabilir lastik olarak üretildi (European Tyre & Rubber Manufacturers' Association, 2015). Araçların bu elemanı, kullanım ömrü bitmiş lastikler haline gelirse, bu da araçlardan alındıktan sonra orijinal formunda tekrar kullanılamayan bir lastik anlamına gelir. Bu işlemle lastikler, Şekil 1.1'de gösterildiği gibi hurda lastiği olarak bilinen atık madde haline gelir ve ürün/malzeme geri dönüşümü, enerji geri kazanımı veya çöp depolama alanlarına dayalı atık yönetim sistemine girer.



Şekil 1.1. Tipik atık lastikleri alanı
(http://energy.agwired.com, 2020)

İstenmeyen veya kullanılmayan bir malzeme olan atık madde; endüstriyel, ticari, madencilik veya zirai işlemler gibi bir üretim işleminden veya ev içi faaliyetlerden arındırılmıştır. Çevre Koruma Ajansı, atık maddeleri tehlikeli ve tehlikesiz olarak sınıflandırır. Kimyasalları, ağır metalleri veya ticari üretim işlemlerinin yan ürünlerinden elde edilen maddeleri ve elden çıkarılan ev eşyalarını içerebilecek tehlikeli atık maddeler, insan sağlığına veya çevreye potansiyel olarak zarar verebilir. Ancak yeniden kullanma ve geri dönüşüm fırsatlarına sahip olabilecek tehlikeli olmayan atık maddeler özel olarak tehlikeli değildir (The United States Environmental Protection Agency, 2015).

Lastik Üreticileri Birliği, hurda lastikleri doğru kullanıldığında, hurda lastikleri nedeniyle büyük çevresel sorunların yaşanmadığını söylüyor. Bununla birlikte, yanlış kullanım durumunda, atık lastikler çevre ve sağlık için tehlike oluşturabilir. Ayrıca, hurda lastikler Çevre Koruma Ajansı tarafından tehlikeli atıklar olarak kabul edilmez, bununla birlikte, lastikler yakılırsa veya lastik yangınları meydana gelirse, gazlar, ağır metaller ve lastiklerin yanmasından kaynaklanan yağ nedeniyle tehlikeli atıklar haline gelir.

Yukarıda belirtilen nedenlerden dolayı, lastiklerin geri dönüşümü ve yeniden kullanılması önemli bir konudur.

1.2.Çalışmanın amacı

Bu çalışmanın amacı, kullanılamaz hale gelmiş olan atık lastiklerin öğütülerek, betonda agrega olarak bir geri dönüşüm malzemesi olarak kullanılması ve bu atık malzeme ile ilgili bir geri dönüşüm alternatifi sunulmasıdır.

1.3.Tezin içeriği

Bu tez çalışması 5 ana bölümden oluşmaktadır. Yapılan deneysel çalışmalar ile ilgili hazırlanan bölümlerin içeriği aşağıda sunulmaktadır.

Bölüm 1: Bu bölümde çalışmaya esas konu olan problem ve çalışmanın amacı anlatılmaktadır.

Bölüm 2: Atık lastik agregalı olarak üretilen betonlarla ilgili yapılan önceki deneysel çalışmalar ve kapsamlı literatür taraması burada verilmektedir.

Bölüm 3: Bu kısımda deneysel çalışmalarda kullanılan malzemeler tanıtılıp, bu malzemelere ait özellikler ve deneysel metotlardan bahsedilmektedir.

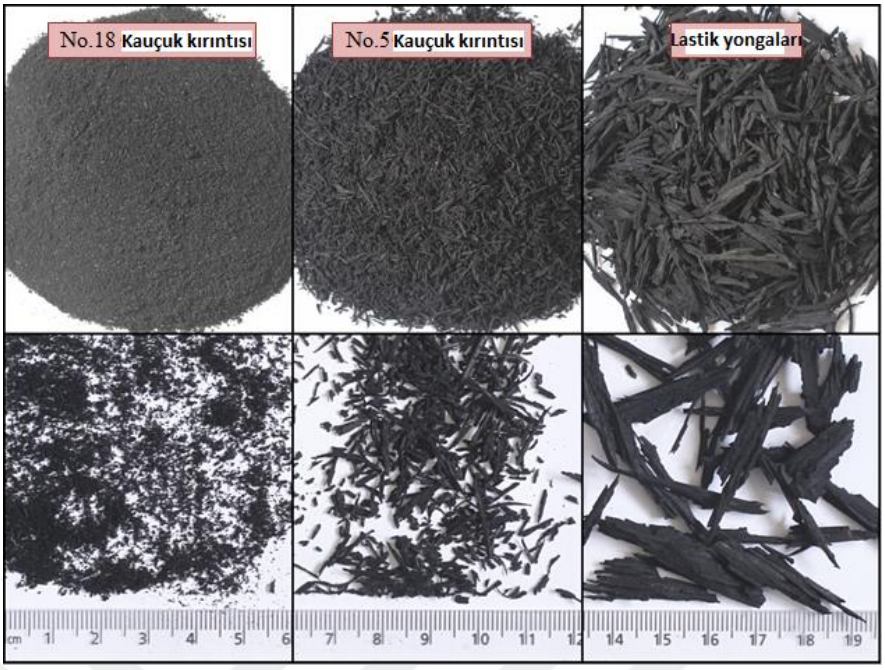
Bölüm 4: Deneysel bulgular ve önceki çalışmalardan elde edilen sonuçlar, grafiklerle birlikte tartışılıp burada değerlendirilmektedir.

Bölüm 5: Bu bölüm, elde edilen deney sonuçları üzerinde yapılan tartışmaların ardından deneysel çalışmanın net sonuçlarının özetini ve ileride yapılabilecek çalışmalar için birtakım öneriler içermektedir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

İnşaat mühendisliği uygulamasında çok miktarda malzeme tüketildiği için, bu bağlamda atık hurda lastiği kullanılması geri dönüşüm için etkili bir çözüm olabilir (Dondi ve ark. 2014). Geri dönüşümlü atık lastiklerinin çimento esaslı yapı malzemelerinde etkisiz bir bileşen olarak kullanılması ve kauçuk içeren bitümlü malzemelerin üretimi bu atık malzemenin geri dönüşümünün yenilikçi teknikleri olarak kabul edilebilir (Dondi ve ark. 2014; Güneyisi, 2010). Doğal rezervlerden elde edilen hammadde sınırsız değildir; bu nedenle, atıkların üç R'sine (Azalt, Yeniden Kullan ve Geri Dönüşümü) uymak daha fazla çevresel önem arz eder (Achilleos ve ark. 2011).

İnşaat mühendisliği uygulamalarında geri dönüştürülmüş kauçuk parçacıkları için kullanım alanının kısa bir özeti Çizelge 2.1'de sunulmaktadır. En yaygın kullanılan yapı malzemesi olan beton, atık (hurda) lastiklerin geri dönüşümü için önemli bir potansiyele sahiptir. Tabloda görüldüğü gibi, beton, yapısal beton, parke blokları, koruyucu yüzey kaplamaları vb. gibi geniş bir kullanım alanına sahiptir. Betonun hacmi çoğunlukla agrega tarafından işgal edildiğinden (toplam hacmin % 60-75'i), atık lastiği granüllerinin agrega değişim malzemesi olarak kullanılması geri dönüşüm için etkili bir yol olabilir. Genel olarak çalışmalarda, farklı ebatlardaki kırıntı kauçukları ve lastik talaşları kullanılmıştır. Şekil 2.1, bu malzemelerin örnek boyutlarını göstermektedir. Kırıntı kauçuğu ve lastik yongalarının kullanımı, literatürdeki zayıf deformasyon kapasitesini ve düşük çekme mukavemetini ortadan kaldırmak ve betonun enerji emme kapasitesini arttırmak için lastik agregaları olarak büyük ilgi görmüştür (Güneyisi, 2010).

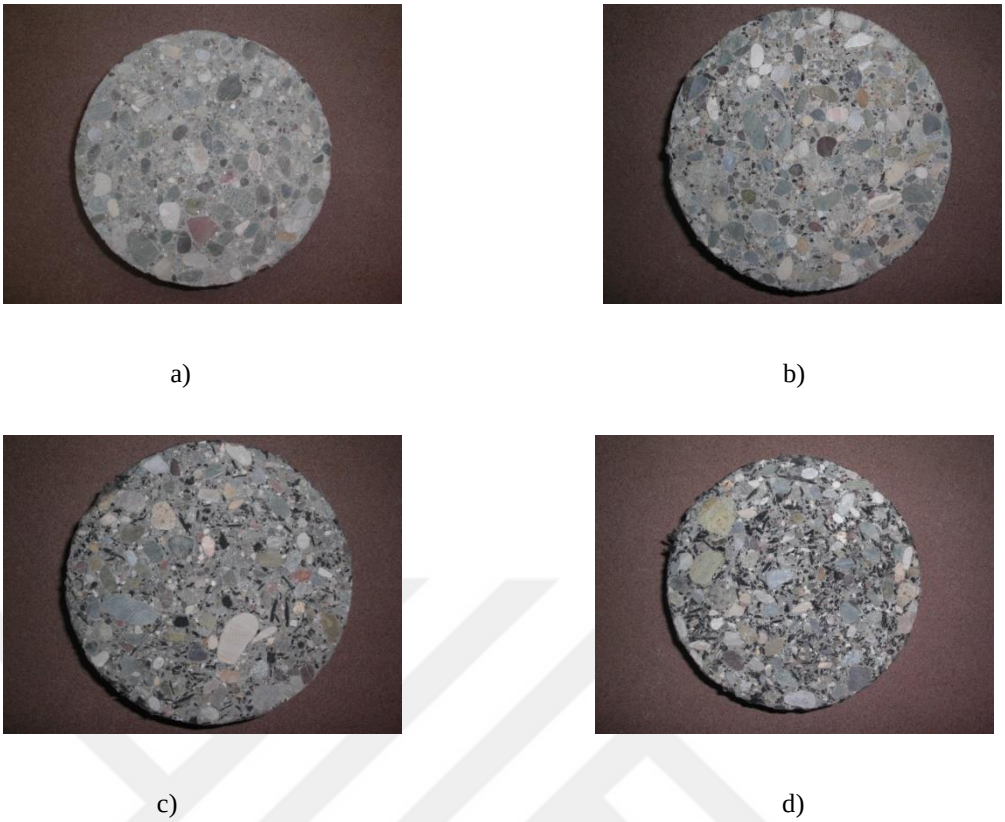


Şekil 2.1. Betonda agrega değişim malzemesi olarak kullanılacak parça lastik ve kırıntı lastiği

Çizelge 2.1. İnşaat mühendisliği uygulamalarında parçalanmış atık lastiklerin geri dönüşüm malzemesi olarak kullanımı

Uygulama Alanı	Ayrıntılar
Beton Teknolojisi	Geleneksel beton
	Kendiliğinden yerleşen beton
	Geçirimli beton
	Hafif beton
	Harç
	Geri dönüşümlü agrega betonu
	Yapısal olmayan bloklar
Geoteknik Mühendisliği	Zemin özelliklerinin iyileştirilmesi
Asfalt kaplama yapımı	Kaplama performansının iyileştirilmesi

Şekil 2.2, toplam agrega hacmine göre % 0, % 5, % 15 ve % 25 olarak üç bileşenli olarak üretilen atık lastik agregalı betonların kesitlerini göstermektedir. Lastik içeriği, kırıntı lastik ile tamamen eşit miktarda paylaştırıldı. Örneğin, % 25 lastik içeriği için kırıntı lastik, kum hacminin % 25'inin yerini almıştır.



a) b)

c) d)

Şekil 2.2. a) % 0, b) % 5, c) % 15, d) % 25 kırıntı lastik ikamesi (kum yerine) ile üretilen lastik agregalı betonlar

2.1. Atık lastiğin stoklanma işlemi ve çevresel tehditler

2.1.1. Lastik içeriği

Termoset polimerlerinden olan lastiklerin, ağırlıkça % 60-65'i kauçuk, ağırlıkça % 25-35'i karbon siyahı ve kalan kısım ise hızlandırıcılar ve dolgu maddeleridir. Bazı lifli malzemelerle yapılan C_xH_y, lastikli malzemelerin bir formudur (The United States Environmental Protection Agency, 2015). Doğal kauçuk ve sentetik kauçuk (örneğin bütil kauçuk ve stiren-bütadien kopolimer) karışımı, hem binek araç hem de kamyon lastiğinin üretiminde kullanılır. Hevea ağacından, benzersiz elastik özelliklere sahip doğal kauçuk elde edilir ve toplam kauçuk ağırlığının yaklaşık % 58'i kadar olan sentetik kauçuk, genellikle petrol bazlı ürünlerden elde edilir (Shulman, 2004). Lastiklerin karakteristik elastomerik polimerleri, lastiklerin temel

elemanı olan kauçuk ile elde edilir. Lastiklerde kauçuğun bulunması durumunda, dış kuvvetlere maruz kaldıklarında geçici olarak deformasyon gösterebilirler (Martinez ve ark. 2013).

Yarı-grafit yapıların amorf bir karbonu olan karbon siyahı, kauçuğa aşınma direnci ve mukavemeti vermek için kullanılır. Fosil hidrokarbonlar kısmen karbon siyahı elde etmek için yanarlar. Doğal kauçuk, sentetik kauçuk ve karbon siyahının fotografik görünümü Şekil 2.3'te sunulmaktadır.

Ek olarak, kauçuğu yumuşatmak ve işlenebilirliği arttırmak için uzatıcı yağ (aromatik, naftenik ve parafinik hidrokarbonların bir karışımı) üretimde kullanılır. Lastiğin kalan bileşeni yaklaşık % 7 organik ve % 3 inorganik dolgu maddesidir. Lastik üretimi sırasında, belirli bir markaya ve lastiğe verilecek özel kullanıma bağlı olarak, yüzün üzerinde bileşen kullanılabilir (Mastral ve ark. 1999; Mastral ve ark. 2000).



(a)



(b)

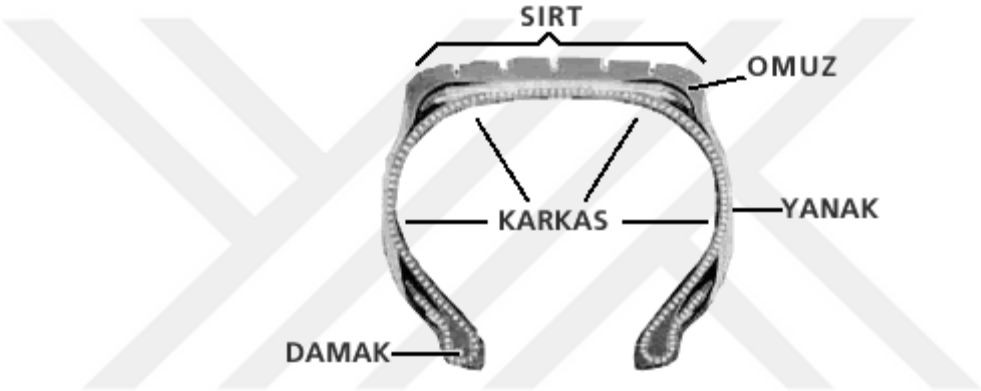


(c)

Şekil 2.3. a) doğal kauçuk, b) sentetik kauçuk ve c)karbon siyahı'nın fotografik görüntüsü (Polystrene Recycling, APMAS, 2015)

2.1.2 Lastiklerin üretimi

Tekerleğin icadından bu yana beş bin yılı aşkın bir süre geçmiş bulunmaktadır. Lastik üretimi; kauçuk malzemesinin 18. yüzyıl içerisinde keşfedilmesiyle birlikte hız kazanarak günümüzde üst dereceye gelmiştir. Güney Amerika'da 1736-1774 yılları arasında bulunan Fransız bir bilim adamı, oradaki insanların Hevea diye adlandırdıkları ağacın özünden bir sıvı ortaya çıkardıklarını raporlamıştır. Oradaki insanlar bu ağacı Kao (odun) Çu (sızan) diye adlandırmışlardı. İşte kauçuk kelimesi burdan gelmiştir. Şekil 2.4'te araç lastiğinin iç yapısı gösterilmiştir.

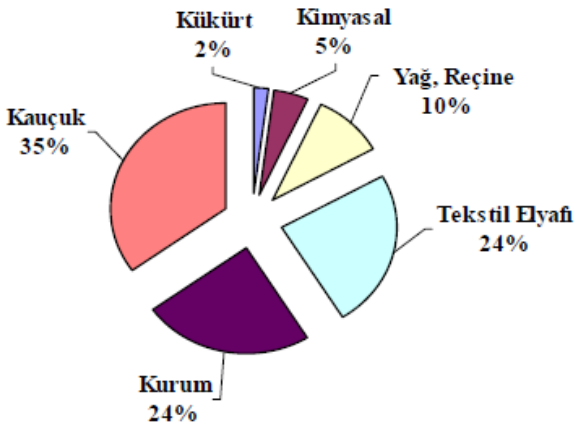


Şekil 2.4. Araç lastiğinin iç yapısı
(İsot Lastik Sanayi ve Tic. Ltd. Şti, www.isot.com.tr, 2020)

Kauçuk ilk olarak 1700'lü yıllarda keşfedilmiş ve silgi, yapışkan, hortum vs. üretiminde kullanılmak üzere piyasaya sürülmüştür. Bu malzemenin ekonomik olmasının durumu Charles Goodyear'ın vulkanizasyonu (yakma) keşfetmesiyle meydana gelmiştir. Kükürt ile ısıtılmasıyla birlikte, yapışkan ve yumuşak olan kauçuk; belli bir elastiklik ve sertliğe ulaşarak lastik üretiminin temel taşını oluşturmuştur.

Araç lastikleri eskiden dolgu formunda üretilmekteydi, daha sonraları ise içerisinde basınçlı hava bulunan şekilde üretilmeye başlandı. Taşıt lastikleri, kauçuğun dışında içerisinde; çelik tel, yağ, reçine, çinko oksit ve elyaf bulundurmaktadır.

Taşıt lastiğini oluşturan bileşenler, Şekil 2.5'te verilmektedir. Ayrıca lastik üretimi için kullanılan materyaller de Çizelge 2.2'de verilmektedir.



Şekil 2.5. Otomobil lastiği bileşimi
(Emiroğlu, 2006)

Çizelge 2.2. Lastik üretiminde kullanılan materyaller
(Emiroğlu, 2006)

1. Sentetik Kauçuk
2. Doğal Kauçuk
3. Sülfür ve Sülfür Bileşikleri
4. Fenolik Reçine
5. Yağ
• Aromatik
• Naptenik
• Parafinik
6. Kumaş
• Polyester
• Naylon
7. Petrol Mumları
8. Pigmentler
• Çinko oksit
• Titanyum dioksit
9. Karbon Siyahı
10. Yağ Asitleri
11. Atık malzemeler
12. Çelik teller

Ülkemizde otomobil lastiği üretim alanında aktif rol alan, araç lastiği üreten 4 büyük firma (Brisa Bridgestone Sabancı Lastiksan, Goodyear Lastikleri, Türk Pirelli Lastikleri, Petlas Lastik Sanayi) bulunmaktadır.

Lastik sektöründeki bu kuruluşların yıllık dış lastik üretim miktarları, Çizelge 2.3'te verilmektedir.

Çizelge 2.3. Sektördeki firmaların yıllık dış lastik üretim miktarları (DPT, 2001)

ADET/YIL	BRİSA	GOODYEAR	PİRELLİ	PETLAS
Binek Konvansiyel	-	-	136.000	-
Binek Radyal	3.035.097	3.421.403	3.400.000	303.000
Kamyonet/Minibüs Konvansiyonel	598.923	193.540	255.000	-
Kamyonet Radyal	864.469	840.516	300.000	191.500
Kamyon-Otobüs Konvansiyel	148.349	98.108	128.000	297.000
Kamyon-Otobüs Radyal Çelik Kuşak	472.500	493.050	580.000	174.000
Traktör Ön	189.134	181.978	104.000	127.000
Traktör Arka	185.926	192.790	310.000	120.000
İş Makineleri Lastikleri	18.388	30.233	3.900	13.000
Endüstriyel Lastikleri	-	-	-	-
Toplam Dış Lastik	5.512.786	5.451.618	5.216.900	1.225.500

2.1.3 Atık lastiklerin depolanması

Atık lastiklerin düzenli şekilde depolama işlemi, diğer yöntemlerin uygulanmadığı durumlarda en son yapılması gereken işlemdir. Kullanılmış lastiklerin stok sahasına bırakılması, yalnızca malzeme ve enerji geri dönüşümü için, diğer yöntemlerin uygulanamayacağı durumlarda önerilmektedir. Günümüzde bazı ülkelerde ömrünü tamamlamış lastiklerin sahada depolanması yasaktır.

AB ülkelerinde hurda lastiğin olduğu gibi stoklanmasına 2003 yılına kadar izin verilmekteydi. 2003 yılından sonra ancak parçalarına ayrıldıktan ve elenmesinden sonra depolanmasına izin verildi. 2006 yılından sonra ise ülkemizde hurda lastiklerin depolanması yasaklanmıştır. Bu sebepten ötürü, geçtiğimiz yıllarda geri dönüşümle alakalı çalışmalar günden güne artmıştır.

Bu atık lastikler, stok sahasının zeminine zararı engellemek, erozyonun önüne geçmek, drenaj borularını korumak ve stok sahasından sızan sıvı ve gazların geçişine imkân tanımak için faydalı bir şekilde kullanılabilir. Stok sahaları içine atık lastiklerin boşaltılmasının olumlu etkileri ve faydaları arasında, minimum seviyede yatırım-işletme maliyeti, yönetimde kolaylık ve daha iyi bir stoklama (depolama) için kullanılmış atık lastiklerin kullanım imkânı gösterilebilir. Şekil 2.6'da atık lastiklerin çeşitli stok yığınları verilmektedir.



a)



b)

Şekil 2.6. a) Atık lastik stok yığınının görünüşü, b) Atık lastiklerin stok sahasına boşaltılması (MLS Makina, www.mlsmakina.com.tr , 2020) (www.eroglugeridonusum.com , 2020)

2.1.4 Atık lastiklerin çevresel etkileri

Atık lastiğin tehlikeli atık olarak görülmemesine rağmen, çevreye ve sağlığa önemli ölçüde zararlı etkileri vardır. Atık lastiğin en önemli olan zararlı etkisi, lastik stoklarının yakılması durumunda ortaya çıkar. Bu durumda ağır metaller, toksinler ve yağ havaya, suya ve toprağa karışabilir.

Şekil 2.7 lastik stoklarının yakılmasının önemini göstermektedir. Dahası, atık lastikleri suyu verimli bir şekilde tutar, sivrisineklere, böceklere ve hastalıkları insanlara aktarabilen diğer parazitlere yuva oluşturur ve bunlar kemirgenler ve yılanlar için ideal bir üreme alanı ve yuvadır (Bureau of International Recycling, Harmonic Energy, 2015).

Zararlı yangınlar yaratma potansiyeline ve bazı zararlı canlılar için insan sağlığına zarar verebilecek ideal bir yer olması nedeniyle geri dönüşümü, yeniden kullanılması veya geri kazanılması gerekir.



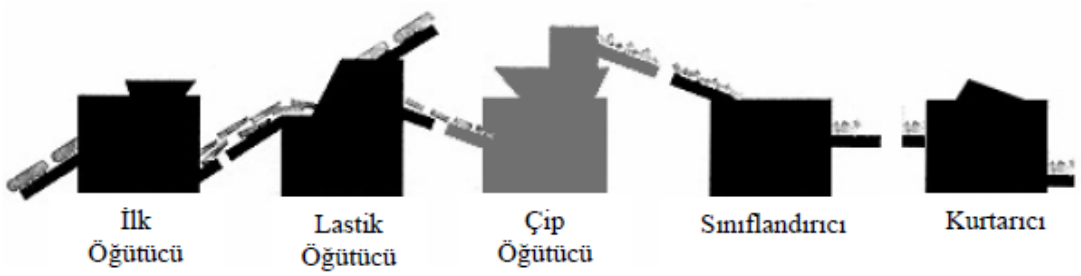
Şekil 2.7. Lastik stoklarının yakılması
(www.tyrepyrolysisplant.com , 2020)

2.2 Atık Lastiklerin Sınıflandırılması

Kullanım ömrünü tamamlamış lastikler, farklı kesme-öğütme işlemleri kullanılarak beton içerisinde kum veya agrega yerine kullanılmak için uygun duruma getirilmektedir.

2.2.1 Atık lastiğin kesim işlemi

Atık lastikler, farklı firmaların üretmiş olduğu makinalar sayesinde seri bir şekilde istenilen boyutlarda kesilmektedir. Şekil 2.8 ve Şekil 2.9'da bu makinalar gösterilmektedir.



Şekil 2.8. Atık lastik öğütmedeki işlem sırası
(Emiroğlu, 2006)



Şekil 2.9. Atık lastiğin öğütme işlemleri
(Emiroğlu, 2006)

2.2.2. Hurda lastikler

Hurda lastikler, bütün şeklinde lastik olarak; yırtık lastik olarak, öğütülmüş veya kırıntı lastiklerden elde edilebilir. Ortalama bir binek araç lastiği 9,1 kilogram ve kamyon lastiği ise yaklaşık olarak 45,4 kilogram gelmektedir (Emiroğlu, 2006).

2.2.3. Yırtık lastikler

Kesme makinaları, bütün halindeki lastikleri ortadan ikiye ayırabilme özelliğine sahiptir. Yırtık lastikler, bu şekilde elde edilmektedir (Emiroğlu, 2006).

2.2.4 Parçacık lastik/çip lastik

Bu lastik sınıfı ise, yukarıda anlatılan her iki lastik sınıfını kapsamaktadır. İlk kesme işlemi sonrasında, makinaya ve kesim şartlarına bağlı olarak; parçaların uzunlukları 300-460 mm ve genişlikleri 100-150 mm olarak karşımıza çıkmaktadır. Çip lastik elde etmek için ise, birinci ve ikinci kesim yöntemleri bir arada yapılmaktadır (Emiroğlu, 2006).

2.2.5 Öğütülmüş lastikler

Ticari uygulamalarda; 19 mm gibi iri, 0,15 mm kadarsa küçük boyutlarda üretilir. Bu, yapılacak uygulamaya ve kullanılan ekipmana bağlı bir durumdur (Emiroğlu, 2006).

2.2.6 Kırıntı lastikler

Kırıntı lastikler, oranları 0,075 mm – 4,75 mm aralığında olan parçacıkları içermektedir. Atık lastikleri, kırıntı lastiklere dönüştürmenin yolu, aşağıdaki yöntemlerden geçmektedir (Emiroğlu, 2006);

- Kırıcı değirmen yöntemi,
- Tanecikli yöntem ve

- Mikro değirmen yöntemi.

2.3 Atık Lastiğin Yönetimi ve Geri Dönüşümü

Lastikler, kullanım ömrünün sonuna geldikten sonra geri dönüşüme tabi tutulmalıdır. Bu lastikler; binek otomobiller, pistler, uçaklar ve motosiklet lastikleri de dahil olmak üzere artık araçlarda kullanılamayacak lastik anlamına gelir; ancak bazı lastikler geri çekilme veya sökme işleminden sonra kullanılabilir (ChemRisk LLC, Pittsburgh PA, 2009).

Lastik yalnızca kauçuğu değil, aynı zamanda lastiğin nihai şeklini ve kullanım özelliklerini elde etmek için çelik kayışları ve tekstil kaplamaları da içerir. Karmaşık bir yapı ve bileşimden üretilen geleneksel lastiğin geri dönüşümü, bu iki bileşenin ayrılmasının gerekli olması nedeniyle ciddi bir problemdir (Pehlken ve Müller, 2009). Dahası, atık lastiklerinin geri dönüşümü ciddi bir teknolojik, ekonomik ve ekolojik zorluğa dönüşmüştür, çünkü çok farklı kimyasal bileşimler ve çapraz bağlı kauçuk yapıları lastikleri biyobozunmaya, fotokimyasal bozulmaya, kimyasal reaktiflere ve yüksek sıcaklıklara karşı oldukça dirençli hale getirir (Sienkiewicz ve ark. 2012). Kompleks yapı ve kompozisyon, genel olarak bütil kauçuk veya stiren-bütadien kauçuk ve doğal kauçuk gibi çeşitli yüksek kaliteli sentetik kauçuk çeşitleri kullanılarak elde edilebilir (Pehlken ve Müller, 2009). Ayrıca ABD ve Avrupa'daki binek ve kamyon lastikleri üretiminde kullanılan temel hammadde bileşimi yüzdesi Çizelge 2.4'te gösterilmektedir.

Çizelge 2.4. Her bir malzeme sınıfının temsil ettiği tamamlanmış lastiğin toplam ağırlık yüzdesine göre (ABD ve Avrupa'da) lastik üretiminde kullanılan tipik malzemeler (Sienkiewicz ve ark. 2012)

Malzemeler	ABD'de		Avrupa'da	
	Yolcu lastiği	Kamyon lastiği	Yolcu lastiği	Kamyon lastiği
Doğal kauçuk (%)	14	27	22	30
Sentetik kauçuk (%)	27	14	23	15
Karbon siyahı (%)	28	28	28	20
Çelik	14-15	14-15	13	25
Kumaş, dolgu maddeleri, hızlandırıcılar, antiozonantlar vb. (%)	16-17	16-17	14	10
Ortalama ağırlıklar	Yeni 11 kg, Atık 9 kg	Yeni 54 kg, Atık 45 kg	Yeni 8.5 kg, Atık 7 kg	Yeni 65 kg, Atık 56 kg

En büyük miktarda atık (hurda) lastiği (tüm dünyadaki toplam atık lastik miktarının yaklaşık % 88'i) Çin, Avrupa Birliği ülkeleri (AB), ABD, Japonya ve Hindistan'da üretilmektedir (Sienkiewicz ve ark. 2012). Avrupa, Japonya (geri dönüşüm oranının % 91'i) ve ABD (geri dönüşüm oranının % 89'u) ile karşılaştırıldığında % 96 kullanılmış lastiklerin geri kazanılması ve geri dönüşümünde dünyadaki en gelişmiş bölgelerden biridir (Sienkiewicz ve ark. 2012). Avrupa'da bu durum düzenleme için etkin modeller geliştirilerek ve aşağıdaki şekilde sıralanabilecek atık (hurda) lastiğinin yönetimi iyileştirilerek kolaylık sağlanmıştır:

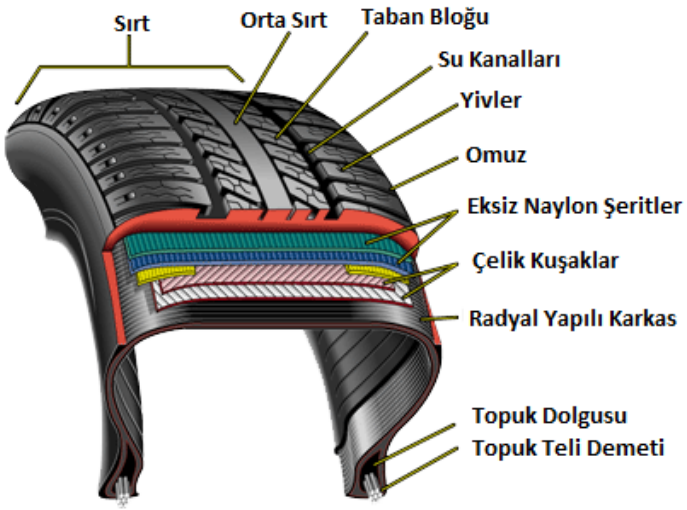
- Genişletilmiş Üretilmiş Sorumluluğu temel alan yönetim modeli
- Bir vergi sistemi
- Lastiklerin geri kazanımı ve geri dönüşümünün karlılığını belirleyen serbest piyasa sistemi

Çoğu ülkenin kullanılmış lastik imhası ile ilgili politikaları, seçmeli olarak toplanması ve yönetilmelerine dayanmaktadır. Aşağıda, atık lastiklerin geri dönüşüm yöntemleri şöyle verilmektedir (Sienkiewicz ve ark. 2012):

- Kaplama,
- Enerji geri kazanımı,
- Piroliz,
- Ürün geri dönüşümü ve
- Malzeme geri dönüşümü.

2.3.1 Yeniden kaplanarak geri dönüşüm

"Yeniden kapama", "yeniden kirlenme" veya "yeniden üretim" olarak da bilinen yeniden kaplama işlemi, lastiklerin ömrünü uzatmak için kullanılan bir işlemdir. Bununla birlikte, yukarıda belirtilen isimler farklıdır. Örneğin; tekrar kaplanmış bir lastik için eski moda bir isimdir ve yeniden kaplanmış veya yeniden üretilmiş yeni lastik kaplamanın kaplanmış lastiğin yan duvarına uygulanması şeklinde açıklanabilir. Asıl isim, eski sırt bölgesini yenisiyle değiştiren kaplamadır (Tire Retread and Repair Information Bureau, 2015). Tipik yolcu lastiğinin şematik gösterimi, Şekil 2.10'da gösterilmektedir.



Şekil 2.10. Binek lastiklerinin kesitinin şematik gösterimi (Sullivan Tire, 2015)

Temel olarak, lastiği tekrar kaplamak için kullanılan soğuk ve sıcak işlemler olarak bilinen iki işlem vardır (Sienkiewicz ve ark. 2012). İki işlem arasındaki fark, sırt bölgesinde yeni kauçuk uygulama aşamasındadır. Diğer aşamalar, her iki işlemde de aynıdır. Yeniden kaplamanın ilk aşaması, lastiklerin titiz bir görsel denetime tabi tutulduğu birincil denetimdir. Genel olarak, yolcu lastiklerinin yaklaşık % 85'i zayıf yapıları nedeniyle reddedilir. Kamyon lastikleri daha iyi bakıldıkları ve daha sağlam yapıları bulunduğundan, yolcu lastiklerinden daha yüksek oranda kabul edilir (Tire Retread and Repair Information Bureau, 2015).

İlk muayeneden sonra, lastiğin eski sırt alanı, lastiği son derece doğru bir şekilde kesin bir çapa tam olarak ayarlayan yüksek hızlı tamponlar üzerinde mekanik olarak sıyrılır. Bu aşamadan sonra, yeni iş uygulaması ya soğuk ya da sıcak süreçlerle yapılmalıdır. Soğuk işlemde, polisajlı lastiğin üzerine yeni sırtı lastiğe yapıştırmaya yarayan tamponlu zamk ile vulkanize yeni sırt uygulanır. Yeni sırt ve perdahlı yüzey arasındaki yapışmayı arttırmak için, kürleme odası lastiğe uygulanır (Sienkiewicz ve ark. 2012). Öte yandan sıcak işlemde; vulkanize edilmemiş lastik sırtı, polisajlı lastiğe uygulanır. Sırt tasarımına sahip sert kalıp, sırt bölgesini vulkanize etmek ve perdahlanmış sırt üzerine yapıştırarak sert kalıbı ısıtmak suretiyle tekrar kaplanan lastiği elde etmek için kullanılır. Her iki işlemden sonra tekrar kaplanmış lastik, standartların kabul edildiğini doğrulayan tekrar kaplanmış lastikten bu yana kalitesini kontrol etmek için tekrar denetime tabi tutulur (Tire Retread and Repair Information Bureau, 2015). Daha sonra tekrar kaplanan lastikteki fazla lastikler kırpılır. Yeniden kaplama işlemi, özellikle büyük boyutlu lastikler için yeni bir lastik elde etmenin ekonomik bir yoludur ve ayrıca kauçuk atıklarının miktarını önemli ölçüde azaltır (Sienkiewicz ve ark. 2012).

2.3.2 Yakıt olarak geri dönüşüm

Önceki bölümde belirtildiği gibi, yolcu lastiklerinin yaklaşık %85' i tekrar kaplanıp ön muayeneyi geçemez ve bazı kamyon lastikleri de tekrar kaplanamaz. Bu durumda, lastikler imha malzemesi haline gelir ve başka bir şekilde geri dönüşüm yapılması gerekir.

Atık lastikleri geri dönüştürmenin temel yollarından biri, onları enerji üretiminde hammadde olarak kullanmaktır. Kıyılmış lastiklerden oluşan yakıt, uluslararası sınıflandırmada, yüksek enerji içeriğine sahip ve diğer birçok katı yakıttan daha eşit dağılımlı veya daha iyi bir enerji kaynağı olan lastikten türetilmiş yakıt (TDF) olarak belirtilir (Sienkiewicz ve ark. 2012).

Atık lastiklerin kalorifik değeri, yaklaşık 32 MJ / kg'dir ve bu, özellikle kalorifik değeri atık lastikten daha düşük olan kömür ile karşılaştırıldığında, onları nispeten tercih edilen bir yakıt haline getirir (Smith ve ark. 2006). Bazı yakıtların enerji içeriği ve CO_2 emisyonları Çizelge 2.5'te sunulmaktadır. Çimento endüstrisi TDF'nin ana kullanımıdır ve tüm lastikler, tüm fırın bileşenlerinin tam yanmasını sağlayan, aynı zamanda parçalanmış lastiklerin de kullanılmasını sağlayan 1200 ºC' den daha yüksek bir sıcaklığa sahip olduklarından enerji üretiminde bu sektörde kullanılabilir (Sienkiewicz ve ark. 2012). Çimento endüstrisinde lastik kullanımı, 2008 atmosferik emisyon standartlarına hala uygundur (Managing End-of-Life Tires, 2008). Bu yakıt esas olarak çimento fırınlarında kullanılmasına rağmen; buhar kazanlarının ve fırınların ısıl verimi, kömürün birlikte yakılmasıyla arttırıldığından, termik santrallerde, kağıt hamuru ve kağıt fabrikalarında, çelik fabrikalarında ve endüstriyel kazanlarda (Sienkiewicz ve ark. 2012) öğütülmüş kauçuk atıkları ile birlikte yakıt olarak da kullanılır (Courtemanche, Levendis, 1998; Singh ve ark. 2009). Ayrıca, egzoz gazı ve tozlarının miktarı izin verilen sınırları aşamaz (Sienkiewicz ve ark. 2012).

Kullanılmış lastiklerin enerji üretiminde kullanılmasının bir başka yararı da ekonomik meseledir, çünkü TDF'nin maliyeti, doğal gaz, kömür ve petrol gibi fosil yakıtlardan önemli ölçüde düşüktür (Managing End-of-Life Tires, 2008).

Çizelge 2.5. Enerji içeriği ve yakıtlardan kaynaklanan CO_2 emisyonları (Managing End-of-Life Tires, 2008)

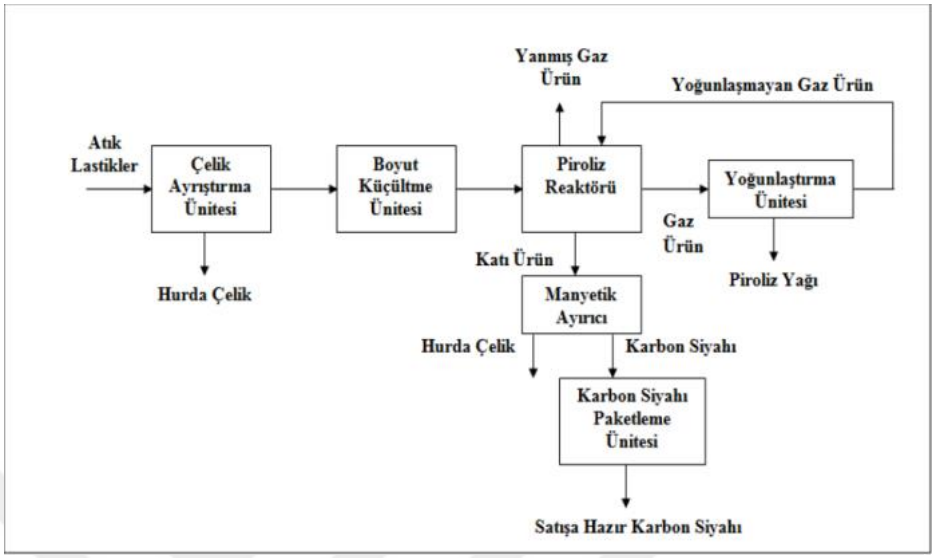
Yakıt	Enerji (Gigajoule/ton)	Emisyonlar	
		kg.CO_2/ton	kg.CO_2/Gigajoule
Lastikler	32.0	2,270	85
Kömür	27.0	2,430	90
Hayvan fosili	32.4	3,240	100
Dizel yakıt	46.0	3,220	70
Doğal gaz	39.0	1,989	51
Ahşap	10.0	1,122	110

2.3.3 Piroliz ile geri dönüşüm

Piroliz, oksidatif olmayan koşullar altında yüksek sıcaklıkta kimyasal bağları parçalayan termokimyasal bozunma ile organik maddenin kimyasal bileşimini ve fiziksel fazını aynı anda ve geri dönüşümsüz olarak değiştiren bir işlemdir (Martinez ve ark. 2013). Yüksek enerjili yoğunluklu uçucu gazlar (pyrogas veya syngas) ve karbonlu katı (kömür veya pirolitik karbon siyahı), bu işlem katı malzemeler üzerine uygulandığında pirolizle salınır (Martinez ve ark. 2013). Lastik pirolizi; atık lastikleri piroliz yağı, karbon karası ve hidrokarbon gazı gibi değerli yakıtlara dönüştüren bir işlemdir. Piroliz işlemi, oksijen yokluğu, 370 ºC'den fazla sıcaklık ve ısı değişimini hızlandırmak için çalkalama koşullarında gerçekleştirilir ve lastik pirolizini gerçekleştirmek için bir piroliz reaktörü kullanılır (Pyrolysis Plant, 2015). Piroliz türleri için ısıtma hızı, uçucuların kalma süresi ve sıcaklık gibi çalışma koşullarına bağlı olarak birçok sınıflandırma mevcut olmasına rağmen, genellikle piroliz yavaş ve hızlı piroliz olarak sınıflandırılabilir.

Ayrıca, çevre (oksidatif-piroliz, katalitik-piroliz, hidroliz, buhar-piroliz ve vakum-piroliz) piroliz sınıflandırmasını belirler ve ayrıca ısıtıcı sistemi (mikrodalga veya plazma pirolizi) sınıflandırmayı belirtir (Martinez ve ark. 2013). Atık lastiklerin

katma değerli ürünlere pirolitik olarak yeniden işlenmesi konsepti Şekil 2.11'de gösterilmektedir.



Şekil 2.11. Atık lastiklerin pirolitik olarak yeniden işlenmesi
(www.kilavuzum.com.tr , 2020)

Lastik pirolizinin ilk aşamasında, hurda lastikler tüm lastik olarak temizlenir ve reaktörün içine yerleştirilir veya parçalanır. Termik işlem, reaktörü fırının içine yerleştirdikten ve oksijeni boşalttıktan sonra başlar. Depolimerizasyon / gaz giderme işlemi, reaktör çalışmaya başlar başlamaz ve lastikleri homojen olarak ısıtır ısıtmaz bileşenlere bağlı olarak birkaç saat sürer. Piroliz gazını yağdan ayıran yoğuşma, lastik piroliz işlemi sırasında gerçekleşir. Yoğuşmayan piroliz gazı kükürt giderme ve temizleme için gaz temizleyiciden akar. Bu gaz daha sonra depolanması için bir gaz tankına pompalanır ve elektrik enerjisi üretimi için kullanılır.

Yoğunlaşabilir hidrokarbon, enerji üretimi veya hidrojen üretimi için ya da taze karbon siyahı yapmak için ısıtma yağı olarak kullanılmak üzere süzülür. Tüm lastik piroliz işleminin sonunda reaktör fırından çıkarılır. Daha sonra, pilorlanmış lastiklerdeki karbon kömürü ve çelik teller ayrılır ve daha sonra temizlenmiş karbon kömürüne taşlama / öğütme işlemi uygulanır. Karbon siyahı, öğütme işleminden sonra elde edilir. Atık lastiğinin tamamı geri dönüştürülmüş ve piroliz işlemi ile karbon siyahı, çelik, yağ ve yüksek kalorili yanıcı gaz gibi dört ürün elde edilmiştir.

Piroliz işlemindeki tüm çalışmalar, çevreye zararlı bir kirlilik olmadan gerçekleştirilir (No Waste Technology GmbH, 2015).

2.3.4 Lastikten türetilmiş ürün

Kullanılmış lastikleri geri dönüştürmenin bir başka yolu da; lastiğin lastik türevli ürünler olarak bilinen yeni lastik ürününün imalatında kullanılmasıdır. ABD ve Avrupa'da, kullanılmış lastikleri geri dönüştürerek lastik ürünleri üreten birçok şirket var. Her şirketin farklı lastik türevli ürünleri olmasına rağmen, genellikle aşağıdaki şekilde kategorize edilebilirler (Cal Recycle, 2015):

- Erişilebilirlik rampaları, patikalar ve kaldırımlar
- Hayvan bakım ürünleri
- Suni çim
- Döşeme ve paspaslar
- Yeşil yollar
- Peyzaj ve kauçuk malç
- Dış cephe kaplaması, kaldırım taşları ve fayans
- Oyun alanı kaplaması
- Spor yüzey kaplaması
- Trafik ile ilgili ürünler

Atık lastik stoklarının, olumsuz çevresel etkilerin azaltılması açısından; lastikli ürünlerin imalatında atık (eski, hurda) lastiklerin kullanılması büyük önem taşır. Şekil 2.12 ve Şekil 2.13'te atık lastiklerin yeniden kullanımlarıyla ilgili bazı görseller verilmiştir.



Şekil 2.12. Atık lastiklerin çocuk oyun alanlarında kullanımı
(Emiroğlu, 2006)



Şekil 2.13. Atık lastiklerin hayvanlar için yem kutusu işlevini görmesi
(Emiroğlu, 2006)

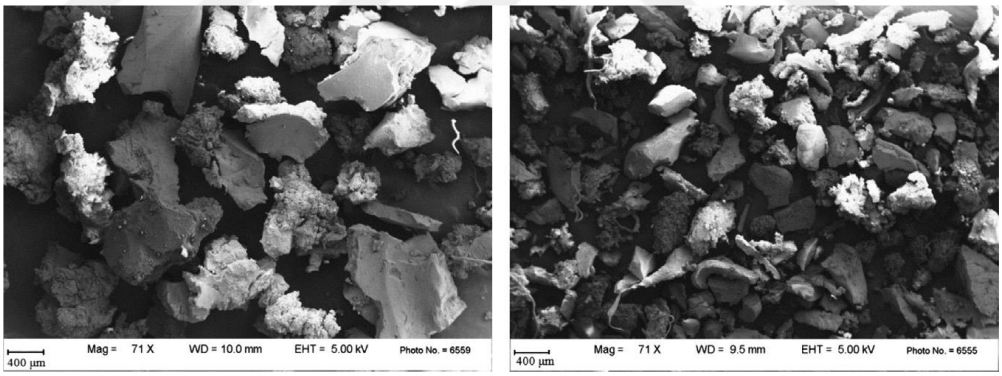
2.3.5. Malzeme geri dönüşümü

Atık lastiklerden elde edilen malzeme kırıntıdır ve yongalar (parçalar) genellikle ucuz bir dolgu malzemesi olarak kullanılır. Lastik kırıntısı, farklı koşullar altında parçalanmış lastik parçalarının gerekli boyutlarda mekanik olarak taşlanmasıyla üretilir: ortam sıcaklığı ve ıslak durum, yüksek sıcaklık veya kriyojenik sıcaklık (Karger-Kocsis ve ark. 2013).

Atık lastik yongaları hızlı çalışan bir granülatörde ezildiğinde, bu işleme ‘’ortam taşlaması’’ denir. Bununla birlikte, ıslak taşlamada aşırı sıcaklık yükselmesini önlemek için kauçuğu kırmak için su püskürtülür. Granülleri 1-6 mm arasında

üretmek için, yüksek sıcaklıkta öğütme yaklaşık 130 ºC 'de uygulanır (Karger-Kocsis ve ark. 2013).

Yukarıda belirtilen işlemlerden farklı olarak, kriyojenik öğütme işleminde, lastik parçaları cam geçiş sıcaklığının altında dondurulur ve böylelikle gevrekleşir ve ardından darbeli bir öğütücü ile parçalanır. Kriyojenik işlemde kauçuk, öğütülmeden önce sıvı azot kullanılarak -80 ° C'ye soğutulur. Kuruduktan sonra ürün belirli boyutlarda sınıflandırılabilir (Dondi ve ark. 2014). Ortam sıcaklığında öğütülmüş kırıntı lastikle karşılaştırıldığında, kriyojenik kırıntı lastik parçacıkları daha yumuşak bir yüzeye sahiptir. Bu kriyojenik işlemde, malzemenin neredeyse camsı bir fazla işlendiği açıklanabilir (Şekil 2.14). Bununla birlikte, ortam taşlaması işlemi daha ekonomik olma avantajına sahiptir (Dondi ve ark. 2014). Yüksek sıcaklıkta öğütme nadiren kullanıldığından; ortam öğütme ve kriyojenik öğütme, kırıntı lastik üretiminde kullanılan iki ana yöntemdir (Karger-Kocsis ve ark. 2013; Shu ve Huang, 2014).

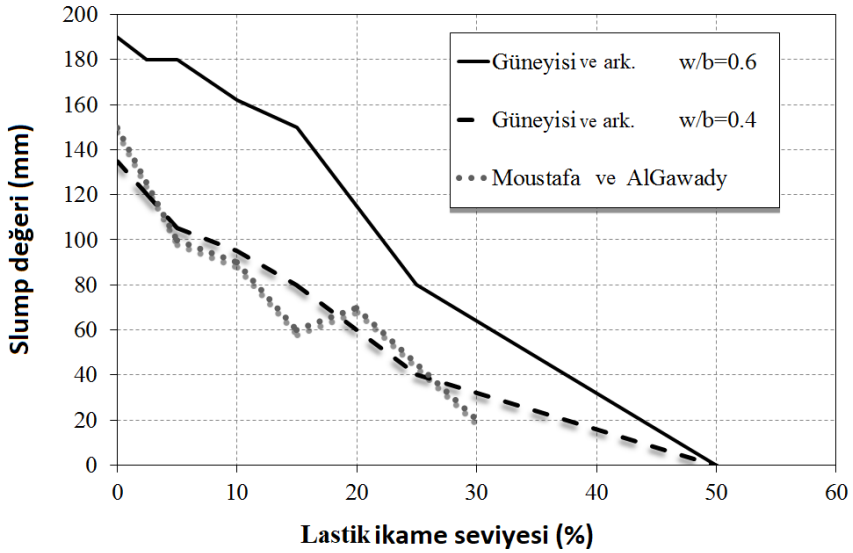


Şekil 2.14. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ‘ndan alınan Resimler: Kriyojenik Kırıntı Lastik (solda) ve Geleneksel Kırıntı Lastik (sağda)
(Dondi ve ark. 2014)

2.4. İşlenebilirlik

İşlenebilirlik, betonun formlara yerleştirilmesini ve birleştirilmesini etkileyen kritik parametrelerden biridir. lastik içeriğinin betonun taze özellikler üzerindeki etkisine ilişkin çalışmalar, lastik miktarının arttıkça betonun işlenebilirliğinin kötüleştiğini göstermiştir (Güneyisi ve ark. 2004; Güneyisi, 2010; Moustafa ve

ElGawady, 2015). Şekil 2.15, taze betonun çökme değerinin lastik muhtevası miktarıyla değişimini gösterir. Çökme değeri taze betonun işlenebilirliğinin bir göstergesidir. Çökme değeri ne kadar yüksek olursa, beton o kadar işlenebilir kıvamdadır (Neville, 1996). Lastik miktarı % 30'a yükseldiğinde betonun çökme değerinde çarpıcı bir düşüş olduğunu göstermektedir. Bu değerin ötesinde beton çok sertleşir, öyle ki istenen sıkıştırma için uzun süreli vibrasyon işlemi gerekir.



Şekil 2.15. Lastik içeriğinin, taze betonun işlenebilirliğine etkisi

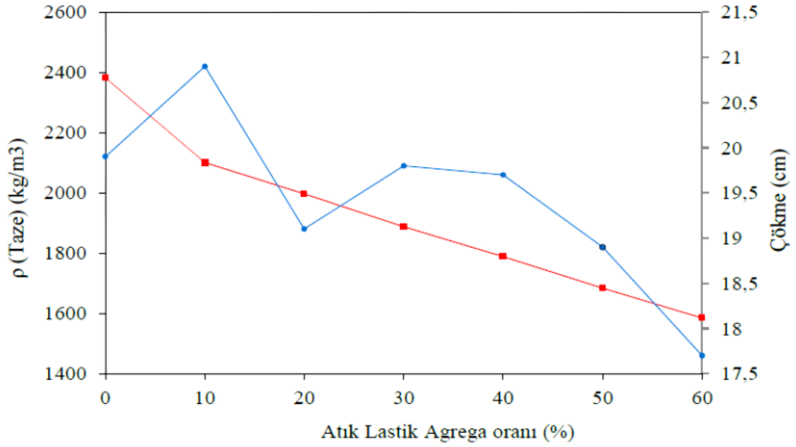
Kızar (2017), yaptığı deneysel çalışmada lastik agregalı taze betonun çökme (slump) değerlerini ölçmüştür. Atık lastik agrega kullanımına göre slump değerlerinde artış ve azalmalar tespit etmiştir. Bu çökme değerleri, Çizelge 2.6'da gösterilmektedir.

Çizelge 2.6. Lastik agregalı taze beton sonuçları
(Kızar, 2017)

Karışım Adı	p (Taze) (kg/m^3)	Çökme (cm)
Normal Beton	2382,39	19,9
Lastik- 10	2100,86	20,9
Lastik- 20	1996,77	19,1
Lastik- 30	1887,56	19,8
Lastik- 40	1788,34	19,7
Lastik- 50	1683,95	18,9
Lastik- 60	1584,51	17,7

Taze betondaki atık lastik agrega miktarı arttıkça, yoğunluk değerinde bir azalma eğilimi görülmüştür. Yani betonun birim ağırlığında (kg/m^3) düşüş meydana gelmiştir. Beton içerisine hacimce %10, 20, 30, 40, 50 ve 60 oranlarında lastik eklenerek, lastik agrega miktarı arttıkça taze betonun çökme değerinde bir düşüş olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre taze beton değerleri, atık lastik agregasının %10 ile %60 oranında kullanılması halinde maksimum ve minimum çökme değerlerinin 20,9 – 17,7 cm arasında olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca %60 oranında atık lastik kullanıldığında 17,7 cm çökme olduğu tespit edilmiştir (Kızar, 2017).

Deney sonuçlarından çıkan değerlere göre, normal beton ile %60 atık lastik agregası kullanıldığında çökme değerlerinin betonun işlenebilirliği açısından büyük bir problem ortaya çıkarmadığı gözlemlenmiştir (Kızar, 2017). Şekil 2.16'daki grafikte görüldüğü gibi taze betonun yoğunluğu ve çökme değerinin atık lastik agregası kullanılmasına bağlı olarak bir ilişki tespit edilmiştir.



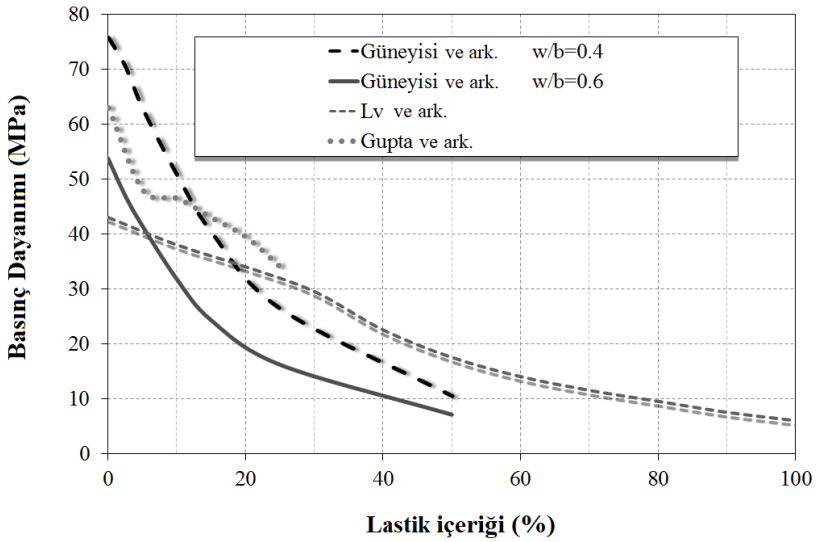
Şekil 2.16. Atık lastik agrega oranına göre betonun çökme ve yoğunluğu (Kızar, 2017)

Çökme miktarındaki değişim, atık lastik agregası ile çimento harcı arasındaki yüzeysel sürtünmeler ve lastiğin su emme kapasitesinden kaynaklanmaktadır. İnce lastik agrega, iri lastik agregaya göre daha fazla çökme yapmıştır. Bu sonuçlara göre çökme miktarındaki değişimin, atık lastik agrega ve çimento harcı arasındaki yüzeysel sürtünmeden meydana geldiği açıktır (Kızar, 2017).

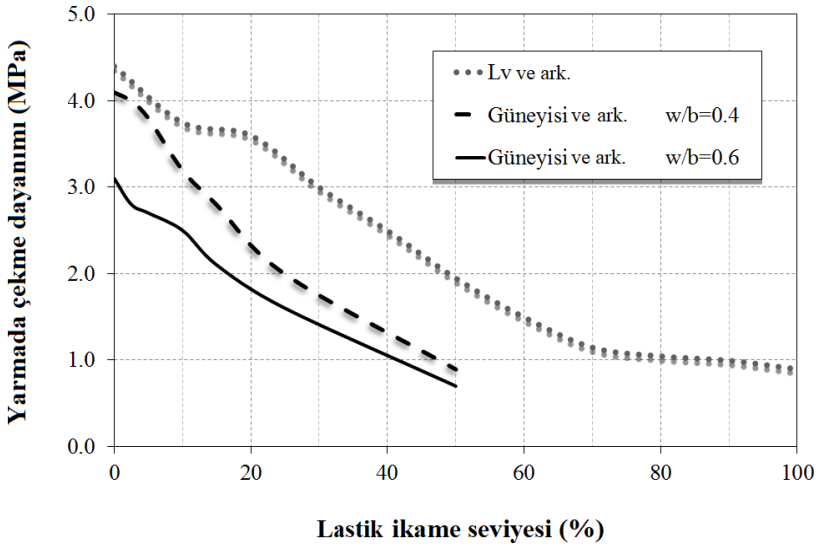
2.5. Basınç Dayanımı, Yarmada Çekme Dayanımı ve Elastisite Modülü

Betonun basınç dayanımı, çekme dayanımı ve elastisite modülü gibi mekanik özellikleri yapısal tasarım için kullanılan kritik parametrelerdir. Bu nedenle, bu değerler sertleşmiş beton için test edilmeli ve değerlendirilmelidir. Şekil 2.17-2.19, geri dönüşümlü kauçuk kullanımının; yani betonda agrega yerine geçen malzemenin grafiksel olarak etkisini göstermektedir. Bu grafikler için kullanılan veriler referans çalışmalardan derlenmiştir (Güneyisi ve ark. 2004; Lv ve ark. 2015; Gupta ve ark. 2014). Şekil 2.17'de elde edilen sonuçlar, betonlar için kauçuk içeriğindeki artışla birlikte basınç dayanımında sistematik bir azalma göstermektedir. Betonun yarmada çekme dayanımı, basınç dayanımına büyük ölçüde bağlı olduğu için, kauçuklaştırılmış betonların yarmada çekme dayanımı için gözlenen değerler de benzer bir eğilim göstermiştir. Şekil 2.19, artan miktarda kauçuk içeriğine sahip betonun diğer betonlara göre daha az sertliğe sahip olduğunu göstermektedir.

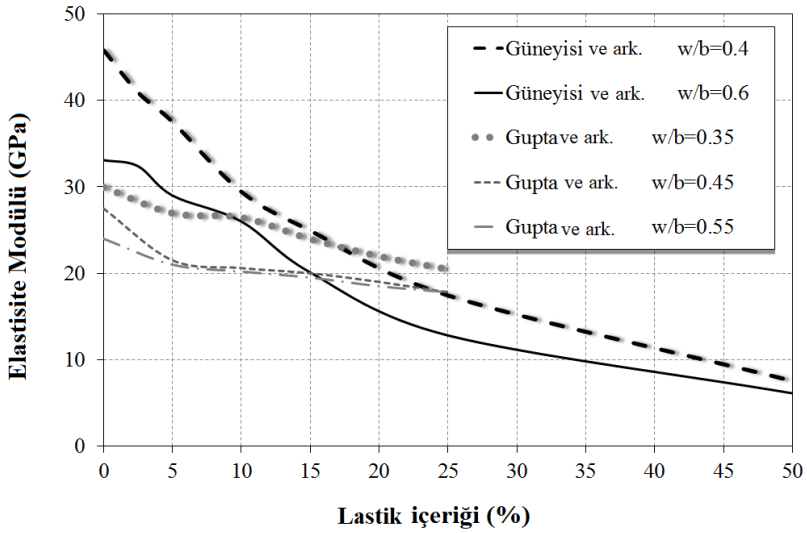
Bununla birlikte elastisite modülündeki azalma; betonda kauçuğun pozitif bir etkisi olarak alınabilen yüksek esnekliğin bir göstergesi olarak kabul edilebilir. Kauçuk-çimento ara yüzü arasındaki büyük boşluklar mekanik özelliklerin bozulmasına neden olur.



Şekil 2.17. Lastik içeriğinin, betonun 28 günlük basınç dayanımı üzerindeki etkisi



Şekil 2.18. Lastik içeriğinin, betonun 28 günlük yarmada çekme dayanımı üzerindeki etkisi



Şekil 2.19. Lastik içeriğinin betonun elastisite modülü üzerindeki etkisi

Çizelge 2.7'de Emiroğlu ve ark. (2011)' nın yapmış olduğu çalışmada, lastik agregalı betonlara ait fiziksel ve mekanik özellikler gösterilmektedir. Üretilmiş olan bu betonlarda normal agrega yerine hacimce %5, %10, %15 ve %20 oranlarında lastik agrega kullanılarak yer değiştirilmiştir (ikame). Bu karışımlardan meydana gelen 15x15x15 cm küp numuneler, 28 gün boyunca kür havuzunda bekletilerek deney gününde kürden çıkarılıp; basınç dayanımı, eğilmede çekme dayanımı ve yarmada çekme dayanımı gibi deneyler, numuneler üzerinde yapılmıştır. Bu deneysel çalışmalarda CEM 1 42,5 R çimentosu kullanılmıştır ve Çizelge 2.3'te elde edilen deney sonuçları verilmiştir.

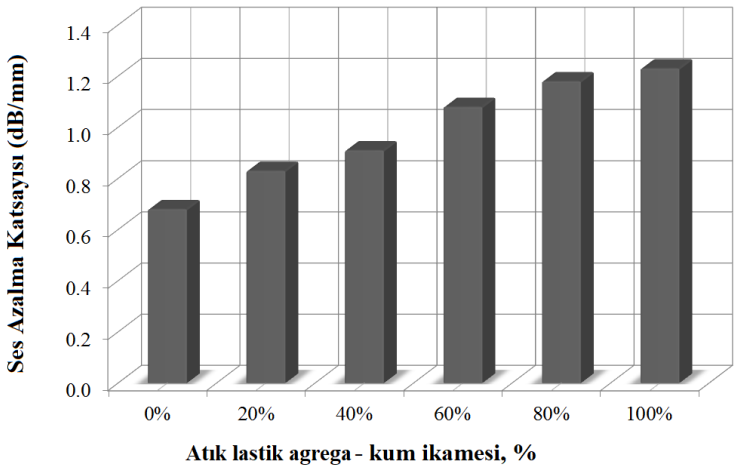
Çizelge 2.7. Lastik agregalı betonlara ait fiziksel ve mekanik özellikler (Emiroğlu ve ark. 2011)

Deneyler	**Numuneler**				
	%0	**%5**	**%10**	**%15**	**%20**
Birim Ağırlık (kg/m^3)	2260	2190	2120	2050	1980
Basınç Dayanımı (N/mm^2)	45,69	42,49	37,30	26,96	23,91
Eğilmede Çekme Dayanımı (N/mm^2)	4,75	5,34	4,74	4,89	4,29
Yarmada Çekme Dayanımı (N/mm^2)	4,19	3,74	3,14	2,68	2,24

Beton içerisinde lastik agrega kullanımıyla, betonun basınç ve yarmada çekme dayanımlarında; lastik miktarı arttıkça bir düşüş meydana gelmiştir. Ama %5'lik bir lastik agrega içeren beton numunenin eğilme dayanımında bir iyileşme gözlemlenmiştir (Emiroğlu ve ark. 2011).

2.6. Ses Yalıtımı ve Ultrases Geçiş Hızı

Literatürde sunulan bazı çalışmalarda atık lastik, yapısal olmayan betona dahil edilmiştir (Mohammed ve ark. 2012; Cheng ve Shi, 2014). Örneğin, Aliabdo ve ark. (2015) çalışmasında farklı tanecikli kum ikame yüzdelerinde geleneksel beton ve atık lastik agregalı betonun zayıflama katsayısı, Şekil 2.20'de gösterilmiştir. Şekil, zayıflama katsayısının lastik içeriğindeki artışla arttığını göstermektedir. Ses zayıflama katsayısındaki bu artış, lastik agregalı betonun ses yalıtımı için bir kanıt niteliğindedir. Ayrıca, geleneksel betona göre ses zayıflama oranındaki artışın sırasıyla % 20, % 40, % 60, % 80 ve % 100 atık lastik taneciklerle kumun ikame yüzdelerinde % 14, % 24, % 46, % 58 ve % 69 olduğu raporlanmıştır.



Şekil 2.20. Farklı ikame yüzdelerinde, geleneksel beton ve atık lastik agregalı betonun zayıflama katsayısı
(Aliabdo ve ark. 2015)

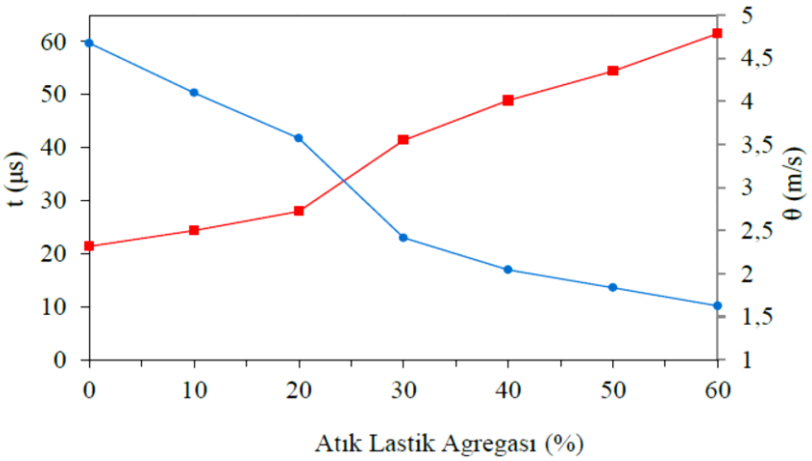
Kızar (2017) yapmış olduğu deneysel çalışmada, 28. günün sonunda beton numuneleri üzerinde yapılan ultrases geçiş hızı deneylerinden alınan sonuçlara

bakıldığında, beton içerisindeki atık lastik agrega miktarı (hacimce % olarak) arttıkça ultrases geçiş hızında (m/s) azalma görülmüştür (Çizelge 2.8).

Çizelge 2.8. Atık lastik agregalı betonun ultrases geçiş süreleri ve hızları (Kızar, 2017)

Karışım Adı	Ultrases geçiş süresi (µs)	Ultrases geçiş hızı (m/s)
Normal Beton	21,4	4,67
Lastik- 10	24,4	4,1
Lastik- 20	28	3,57
Lastik- 30	41,4	2,42
Lastik- 40	48,9	2,05
Lastik- 50	54,4	1,84
Lastik- 60	61,5	1,63

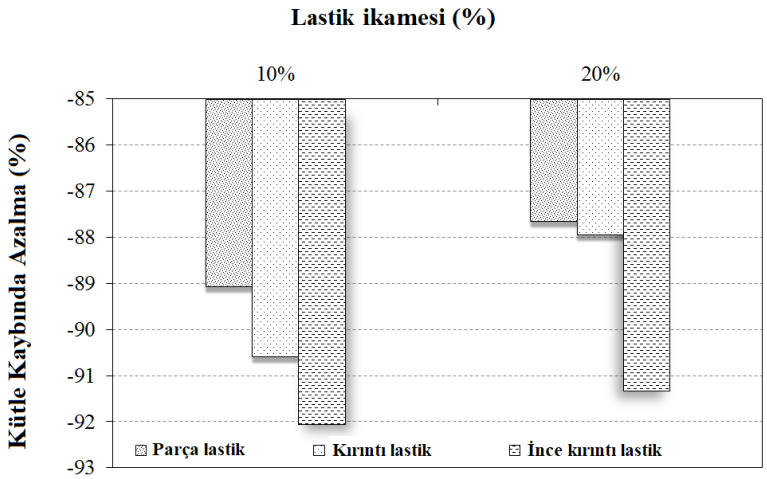
Çizelge 2.8'de görüldüğü gibi, normal betondaki ultrases geçiş hızı 4673 m/s (4,673 km/s) olarak ölçülmüş ve %60 oranında atık lastik ile üretilen numunenin ultrases geçiş hızı 1626 m/s (1,626 km/s)' ya düşmüştür (Kızar, 2017). Ortaya çıkan sonuçta, ultrases geçiş hızının %66 kadar düştüğü görülmüştür. Ultrases geçiş hızının yüksek olması, numunenin içinden geçen ultrases geçiş süresinin düşük olmasına, ultrases geçiş hızının düşük olması ise, geçiş süresinin fazla olması anlamına gelmektedir. Deneylerden alınan sonuçlara göre ultrases geçiş süreleri; normal betonda 21,4 µs olarak, %60 oranında atık lastik agregalı beton numunede ise 61,5 µs olarak ölçülmüştür. Betonda atık lastik miktarı arttıkça, ses dalgalarının geçiş hızını ve betonun yoğunluğunu düşürerek, sesin beton içerisinden geçiş süresinin artmasına sebep olmuştur. Şekil 2.21'de atık lastik agrega oranına bağlı olarak, ses geçiş hızı ve süresi arasındaki ilişki gösterilmiştir (Kızar, 2017).



Şekil 2.21. Ultrases geçiş hızı – ses geçiş süresi arasındaki ilişki (Kızar, 2017)

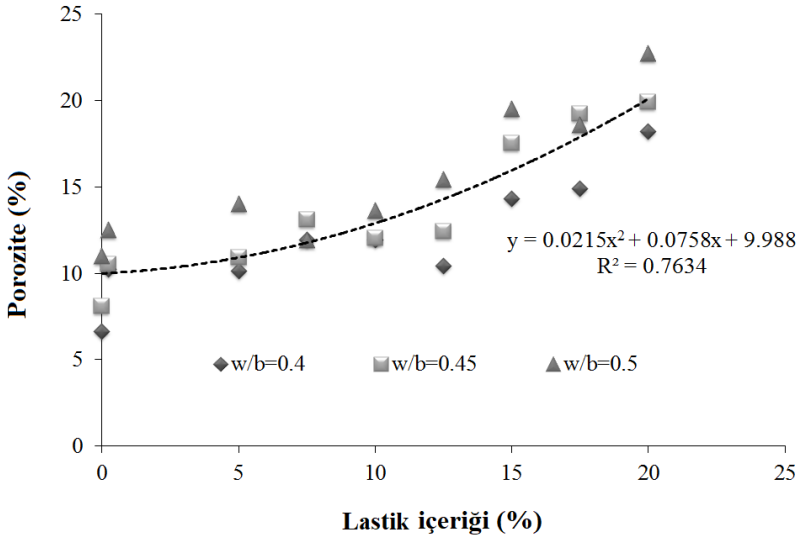
2.7. Betonda Kütle Kaybı ve Geçirimlilik (Porozite)

Gesoğlu ve ark. (2014) geçirgen betonların üretiminde lastik yongaları (parçaları) ve kauçuk kırıntısı kullandılar. Geçirimli beton; park alanlarındaki kaldırımlar, yürüyüş yolları, hafif trafik yolları ve şiddetli yağmur nedeniyle oluşan yüzeysel akışları engellemek için kullanılan özel bir beton türüdür. Bu tip betonlar iklimsel saldırılara açık olduğundan donma ve çözülme direncinin büyük önemi vardır. Yaptıkları çalışmada, Gesoğlu ve ark. (2014), ASTMC666'ya göre atık lastik granülün donma çözülme direncini, geçirgen betonlar içerisinde değerlendirmişlerdir (Anonim, 2008). Betonların 300 donma-çözülme döngüsünden sonraki kütle kayıpları Şekil 2.22'de sunulmuştur. Kauçuğun dikkat çekici olumlu etkisini, geçirgen betonun donma-çözülme direnci üzerinde görerek buldular. Kauçuk kullanımı ve kauçuk içeriğinin arttırılması genellikle geçirgen betonların donma-çözülme direncini arttırdı. Bu, kauçuğun çözülme aşamasındayken donma ve gevşeme sırasında deformasyon sağlayan esnek bir yapıya sahip olması ile ilişkilendirilebilir. Dahası, kauçuk parçacıkları donma ve çözülme etkisine karşı dayanıklı olup, neredeyse hiç su emmeye müsait değildir. Bu nedenle bozulma seviyesi, kauçuk parçacıkları içeren geçirgen betonlar için daha düşük hale gelir.



Şekil 2.22. 300 donma-çözülme döngüsünden sonra lastiğin ikame seviyesine karşı, atık lastikli geçirgen beton kütlesindeki yüzde kütle kaybı
(referans alınan geçirgen beton için kütle kaybı % 34' tür). Gesoğlu ve ark. (2014)

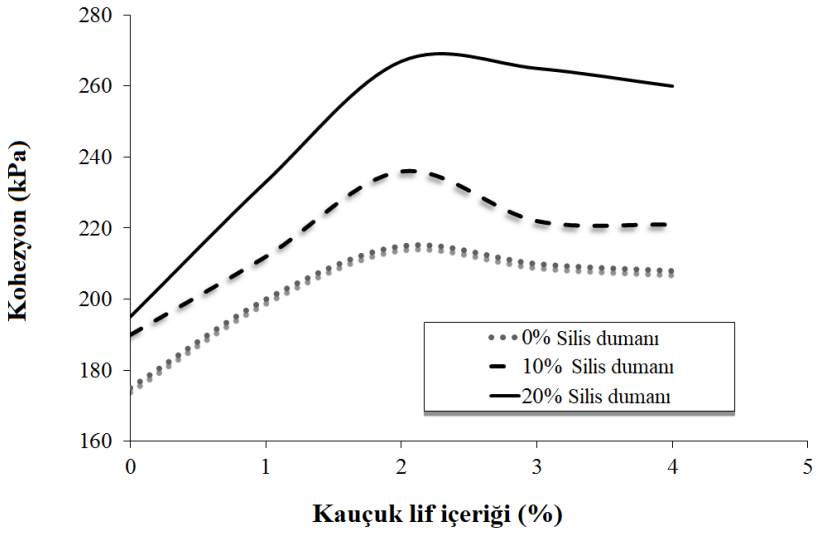
Thomas ve Gupta (2015), betona kauçuk ilavesinin betonun gözenekliliği üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Bunun için farklı s/ç oranlarında ve kauçuk içeren betonlar hazırladılar. Beton karışımlarının gözenekliliğini cıva sızma porozimetresi (MIP) tekniği ile belirlediler. Kauçuk içeriğine göre gözenekliliğin (porozite) toplam yüzdesi Şekil 2.23'te gösterilmektedir. Sunulan sonuçlar, gözenekliliğin kauçuk kırıntısı yüzdesindeki artışla arttığını göstermiştir. Ayrıca, kauçuk parçacıkları ile çimento hamuru arasındaki bağın, doğal agrega içeren bağ kadar iyi olmadığını da bildirmişlerdir. Bunun bir sonucu olarak, kauçuk parçacıklarının sıkıştırılabilir doğası, cıva sızması ile belirlendiğinde daha büyük gözeneklilik ortaya çıkar.



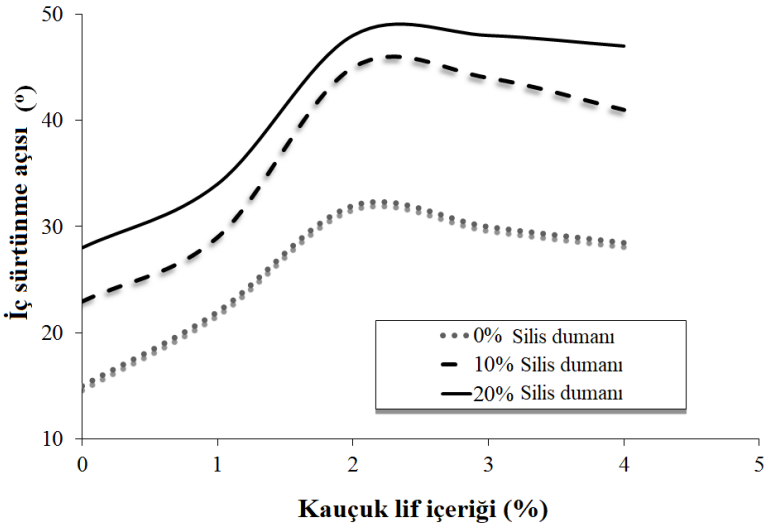
Şekil 2.23. Atık lastikli betonların lastik içeriğine göre toplam gözenekliliği (Thomas ve Gupta (2015)' dan uyarlanmıştır)

2.8. Zeminde Kohezyon ve İç Sürtünme Açısı

Atık kauçuğun beton teknolojisi dışındaki inşaat uygulamalarında kullanılması, zemin özelliklerinin değiştirilmesi olabilir. Örneğin Kalkan (2013), killi toprakların kayma dayanımı parametrelerinin iyileştirilmesi için lif olarak kauçuk kullanmıştır. Deneysel çalışmasından elde edilen sonuçlar, Şekil 2.24- 2.25'te grafik olarak gösterilmektedir. Kayma dayanımı parametreleri ile atık lastiği kauçuk lifi miktarı arasındaki ilişkiyi belirtti. Kauçuk lifi ve silis dumanı-lif karışımı yüzdesinin, kayma dayanımı parametrelerinin, yani kohezyon ve iç sürtünme açısının arttırılmasında büyük önem taşıdığını bildirmiştir. İncelenen numunelerin, kohezyon ve iç sürtünme açısının %2'ye kadar artan lif içeriği ile arttığı bildirildi. Lifte gerginliğin oluşmasından dolayı, sınırlama basıncındaki artışın bir sonucu olarak; lif ile modifiye edilmiş killi toprak numunelerinin birbirine yapışmasındaki artışı ve lifteki nem içeriği, modifiye edilmiş toprağın toprak-lif kütlesinin tek bir uyumlu matrisi olarak işlev görmesini sağlayan kil parçacıkları üzerinde emilen su tabakası oluşumunu desteklemektedir (Prabakar ve Sridhar, 2002).



Şekil 2.24. Atık lastik kauçuk lifinin kohezyon üzerindeki etkisi (Kalkan, (2013) ' dan uyarlanmıştır)



Şekil 2.25. Atık lastik kauçuk lifinin iç sürtünme açısı üzerindeki etkisi (Kalkan, (2013) ' dan uyarlanmıştır)

2.9. Isıl İletkenlik ve Gözeneklilik

Betonda soğutma yükünü tespit etmek için gerekli olan üç parametre: Isıl iletkenlik (λ, W/m.K), özgül ısı (c, J/kg.°C) ve ısıl yayılımdır (α, m^2/s). Kızar (2017)'ın yapmış olduğu çalışmalarda, bir betonun ısıl iletkenliği ve termal yayılımını etkileyen en mühim parametrenin, beton içerisinde artan boşlukların olduğunu gözlemlemiştir. Bunun sebebi, atık lastik agregasının gözenekleri içerisindeki havanın ısı iletkenlik katsayısının düşük olmasıdır. Çizelge 2.9'da deney numunelerinden elde edilen ısıl özellik sonuçları verilmiştir.

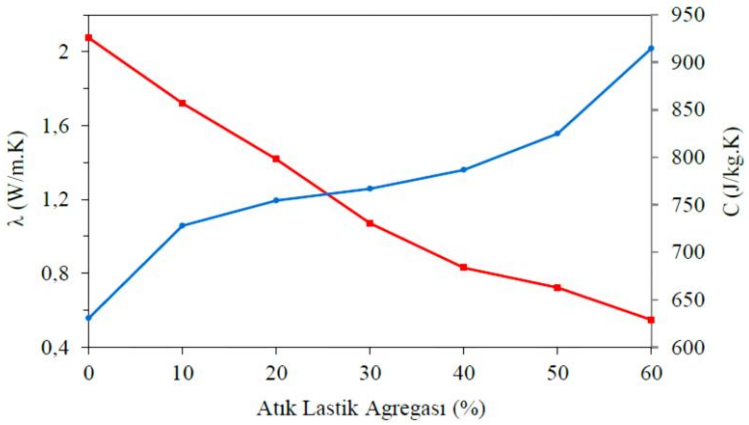
Çizelge 2.9. Atık lastik agregalı betonun ısıl özellik deney sonuçları (Kızar, 2017)

Karışım Adı	λ (W/m.K)	C (J/kg.K)
Normal Beton	2,08	630,57
Lastik- 10	1,72	727,94
Lastik- 20	1,42	754,50
Lastik- 30	1,07	766,76
Lastik- 40	0,83	786,68
Lastik- 50	0,72	824,86
Lastik- 60	0,55	914,53

Çizelgeden de görüldüğü gibi, betondaki atık lastik agrega oranı arttıkça; ısıl iletkenlik katsayısı (λ) düşmüştür. Atık lastik agrega katılarak üretilen beton numunesi, özgül ısıda artış meydana getirmiştir (Kızar, 2017). Bu özgül ısı artışı, atık lastiğin özgül ısı değerinin yüksek olmasından kaynaklanmıştır.

Yani betonda atık lastik agrega miktarının artmasıyla ısıl iletkenlik katsayısı düşmüş, özgül ısı ise yükselmiştir. Şekil 2.26'da ısıl iletkenlik ve özgül ısı arasındaki ilişki verilmiştir (Kızar, 2017).

Yapı malzemesi olan normal betona göre, daha düşük ısı iletim katsayısına sahip olan atık lastik agreganın, ısı yalıtımı yönünden bu olumlu geri dönüşe karşın; basınç dayanımını düşürmesi gibi olumsuz bir etkiye sahip olduğu açıktır (Kızar, 2017).



Şekil 2.26. Isıl iletkenlik ve özgül ısı arasındaki ilişki (Kızar, 2017)

Ayrıca Kızar (2017), yapmış olduğu bu çalışmalar sonucunda atık lastik miktarı arttıkça, beton içerisindeki gözeneklerin arttığını gözlemlemiştir.

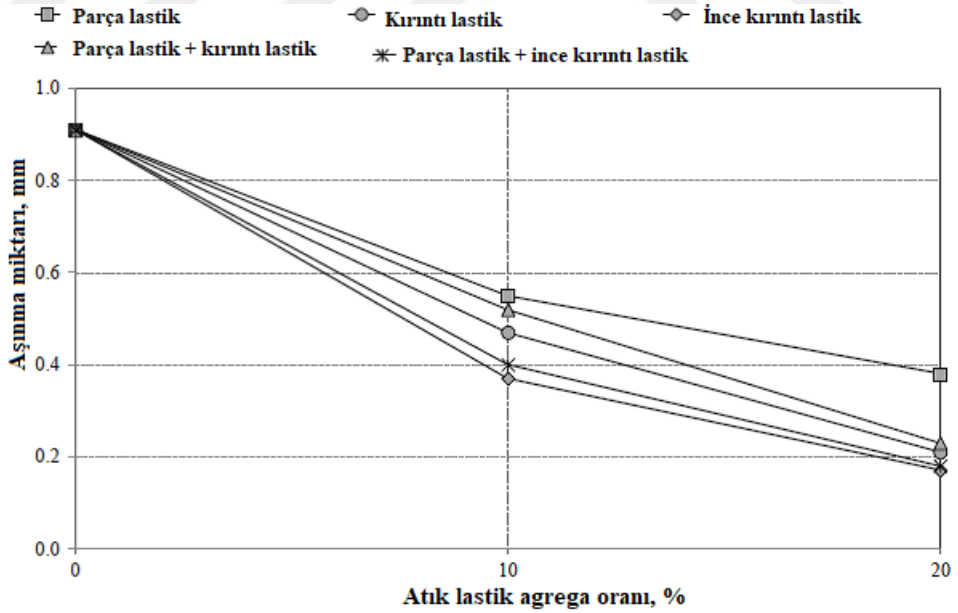
Üretilen beton numunelerinde, gözeneklerin artması sonucu hava boşlukları meydana gelerek betonun dayanımını düşürür. Ancak bununla birlikte betona termal olarak fayda sağlar. Bu deney sonuçlarına göre, lastik agrega oranının artması betondaki gözenekleri arttırmış ve ısıl iletkenliği düşürmüştür (Kızar, 2017).

2.10. Aşınma Direnci

Khoshnaw (2014), atık lastik agrega içeren geçirimli beton numunelerin aşınma direncini tayin etmek için Böhme aşınma deneyi yaparak, Çizelge 2.10' da verilen aşınma direnci sonuçlarını elde etmiştir. Atık lastik agrega içeren betonların aşınma derinliği ise, Şekil 2.27'deki grafikte verilmektedir (Khoshnaw, 2014).

Çizelge 2.10. Atık lastik agregalı geçirimli betonların aşınma direnci sonuçları (Khoshnaw, 2014)

Karışım adı	Atık lastik türü		Atık lastik içeriği (%)	Derin aşınma (mm)
Kontrol	Atık lastiksiz		0	0.91
10% PL	Parça lastik		10	0.55
20% PL			20	0.38
10% KL	Kırıntı lastik		10	0.48
20% KL			20	0.22
10% İKL	İnce kırıntı lastik		10	0.35
20% İKL			20	0.17
5% PL 5% KL	Parça lastik	Kırıntı lastik	10	0.52
10% PL 10% KL			20	0.23
5% PL 5% İKL	Parça lastik	İnce kırıntı lastik	10	0.40
10% PL 10%İKL			20	0.19



Şekil 2.27. Atık lastik değişim oranına göre betonun aşınma direnci (Khoshnaw, 2014)

Deneysel sonuçlar, betonda atık lastik kullanmanın aşınmaya karşı olumlu etkisini göstermiştir (Khoshnaw, 2014). Atık lastik oranının %0’ dan %20’ ye yükseltilmesi, aşınma direncinde sistematik bir artışla sonuçlanmıştır. Bunun sebebi, çimento hamurunun lastik parçaları tarafından bir arada tutulması olabilir (Khoshnaw, 2014). Küçük boyutlardaki lastik parçaları, büyük boyutlardaki atık lastiklere göre aşınmaya karşı daha iyi performans göstermiştir. Atık lastiğin agrega olarak geçirimli betonda kullanılmasıyla, çok ince taneli lastik geçirgen betonda %20 oranında agrega ile değiştirildiğinde, aşınma derinliği olarak aşınma değerleri %0,91' den %0,17' ye düşmüştür (Khoshnaw, 2014). Diğer atık lastik türlerinin kullanılması da aşınma değerlerinde kayda değer bir düşüşe neden olmuştur.

Lastik talaşlarının agrega ile değiştirilmesi, geçirimli betonun aşınma direncini arttırmasına rağmen, ince kırıntılı lastik ve normal kırıntılı lastikteki kadar olmadığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte, parça lastiklerinin kırıntı lastik ile karışımı ve ince kırıntı lastiğin agrega ile değiştirilmesi, parça lastiklerinin ayrı ayrı değiştirilmesinden daha iyi performans gösterdiği tespit edilmiştir (Khoshnaw, 2014).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu bölümde, yapılan deneysel çalışmalarda kullanılan ekipmanlar ve karışımda kullanılan çimento, agrega gibi bazı yapı malzemelerinin fiziksel-kimyasal özellikleri verilmektedir. Ayrıca beton numuneler ile ilgili bilgiler ve uygulanan deneysel yöntemler açıklanmaktadır.

3.1. Materyal

3.1.1. Çimento

Bu çalışmada, özgül ağırlığı 3,15 ve Blaine inceliği 374 m^2/kg olan Portland çimentosu (CEM I 42,5 R) kullanılmıştır.

Bu deneysel çalışmada kullanılan çimentonun tipik fiziksel özellikleri ve kimyasal bileşenleri Çizelge 3.1'de verilmektedir.

Çizelge 3.1. Çimentonun fiziksel özellikleri ve kimyasal bileşenleri (ÇİMSA, www.emlakansiklopedisi.com , 2020)

Fiziksel özellikleri	**Portland Çimento**
Özgül ağırlık	3,15
Blaine inceliği (m^2/kg)	374
Kimyasal özellikleri (%)	
CaO	62,8
SiO_2	19,0
Fe_2O_3	4,7
Al_2O_3	4,0
SO_3	2,60
MgO	1,73
Kızdırma Kaybı	2,63
Çözünmeyen Kalıntı	0,68
Cl^-	<0,01
Toplam Alkali $Na_2O + 0,658 . K_2O$	0,45
Serbest Kireç	1,31

3.1.2. Agrega

Beton numuneleri oluşturan karışımlarda ince agrega olarak dere kumu, kaba ve orta agrega olarak da bazalt kırma taş kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan kaba, orta ve ince agreganın özgül ağırlık değerleri sırasıyla 2,78, 2,79 ve 2,73'tür. Çizelge 3.2'de kaba, orta ve ince agregaların elek analizi sonuçları ve fiziksel özellikleri verilmektedir. Şekil 3.1'de agregalara ait fotoğraflar gösterilmektedir.

Çizelge 3.2. Kaba, orta ve ince agregaya ait elek analizi sonucu ve fiziksel özellikler

Elek Boyutu (mm)	Geçme Yüzdesi (%)		
	Kaba	Orta	İnce
31,5	100	100	100
16	3	100	100
8	0	53	100
4	0	0	99
2	0	0	95
1	0	0	67
0,5	0	0	39
0,25	0	0	10
Özgül ağırlık	2,78	2,79	2,73
Su emme (%)	0,65	0,65	0,70
İncelik Modülü	-----	-----	1,9



Şekil 3.1. Kaba, orta ve ince agregaların fotoğrafları

3.1.3. Atık lastik agrega

Buradaki deneysel çalışmalarda betonda agrega yerine hacimce atık lastik agregalar kullanıldı. Bu lastik agregaları, atıl durumdaki lastiklerin kaplama olarak yapılan sırt kısmından, mekanik kesme aleti kullanılarak kesilmesi ile parça ve kırıntı lastik olarak alındı. Şekil 3.2'de parça ve kırıntı lastiğinin fotoğrafları verilmektedir.



Şekil 3.2. Parça ve kırıntı lastiğinin fotoğrafları

3.1.4. Kimyasal katkı

Beton harç karışımında işlenebilirlik özelliğini arttırmak ve iyileştirmek için BASF yapı kimyasalları tarafından üretilen, süperakışkanlaştırıcı 'MasterGlenium 51' kimyasal katkısı kullanıldı. Deneylerde kullanılan sıvı haldeki bu kimyasal katkının özgül ağırlığı 1,07'dir.

3.1.5. Aşındırıcı toz (zımpara tozu)

Böhme aşınma deneyinde beton numunelerin yüzeyinde sürtünmeyle aşınma meydana getirmek için aşındırıcı toz (zımpara tozu, korundum) kullanıldı.

3.1.6. Karışım tasarımı

3 s/ç oranında (0,35 ; 0,45 ve 0,55) ve 4 farklı lastik ikamesi kullanılarak toplamda 12 karışım elde edildi. Bu beton karışımlarına ait karışım miktarları Çizelge 3.3- 3.4- 3.5'te verilmektedir.

Çizelge 3.3. s/ç oranı 0,35 olan beton karışım miktarları (kg)

Malzeme	1 m^3 için karışım hesabı (kg)			
	35-0	**35-10**	**35-20**	**35-30**
Çimento	550	550	550	550
Su	192,5	192,5	192,5	192,5
Kaba agrega	429,34	384,83	340,68	294,92
Orta agrega	603,24	540,71	478,66	414,38
İnce agrega	674,6	604,66	535,28	463,39
Lastik kırıntısı	0	23,38	46,57	69,11
Lastik parça	0	38,76	77,20	114,57
Kimyasal katkı	5,5	6,05	6,6	7,15

Çizelge 3.4. s/ç oranı 0,45 olan beton karışım miktarları (kg)

Malzeme	1 m^3 için karışım hesabı (kg)			
	45-0	**45-10**	**45-20**	**45-30**
Çimento	450	450	450	450
Su	202,5	202,5	202,5	202,5
Kaba agrega	446,27	400,13	354,33	306,91
Orta agrega	627,03	562,2	497,84	431,22
İnce agrega	701,19	628,7	556,73	482,23
Lastik kırıntısı	0	24,31	48,43	71,92
Lastik parça	0	40,3	80,3	119,23
Kimyasal katkı	2,7	3,15	3,6	4,05

Çizelge 3.5. s/ç oranı 0,55 olan beton karışım miktarları (kg)

Malzeme	1 m^3 için karışım hesabı (kg)			
	55-0	**55-10**	**55-20**	**55-30**
Çimento	350	350	350	350
Su	192,5	192,5	192,5	192,5
Kaba agrega	476,36	427,27	378,5	328,11
Orta agrega	669,3	600,33	531,80	461
İnce agrega	748,47	671,33	594,71	515,53
Lastik kırıntısı	0	25,96	51,74	76,88
Lastik parça	0	43,03	85,77	127,47
Kimyasal katkı	1,05	1,4	1,75	2,1

3.1.7. Deney numuneleri

Bu çalışmada deney numunelerini oluşturan karışımların hazırlanması için Harran Üniversitesi inşaat mühendisliği bölümündeki laboratuvarda bulunan 20 litre kapasiteye sahip mikser kullanıldı (Şekil 3.3). Öncelikle karışım çizelgesindeki miktarlara uyularak agregalar, çimento, kırıntı lastik ve parça atık lastikleri tartılıp miksere konuldu. Bu işlemleri takiben kuru bir şekilde karıştırılıp üniform dağılımlı hale getirildi. Daha sonra yavaş bir şekilde su ve süperakışkanlaştırıcı (SA) kimyasal

katkı eklenerek 5-6 dk boyunca homojen hale gelene kadar karıştırıldı. Toplam 12 karışım için aynı işlemler yapıldı.



Şekil 3.3. Beton harç karıştırma mikseri

Her karışımdan, basınç dayanımı ve ultrases geçiş hızı deneyi için beş adet 150x150x150 mm küp; ısı iletkenlik katsayısı ve Böhme aşınma deneyi için toplam altı adet 70x70x70 mm küp numune alındı. Alınan numuneler kalıplara üç aşamada doldurulmuş olup (Şekil 3.4), vibrasyon uygulaması yapılarak sıkıştırıldı. Bu numuneler kalıplarda 24 saat bekletildikten sonra, kür havuzuna konulmak üzere kalıplardan çıkarıldı. Numunelerin tümü deney gününe kadar (28 gün) kür havuzunda bekletildi (Şekil 3.5).



Şekil 3.4. Kalıplara doldurulan numuneler



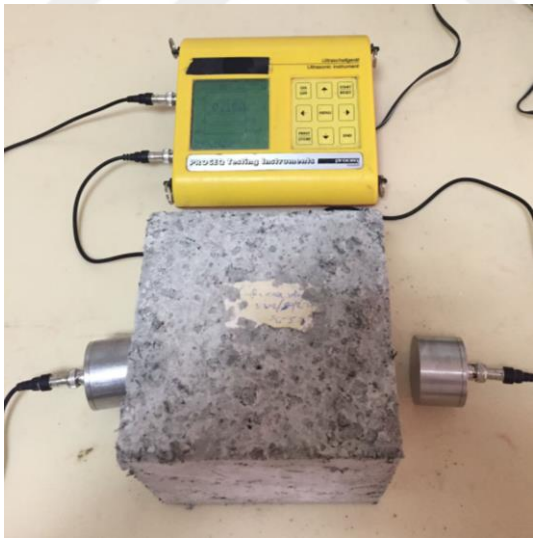
Şekil 3.5. Kür havuzunda bekletilen numuneler

3.2. Yöntem

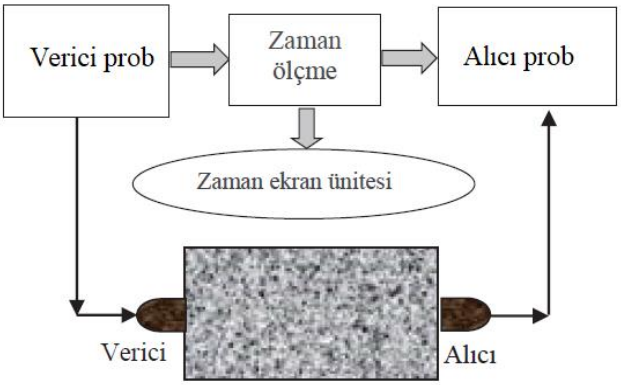
3.2.1. Ultrases geçiş hızı deneyi (UPV)

Numuneler üzerinde, hasarsız deney yöntemi olarak bilinen ultrases geçiş hızı deneyi yapıldı. 28 günlük 150x150x150 mm boyutundaki küp numuneler kür havuzundan çıkarılarak oda sıcaklığında yaklaşık bir saat bekletildikten sonra yüzeyindeki su damlaları bir havlu yardımıyla alındı ve deneye bu şekilde başlandı. Alıcı verici problar, beton yan yüzeylerinde karşılıklı denk gelecek şekilde yerleştirilmeden önce bir bezle tozları alınıp ultrason jeli sürüldü.

Problardan çıkan ses dalgalarının beton içerisinde yayılmasıyla birlikte, sesin karşıya geçiş hızı UPV cihazı (Şekil 3.6) yardımıyla ölçülerek ses dalgasının saniyede ne kadar yol (m/sn) katettiği ölçüldü. Betonun boşluklu yapısı ve dayanım ilişkisi, deney sonucu elde edilen değerlerle ortaya çıkarıldı. Cihazın çalışma prensibi Şekil 3.7'de ve beton kalitesi ile ilgili sınır değerler ise Çizelge 3.6'da verilmektedir.



Şekil 3.6. UPV ölçüm cihazı



Şekil 3.7. UPV testi çalışma prensibi

Çizelge 3.6. UPV deneyinde beton kalitesi ile ilgili sınır değerler (Erdoğan, 2003)

Dalga Hızı, m/saniye	Beton Kalitesi
> 4500	mükemmel
3500-4500	iyi
3000-3500	şüpheli
2000-3000	zayıf
<2000	çok zayıf

3.2.2. Basınç dayanımı deneyi

Bu deney başlatılmadan önce 3000 kN'luk pres makinası üzerindeki dokunmatik bilgisayar ekranı yardımıyla yükleme hızı değeri 0,25 MPa/s ($N/mm^2.s$) olarak belirlendi. Daha sonra 28. deney günü gelmiş olan 150x150x150 mm boyutundaki küp numuneler düşey eksende ortalanarak alt yükleme başlığı üzerine yerleştirildi (Şekil 3.8) ve kırıldı (Şekil 3.9). Numunelerin basınç dayanımı değeri, numune kırıldığı anda ekrandan MPa (N/mm^2) olarak okundu. Her bir karışımın (toplam 12 karışım) basınç dayanımı değeri, kırılan numunelerin basınç dayanımı değerlerinin ortalaması olarak alındı.



Şekil 3.8. Pres makinesine yerleştirilen numune



Şekil 3.9. Kırılan deney numunesi

3.2.3. Böhme aşınma deneyi

Bir yapı malzemesi olarak yol, havaalanı, döşemeler ve merdiven basamakları gibi yerlerde kullanılan beton; sürtünmelere ve dolayısıyla aşınmaya karşı dirençli

olmalıdır. Böhme aşınma deneyi, betonun bu direncinin belirlenmesi için uygulanan deney yöntemlerinden biridir.

Bu deneyde TS 2824'e göre boyutları 70x70x70 mm olan küp beton numuneler kullanıldı. Böhme aşınma deneyinde kullanılan cihaz; belirli çizgide dönen bir disk, numune tutucu ve numuneye üstten ağırlık uygulayan çelik manivela bulunduran bir test cihazıdır. Dönen diskin çapı yaklaşık 750 mm olmakla birlikte yatay olarak üretilmiş düz bir metal disktir. Bu diskin dönme hızı 30 devir/dakika'dır. Cihaz üzerinde her 22 devirden sonra diskin dönmesini otomatik olarak durduran bir sayaç bulunmaktadır.

Deneye başlamadan önce, 28. günleri dolduktan sonra kür havuzundan çıkarılan 70x70x70'lik numuneler 24 saat bekletilmek üzere 105 °C sıcaklıktaki etüvde bekletildi (Şekil 3.10). Etüv sonrasında numune tartılarak, kumpas ile toplam dokuz noktadan yükseklik ölçüldü. Daha sonra numune, tutucuya yerleştirilerek diskin sürtünme şeridi üzerine zımpara tozu (20 ± 0,5 g) serpilerek deney başlatıldı (Şekil 3.11). Her 22 devirden sonra disk üzerindeki aşındırıcı toz ve numune atıkları temizlendikten sonra, numune 90° çevrilerek cihaz yeniden çalıştırıldı. Her numune için 22 devirden oluşan Böhme aşınma deneyi, toplamda 16 çevrim olacak şekilde tekrarlandı. Son olarak, deney numunesi temizlendikten sonra 0,01 mm hassasiyete sahip kumpas ile boyutları ölçülüp, hassas terazide tartıldı.



Şekil 3.10. Numunelerin etüvde kurutulması işlemi

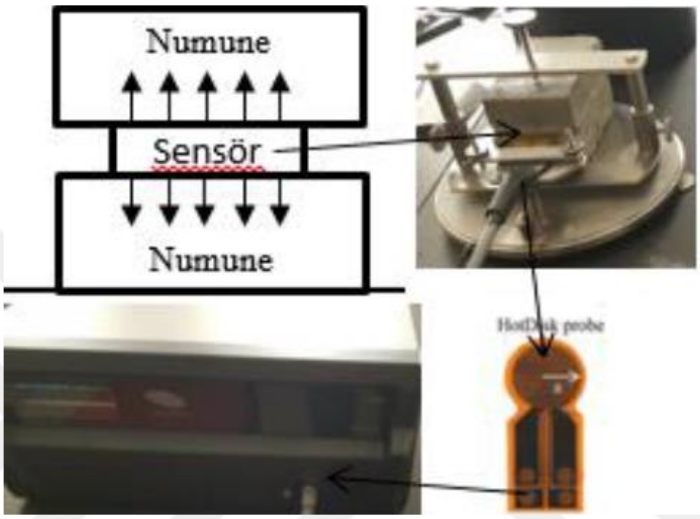


Şekil 3.11. Böhme aşınma cihazı

3.2.4. Isıl iletkenlik katsayısı deneyi

Her bir karışımdan alınan üçer adet 70x70x70 mm'lik küp deney numunelerinin ısı iletkenlik katsayısı, Şekil 3.12'de verilen Harran Üniversitesi mühendislik fakültesi makine mühendisliği bölümünde bulunan ve termal özellik ölçümü için hot disk yöntemiyle ısı iletim katsayısı ölçümünü yapan Hot Disk TPS

500 S termal özellik analiz cihazı kullanılarak tespit edildi. Bu numuneler deneye tabi tutulmadan önce 105 °C'lik etüvde 24 saat bekletildi. Şekil 3.12'de görüldüğü üzere hot disk sensörü aynı içeriklere sahip iki küp numune arasına sıkıştırılır. Sensör sıkıştırıldıktan sonra ısıtıcı gücü ve malzeme sıcaklığı gibi değerler girilir ve başlatma tuşuna basılarak deney başlatılır. Isı iletkenlik cihazı ile ölçüm yapılarak, küp numunelerin ortalama ısı iletkenlik katsayıları bulundu.



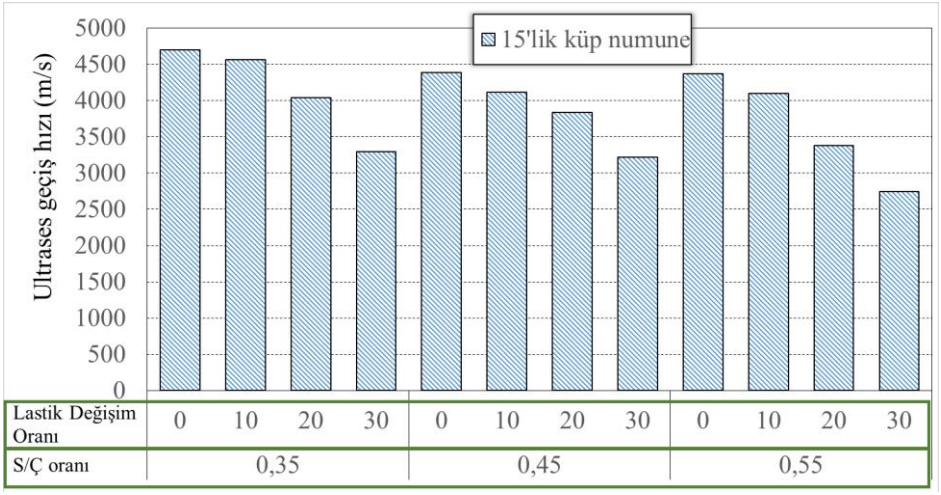
Şekil 3.12. Hot Disk termal özellik analiz cihazı ve ölçüm
(Işıker, 2018)

4.ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

15x15x15 cm'lik küp numuneler üzerinde uygulanan ultrases geçiş hızı deneyinin sonuçları Çizelge 4.1'de verilmektedir. Şekil 4.1'de ise değerlerin değişimi görsel olarak sunulmaktadır.

Çizelge 4.1. Ultrases geçiş hızları

Karışım No.	Ortalama Hız (m/s)
35-0	4700
35-10	4570
35-20	4048
35-30	3295
45-0	4390
45-10	4120
45-20	3840
45-30	3222
55-0	4370
55-10	4100
55-20	3382
55-30	2750



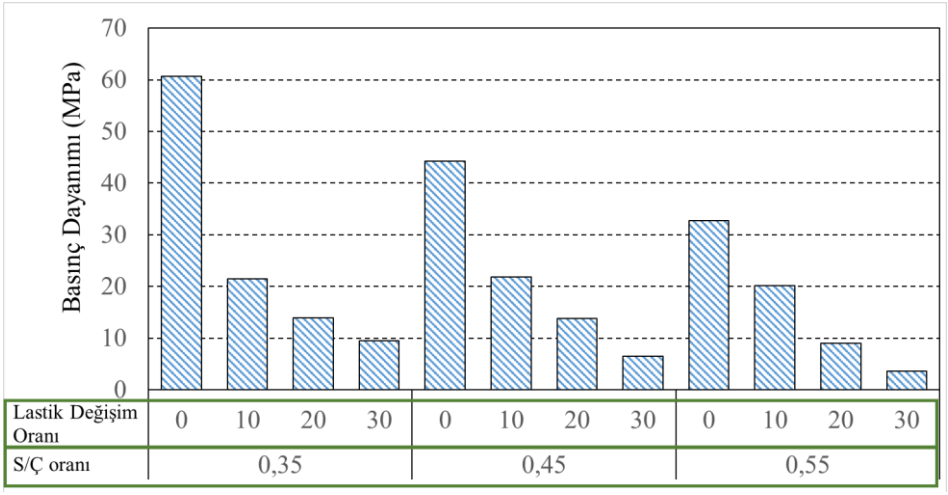
Şekil 4.1. Lastik ikame oranlarına göre ultrases geçiş hızları (m/s)

Deney sonuçlarına göre, ultrases geçiş hızı olarak en yüksek değere (4700 m/s) sahip olan beton, içerisinde atık lastik bulundurmayan 0,35 s/ç oranında üretilen betondur. En düşük ultrases hız değerine (2750 m/s) sahip olan beton ise, 0,55 s/ç oranı ve %30 atık lastik içeren betondur. Çizelgede görüldüğü gibi atık lastik agrega miktarı arttıkça, betonun ultrases geçiş hızı düşmüştür. Buna sebep olan, atık lastiğin beton içerisinde boşluklar oluşturarak betonun yoğunluğunu azaltması ve gözeneklerin ortaya çıkmasıdır. Kızar (2017) yapmış olduğu çalışmada, %30 oranında atık lastik içeren betonun ultrases geçiş süresinin, normal betonun geçiş süresinin neredeyse 2 katı olduğunu ortaya çıkarmıştır. Yani atık lastikli betonda, sesin karşıya geçiş süresinin daha uzun olduğu sonucuna varmıştır. Bu da betonda boşluklar ve gözeneklerin fazla olduğunu gösterir ve betonun dayanımı açısından olumsuz bir sonuçtur.

28 günlük basınç dayanımı deneyleri yapılan 150x150x150 mm'lik küp numunelerin sonuçları, Çizelge 4.2'de verilmektedir. Şekil 4.2'de ortalama basınç dayanımı sonuçları karışımlara ve atık lastik oranlarına göre grafiğe aktarılmıştır.

Çizelge 4.2. Basınç dayanımı sonuçları

Karışım No.	Ort. Dayanım (MPa)	En düşük (MPa)	En Yüksek (MPa)
35-0	60,61	55,69	66,42
35-10	21,45	13,79	21,45
35-20	13,89	12,02	13,89
35-30	9,49	8,62	10,18
45-0	44,24	41,63	47,06
45-10	21,83	21,83	25,96
45-20	13,78	12,03	14,65
45-30	6,54	6,19	7,35
55-0	32,71	28,04	37,34
55-10	20,19	18,55	24,00
55-20	8,98	8,52	9,30
55-30	3,56	3,22	3,97



Şekil 4.2. Lastik agrega oranı ve s/ç oranına göre basınç dayanımları (MPa)

Çizelge 4.2'ye bakıldığında, atık lastik içeriği arttıkça betonun basınç dayanımının sistematik bir şekilde düştüğü görülmüştür. En yüksek ortalama basınç dayanımı, s/ç oranı 0,35 olan ve içerisinde atık lastik bulundurmayan betonda 60,6 MPa olarak ölçüldü. Şekil 4.2'deki grafikten de anlaşılacağı üzere, s/ç oranının ve atık lastik oranının artmasıyla birlikte, dayanımda ciddi bir düşüş olduğu açıktır. Deney numunelerine bakıldığında, s/ç oranının yüksek olduğu betonlarda su miktarı fazla olduğu için, çimento betondaki bağlayıcı madde görevini tam anlamıyla yerine getirememiş ve bu da dayanımın düşmesine sebep olmuştur. Ancak dayanımın düşük çıkmasının en önemli nedeni, atık lastiğin betonda daha boşluklu ve gözenekli bir yapı meydana getirmesidir.

Emiroğlu ve ark. (2011)'nın, atık lastik agrega ile ürettiği betonlarla yapılan bir çalışmada, beton içerisinde lastik agrega kullanılmasıyla basınç ve yarmada çekme dayanımlarında düşüş olduğu gözlemlenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar ve gözlemler sonucunda; %20 lastik agrega içeren betonun, normal betona göre basınç dayanımının yarı yarıya düştüğü görülmüştür (Emiroğlu ve ark. 2011).

Güneyisi ve ark. (2004), betona %20, 40, 60, 80 ve 100 oranlarında atık lastik agrega ekleyerek yapılan basınç dayanımı deneylerinde, atık lastik ve s/ç oranı arttıkça betonun dayanımının düştüğü sonucunu elde etmiştir. Ancak lastik oranı arttıkça elastisite modülündeki azalma, olumlu bir etki olarak betonun sünekliliğini

arttırmıştır. Lv ve ark. (2015), yaptıkları deneylerde benzer sonuçları elde etmişlerdir.

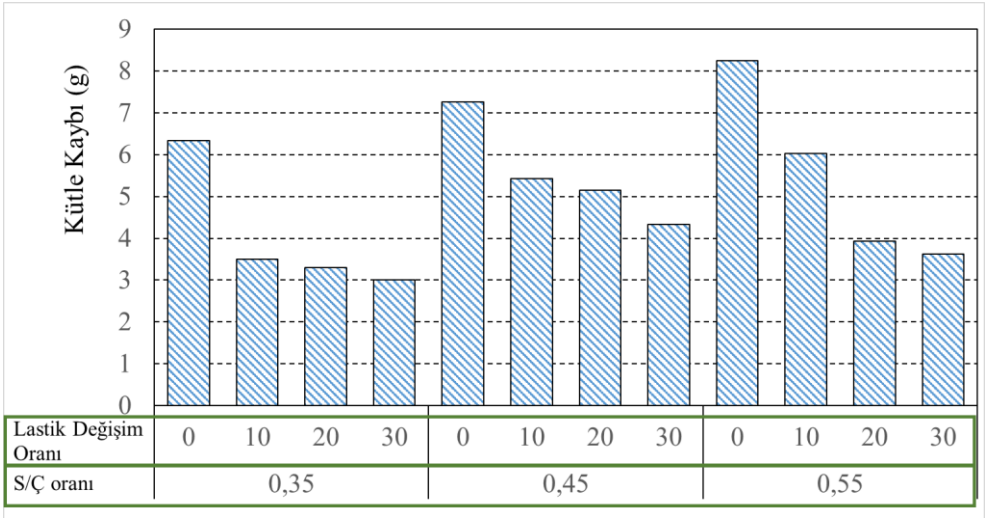
Çizelge 4.3-4.4' te normal beton ve atık lastik agregalı beton numunelerine ait, Böhme aşınma deneyinden elde edilen kütle kaybı (g) ve aşınma derinliği (mm) sonuçları verilmektedir. Şekil 4.3-4.4'te ise, bu sonuçlara ait veriler grafik üzerinde gösterilmektedir.

Çizelge 4.3. Aşınma sonrası kütle kayıpları (g)

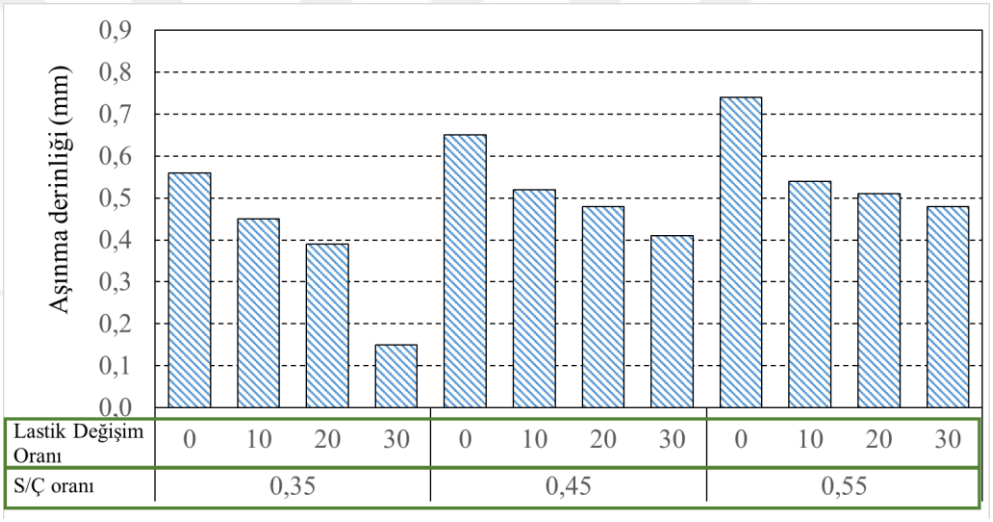
Karışım No.	Kütle Kaybı (g)
35-0	6,33
35-10	3,5
35-20	3,3
35-30	3
45-0	7,27
45-10	5,43
45-20	5,15
45-30	4,33
55-0	8,25
55-10	6,03
55-20	3,93
55-30	3,63

Çizelge 4.4. Aşınma derinliği (mm)

Karışım No.	Aşınma derinliği (mm)
35-0	0,56
35-10	0,45
35-20	0,39
35-30	0,15
45-0	0,65
45-10	0,52
45-20	0,48
45-30	0,41
55-0	0,74
55-10	0,54
55-20	0,51
55-30	0,48



Şekil 4.3. Lastik agrega değişim oranlarına göre numunelerdeki kütle kaybı (g)



Şekil 4.4. Lastik agrega değişim oranlarına göre numunelerdeki aşınma derinliği (mm)

Böhme deneyinden elde edilen sonuçlara göre, atık lastiğin agrega yerine kullanılması, betonda aşınma direnci adına olumlu bir etki bırakmıştır. Çizelge 4.4'te görüldüğü gibi, en çok aşınma derinliği 0,74 mm ile s/ç oranı 0,55 olan normal kontrol betonu iken, en az aşınma derinliği, %30 atık lastik içeren ve s/ç oranı 0,35 olan beton olmuştur. Kütle kaybı olarak da, en çok kütle kaybına uğrayan 0,55 s/ç oranına sahip normal beton olmuştur. Fakat, %30 lastik agrega içeren betonda kütle kaybı neredeyse %70 azalmıştır. Yani atık lastiğin hem yumuşak olmasından ötürü bu deney yöntemiyle aşınması çok az olmuştur ve kapladığı hacim nezdinde düşünülecek olursa da aşındığı zaman agrega ve çimento hamurundan daha hafif

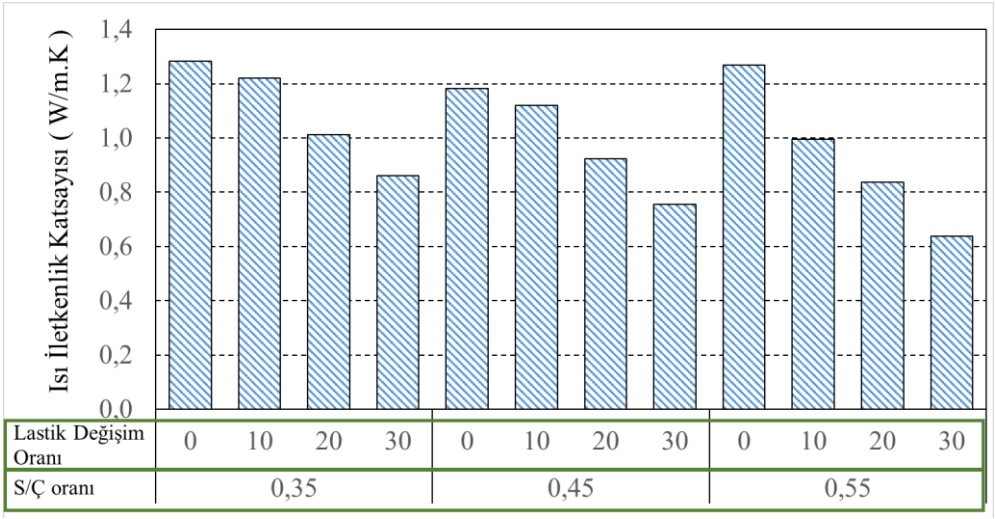
olduğu için daha az malzeme kaybına neden olmuştur. Bu yüzden de betondaki kütle kaybı daha az çıkmıştır. Bundaki en büyük etken, atık lastiğin aşınma yüzeyi ile beton arasında bir katman gibi çalışmasıdır. Ancak su/çimento oranı arttıkça, aşınma direncinin düştüğü görülmüştür. Bunun sebebi s/ç oranı arttıkça, çimento hamurunun kalitesinin düşmesidir (Khoshnaw, 2014). Diğer bir tabirle çimentonun bağlayıcılık özelliğinin bir kısmını kaybetmesidir. Ayrıca kauçuk, normalde çok az miktarda aşınan bir malzeme olduğu için; atık lastik betonda olumlu bir etki bırakmıştır.

Diğer bir olumlu etken ise çimento hamurunun lastik parçaları tarafından bir arada tutulmasıdır. Khoshnaw (2014), yapmış olduğu Böhme aşınma deneyinde %10 ve %20 oranlarında lastik agrega kullanılan betonlarda, aşınma direnci açısından çarpıcı bir sonuç elde ederek sırasıyla %59,3 ve %81,3 oranlarında iyileşme olduğunu tespit etmiştir.

Isıl özellik deneyinde, 70x70x70 mm'lik küp numuneler için bulunan ısı iletkenlik katsayıları (λ) Çizelge 4.5'te verilmektedir. Isı iletkenlik katsayılarının, lastik agrega oranlarına ve s/ç oranlarına göre değişim grafiği ise Şekil 4.5'teki grafikte verilmektedir.

Çizelge 4.5. Isı iletkenlik katsayıları (λ)

Karışım No.	**Isı İletkenlik Katsayısı (W/m.K)**
35-0	1,28
35-10	1,22
35-20	1,01
35-30	0,86
45-0	1,18
45-10	1,12
45-20	0,92
45-30	0,75
55-0	1,27
55-10	1,00
55-20	0,84
55-30	0,64



Şekil 4.5. Lastik agrega ve s/ç oranlarına göre ısı iletkenlik katsayıları

Çizelge 4.5'te görüldüğü gibi, betondaki lastik agrega miktarı arttıkça betonun ısı iletkenlik katsayısında düşüş yaşanmıştır. s/ç oranı 0,55 olan numuneler incelendiğinde; %30 atık lastik agrega içeren betonun ısı iletkenlik katsayısı (λ=0,64), normal betonun ısı iletkenlik katsayısının (λ= 1,27) neredeyse yarısına kadar düştüğü görüldü. Atık lastik agrega miktarı arttıkça, ısı iletkenlik katsayısı düşmüştür. Bu deney sonuçlarına bakılarak, betonun ısı iletkenlik katsayısını düşüren atık lastik agregaların, betonu ısı yalıtım konusunda iyileştirme özelliğine sahip olduğu anlaşıldı.

Argunhan (2017), yapı elemanlarında kullanılan atık lastikler üzerine yaptığı çalışmada, ısıl performans özelliklerini incelemiştir. Yaptığı ısı transfer deneyinde, ısı iletkenlik katsayılarını ölçmüştür. Deney sonuçlarından elde ettiği bulgulara göre, normal agrega kullanılarak üretilen betonun ısı iletkenlik katsayısı 2,075 W/m.K iken, %30 atık lastik agrega içeren betonun ısı iletkenlik katsayısının 1,070 W/m.K olduğunu tespit etmiştir. Bu da, atık lastik agrega oranı ile ısıl iletkenlik katsayısı arasında bir ters orantı olduğunu göstermektedir. Böylece lastik agrega oranındaki artışın, ısı yalıtım özelliğini yüksek oranda arttırdığını görmüştür. Yapılan ısıl performans deneylerinde, üretilen numunelerdeki lastik agrega artışı sonucunda, ısıl iletkenliğin %73,5 azaldığı tespit edilmiştir (Argunhan, 2017).

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu tezdeki deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

1. Atık lastik agrega kullanımı, betonda dayanımı gözle görülür şekilde düşürmüştür. En düşük basınç dayanımı değerleri %20 ve %30 lastik agrega oranlarını içeren betonda görülmüştür. Binalardaki taşıyıcı yapı elemanlarında atık lastik kullanılması önerilmemektedir.

2. UPV deney sonuçlarına göre, atık lastiğin oranı arttıkça betondaki ses geçiş hızı düşmüştür. Yani ses dalgasının beton içerisinde geçiş süresi artmıştır. Böylece atık lastik agreganın, betonun boşluk miktarını arttırdığını ve buna bağlı olarak dayanımını düşürdüğünü söylemek mümkündür. Ancak ısı ve ses yalıtımı açısından değerlendirildiğinde, bu özelliğin iyileştirildiğini söyleyebiliriz.

3. Betonun aşınma direncini ölçmek için yapılan Böhme deneyi sonuçları, betonun aşınma dayanımı yönünden çarpıcı sonuçlar içermektedir. Lastik agrega miktarı arttıkça aşınma direnci yükselmiştir. Özellikle %30 oranında atık lastik içeren betonun aşınma dayanımında iyileşme görülmüştür. Sonuç olarak, s/ç oranı ve atık lastik oranı yüksek olan betonda aşınma miktarının giderek azaldığı tespit edilmiştir. Bu sayede, betonda aşınma yoluyla gerçekleşen hem kütle hem de boy kaybında iyileşmeye katkı sağlandığı gözlemlenmiştir. Ayrıca bu sonuçlardan yola çıkılarak bir optimizasyon çalışması yapılması önerilir.

4. Isıl özellikleri tespit etmek için ısı transferi yoluyla yapılan deneyden alınan sonuçlar incelendiğinde, atık lastik oranı arttığında betonun ısı iletkenlik katsayısının düştüğü tespit edilmiştir. Betonda agrega yerine belirli ikame

oranlarında atık lastik kullanılmasının iletkenliğin azalmasında katkı sağladığı görülmüştür.

5. Atık lastiğin düşük elastisite, yüksek süneklik vs. mekanik özellikleri dikkate alındığında betonun zamana bağlı hacimsel şekil değişimi üzerinde etkili olacağı düşünülmektedir. Bu yüzden atık lastik içeren betonlarda rötre ve sünme davranışının incelenmesi önerilir.

6. Atık lastiğin betonda agrega yerine konularak yapısal olmayan malzemelerde (kaldırım blokları, kilit taşı, hafif briket vs.) kullanımı önerilmekle birlikte; ayrıca saha betonu olarak açık otopark alanları, yürüyüş alanları ve düşük trafik yükleri bulunan tali yollarda kullanılması önerilir. Bu, geri dönüşüm sağlanmakla birlikte yukarıda bahsi geçen bazı teknik faydalar da sağlar.

KAYNAKLAR

ACHILLEOS C, HADJIMITSIS D, NEOCLEOUS K, PILAKOUTAS K, NEOPHYTOU PO. and KALLIS S. (2011). Proportioning of Steel Fibre Reinforced Concrete Mixes For Pavement Construction and Their Impact on Enviroment and Cost. Sustainability 3:965-983.

ALIABDO AA, ELMOATY AEMA and AbdElbaset MM. (2015). Utilization of waste rubber in non-structural applications. Construction and Building Materials, 91:195-207.

APMAS (2015). http://www.apmas2011.org/synthetic-rubber-receive.html

ARGUNHAN Z. (2017). Yapı Elemanlarında Kullanılan Atık Lastiklerin Isıl Performansının İncelenmesi. Batman Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makina Müh. Bölümü. Batman, Türkiye. 8: 621-630.

ASTM C666 (2008). Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing, American society for testing and materials. Annual book of ASTM standards, vol. 04.02, West Conshohocken, PA: ASTM.

BATIR B, 2002. Türkiye İçin Kullanılmış Lastik Yönetimi Araştırması. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

BLUMENTHAL M (1994). Producing ground scrap tire rubber: a comparison between ambient and cryogenic technologies. In: Proc., 17th Biennial Waste Processing Conf. New York: ASME.

Bureau of International Recycling (2015). http://www.bir.org/industry/tyres/?locale=en_US

Cal Recycle (2015). http://www.calrecycle.ca.gov/default.asp

ChemRisk LLC, PITTSBURGH PA (2009). Tyre generic exposure scenario end of life tire guidance. http://www.etrma.org/uploads/Modules/Documentsmanager/chemrisk--09-12-16-end-of-life-tyre.pdf

CHENG Z. and SHI Z. (2014). Vibration attenuation properties of periodic rubber concrete panels, Construction and Building Materials, 50:257-265.

COURTEMANCHE B and LEVENDİS YA. (1998). A laboratory study on the NO, NO_2,SO_2,CO and CO_2 emissions from the combustion of pulverized coal, municipal waste plastics and tires. Fuel 77 (3):183–196.

Domestic Fuel (2015). http://energy.agwired.com/2011/08/24/icm-enters-into partnership-with-eisenmann/

DONDI G, TATARANNI P, PETTINARI M, SANGIORGI C, SIMONE A and VIGNALI V (2014). Crumb Rubber in cold recycled bituminous mixes: Comparison between Traditional Crumb Rubber and Cryogenic Crumb Rubber. Construction and Building Materials 68:370–375.

DPT, 2001, Kauçuk Ürünleri Sanayii Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Ankara, Türkiye.

EMİROĞLU M, 2006. Atık Taşıt Lastiğin Beton İçerisinde Kullanımı ve Betonun Karakteristiklerine Etkisi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

EMİROĞLU M, AYDIN M. ve YILDIZ S. (2011). Lastik Agregalı Betonların Yük Altındaki Gerilme Davranışlarının İncelenmesi. International Advanced Technologies Symposium, Elazığ, Turkey.

ERDOĞAN T, 2003. Beton. ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını. Ankara. 1: 757 s.
European Environment Agency (2015) http://www.eea.europa.eu/themes/waste.

European Tyre & Rubber Manufacturers' Association (2015) http://www.etrma.org/tyres
European Tyre & Rubber Manufacturers' Association (2015) http://www.etrma.org/tyres/ELTs
GESOĞLU M. and GÜNEYİSİ E. (2007). Strength development and chloride penetration in rubberized concretes with and without silica fume. Materials and Structures 40:953–64.
GESOĞLU M, GÜNEYİSİ E, KHOSHNAW G. and İPEK S. (2014). Abrasion and freezing–thawing resistance of pervious concretes containing waste rubbers. Construction and Building Materials 73:19–24.
GIERE´A R, SMITH K. and BLACKFORD M. (2006). Chemical composition of fuels and emissions from a coal + tire combustion experiment in a power station. Fuel 85:2278–2285
GUPTA T, CHAUDHARY S. and SHARMA RK (2014). Assessment of mechanical and durability properties of concrete containing waste rubber tire as fine aggregate. Construction and Building Materials 73:562–574.
GÜNEYİSİ E (2010). Fresh properties of self-compacting rubberized concrete incorporated with fly ash. Materials and Structures 43:1037–1048.
GÜNEYİSİ E, GESOĞLU M. and ÖZTURAN T. (2004). Properties of rubberized concretes containing silica fume. Cement and Concrete Research 34:2309–2317
Harmonic Energy (2015) http://harmonicenergyinc.com/scrap-tires

HOLMES N, BROWNE A. and MONTAGUE C. (2014). Acoustic properties of concrete panels with crumb rubber as a fine aggregate replacement, Construction and Building Materials, 73:195-204.
IŞIKER Y, (2018). Enerji Verimli Alternatif Yapı Malzemelerinin Isıl Performanslarının Belirlenmesine Yönelik Deneysel Yöntem Geliştirilmesi. Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
KALKAN E (2013). Preparation of scrap tire rubber fiber–silica fume mixtures for modification of clayey soils. Applied Clay Science 80–81:117–125.
KARGER-KOCSİS J, MÉSZÁROS L. and BÁRÁNY T. (2013). Ground tyre rubber (GTR) in thermoplastics, thermosets, and rubbers. J Mater Sci 48(1):1–38.
KHOSHNAW G. (2014). Experimentally Investigating Properties Of The Pervious Concrete Containing Waste Rubbers. Gaziantep, Turkey. 126p.
KIZAR S. (2017). Atık Lastiklerin Bina Yapı ve Duvar Elemanlarında Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Isıl Ve Ses Performanslarının İncelenmesi. Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Batman, Türkiye.
LEUNG DYC. and WANG CL. (1998). Kinetic study of scrap tyre pyrolysis and combustion. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 45:153–69.
LV J, ZHOU T, DU Q. and WU H. (2015). Effects of rubber particles on mechanical properties of lightweight aggregate concrete. Construction and Building Materials 91:145–149.

Managing End-of-Life Tires (2008). http://www.bir.org/assets/Documents/industry/ManagingEndOfLifeTyres.pdf

MARTINEZ JD, PUY N, MURILLO R, GARCIA T, NAVARRO MV. And MASTRAL AM. (2013). Waste tyre pyrolysis – A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews 23:179-213.

MASTRAL AM, MURILLO R, CALLE ´N MS, GARCIA T. and SNAPE CE. (2000). Influence of process variables on oils from tire pyrolysis and hydropyrolysis in a swept fixed bed reactor. Energy Fuel 14:739–44.

MASTRAL AM, MURILLO R, CALLE´N MS. and GARCIA T (1999). Application of coal conversion technology to tire processing. Fuel Processing Technology, 60: 231–42.

MOHAMMED BS, HOSSAIN KMA, SWEE JTE, WONG G. and ABDULLAHI M. (2012). Properties of crumb rubber hollow concrete block, Journal of Cleaner Production, 23(1):57-67.

MOUSTAFA A. and ElGawady MA. (2015). Mechanical properties of high strength concrete with scrap tire rubber. Construction and Building Materials 93:249–256.

National Institute of Environmental Health Sciences (2015). https://www.niehs.nih.gov/health/topics/exposure/haz-waste/

NEVILLE AM. (1996). Properties of Concrete, 4th and final ed. Addison Wesley Logman, England.

No Waste Technology GmbH (2015). http://www.no-waste-technology.com/en/tire pyrolysis/

PEHLKEN A. and MULLER DH. (2009). Using information of the separation process of recycling scrap tires for process modeling. Resources, Conservation and Recycling 54:140-148.

Polystrene Recycling (2015). http://www.polystyrene-recycling.org/archives/760

Prabakar J. and Sridhar RS. (2002). Effect of random inclusion of sisal fibre on strength behavior of soil. Construction and Building Materials 16, 123–131.

Pyrolysis Plant (2015). http://www.pyrolysisplant.com/plastic-and-tyre-pyrolysis/

Rubber Manufacturers Association (2015). http://www.rma.org/scrap-tires/scrap tires-the-environment/

SHU X. and HUANG B. (2014). Recycling of waste tire rubber in asphalt and portland cement concrete: An overview. Construction and Building Materials 67:217–224.

SHULMAN VL. (2004). Tyre recycling, Rapra review reports, 15(7).

SIENKIEWICZ M, KUCINSKA-LIPKA J, JANIK H. and BALAS A. (2012). Progress in used tyres management in the European Union: A review. Waste Management 32:1742-1751.

SINGH S, NIMMO W, GIBBS BM. and WILLIAMS PT. (2009). Waste tyre rubber as a secondary fuel for power plants. Fuel 88:2473–2480.

Sullivan Tire (2015). http://www.sullivantire.com/tires/tire-classroom.aspx

The United States Environmental Protection Agency (2015). http://www.epa.gov/epawaste/basicinfo.htm
THOMAS BS. and GUPTA RC. (2015). Long term behaviour of cement concrete containing discarded tire rubber. Journal of Cleaner Production 102:78-87.
Tire Retread and Repair Information Bureau (2015). http://www.retread.org/

Tyre pyrolysis Plant (2015). http://www.tyrepyrolysisplant.com/tyre-recycling solution/
Wikipedia (2015). https://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_black

İnternet Kaynakları

ÇİMSA. Erişim: 1 Eylül 2020. www.emlakansiklopedisi.com

Eroğlu Sac ve Demir San. Tic. Ltd. Şti. Erişim: 1 Eylül 2020. www.eroglugeridonusum.com

İsot Lastik Sanayi ve Tic. Ltd. Şti. Erişim: 1 Eylül 2020. http://isot.com.tr

MLS Makine. Erişim: 1 Eylül 2020. www.mlsmakina.com.tr