

**ATIK ARAÇ LASTİKLERİNİN SICAK ASFALTIN FİZİKSEL VE MEKANİK
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Orhan OCAK

**Danışman
Prof. Dr. Ayhan EROL**

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Mayıs 2023

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ATIK ARAÇ LASTİKLERİNİN SICAK ASFALTIN FİZİKSEL VE
MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

Orhan OCAK

Danışman

Prof. Dr. Ayhan EROL

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Mayıs 2023

TEZ ONAY SAYFASI

Orhan OCAK tarafından hazırlanan “Atık Araç Lastiklerinin Sıcak Asfaltın Fiziksel Ve Mekanik Özelliklerine Etkisi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 09/05/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalürji ve Malzeme Mühendisliği **Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Ayhan EROL

Başkan : Prof. Dr. Ramazan YILMAZ
Sakarya Uyg. Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi

Üye : Prof. Dr. Ayhan EROL
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi

Üye : Doç. Dr. Cahit GÜRER
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
...../...../..... tarih ve
.....sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....

Prof. Dr. İbrahim EROL

Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

09/05/ 2023

Orhan OCAK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ATIK ARAÇ LASTİKLERİNİN SICAK ASFALTIN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Orhan OCAK

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ayhan EROL

Öz

Ülkemizde ve tüm dünya da nüfus artış oranına bağlı olarak tüketim sarfiyatı da hızla artmaktadır. Tüketim oranının artması neticesinde atık malzemelerin geri dönüşümü önem kazanmış ve dünya ülkeleri için çevre korunumu adına en temel sorunlardan biri haline gelmiştir. Bu çalışmada ömrünü tamamlamış araç lastiklerinin doğaya atılmadan geri kazanımı amaçlanmıştır. Atık lastiklerin ısıtma işlemi ve kimyasal madde kullanmadan su jeli ile kauçuk tozu haline getirilip asfalt içine katılarak tekrar kullanılması sağlanmıştır. Kauçuk lastik tozunun agrega ile 160 °C’ de homojen karıştırılarak modifiye asfalt serimi yapılmıştır. Modifiye edilmiş asfaltın, sıcak ve soğuya karşı dayanım testi, ömür testi, çatlak oluşumu gözlenmiş ve sürüş esnasında ses desibeli ölçümü yapılmıştır.

2023, x + 81 sayfa

Anahtar Kelimeler: Atık lastik, asfalt, tekrar kullanım, analiz

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

EFFECT OF WASTE VEHICLE TIRES ON THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF HOT ASPHALT

Orhan OCAK

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Metallurgical And Materials Engineering

Supervisor: Prof. Ayhan EROL

Consumption consumption is increasing rapidly depending on the population growth rate in our country and all over the world. As a result of the increase in the consumption rate, the recycling of waste materials has gained importance and has become one of the most fundamental problems for environmental protection for the countries of the world. In this study, it is aimed to recycle the vehicle tires that have completed their life without being thrown into the nature. It is aimed to reuse waste tires by turning them into rubber powder with water jet without using heat treatment and chemicals and adding them to asphalt. Modified asphalt will be laid by mixing the rubber tire powder with the aggregate homogeneously at 160 °C. The resistance test, life test, crack formation of the modified asphalt against hot and cold will be observed and sound level measurement will be made while driving.

2023, x + 81 pages

Keywords: Waste tire, asphalt, reuse, analysis

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Prof. Dr. Ayhan Erol'a her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve 2004 yılında üniversite ev arkadaşlığı ile başlayan dostluğumuzun bir ömür sürmesini dilediğim arkadaşım Mustafa Yazar'a desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Ayrıca çalıştığım kurum olan Yıldırım Belediyesinin asfalt şantiyesi ve laboratuvarını kullanımına açan ve akademik araştırmalarımın müsaade eden Belediye Başkanımız Sayın Oktay Yılmaz'a, çalışmalarım esnasında beni asiste eden ve tecrübelerini benden esirgemeyen Sayın Serdar Deniz'e teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım esnasında her an bana desteklerini hissettiren ve bu çalışma esnasında moral ve motivasyon kaynağım olan eşim, çocuklarım Onur ve Oğuz'a teşekkür ederim. Bu çalışmanın Onur ve Oğuz'a ilham kaynağı olmasını ve hayatları boyunca iyiyi, doğruyu ve dürüstlüğü ilham edinmelerini temenni ediyorum. Hayat elbette engebelerle dolu ancak bu zorluklar azim ve karlılıkla aşılabacaktır. Unutmayın evlatlarım; İslam'ın yolunda giden ve düsturu iyilik olan hiçbir kul zayi olmamıştır. Selametle.

Orhan OCAK

AFYONKARAHİSAR, 2023

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
RESİMLER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Çalışmanın Önemi	3
1.2 Araştırma Kapsamı	4
1.3 Amaçlar ve Hedefler	4
1.4 Tezin Bölümleri	4
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	6
2.1 Asfalt Üretim Prosesi.....	6
2.1.1 Asfalt Üretimi.....	7
2.1.1.1 Sabit Tip (Batch) Asfalt Plenti	8
2.1.1.2 Drum Mix Asfalt Plenti	9
2.1.1.3 Entegre asfalt plenti	9
2.1.2 Asfalt Üretim Aşamaları ve Plent Ekipmanları	10
2.2 Lastik Üretimi	11
2.2.1 Karıştırma.....	11
2.2.2 Haddeleme.....	12
2.2.3 Çekme	12
2.2.4 Ön Montaj	12
2.2.5 Montaj	12
2.2.6 Şekil Verme ve Vulkanizasyon.....	13
2.3 Lastiğin Genel Özellikleri.....	14
2.4 Lastik Üretiminde Kullanılan Hammaddeler.....	16
2.4.1 Ham Kauçuk.....	16

2.4.2 Sentetik Kauçuk	17
2.4.3 Rejenere Kauçuk	17
2.4.4 Peptizerler	17
2.4.5 Vulkanize Ediciler.....	17
2.4.6 Akseletörler	18
2.4.7 Aktivitörler.....	18
2.4.8 Dolgular	18
2.4.9 Yumuşatıcılar	19
2.4.10 Koruyucular.....	19
2.4.11 Özel Katkılar	19
2.5 Atık Lastiklerin Yönetimi	19
2.5.1 Atık Lastiklerin Yönetim Sıralaması	23
2.5.2 Direkt (Doğrudan) Değerlendirme	26
2.5.3 Meteryal Olarak Değerlendirme	27
2.5.3.1 Kaplama.....	28
2.5.3.2 Parçalama ve Granülleme.....	28
2.5.4 Termik Değerlendirme	29
2.5.5 Depolama ve Stoklama	30
2.6 Otomobil Lastiklerinin Trafik Gürültüsüne Etkisi.....	30
2.7 Atık Lastiklerin Parçalanma Yöntemleri	32
3. MATERYAL VE METOT	35
3.1 Laboratuvar Çalışmasında Kullanılacak Agregası Seçimi	35
3.2 Laboratuvar Çalışmasında Kullanılacak Bitümlü Bağlayıcı Seçimi	36
3.2.1 Bitümlü Bağlayıcının Yumuşama Noktasının Belirlenmesi	36
3.2.2 Bitümlü Bağlayıcının Kıvamının (Penetrasyon) Tayini	38
3.2.3 Bitümlü Maddelerin Isıtma Esnasında Kaybolan Isıl Değerlerin Hesaplanması Deneyi.....	39
3.3 Ömrünü Tamamlamış Otomobil Lastikleri.....	41
3.4 Atık Lastik Tozu İlaveli Asfaltın Gürültü Ölçümü.....	43
3.4 Marshall Stabilite Deneyi	44
4. BULGULAR	50

4.1 Deneyde Kullanılan Bitümlü Bağlayıcının Özellikleri.....	50
4.1.1 Bitümlü Bağlayıcının İçeriğinin Hesaplanması	51
4.1.2 Ömrünü Tamamlamış Lastik Katkılı Numunelerin Marshall Deneyi.....	56
4.1.3 %8 Atık Lastik Tozu İlaveli Asfaltın Ses Ölçüm Tayini	70
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	73
6. KAYNAKLAR.....	76
ÖZGEÇMİŞ.....	81



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

$(C_5H_8)_n$	Plyisoprene
$^{\circ}C$	Santigrat Derece
$BaSO_4$	Baryum Sülfat
dB	Desibel
TiO_2	Titanyum Dioksit
W_1	Numunenin test edilmeden önceki ağırlığı
W_2	Numunenin test sonrası ağırlığı
ZnO	Çinko Oksit
ZnS	Çinko Sülfür

Kısaltmalar

ASTM	Amerikan Test ve Malzeme Kurumu
İSFALT	İstanbul Asfalt Fabrikaları Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi
Kg	Kilogram
KGM	Karayolları Genel Müdürlüğü
Km	Kilometre
kN	Kilo Newton
mm	Milimetre
MQ	Marshall oranı
PETLAS	Petrokimya Lastik Sanayi Anonim Şirketi
SBR	Stiren bütadien kauçuğu
TS	Türk Standartları
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
Vb.	Ve benzeri
VMA	Agregalar arası boşluk

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Sabit tip (Batch) asfalt plenti iş akış şeması	7
Şekil 2.2 Sabit tip (Batch) asfalt plenti	8
Şekil 2.3 Drum mix asfalt plenti	9
Şekil 2.4 Lastik kesit detayı	14
Şekil 2.5 Proliz işlemi sonucunda oluşan ürünler.	22
Şekil 2.6 Proliz tesisi şematik gösterimi	23
Şekil 2.7 Lastik atıkların yönetim şeması	24
Şekil 2.8 Atık lastiklerin değerlendirme şekilleri.....	25
Şekil 2.9 Oda sıcaklığında lastik parçalama tesisi gösterimi	33
Şekil 2.10 Kriyojenik yöntemle lastik parçalama tesisi gösterimi.	34
Şekil 4.1 Marshall stabilitesi – Bitüm grafiği	53
Şekil 4.2 Pratik özgül ağırlık - Bitüm grafiği.....	53
Şekil 4.3 Boşluk oranı - Bitüm grafiği	54
Şekil 4.4 Bitümle dolu boşluk oranı - Bitüm grafiği.....	54
Şekil 4.5 VMA -Bitüm oranı grafiği	55
Şekil 4.6 Akma - Bitüm oranı grafiği.....	55
Şekil 4.7 Atık lastik tozu ilaveli numuneler için boşluk oranı-Atık oranı grafiği.....	59
Şekil 4.8 Atık lastik tozu ilaveli numuneler için pratik özgül ağırlığı-Atık oranı grafiği	60
Şekil 4.9 Atık lastik tozu ilaveli numuneler için bitümle dolu boşluk oranı- Atık oranı grafiği	61
Şekil 4.10 Atık lastik tozu ilaveli numuneler için Marshall stabilitesi – Atık oranı grafiği	62
Şekil 4.11 Atık lastik tozu ilaveli numuneler için akma – Atık oranı grafiği	63
Şekil 4.12 Atık lastik tozu ilaveli numuneler için VMA– Atık oranı grafiği.....	64
Şekil 4.13 Atık lastik tozu ilaveli numuneler için Marshall oranı– Atık oranı grafiği... 65	
Şekil 4.14 %8 Atık lastik tozu ilaveli numune ve kontrol numunesine ait indirekt çekme mukavemet grafiği.....	67
Şekil 4.15 %8 Atık lastik tozu ilaveli numune ve kontrol numunesine ait VMA grafiği	67
Şekil 4.16 %8Atık lastik tozu ilaveli numune ve kontrol numunesinin kopma enerjisi grafiği	68
Şekil 4.17 Atık lastik tozu ilaveli numune ve kontrol numunesine ait yükleme grafiği 69	
Şekil 4.18 %8 Atık lastik tozu ilaveli numune ve kontrol numunesinin tekerlek izi deneyi grafiği.....	70

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Otomobil ve kamyonların lastik bileşiminin karşılaştırılması.	14
Çizelge 2.2 Parçalanmış lastiklerin teknik özellikleri.	15
Çizelge 2.3 Uluslararası Basel anlaşmasına göre lastiğin bileşimindeki kimyasal maddeler	15
Çizelge 2.4 Otomobil Lastiklerinin ısı değeri diğer ısı kaynakları ile karşılaştırılması	16
Çizelge 2.5 Rejenere kauçuğun elde edilme aşamaları	17
Çizelge 2.6 Granül lastiklerin kullanım alanları	28
Çizelge 2.7 Taşıtlardan kaynaklı gürültü seviyeleri	32
Çizelge 2.8 Oda sıcaklığında parçalama ve kriyojenik yöntemlerinin karşılaştırılması	34
Çizelge 3.1 Aşınma Tip-2 gradasyon limitleri	35
Çizelge 3.2 Deneyde kullanılan agreganın özellikleri	36
Çizelge 3.3 Ölçümler arasında ki farklar	38
Çizelge 3.4 Isıtma kaybı deneyi sonucunda elde edilen değerler.....	40
Çizelge 3.5 Isıtma Kaybı Duyarlılık Sınırları.	40
Çizelge 3.6 Deneyde kullanılan atık lastiklerin özellikleri.	42
Çizelge 4.1 Deneylerde kullanılan bağlayıcının özellikleri.	50
Çizelge 4.2 Aşınma tabakası asfalt betonu dizayn kriteri	52
Çizelge 4.3 Marshall deneyinden elde edilen ortalama değerler.....	52
Çizelge 4.4 Katkısız karışım için Marshall deneyinden elde edilen ortalama değerler.	58
Çizelge 4.5 Atık lastik tozu ilaveli numunelerin Marshall deneyinden elde edilen ortalama değerleri.	58
Çizelge 4.6 Gözlemlenen desibel oranlarının karşılaştırılması.	71
Çizelge 4.7 Avrupa Ülkelerinde yapılan uygulamalarda tespit edilen sönümleme değerleri	71
Çizelge 4.8 Amerika Birleşik Devletleri Eyaletlerinde yapılan uygulamalarda tespit edilen sönümleme değerleri	72

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 2.1 Yıldırım Belediyesi agrega ve asfalt üretim tesisi	10
Resim 2.2 Vulkanizasyon İşlemi.	13
Resim 2.3 Düzensiz lastik depolama alanı.....	20
Resim 2.4 Atık Lastiklerin oyun parklarında kullanılması	26
Resim 2.5 Atık lastiklerin dekoratif kullanımı.....	27
Resim 2.6 Yıldırım Belediyesi tarafından serimi yapılan %8 atık lastik tozu ilaveli modifiye asfalt	31
Resim 3.1 Yumuşama deneyi test sonucu.....	37
Resim 3.2 Penetrasyon Cihazı.....	39
Resim 3.3 Isıtma kaybı deneyinde kullanılan etüv	41
Resim 3.4 Atık lastik tozu.....	43
Resim 3.5 Desibel ölçüm cihazı.....	44
Resim 3.6 Marshall Tokmağı.....	45
Resim 3.7 Santrifüj Ekstraktör.....	46
Resim 3.8 Su Banyosu	47
Resim 3.9 Marshall stabilite cihazı	49

1. GİRİŞ

Ülkemizde ve tüm dünyada hızla büyüyen nüfus, birtakım sorunları da beraberinde getirmeye başlamıştır. Nüfus ve tüketim miktarlarının artması çevre sorunlarını da beraberinde getirmiş ve insanlığı bu sorunları çözüm bulmak için arayışa itmiştir. Olası çevre felaketlerinin önlenmesi ve atık malzemelerin ekonomiye yeniden kazandırılma çabaları neticesinde üretim yöntemleri hususunda geri dönüşüm konusu başı çekmeye başlamıştır. Ülkemizde 2019 yılında, 730 ton atık pil, 177 bin 611 ton atık lastik, 484 bin ton plastik, 223 bin 630 ton cam ve 821 bin 117 ton kâğıt ambalaj olmak üzere toplamda 1 milyon 717 bin 88 ton atık geri dönüştürülmüştür (TÜİK 2018). Sürdürülebilir ve yaşanılabilir bir çevre amacı ile atık maddelerin çeşitli sektörlerde kısıtlıda olsa kullanım imkânı vardır.

Asfalt üretiminde de çeşitli atık maddeler kullanılarak tekrar kullanım imkânı sağlamaktadır. Bu atık maddelerin üretime katılması ile hem depolama sorunların önüne geçilmiş hem de katkı olarak kullanılan malzeme asfaltın çeşitli özelliklerinde iyileşmeye neden olmaktadır. Bu çalışmada atık lastiklerin asfaltın fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi araştırılacaktır.

Günümüzde endüstrinin gelişimine paralel olarak bir takım teknolojik gelişmeler, hızlı şehirleşmeyi beraberinde getirmiş ve doğal kaynakların tüketiminin yanı sıra çevresel atıkların miktarını da hızla arttırmıştır. 2018 yılı TÜİK verilerine göre ülkemizdeki atık bertaraf ve geri kazanım tesislerinde işlenen atık miktarı toplamda 556 372 769 ton olmuştur. Yine TÜİK in verilerine göre bu miktarın yaklaşık 400 bin tonunu atık lastikler oluşturmaktadır (TÜİK 2018).

Atık lastiklerin geri kazanımında bazı yöntemler:

- Doğrudan, işlenmeden değerlendirme: Kullanım ömrünü tamamlamış lastiklere herhangi bir kimyasal ve ısı işlem uygulamadan rıhtımlarda, çocuk oyun alanları, peyzaj çalışmaları vb. yerlerde kullanımı.
- Tekrar kaplama: Bu yöntem aşınmış lastiklerin çelik yapılarının sağlam olması şartı ile belirli işleminden geçirilerek tırnaklı lastik parçası ile kaplanması işidir.

- Termik değerlendirme: Çimento ve elektrik üretim tesislerinde yakıt olarak kullanılır.
- Hammadde olarak değerlendirme: Kullanım mr tamamlanmış lastikler çeşitli metotlarla bileşenlerine ayrılarak gaz, karbon siyahı, yağ, elik gibi malzemeler yeniden kullanılır.
- Malzeme, materyal olarak değerlendirme: Lastiğin bileşiminde bulunan elik, kauçuk ve elyaf çeşitli işlemlerden (kesme, parçalama ve öğütme) geçirilerek ve kullanım amacına uygun boyutlandırılarak tekrar kullanımı sağlanır.

Ülkemizde asfalt kullanımı Osmanlı İmparatorluğu'nun son dönemlerinde başlamıştır. Artan nüfus ve sanayi gelişimine oranla karayolları sayısı ile toplam kilometre miktarı hızla artış göstermiştir, öyle ki 1967' de 1 290 km civarında olan asfalt yol uzunluğu Kara Yolları Genel Müdürlüğü'nün verilerine göre 2021 yılında 68 633 km dolaylarındadır. Bu rakama şehir içi yollar ve köy yolları dhil değildir. Günümüzde teknolojik ve ekonomik imknlar çerçevesinde kara yolları gelişimi diğer ulaşım yöntemlerine göre ne çıkmış ve ulaşım sektöründeki payı %95 seviyelerine ulaşmıştır. Buradan da anlaşılacağı üzere atık lastiklerin geri dönüşüm probleminden çok üretim ve tüketim miktarlarının devasa boyutlara ulaşması asıl sorunu teşkil etmektedir. Günümüzde lkeler hem evre sorunlarının önüne geçmek hem de atık lastikleri yeniden ekonomiye kazandırmak için yasa ve teşvikler uygulamaktadır. İtalya ve İngiltere gibi ülkeler çıkardıkları yasalarla atık lastiklerin tekrar kaplanarak kullanımını teşvik etmişlerdir. Ülkemizde ise 25 Kasım 2006'da Resmî Gazete' de yayımlanarak yürürlüğe giren yönetmelikle birlikte Türkiye'de atık lastiklerin geri kazanımı, bertaraf edilmesi için toplama ve taşıma sisteminin kurulması, yönetim planının oluşturulması, ömrünü tamamlamış lastiklerin yönetiminde gerekli düzenlemelerin sağlanmasına yönelik idari ve teknik esaslar belirlenmiştir.

Yoğun nüfus ve sanayileşmeye bağlı olarak, asfalt kaplama yolların kullanım ömrü de azalmaktadır. Gelişen endüstri ile trafikteki ağır taşıt sayısı ve taşıdıkları yüklerin artışı asfalt yol st yapı sorunları da beraberinde arttırmaktadır. Yüksek ve düşük sıcaklıklarda bitümlü sıcak asfalt kaplamalarında meydana gelen, zlme, kuma, tekerlek izinden kaynaklı oluklaşma, oturma gibi yol kusurları sürüş konforunu ve sürüş güvenliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu çerçevede sıcak asfalt uygulamalarında kaplama

üzerindeki trafik yükü, malzeme bileşiminin birbiri ile etkileşimi ve yerel çevre şartları çok iyi bilinmelidir. Bu etkenler kullanılan asfaltın kullanım ömrünü etkileyen önemli faktörlerdir.

Bu çalışmanın amacı; sıcak asfalt uygulamalarında katkı maddesi olarak atık lastik kullanılarak motife edilmiş asfaltın fiziksel ve mekanik özelliklerine etkilerini test etmektir.

1.1 Çalışmanın Önemi

Ömrünü tamamlamış atık lastiklerin geri kazanımı ve yeniden kullanımı ile ilgili daha önce birçok bilimsel çalışma yapılmış ve katkı malzemesi olarak kullanılması durumunda katıldığı malzemeye fiziksel ve mekanik açıdan ne gibi katkı sağladığı araştırılmıştır. İçeriğinde bulunan kimyasal bileşenler nedeni ile bertaraf edilmesi zor ve maliyetli olan atık lastiklerin çevresel etkileri, ekonomik kazanımları, iyileştirici özellikleri açısından önemli bir çalışma alanıdır. Uzun yıllardır yapılan çalışmalara rağmen asfalta atık lastik katılarak modifiye edilmesi ne yazık ki yeterince yaygınlaşmamıştır. Bu çalışma ile Bursa Yıldırım Belediyesi tarafından işletilen asfalt üretim tesisinde üretilen asfalta atık lastikten elde edilen kauçuk tozu katarak etkilerini gözlemlenmiş ve serilen her asfaltın katkılı modifiyeli olmasını sağlamaya çalışılmıştır. Bu doğrultuda çalışmanın temel amacı;

- Ömrünü tamamlamış atık lastiklerin asfalta katkı maddesi olarak kullanılmasını sağlayarak ülke ekonomisine katkı sağlamak,
- Ömrünü tamamlamış lastiklerin bertaraf edilmesini sağlayarak çevre kirliliğinin önüne geçmek,
- Asfalttan kaynaklı trafik nedenli gürültüyü en aza indirmek ve bunun için çözüm yolları aramaktır.

Bu çalışma kapsamında; atık lastiklerden elde edilen kauçuk tozunun asfaltın fiziksel, kimyasal ve ses sönümleme etkileri incelenmiş, hazırlanan numunelere farklı oranlarda atık lastik tozu katılarak asfaltın mukavemet değerlerine etkisi araştırılarak, akma miktarı,

bitümle dolu boşluk oranı, indirekt çekme miktarı, lastik izi testleri ve desibel ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

1.2 Araştırma Kapsamı

Bu araştırmada asfaltın özelliklerinin iyileştirilmesi için ömrünü tamamlamış atık lastiklerden elde edilmiş atık lastik tozu belirli oranlarda ilave edilerek asfalt üretilmiştir. Gerçekleştirilen çalışmada Marshall stabilite deneysel tasarımı kullanılmış ve Marshall stabilitesi, pratik özgül ağırlığı, akma mukavemeti, Marshall oranı, kopma enerjisi oranları dört farklı katkı miktarı seviyesinde çalışılarak asfaltın özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda Karayolları Genel Müdürlüğü' nün asfaltla ilgili standartları referans alınmıştır. Bu çerçevede klasik asfaltı temsilen bir kontrol numunesi ve dört farklı oranda kauçuk tozu katkılı numuneler hazırlanmış ve karşılaştırmalı testlere tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar grafiksel olarak çizilmiş ve yorumlanmıştır.

1.3 Amaçlar ve Hedefler

Bu çalışmada amaç ömrünü tamamlamış lastiklerin asfalta katkı maddesi olarak kullanılarak, asfaltın fiziksel da (sünekliği, homojenliği), mekanik (akma dayanımı, stabilitesi, boşluk oranı, özgül ağırlığı, agrega özellikleri) ve ses sönümleme (daha sessiz, sürüş konforu yüksek) özelliklerini geliştirmektir. Ayrıca ömrünü tamamlamış lastikleri bertaraf ederek hem çevre kirliliğinin önüne geçmek hem de ekonomiye yeniden kazandırmaktır. Bu doğrultuda asfaltın özelliklerini maksimum derecede arttıracak kauçuk tozu miktarını hesaplayarak asfaltın fiziksel ve mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi hedeflenmiştir.

1.4 Tezin Bölümleri

Bu tez çalışması 6 bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölüm; giriş bölümüdür. Çalışmanın önemi, amaç ve hedefleri, araştırma kapsamı ve organizasyon planından oluşmaktadır.

İkinci Bölüm; literatür bilgilerinden oluşmaktadır. Asfalt ve lastik üretimi detaylıca anlatılmıştır. Atık lastiğin parçalanma yöntemlerine değinilmiştir ve kullanım alanlarına yönelik detaylı bilgi verilmiştir. Neden ömrünü tamamlamış atık lastiklerin asfalta katkı maddesi olarak kullanıldığından bahsedilmiştir.

Üçüncü bölüm; çalışma esnasında kullanılan numunelere uygulanan deneylere ve uygulama metotlarına yer verilmiştir. Deneylerin uygulama aşamaları detaylıca anlatılmıştır.

Dördüncü bölüm; Çalışmaya agrega boyutuna karar verilerek başlanmıştır. Karayolları Teknik Şartnamesindeki dizayn kriterlerine uyulmuştur. Daha sonra deneylerde kullanılacak sıcak asfalt karışımı için optimum bitüm miktarı hesaplanmıştır. Bu hesaplamada %3,5-6,5 arası oranlarla her orandan üç numune hazırlanmak üzere toplam 21 numune oluşturulmuştur ve Marshall deneyine tabi tutulmuştur. Deneyler sonucunda bağlayıcı bitüm oranı %5,1 olarak hesaplanmıştır. Daha sonra kıyaslamak için bir kontrol numunesi hazırlanmıştır. Sonra %2-8 aralığında atık lastik tozu ilave edilmiş numunelerden her birinden üçer tane hazırlanmış ve Marshall deneyine tabi tutulmuştur. Deney sonucunda elde edilen verilen grafiklere işlenmiş ve en iyi performans gösteren atık lastik tozu ilaveli numunenin %8 atık lastik ilaveli numune olduğuna karar verilmiştir. Burada karar alırken asfaltın özelliklerine negatif yönde etki etmeyecek şekilde en fazla atık lastik tozu içeren numune olması etkili olmuştur. Daha sonra Yıldırım Belediyesi tarafından atık lastik tozu ilaveli sıcak asfalt serimi yapılmış, araç içi ve araç dışından desibel ölçümü yapılmıştır.

Beşinci bölüm; tartışma ve sonuç kısmıdır. Elde edilen sonuçlar benzer çalışmalar ile kıyaslanmış ve tartışılarak önerilerde bulunulmuştur.

Altıncı bölüm; bu bölümde taranan ve yararlanılan kaynaklar belirtilmiştir.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Asfalt Üretim Prosesi

Asfalt; ham petrolün rafineride damıtılması veya doğal çökmesi ile elde edilen siyah ile koyu kahverengi arası değişen renge sahip, hidrokarbon bileşimli katı/yarı katı, katı/sıvı halde bulunabilen bir maddedir. Kullanım amacına göre bitümler, belli bir sıcaklıkta viskozitesi, sertliği veya kırılabilirliği ile ilişkili olarak farklı türlerde üretilirler. Bazen asfaltın kullanılacak ortam koşullarında maksimum verim vermesi için bitümler polimerlerle modifiye edilir (Anonim 2020).

Kaplama, izolasyon ve üstyapı malzemesi olarak kullanılan asfalt; agregalar (kaba ve mineral filler) ile yapışkan özelliğe sahip bitümlü bağlayıcı karışımıdır. Bağlayıcı içeriği tipik olarak karışıma ve uygulamaya göre %3 ile %7 oranında değişmektedir. Asfalt yapımında kullanılan agregalar, karışımdan istenen özelliğe bağlı olarak fiziksel özelliklerine ve boyutlarına göre sınıflandırılan sert malzemelerdir. Bu malzemeler çakıl, kum, kırma taş gibi doğal malzemelerden veya yüksek fırın cürufu gibi yapay malzemelerden elde edilebilir. Sıklıkla üretilen asfalt yol türleri; sıcak karışım asfalt, (bitümlü sıcak karışım), soğuk asfalt (bitümlü harç kaplama) ve sathi kaplama olarak üç sınıfta incelenebilir (Anonim 2020).

Sıcak karışım asfalt: sıcak asfalt üretiminde yaklaşık 145-160 °C sıcaklığa ısıtılmış ve kurutulmuş agregalar ile aynı sıcaklık seviyelerine kadar ısıtılarak viskoz sıvı haline getirilmiş bitüm, karışım oranlarına uygun olarak asfalt plantinde karıştırılır. Karışımda kullanılan agregalar ve bitüm oranları kaplanmak istenen yerin çevresel etkileri ve kullanım amacına göre değişiklik göstermektedir. Sıcak karışım asfalt, asfalt yol olarak kullanılan en uygun üretim türüdür.

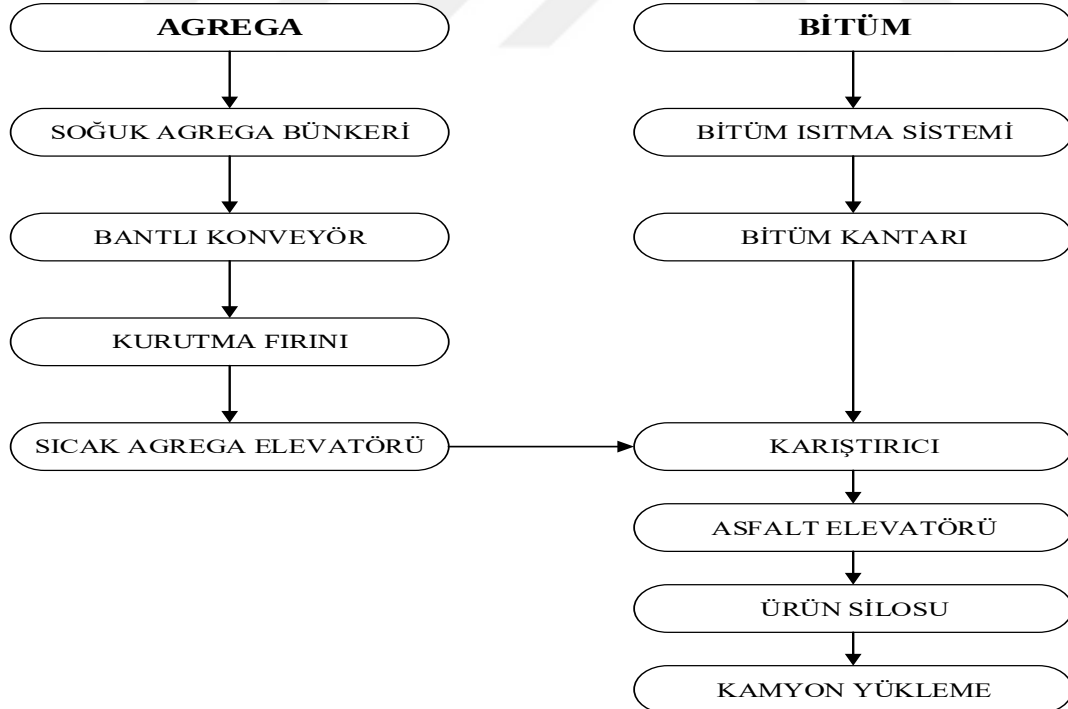
Soğuk asfalt (bitümlü harç kaplama): bu yöntem, tek tip ince agregalar, mineral filler asfalt emülsiyonu ve su ile karıştırılan harç şeklinde bir karışımdır. Daha önce kaplanan asfalt yüzeyinin koruyucu ve düzeltici bakım işlemlerinde kullanılmaktadır. Maliyeti diğer kaplama yöntemleri ve sıcak asfalt uygulamasına göre oldukça düşüktür. Bunun yanı sıra

yol tutuşu, dayanıklılık ve aşınma ömrü gibi etmenlerde diğer yöntemlere göre daha avantajlıdır.

Sathi kaplama: bu yöntem bağlayıcının ve agreganın peş peşe serildiği yöntemdir. Var olan kaplamanın üzerine veya granüler temel üzerine uygulanabilir. Bir veya birkaç kaç uygulama üst üste yapılabilir. Asfalt emülsiyonlarının uygulanacak yüzeye sıvanması ve üzerine agrega serimi yapılması esasına dayanmaktadır. İlk yatırım maliyeti düşük olmasına rağmen iklim koşullarından çabuk etkilenip bakım maliyetlerini arttırmaktadır.

2.1.1 Asfalt Üretimi

Sıcak asfalt üretim tesisleri, doğrudan agrega üretim tesislerine entegre bir biçimde kurulabileceği gibi dışarıdan besleme agrega temini ile de farklı metot ve farklı ekipmanlarla da üretim yapılabilir. Kaplama yapılacak zemine yakın bir işletme kurulması hem zaman hem de maliyet açısından büyük avantajlar sağlayacaktır. Şekil 2.1’de asfalt üretim tesislerinde genellikle uygulanan işlem basamakları gösterilmiştir.

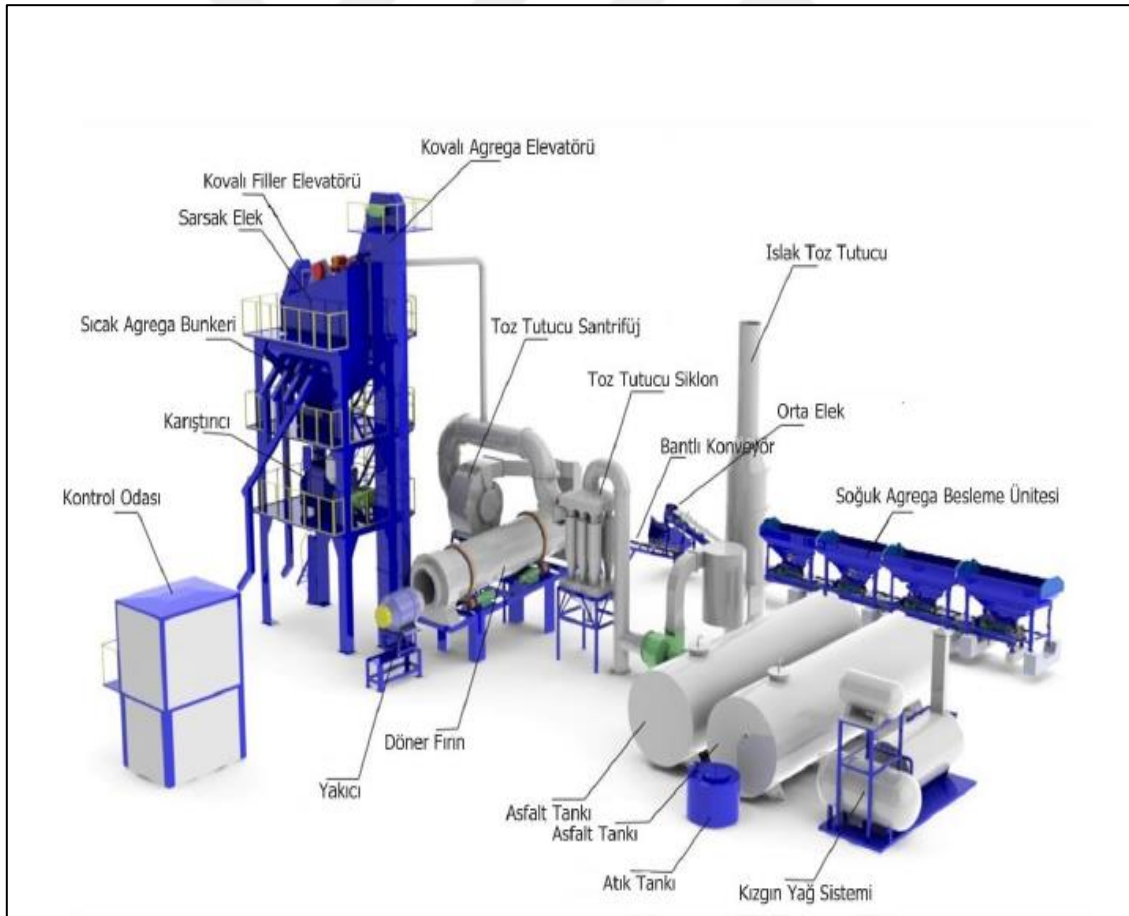


Şekil 2.1 Sabit tip (Batch) asfalt plenti iş akış şeması.

Asfalt üretim tesisleri çalışma ilkeleri açısından Sabit tip (Batch) plantler ve Drum mix plantler olmak üzere iki farklı tipte kurulabilir. Bu plantlerin ikisi de sabit ve mobil olarak üretilmektedir.

2.1.1.1 Sabit Tip (Batch) Asfalt Plenti

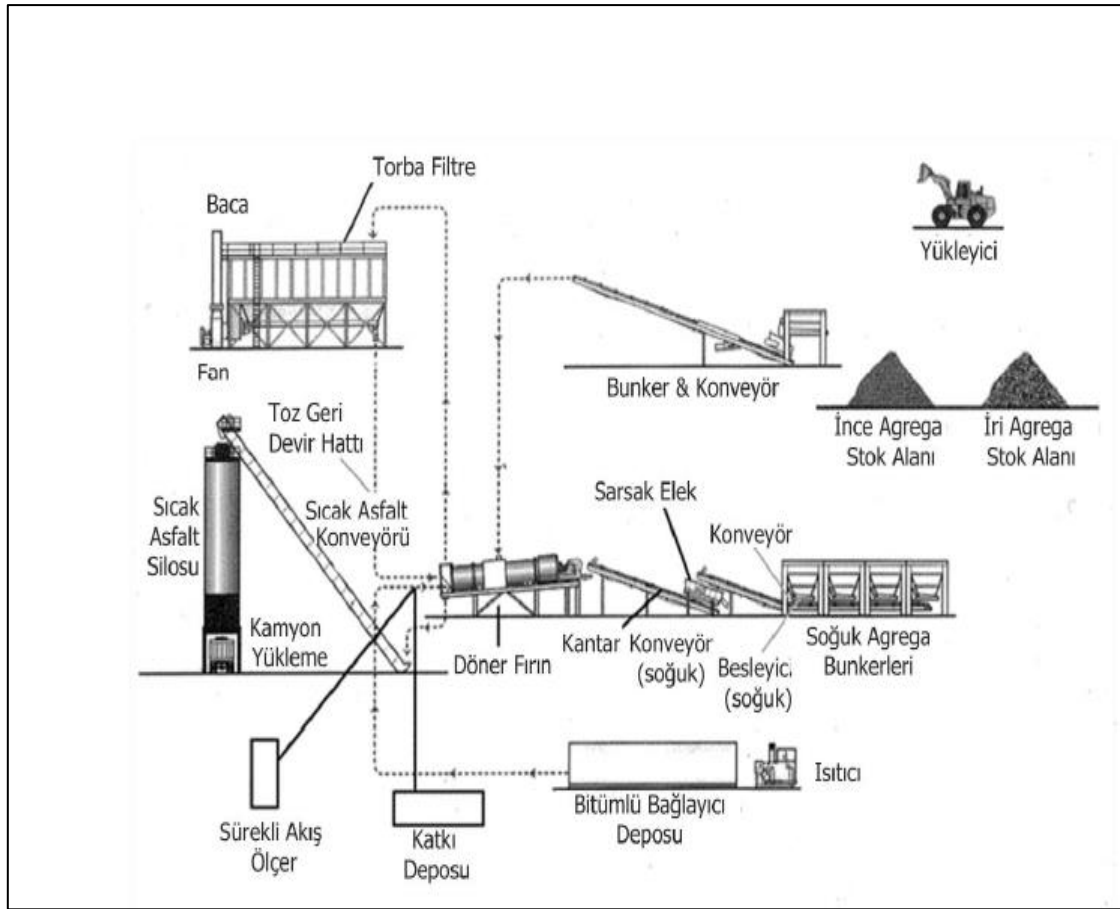
Bu tip asfalt üretim plantleri yüksek kapasite ve yüksek esneklikte üretim yapabilme kabiliyetine sahip olduğundan günümüzde dünya genelinde en sık kullanılan plant tipidir. Bu sistemin bir avantajı da maksimum kalite standartlarından taviz vermeden üretim özellikleri istenilen yönde kolayca değiştirilebilmektedir. Diğer asfalt üretim yöntemi olan Drum mix plantre göre üretim miktarı daha azdır. Şekil 2.2’ de Sabit tip (batch) asfalt plantine ait şekil gösterilmiştir. Resim 2.1’de Yıldırım Belediyesine ait batch tip asfalt plantinin fotoğrafı gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Sabit tip (Batch) asfalt plenti (Anonim 2020).

2.1.1.2 Drum Mix Asfalt Plenti

Bu sistemin sabit tip (batch) sisteminden farkı kısaca karışma mikseri bulunmamasıdır. Döner sistemden agrega geçerken kurutucunun bitimine doğru bitüm ve diğer katkı maddeleri ilave edilir. Bu durum batch plant sistemine göre bekleme süresini ortadan kaldırır ve üretim kapasitesini yükseltir. Üzerinde elek sistemi bulunmadığından elek sistemlerinin hassas olması gerekmektedir. Aşağıda Şekil 2.3'te drum mix asfalt sistemi şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.3 Drum mix asfalt plenti (Anonim 2020).

2.1.1.3 Entegre asfalt plenti

Kırma-eleme sistemleri ile entegre kompakt plantler üretilmektedir. Klasik sistemlerde kırılmış ve sınıflandırılmış agregalar kullanılırken kompakt tesislerde agrega kırma-eleme işlemi, asfalt plenti üzerinde yapılmaktadır. Bu tesislerde; farklı boyutlardaki

agrega üretimi, üretim alanında bulunan bitüm sistemleri ve yükleme sistemleri tek noktadan kontrol edilerek ihtiyaç kadar asfalt üretimi yapılabilir. 25-110 mm ve 110-200 mm agregayı kırıp, eleyebilen, sınıflandırabilen makinalar ve bitüm sistemleri ile entegre edilmiş asfalt plantleri farklı kompozisyonlarda asfaltı zaman geçirmeksizin üretebilmektedir (Anonim 2020).

Bazı agrega üretim tesislerinde taş ocağı da bulunur. Bu durum yapılan işlemi daha ekonomik, kaliteli ve tüm hava şartlarında üretim yapılabilme kapasitesini geliştirir. Hatta bu sistemlere kum taş ocağının yanında beton santralleri de eklenebilmektedir.



Resim 2.1 Yıldırım Belediyesi agrega ve asfalt üretim tesisi.

2.1.2 Asfalt Üretim Aşamaları ve Plant Ekipmanları

Asfalt Plant tesisleri; besleme siloları, taşıma bantları, kurutucu, otomatik kantar, karıştırıcı ve yükleyici ünitelerinden oluşmaktadır. Soğuk agrega besleme ünitesi: Asfalt üretiminde kullanılacak agrega malzemesinin tesise gelip depolandığı silolar, bunkerlerdir (Anonim 2020).

Taşıma bantları (konveyörler): Silolarda veya bunkerlerde depolanan agrega malzemesinin kurutucuya taşınmasını sağlayan sistemdir. Kurutucu: Besleme bandından

gelen malzemenin kurutularak işlenmeye hazırlandığı döner fırındır. Döner fırının bir tarafında malzeme girerken diğer tarafında da (çıkış ağzı) yakıcı (brülör) bulunur. Sıvı veya gaz yakıtların kullanıldığı brülörlerin yanma gazları, döner fırın içindeki agreganın istenilen sıcaklığa kadar ısıtılıp kurutulmasını sağlar (ÇŞB 2020). Elek ve sıcak agrega bunkerleri: Kurutucudan taşınan sıcak agrega eleklerde istenilen irilik sınıflarına ayrılarak sıcak agrega bunkerinde depolanır. Elek üstü malzeme ise tekrar kırıcıya gönderilir. Sıcak agrega bunkerlerinde depolanan malzemeler, üretim reçetesine göre otomatik tartım sistemi ile istenilen miktarda karıştırıcıya alınır. Karıştırıcı: Karıştırıcı, sıcak agrega bunkerlerinden gelen agregalar ile sıcak bitüm malzemesinin karıştırıldığı ünitedir. Agregalar ile bağlayıcıların tam olarak birleşmesini sağlayan karıştırıcıdan çıkan sıcak karışım doğrudan kamyonlara veya sıcak ürün silolarına aktarılır. Toz kontrol sistemi: Asfalt üretim tesislerinde: kırma, eleme, taşıma, kurutma, karıştırma ve yükleme işlemleri sırasında yüksek miktarda toz oluşacağı için bütün asfalt üretim tesislerinde toz kontrol sistemi bulunmaktadır. Genellikle kuru tip, değiştirilebilir torbalı filtre sistemi kullanılır. Bitüm sistemi: Depolama tankları ve ısıtma sisteminden oluşur. Rafineriden ısı yalıtımlı araçlarla sıcak bir şekilde tesise getirilen malzemeler bitüm tanklarında depolanır. Malzemenin soğuyarak donmasını önlemek için tanklarda ısıtma sistemi bulunur. Genellikle, sıvı veya gaz yakıtlı kızgın yağ kazanları kullanılır (Anonim 2020).

2.2 Lastik Üretimi

Lastik, birçok malzemenin karmaşık kombinasyonu ile elde edilen bir malzemedir. Lastik üretimi zamana da bağlı olarak fiziksel, kimyasal ve termal aşamalardan meydana gelmektedir. Bu aşamalar şu şekildedir;

2.2.1 Karıştırma

Lastik hamur karışımı hazırlanırken, çeşitli miktarlarda sentetik ve doğal kauçuk, kükürt, karbon siyahı ve diğer kimyasallar karıştırılır. Lastiğin fiziksel yapısındaki sırt, gövde, yanak ve iç lastiği oluşturan hammaddelerin her yapıda aynı özelliği gösterebilmesi için karıştırma işleminin önemi büyüktür. Lastik kısımlarından beklenen özelliklerin (yumuşaklık, dispersiyon, viskozite) tüm yapıya homojen dağılması gerekir ki bu da iyi bir karıştırma işlemi ile mümkündür.

2.2.2 Haddeleme

Haddeleme;

- Gövdeyi oluşturan bileşenlerin karışımının levha haline getirilmesi,
- Kord bezinin hazırlanan gövde karışımı ile kaplanması,
- Son olarak malzemenin ezilmesi,

Olmak üzere üç işlemten meydana gelir. Haddeleme esnasında merdane sıcaklıkları önemlidir. Haddelenecek malzemenin soğuk olması pürüzlü bir yapının oluşumuna sebep olacağından haddelenen malzemenin merdane üzerinde ısıtılmış olması gerekmektedir.

2.2.3 Çekme

Çekme işlemi, çekilecek malzemenin profilini oluşturacak kalıbın budinöze (iplik çekme makinesi) bağlanarak yapılır. İki tür malzemenin iki şekilde çekilmesi söz konusudur. Bu yapılar lastik veya damar teli olabilirken, sıcak veya soğuk olarak budinöze verilebilir.

2.2.4 Ön Montaj

Bu aşamada lastiğe nihai şekil verme işlemi başlar. Damak çemberi makinesinde kaplanmış damak teli sarılarak istenen ebatta lastik elde edilir. Elde edilen çember üzeri lastik üretimi için özel üretilmiş bez ile kaplanır. Haddeleme işlemi ile elde edilen gövde ve çekme sonucu elde edilen yanak ile sırt malzemesi istenilen ebatlarda kesilerek montaj işlemine hazır hale getirilir.

2.2.5 Montaj

Lastiğe nihai şekil verme işlemlerinden biri de montajlama işlemidir. Bu aşamada lastik bir tambur üzerine montajlanır. Gövde katı yuvarlanarak tambur üzerine yerleştirilir. Uçlar birbirlerine 90° açıyla karşılayacak şekilde üst üste yapıştırılır. Damak teli çemberinin son kat sargı bezi uçları da gövde üzerine yapıştırılır. Gövde üzerine takviye dillecek katların çekme işlemine mukavemetli yerleri birbirlerinin üzerine çapraz gelecek şekilde lastik sırtının yol ile temas eden yüzeyin altında olacak şekilde yerleştirilir.

İstenilen şekil verildikten sonra yapışmış haldeki sırt ve yanak lastiklerinin uçları birleştirilir ve bir bant haline gelir. Bant haline getirilen bu yapı gövde üzerine yapıştırılır. Bu işlemler neticesinde ham lastik meydana gelir. Radyal lastik üretiminde bu işlemlerden farklı olarak iki makine kullanılır. Damak telleri ve bezler birinci makinede yerleştirilirken, sırt ve kuşak ikinci makinede yerleştirilir. Bu aşamada lastik tamburdan çıkarılırken oval şekil alır.

2.2.6 Şekil Verme ve Vulkanizasyon

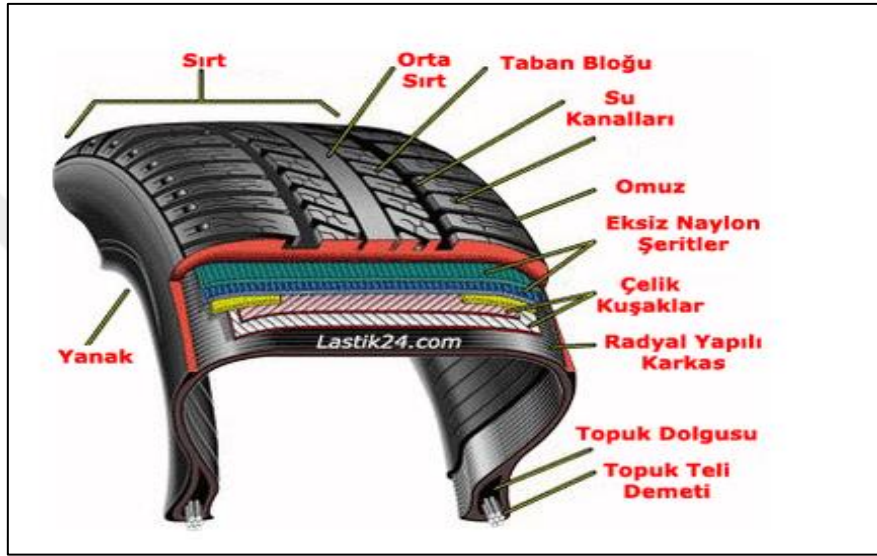
Kauçuğun kimyasal yapışımı değişikliğe uğratmak ve elastikiyet kazandırmak için çapraz bağlanma reaksiyonuna tabi tutulması işlemidir. Doğal kauçuk belli derecede elastikiyete sahipken bu işlem sayesinde istenilen derecede elastiklik kazanmış olur. Vulkanizasyon işlemi sonucu kauçuğun yapışkanlığı kaybolur, mekanik özellikleri gelişir, yüksek çalışma sıcaklıklarında dahi elastikliğini korur ve sertliği artmış olur (İnt. Kay. 1). Tamburdan çıkarılan lastik ham formundadır. Kullanım amacına uygun derecede dayanım ve esnekliğe sahip değildir. Lastiğe istenilen derecede esneklik ve dayanımı vermek için pişirilme işlemi yapılması gerekir. Bu amaçla lastiğin iç kısmı özel bir bezle kaplanırken, dış kısmı da istenilen şekli verebilecek kalıba yerleştirilerek 30-40 dakika pişirme işlemi uygulanır. Bu işlemden sonra lastik kalıptan çıkarılarak soğumaya bırakılır ve böylelikle şekil verme işlemi sona erer. Resim 2.2’ de vulkanizasyon tesisinden çekilmiş fotoğraf gösterilmiştir.



Resim 2.2 Vulkanizasyon İşlemi (İnt. Kyn. 1).

2.3 Lastiğin Genel Özellikleri

Günümüzde doğal kauçuk endüstrinin en önemli üretim materyallerinden biridir. Otomotiv, tekstil, havacılık, döşeme sektöründe ve günlük hayatta birçok alanda kullanılan doğal kauçuk, bitki ve ağaçlardan elde edilmektedir. Kauçuk malzemenin en yaygın kullanımı araç lastiklerinde gerçekleşmektedir. Bir otomobil lastiğinin kesit detayı Şekil 2.4’de verilmiştir.



Şekil 2.4 Lastik kesit detayı (İnt. Kyn. 2)

Otomobil-yük kamyonlarının içeriğindeki bileşimlerin karşılaştırılması Çizelge 2.1 de ve parçalanmış lastiklerin teknik özellikleri Çizelge 2.2 de verilmiştir.

Çizelge 2.1 Otomobil ve kamyonların lastik bileşiminin karşılaştırılması (Technical Guidelines 1999).

Malzeme	Otomobil Lastiği, %	Kamyon/Otobüs Lastiği, %
Kauçuk/Elastomer	47	45
Karbon Siyahı/Silika	21.5	22
Metal	16.5	25
Tekstil	5.5	-
Çinko Oksit	1	2
Kükürt	1	1
Katkı Malzemeleri	7.5	5

Çizelge 2,1’den de okunacağı gibi otomobil lastiklerinin kauçuk oranı kamyon ve otobüs gibi ağır vasıtaların lastiklerinin kauçuk oranından fazladır. Bunun sebebi otomobillerde yol sesi, darbe absorbe etme gibi konfor faktörlü beklentilerin daha fazla olmasındandır. Bunun yanı sıra metal oranı kriteri açısından değerlendirilecek olursa otobüs ve kamyon lastiklerinin metal oranları ağır çalışma koşullarından dolayı daha fazladır. Bu durum ağır vasıta lastiklerinin parçalanması işlemini zorlaştırdığından parçalama işlemi yapılırken otomobil lastiklerinin kullanılması daha önceliklidir. Çizelge 2.2’de parçalanmış lastiklerin teknik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2.2 Parçalanmış lastiklerin teknik özellikleri (Edeskar 2004).

Teknik Özellikler	Değer
Sıkıştırılmış Yoğunluk	1.16 t/m ³
Yığın Yoğunluğu	450-990 t/m ³
Porozite	%50
Permeabilite	5 cm/s
Elastik Modül	1 Mpa
Poisson Oranı	0.3
Termal İletkenlik	0.15-0.30 W/mK

Araç lastikleri yapıları itibarıyla karmaşık bir kimyasal bileşime sahiptirler. Bu nedenden dolayı çevre problemlerine neden olmaktadır. Bu durum dünya ülkelerinin gündemini bir hayli meşgul etmiş olup, çözümü için arayış içinde olmuşlardır. Uluslararası Basel Anlaşmasının lastik bileşiminde çevreye zarar verebilecek ve çevre için tehlike arz edebilecek kimyasallar Çizelge 2.3’te verilmiştir.

Çizelge 2.3 Uluslararası Basel anlaşmasına göre lastiğin bileşimindeki kimyasal maddeler (Technical Guidelines 1999).

Malzeme	Notlar	Miktar (Ağırlıkça %)
Bakır Bileşenleri	Çelik takviye malzemeleri	~0,02
Çinko Bileşikleri	Çinko oksit	~1
Kadmiyum	Çinko oksitte safsızlık olarak	0,001 maks.
Kurşun ve Bileşikleri	Çinko oksitte safsızlık olarak	0,005
Katı asit ve asidik çözelti	Stearik asit (katı formda)	~0,3
Organik halojen bileşikleri	Halobütül kauçuklar	0,1 maks.

Araç lastiklerinin bertaraf edilmesi ısı değeri yüksek olmasından dolayı hayli güçtür. Lastik içerisindeki organokimyasal bileşenler ısı değeri yüksek olmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle araç lastikleri açık havada, ısınma amaçlı ve kireç ocaklarında yakılmaktadır. Bu durum yüksek hava kirliliği oranına neden olmaktadır. 1 ton lastik kömürden daha fazla, doğal gazdan daha düşük ısı değeri sahiptir. Çizelge 2.4 'te diğer yakıt türleri ile otomobil lastiklerinin ısı değerleri karşılaştırılmıştır.

Çizelge 2.4 Otomobil Lastiklerinin ısı değeri diğer ısı kaynakları ile karşılaştırılması (Technical Guidelines 1999).

Yakıt	Isı İçeriği (MJ/kg)
Doğal Gaz	46
Araç Lastiği	32
Kok Kömürü	24
Taş Kömürü	29
Islak Odun	10

2.4 Lastik Üretiminde Kullanılan Hammaddeler

Lastik üretiminden hammadde olarak çok çeşitli malzemeler kullanılmaktadır. Bunlar lastiğin yol tutuşu, darbe sönümlemesi, mukavemetini doğrudan etkileyen malzemelerdir. Elastomerler kauçuk sınıfını ifade ederken, vulkanize ediciler kükürt ve kükürtlü maddeler karışımı ile olur. Karbon, karbon siyahı ve ekstenderler dolgu malzemeleri olarak kullanılırlar (White vd. 2001).

2.4.1 Ham Kauçuk

Ham kauçuk (C_5H_8)_n kauçuk bitkisinden elde edilen özel bir sıvıdır. Birçok bitkiden elde edilebilir olmasına rağmen endüstri için en kaliteli ve kullanılabilir olan kauçuk bitkisi (Hevea Brasiliensis) Güney Amerika da yetişmektedir. Bu ağaçtan elde edilen kauçuk sütü özel kaplarda özelliğini yitirmeden saklanabilmek için içerisine formaldehit, sodyum ve amonyak katılarak işlem görür (Kraiburg1992). Ham kauçuk iplikler, hijyenik malzemeler, oyuncaklar, ayakkabılar, conta ve rondelalar, yol kaplamaları, kâğıt, mensucat sanayi gibi birçok ürünün elde edilmesinde kullanılır.

2.4.2 Sentetik Kauçuk

Dünya kauçuk üretiminin yaklaşık üçte ikisi sentetik kauçuktur. Sentetik kauçuk, petrol ve türevlerinden elde edilir. Günümüzde sentetik kauçuğun üretiminde söz sahibi ülkeler; Amerika, Japonya, Fransa ve Almanya'dır. Kullanım amacına göre üretilmiş yüzün üzerinde sentetik kauçuk vardır (Adhikari vd. 2000, Bell 2002) .

2.4.3 Rejenere Kauçuk

Rejenere kauçuk türü lastik üretiminde ham kauçuktan sonra en çok tercih edilen ham madde türüdür. Maliyetinin ucuz olması, oksitlenmeye karşı dirençli olması, aşırı vulkanizasyona dayanıklı olması, kolay karıştırılması ve çabuk pişirilmesinden dolayı daha ucuza mal edilmesi ile daha az üretim enerjisi gerektirmesi tercih edilmesinin en önemli sebeplerindendir. Rejenere kauçuğun üretim aşamaları Çizelge 2.5'te gösterilmiştir. Rejenere kauçuğun tüm üretim aşamalarında uygulanacak fire oranı %15 dolaylarındadır (PETLAS 2002).

Çizelge 2.5 Rejenere kauçuğun elde edilme aşamaları.

Rejenere Kauçuğun Elde Edilme Aşamaları
1. Hurda lastiğin temizlenmesi ve kırılması
2. Kırılan lastiklerin öğütülmesi ve elenmesi
3. Toz haline gelen hurda lastiğin cam katranı ve diarydisülfür iyi harmanlanması
4. Karışımın tavalara konulup pişirilmesi ve pasta haline getirilmesi
5. Pasta halindeki karışımın hamur makinelerinde ezilmesi
6. Ezilen malzemenin tamburlara sarılması ve son ürün haline getirilmesi

2.4.4 Peptizerler

İçeriğinde kükürt bulunan organik maddelerdir. Kükürt ve yanında diğer organik maddeler kullanılarak lastiğin fırınlanma süreci kısaltılır.

2.4.5 Vulkanize Ediciler

Kauçuğa katı katkı maddeleri eklenerek elde edilen bileşiğe ısı uygulanır. Bu uygulama sonrasında kauçuk elastik yapıdan plastik yapıya geçer yani kauçuk lastiğe dönüşür. Bu

uygulama neticesinde oluşan kimyasal reaksiyonlar ile birlikte kauçuk zincirleri çapraz bağlanır bu duruma vulkanizasyon denir. Selenyum ve Tellür elementleri vulkanize edici olarak kullanılmaktadır (PETLAS 2002).

2.4.6 Akseletörler

Akseleratörler, reaksiyon hızlandırıcılardır. Kauçuğun kükürtle reaksiyonunu hızlandırırlar. Fiziksel özelliklerin iyileştirilmesi, yaşlanma direncinin arttırılması gibi etkileri vardır. Akselatörler, kür süresini kısaltarak üretim miktarının artmasına önemli katkı sağlar ve büyük kauçuk yapılarda kürün homojen dağılmasını sağlar (Karaağaç 2003, Mark vd. 2005).

2.4.7 Aktivitörler

Aktivitör, lastik üretiminde istenilen süre içinde vulkanizasyonun tamamlanmasını sağlayan akseleratörlerin aktivasyonunu gerçekleştiren maddelere denilmektedir. Endüstride en sık kullanılan ZnO aktivitörüdür. Bu madde lastik içeriğinde %3,5-5 gibi düşük oranlarda bulunmasına rağmen üretim için önemli bir maddedir. Ham kauçukta yağ asitlerinin eksik olmasını kür hızında değişikliklere neden olduğundan, aktivatör olarak stearik asit sıkça kullanılmaktadır (White vd. 2001).

2.4.8 Dolgular

Elastomer ve kür edicilerden oluşan saf karışımlara dolgu malzemesi eklenerek karışım yüklenmesi yapılır. Karışımın istenilen bazı özelliklerini arttırmak için güçlendirici dolgu malzemeleri kullanılır. Karışıma bazı maddeler dolgu amacıyla eklenerek karışımın hacmi arttırılır ve böylelikle üretim maliyeti düşürölür. Özetle karışımın bazı özelliklerini istenilen yönde iyileştirmek ve üretim maliyetini düşürmek için dolgu malzemeleri kullanılır.

2.4.9 Yumuşatıcılar

Yumuşatıcılar, karışımın kolay bir biçimde homojen olmasını, kükürt kusmasını ve vulkanize olmamış karışımlara yapışma özelliği kazandırmak maksatlı kullanılır. Lastik üretim endüstrisinde yumuşatıcı olarak en yaygın kullanılan malzemeler; stearik oleik asit, pinetar ve parafin wax tır (Karaağaç 2003).

2.4.10 Koruyucular

Her malzemede olduğu gibi lastik malzemelerinde kullanım aşamasında ya da depolanması esnasında dikkat edilmesi gereken hususlardan biri de oksidasyondur. Lastik içeriğindeki kauçuk oksijen ile tepkimeye girer ve oksitlenme meydana gelir. Işık, ısı ve yağlı ortamlar lastik yapısındaki oksidasyonu hızlandıran en önemli etmenlerdendir. Bunun için lastik karışımı hazırlanırken; oksijene karşı Neoprenin, yağ ve çözücülere karşı Nitril kauçuğu, yüksek sıcaklıklara karşı ise silikon kauçuğu kullanılarak bozulma olayına karşı önlem alınmaktadır. Bu koruyucular karışım esnasında lastik hamuru içine katılır.

2.4.11 Özel Katkılar

Renklendiriciler: Kauçuk ürünlerin renklendirilmesinde genel olarak TiO_2 , ZnO ve Litofon (%30 ZnS +%70 $BaSO_4$) kullanılır. Bu renklendiriciler saydam ya da opak olmak üzere iki tür hazırlanır. Saydam renklendiriciler azot ve anilin sınıfı renklendiricilerdir. Opak renklendiriciler organik ya da inorganik olurlar. Retander: Lastik üretim aşamasında vukanizasyonu kontrol altında tutmak ve kür edicileri dengelemek için retander kullanılır. En yaygın olarak kullanılan türü asetil salisilik asittir. Sertleştiriciler: Plastik malzemelerin mukavemetlerini arttırmak amacıyla kullanılan katkı maddeleridir. En yaygın kullanılan sertleştirici Dihyrazin sülfattır (White vd. 2005).

2.5 Atık Lastiklerin Yönetimi

Tekerleğin icadı ile birlikte insan oğlu için hem mesafeler kısalmış hem de taşınma, nakliye, ulaşım imkanları zamanla gelişmiştir. Tekerleğin icadı ile kavimler göç etmiş,

dünya nüfusunun demografik yapısı değişmiştir. Bunun yanında, nakliye sektörünün gelişmesi ile dünyanın bir ucunda üretilen ürün diğer bir ucuna kolaylıkla ulaştırılabilmektedir. Böylelikle yaşadığımız evren daha küreselleşmiş, ticari hacmi artmış ve nüfusu da doğru orantılı olarak büyümüştür. İnsanlık tarihinin en önemli icatlarından biri olan tekerlek de zamanla geliştirilmiş, değiştirilmiştir. Günümüzde binek araçlarımızdan ağır vasıta araçlarına, havacılık ve uzay sektöründen inşaat sektörüne kadar kullanım alanı genişlemiş, endüstrinin hayatımızda vaz geçilmez argümanlarından birisi olmuştur.

Kauçuktan elde edilen lastik ile üretilen tekerlekler çevre sorunlarını da berinde getirmektedir. Atık lastiklerin depolanması, geri kazanımı gibi süreçler Ülke yönetimleri açısından önemli bir gündem oluşturmaktadır. Atık lastiklerin insan sağlığına zararlarını azaltmak, çevre kirliliğine etkisini minimuma indirmek, depolama risklerini en aza indirmek için çeşitli yönetmelikler ve teşvik programları hazırlanmıştır. Uygulanan ağır yaptırımlar sayesinde hem lastik üreticileri hem de geri dönüşüm firmaları atık lastiklerin toplanması, amacına uygun depolanması ve ekonomiye geri kazandırılmaları için ciddi arayışlar içine girmiştir. Resim 2.3'te düzensiz lastik depolama alanı gösterilmiştir.



Resim 2.3 Düzensiz lastik depolama alanı.

Atık lastiklerin depolanması, lastik geri dönüşümünde en temel sorunu teşkil etmektedir. Düzensiz lastik depolama alanları haşere ve kemirgenlerin çoğalma alanları olduğu gibi yangın riskini de beraberinde getirmektedir. Oluşan ve oluşabilecek yangınlar atmosfere zehirli gaz yayarak çevre felaketine sebep olmaları kaçınılmazdır. Depolama bir bertaraf yöntemi değil, aksine lastiğin çevreden toplanarak geri dönüşüm öncesi bekletildiği istasyon olmalıdır. Depolamanın bertaraf yöntemi olarak kullanılması yüksek miktarda ham madde ve enerji kaybına yol açacaktır. Bundan yola çıkarak, atık lastiklerin tekrar ekonomiye kazandırılması ve depolama alanlarının ömrünün uzatılması için Ülkemizde atık lastiklerin depolanma yöntemi ile bertaraf edilmesi yasaklanmıştır.

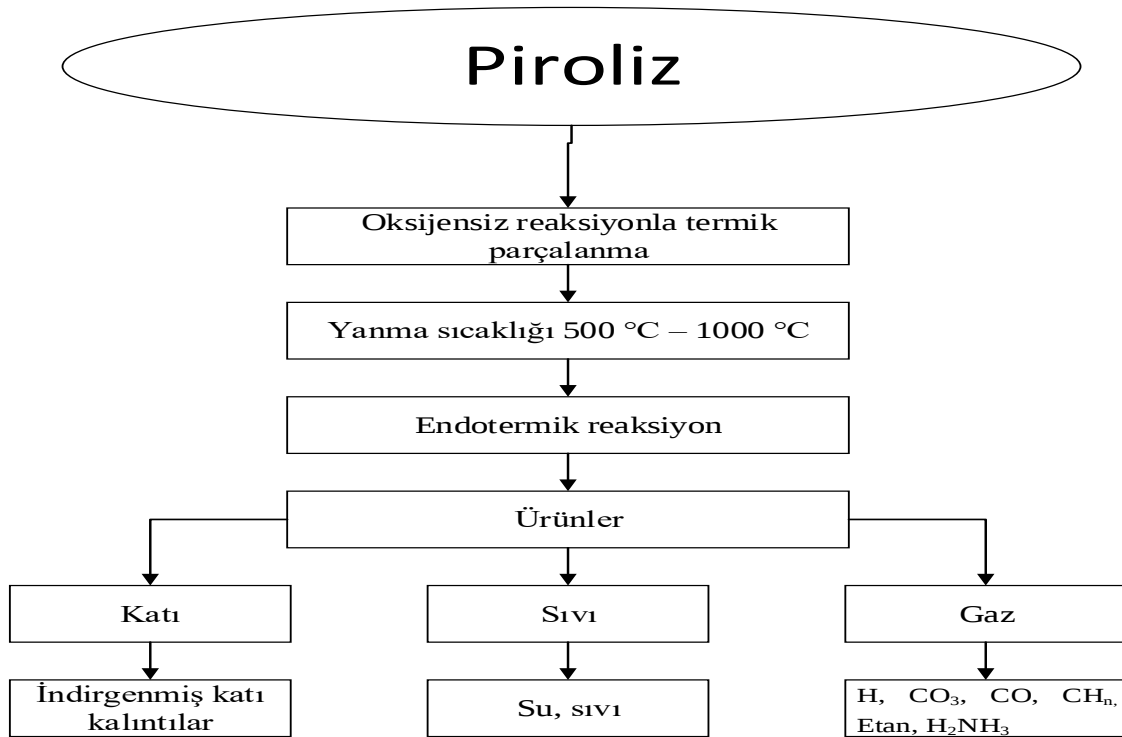
Ülkemizde Avrupa Birliği Uyum Eylem Planı ve imzalanan bazı uluslararası anlaşmalar neticesinde geri dönüşüm konusunda bir hayli mesafe kat edilmiştir. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın yönlendirmesi ile yerelde belediyeler atık yönetimi ile ilgili kurumsal denetim birimleri oluşturmuş ve atık toplama merkezleri inşa etmiştir. Bu bağlamda Bursa İli Yıldırım Belediyesi bünyesinde Çevre Koruma ve Kontrol Müdürlüğü ile İklim Değişikliği ve Sıfır Atık Müdürlüğü kurarak Ülkemizde yerel yönetimlerde çevre bilincini aşlamak ve tesisleşme konusunda öncü belediyelerden birisi olmuştur.

Lastikleri oluşturan bileşenler yeniden kullanılabilir, geri dönüştürülebilir veya kullanım amacına göre çeşitli mekanik parçalama işlemlerinden geçirilerek doğrudan da kullanılabilen malzemelerdir. Bu maddeler: doğal ve sentetik kauçuk, kord bezi, çelik, çinko oksit, kükürt, SBR (Styrene Butadiene Rubber) ve vulkanizasyon esnasında kullanılan kimyasallardır. Bunun yanı sıra doğrudan kullanılması amaçlanan lastikler, öğütme, kesme ve kriyojenik gibi yöntemlerle kullanım amacına göre küçük parçalara ayrılarak ya da toz haline getirilerek kullanılabilir. Bazı doğrudan kullanım alanları; katkı olarak asfalta katılması veya spor salonlarının yüzeylerinin kaplanmasıdır. Ayrıca termik, kimyasal ve mekanik yöntem ile parçalara ayrılan lastik yeni imal edilen lastiklere katkı maddesi olarak ta kullanılmaktadır.

Lastikler piroliz işlemine tabi tutularak ağırlıklarının %45-48'i kadar yakıt özelliğinde hidrokarbon elde edilebilmektedir. Piroliz işlemi teknik olarak kolay bir yöntem değildir fakat uygulanması kolaydır. Piroliz uygulamasından elde edilen hidrokarbonların rafine edilmesi ile motorin gibi birçok yakıt elde edilebilmektedir. Piroliz işleminin verimli

olması neticesinde endüstride döner fırınlı ve akışkan yataklı kauçuk piroliz teknolojileri geliştirilmiştir. Aynı zamanda kauçuk malzemenin depolimerizasyonu süperkritik su kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Ayrıca atık lastikler yağlara ve yüksek moleküler ağırlıklı olefinlere parçalanabilmektedir (Rhyner vd. 1995, White vd. 2001, Scheirs vd. 2006).

Piroliz işlemi sırasında furan ve dioxin gibi çevreye zararlı gazlar açığa çıkmadığından sisteme gaz arıtma sistemi kurulmasına ihtiyaç yoktur. Bunun yanında piroliz işlemi sera gazı emisyonlarına ve çöp toplama alanlarına giden atık miktarının da önemli bir ölçüde azalmasına sebep olur. Çöp gazı ve biyogaz üretimine kıyasla çok daha az alan ihtiyacına karşılık çok yüksek kapasitede üretim yapılabilir. Piroliz sonucunda açığa çıkan artık ürünlerin tamamı değerlendirilebilir niteliktedir. En önemlisi atık üretmediği için işlem sonrasında herhangi bir atık bertaraf sistemine ihtiyaç duyulmaz. Üretim süreci hızlı ve yüksek verimlidir. Ayrıca çok çeşitli malzemenin işlenmesi için ucuz ve yüksek verimli bir teknolojidir. Bu sistem sayesinde yerli kaynaklardan elektrik üretilerek ülkenin enerjide dışa bağımlılığı bir nebze olsa azaltılmış olur. Şekil 2.5’ te piroliz işleminin işlem basamakları ve işlem sonucunda elde edilen ürünlerin şematik gösterimi verilmiştir. Şekil 2.6’da piroliz tesisi şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.5 Piroliz işlemi sonucunda oluşan ürünler (Rhyner vd. 1995, White vd. 2001, Scheirs vd. 2006).



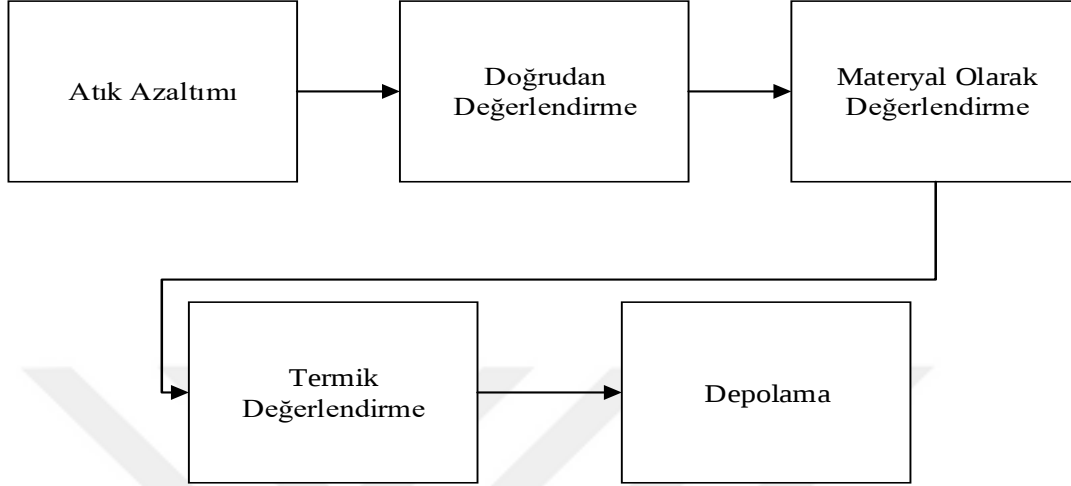
Şekil 2.6 Proliz tesisi şematik gösterimi.

2.5.1 Atık Lastiklerin Yönetim Sıralaması

Atık lastiklerin geri dönüşüm sürecinin yönetimi, diğer katı atıkların geri dönüşüm süreçlerinde olduğu gibi, atık azaltma süreci ile başlar (Higgnis vd. 1995, Bishop 2004). Atık önleme geri dönüşüm zincirinin en önemli halkasıdır. Atık önleme sayesinde hem atık miktarı önemli derece azaltılmış olacak hem de doğal kaynakların tüketimi yüksek derece engellenecektir. Bunun yanı sıra lastiklerin kullanım ömrünün uzatılması da atık lastik oranını ciddi oranda azaltacaktır (Tchobanoglous vd. 2002). Şekil 2.7' de lastik atıklarının yönetim sıralaması verilmiştir.

Araç lastiklerinin kullanım ömürleri dolduğunda sürüş ve trafik güvenliği açısından tehlike arz etmeye başlarlar. Bu nedenle kullanım ömrünü dolduran lastikler tekrar kaplanarak kullanımına devam edilmesi de atık lastik miktarının azaltılmasında önemli etkenlerden biridir. Bunun yanında çocuk oyun alanlarında, spor salonu ve liman gibi yerlerde düşme, çarpma vb. durumlara karşı darbe absorbe edici özelliğinden faydalanılarak korunma amaçlı kullanılır.

Lastik Atıklarının Yönetimi



Şekil 2.7 Lastik atıkların yönetim şeması.

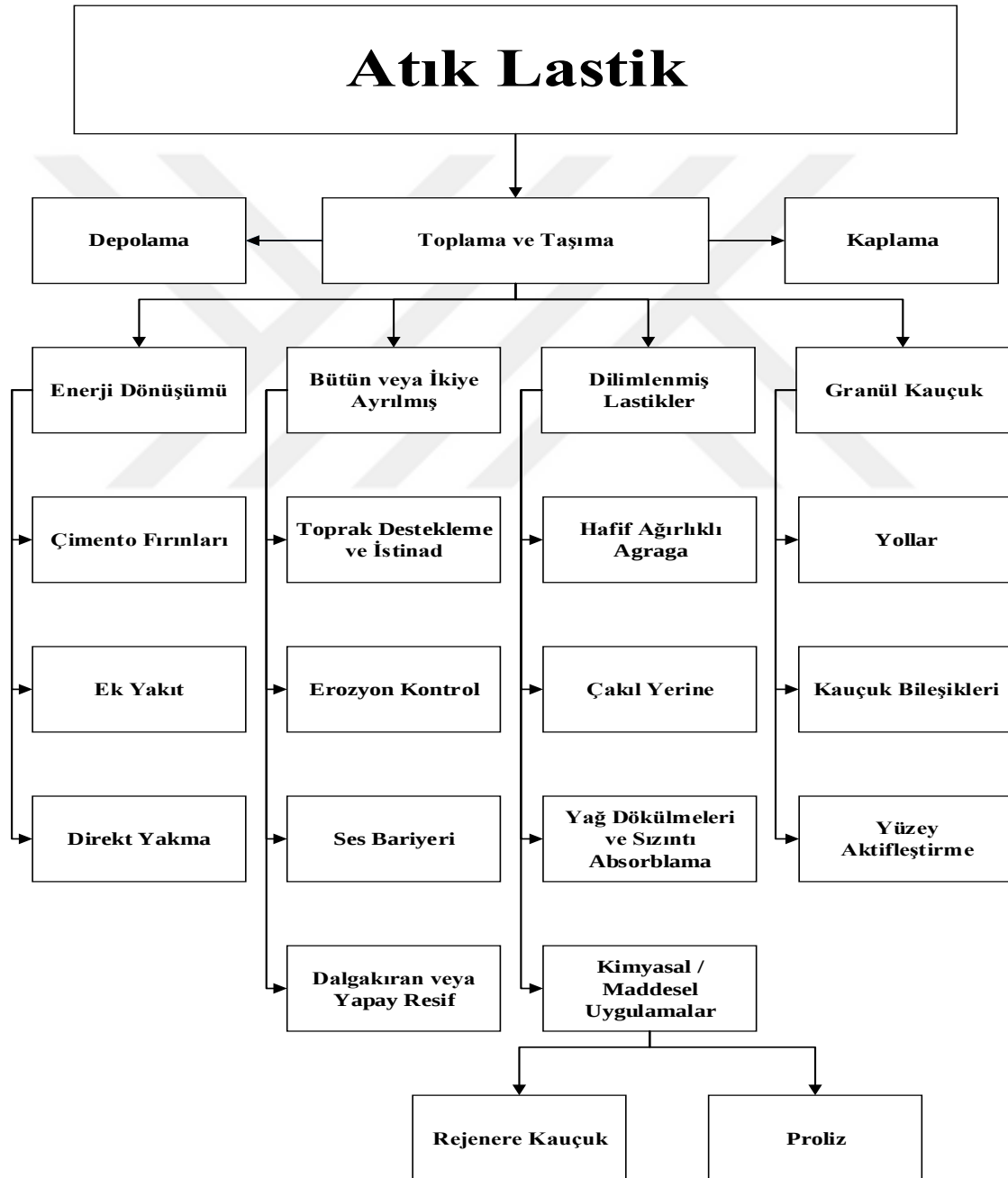
Isıl verimi yüksek olmasından dolayı atık lastiklerin bir diğer kullanım alanı da elektrik üretim santrali ve buhar üretim merkezlerinde yakıt olarak kullanılmasıdır. Piroliz yöntemi ile de farklı ürünlere dönüştürülürler.

Bilinen en eski bertaraf yöntemlerinden biri de depolamadır. Atık malzemeler toplama alanlarında depolanır veya toprağa gömülerek bertaraf edilirdir. Zamanla anlaşıldı ki bu yöntem ciddi çevre kirliliklerine ve depolama alanlarının yetersizliğine neden olmaktadır. Ayrıca taşıma maliyetleri, depolama alanlarının daralması da bu yöntemin günümüzde tercih edilmemesine neden olmuştur.

Gelişen teknoloji ile günümüzde geri dönüşüm çalışmaları çok çeşitli ve yaygındır. Başarılı atık yönetimi politikaları ile atık lastiğin ham madde olarak kullanım oranı arttırılmış ve çevresel etkileri de minimum seviyeye indirilmeye başlanmıştır. Bunda kamu, üretici ve tüketicinin paydaş olmaları ve etkin bir iş birliği yürütmeleri etkili olmuştur.

Çevre ve şehircilik Bakanlığı atık yönetimi hususunda kilit rol oynamıştır. Çatı kurum olarak ürettiği politikaları ve teşvikleri yerel yönetimler eliyle vatandaşın doğrudan

bilinçlenmesini sağlamış, lisanslandırma işlemleri ile özel sektör temsilcileri ile etkili bir iş birlikteliği kurmuştur. Cumhurbaşkanlığı önderliğinde yönetilen “Sıfır Atık Projesi” ülke genelinde yaygınlaştırılarak ülke genelinde geri dönüşüm seferberliği başlatılmıştır. Bu projeyi doğru okursak, atığın geri dönüşümünü değil oluşumunu engellemeye yönelik ciddi bir adım olduğunu göreceğiz. Böylelikle hem geri dönüşüm maliyetleri minimize edilmiş olacak hem de çevre kirliliğine önemli derecede engel olunacaktır. Şekil 2.8’ de atık lastiklerin değerlendirilme şekilleri detaylıca verilmiştir.



Şekil 2.8 Atık lastiklerin değerlendirme şekilleri.

2.5.2 Direkt (Doğrudan) Değerlendirme

Otomobil lastiklerinin kullanım ömrünü etkileyen unsurlardan biri de dış derinliğidir. Dış derinliği ıslak ve kuru zeminde aracın güvenli bir şekilde yola tutunmasını sağlar. Zamanla aşınan ve dış derinliği belli kalınlığın altına inen lastikler sürüş güvenliği için değiştirilmektedir. Bazen kullanıcıların güvenlik hassasiyetlerinden dolayı dış derinliği tam aşınmamış lastik değiştirilmektedir. Bunun için lastik toplayıcıları atık lastikleri toplama alanına göndermeden önce kullanılabilir ve yenilenerek satışa sürülebilir lastikleri ayırırlar. Bu sayede depolama alanına giden lastik oranında %5-10 arası tasarruf sağlanır (Batır 2002).

Lastik atıklarının bir diğer direkt kullanıma örnekte deniz canlıların habitat çeşitliliğini arttırmak için kullanılmasıdır. Atık lastiklerden deniz altında resifler oluşturulur ve balık türlerinin bu resiflerde habitat oluşturması sağlanır. Atık lastiklerin çocuk oyun parklarında, spor salonu zeminlerinde, dekorasyon amaçlı, limanlarda bariyer amaçlı kullanılması da söz konusudur. Resim 2.4'te atık lastiklerin çocuk oyunlarında kullanıma örnek resim, Resim 2.5'te atık lastiklerin doğrudan kullanımını gösterir resim verilmiştir.



Resim 2.4 Atık Lastiklerin oyun parklarında kullanılması (Yıldırım Belediyesi Sakarya Parkı).

Lastiklerin darbe sönümleyici özelliklerinden faydalanılarak, çocukların düştüklerinde yara almalarını önlemek amacı ile günümüzde yaygın olarak çocuk parklarında kullanılmaktadır.



Resim 2.5 Atık lastiklerin dekoratif kullanımı.

Atık lastikler kimyasal hiçbir işleme tabi tutulmadan motor sporları pistlerinde, çocuk oyun parklarında, limanlarda deniz araçlarının yanaşma bölgelerinde, köprü ayaklarının kaplanmasında, yol stabilizasyonunda ve dalga kırıcı olarak doğrudan kullanılmaktadır (US EPA 1992, Gönüllü 2004).

2.5.3 Meteryal Olarak Değerlendirme

Araç lastikleri aşırı ve yoğun yük altında çalıştığından üretilirken mukavemetli ve asfalt yoldaki abrasif temasa dayanaklı olacak şekilde üretilirler. Dış deriliğini yitirmiş lastikler kaplama işlemine tabi tutulsalar da içeriğindeki bileşikler bağlı kalır. Atık lastikler ekonomik ömürlerini tamamlasalar dahi içeriğindeki kauçuk, kumaş ve çelik geri dönüştürülebilir. Bunun için temelde kaplama ve granülleme olarak iki işlem söz konusudur.

2.5.3.1 Kaplama

Atık lastiklerin tekrar kaplanarak yenilenmesindeki dayanımı yeni lastiğin dayanım ve kullanım ömrü ile hemen hemen aynıdır. Lastik kaplama, depolama sahalarından, yeni lastik üretiminde kullanılan birçok hammaddeden, üretim maliyetlerinden tasarruf edilmesini sağlar. Böylelikle yeni lastik üretimine göre %50 dolaylarında tasarruf edilmiş olur. Lastik kaplamanın bir diğer avantajı da düzensiz biriktirilen lastik yığınlarının yanmasının önlenmesidir (Batır 2002). Günümüzde birçok ülkede kaplanmış araç lastiği kullanımı teşvik edilmektedir. Ülkemizde genelde kamyon ve otobüs lastiklerinin kaplanmasında tercih edilir.

2.5.3.2 Parçalama ve Granülleme

Kaplama yolu ile kullanımı mümkün olmayan atık lastikler, yönetmeliklerle belirlenen atık yönetim sistemine göre bertaraf edilir. Bertaraf yöntemlerinden biri de atık lastiklerin parçalanarak granül haline getirilmesidir. Granül haline getirilen lastiğin kullanım alanı oldukça geniş olup, Çizelge 2.6’ da detaylıca gösterilmiştir.

Çizelge 2.6 Granül lastiklerin kullanım alanları (Ryhner 1995, Gönüllü 2004).

	Otomobil Endüstrisi	Spor Salonları	İnşaat Sektörü	Asfalt Uygulamaları	Termoplastik ve Elastomerik Malzemeler
1.	Kayış	Atletizm Parkuru	Tutkallar	Drenaj Boruları	Oto, Radyo TV Parçaları
2.	Balata Bağlayıcı	Golf Sahaları	İzolasyon Sıvıları	Sulama Boruları	Kablolar
3.	Conta, Amartisör	Kreş Oyun Alanları	Barajlar	Demiryolu Ray Bağlantıları	Halı Kayma Önleyici Olarak
4	Paspas	Yüzme Havuzları	Atık bertaraf sahası	Karayolu İnşası	Ekstrüzyon Malzemesi Olarak
5	Lastik Şamriyel	Tenis ve Basketbol Salonları	Asfalt Katkı Malzemesi	Toprak Altı Drenaj	İzolasyonlar

2.5.4 Termik Değerlendirme

Bileşiminde organik malzeme oranı yüksek olan atık lastiklerin bertaraf edilmesi yöntemlerinden biri de yakma işlemidir. Lastiklerin ısı değerleri 18,6 – 27,9 kJ/kg arasında olup, kömürden daha yüksek ve doğalgazdan daha düşük ısı değere sahiptir. Bu durum atık lastiğin termik santraller, buhar üretim merkezleri, çimento fabrikaları vb. yerlerde yakıt olarak tercih edilme sebebi olmuştur. Lastiğin bertaraf edilmesi açısından da oldukça pratik yöntemdir. Ancak burada dikkat edilmesi gereken en önemli husus, yakıt olarak lastik kullanan tesislerde lastiğin yanması sonucu meydana çıkacak olan zehirli gazların çevre kirliliğine sebep olmaması için kaliteli filtre sistemi kullanılmasıdır.

Atık lastiklerin yakılması işlemi depolamaya oranla daha az maliyetli ve avantajlı yöntemdir. Yakıt olarak atık lastiği tercih eden fabrikalar lastiğin parçalanmış ya da bütün olmasını tercih edebilirler. Bu durum yakılan hurda lastiğin maliyetini etkiler. Bazı fabrikalar çelikten arındırılmış lastik tercih ederken bazıları da lastiği olduğu gibi yakıt olarak kullanabilmektedir. Bu durum da yakma maliyetini etkileyen önemli hususlardan biridir.

Atık lastiklerin yakılmasına alternatif olarak piroliz işlemi üzerine de çalışmalar yapılmaktadır. Piroliz işlemi için günümüzde birçok gelişmiş ülkelerde tesisler kurulmuştur. Amerika, Japonya, Avrupa ve Kanada bu ülkelerden bazılarıdır. Piroliz işlemi sonucunda elde edilen pirolitik yağın ısı değeri 10720 cal/g iken kömürün ısı değeri 7780 cal/g'dır (Gönüllü 2004).

Lastik üretiminde uygulanan vulkanizasyon işlemi geri dönüşüm esnasında bazı sorunlara sebep olmaktadır. Bunun için verimli bir geri dönüşüm için atık lastiğe devulkanizasyon işlemi uygulanması gerekir. Devulkanizasyon işlemi için uygulanan yöntemler; kimyasal, biyolojik ve fiziksel yöntemlerdir. Fiziksel yöntemler; kriyomekanik işlemler, termomekanik işlemler, mekanik işlemler, mikro dalga ve ultrasonik işlemler olmak üzere 5 ana kola ayrılır. Kimyasal işlemlerde ise; merkaptanlarla işleme, inorganik bileşiklerle işleme, organik disülfürler ve kimyasal bozundurma olmak üzere 4 ana kola ayrılırlar (Adhikari vd. 2000).

2.5.5 Depolama ve Stoklama

Atık lastik bertaraf yöntemlerinden en eski olanlarından biri de depolamadır. Atık lastikler, lastik üreticileri veya lisanslı atık lastik toplayıcıları tarafından toplanarak yerel yönetimlerce ya da Bakanlıklarca belirlenmiş depolama alanlarında toplanırlar. Fakat depolama bertaraf yöntemi olarak günümüzde pek tercih edilmemektedir. Artan nakliye maliyetleri, depolama alanı maliyetleri, toplanan lastiklerin kontrolsüz yangın riski gibi nedenler depolama işleminden kaçınılmasının sebeplerindendir. Lastik üretiminde kullanılan stabilizatörler, hızlandırıcılar ve plastikleştiriciler depolanma alanlarında zamanla hava ve toprağa difüze olarak önemli oranda çevre kirliliğine neden olmaktadır. Depolama yönteminden kaçınılmasının günümüzde en önemli nedeni atık lastiklerin geri dönüştürülebilir olmasıdır. Geri dönüştürülebilir atık lastiklerin depolanması önemli bir ham madde kaybı ve üretim maliyeti artışına sebep olacaktır.

Depolama, atık malzemelerin depolandığı genel bir alanı ifade etmektedir. Bazı gelişmiş ülkelerde tek tip atıkların toplandığı toplama sahaları oluşturulmaktadır. Bunlar Monofil olarak adlandırılmaktadır. Monofiller, sızdırmaz zemin, ara örtü ve nihayet son örtü şeklinde tasarlanan depolama alanlarıdır. Monofil depolama alanlarında depolanan lastikler ihtiyaç halinde hem geri dönüşüm hem de yeniden değerlendirme için kullanılabilirler. Monofil depolama alanlarında dikkat edilmesi gereken en önemli husus, zemini sızdırmaz olmasıdır. Atık lastikler üzerinde biriken suların toprağa karışması beraberinde birçok atık metalinde doğaya karışması anlamına gelir ki bu durum ekolojik dengenin bozulması gibi çevre felaketlerine yol açar (Adhikari vd. 2000).

2.6 Otomobil Lastiklerinin Trafik Gürültüsüne Etkisi

Günümüzde çevresel kirliliğin somut olmayan başlıca etmenlerinden birisi de gürültü kirliliğidir. Bu çalışmanın çevresel yönü ele alındığında hem atık araç lastiklerinin sıcak asfaltta değerlendirilerek bertaraf edilmesi hem de serimi yapılan asfaltın kullanımı esnasında oluşacak akustik performansı değerlendirilmiştir. Kauçuk maddesinin sönümleyici etkisinden faydalanarak gürültü önlemek amacı ile kullanımını da test edilmiştir.

Yıldırım Belediyesi Ulaşım Hizmetleri Müdürlüğü asfalt şantiyesinde üretilen %8 atık lastik tozu ilaveli asfaltın, ilçenin; Mimarsinan Mahallesi, 1. Meydan Sokak'a serimi yapılmıştır. 2500 m² alana 400 ton atık lastik tozu katkılı asfalt uygulanmıştır. Uygulanan asfalttan karot makinesi ile numuneler alınmış ve yukarıda bahsettiğimiz deneylere tabi tutulmuştur.

Karayolları üzerinde hareket eden araçların mekanik yapılarından kaynaklı gürültünün yanı sıra tekerlek-yol teması da önemli ölçüde gürültüye sebebiyet vermektedir. Günümüzde lastik imalatçıları araç içine yol sesi almaması için lastik imalatında yenilikçi çalışmalar yapsalar da gürültünün diğer sebebi olan asfalt üretiminde inovatif çalışmalar yapılmadığından üretici firmaların bu çabası amacına tam anlamıyla ulaşamamaktadır.

Lastik yol tutuşu, sürüş konforu gibi etmenlerden dolayı kanallı bir yapıya sahiptir. Muhteviyatında bulunan kauçuk nedeniyle esnek bir yapıya sahiptir. Bu durum sürüş güvenliği açısından önemlidir. Esnek olan lastik hareket sırasında sürüş durumuna göre kısalır veya genişler. Bu esnada lastik kanalları arasında hava sıkışır. Sıkışan hava lastik yüzeyinde basıncın az olduğu kısma doğru akış sağlar. Bu durum araç süratine göre anlık gelişir ve neticede yüksek frekanslı bir ses dalgası meydana gelir. Resim 2.6'da modifiyeli asfaltın serimini gösterir fotoğraf verilmiştir.



Resim 2.6 Yıldırım Belediyesi tarafından serimi yapılan %8 atık lastik tozu ilaveli modifiye asfalt.

Asfalt yoldaki kaplama tabakası, pürüzlülük ve asfalt karışımında bulunan agrega boyutu gibi etkenlerin oluşan gürültü üzerinde katkısı vardır. Özellikle agrega çapı gürültü önleme konusunda kritik bir parametredir. Oluşan gürültü agrega boyutuyla doğru orantılı olarak, agrega boyutu küçüldükçe oluşan gürültüde azalmaktadır. Küçük agrega boyutu tekerlek ile asfalt arasında sıkışan hava miktarını azaltmaktadır. Dolayısı ile sıkışan hava miktarı da azalır ve daha az gürültü meydana gelir. Klasik asfalt kaplamalarda taşıtların sebebiyet verdiği gürültü miktarları Çizelge 2.7’de verilmiştir.

Çizelge 2.7 Taşıtlardan kaynaklı gürültü seviyeleri (Şit vd. 2020).

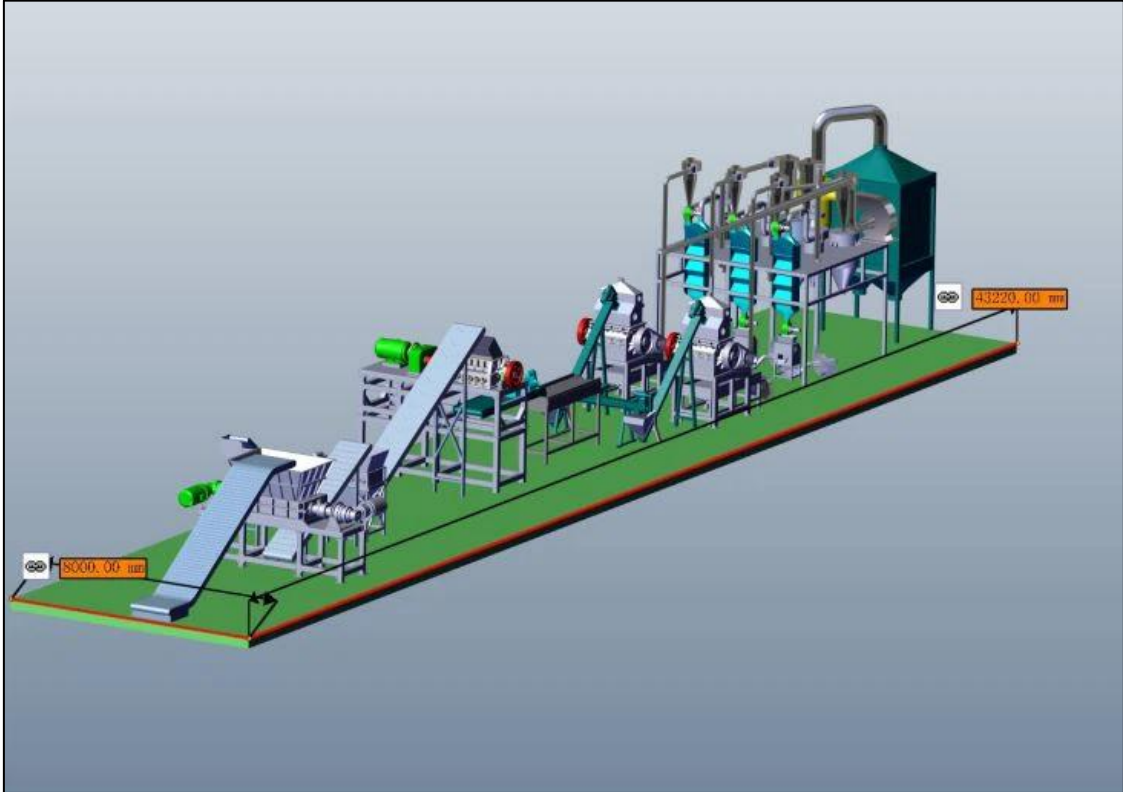
Taşıt Türü	Azami Gürültü (dB)
Otomobil	75
Otobüs	85
Kamyon	85
Ağır Araçlar	85

2.7 Atık Lastiklerin Parçalanma Yöntemleri

Atık araç lastiklerinin geri dönüştürülerek tekrar kullanılmasını sağlamak için endüstrinin gereksinim duyduğu şekilde parçalanması, öğütülmesi, dane ve toz haline getirilmesi gerekir. Atık lastiğin parçalanması bıçaklı, öğütücü, ekstrüder gibi mekanik yöntemlere bağlı olduğu gibi oda sıcaklığı ve kriyojenik yöntemlerle de mümkündür. Atık lastikten elde edilecek kauçuğun kullanılacağı yere bağlı olarak, kauçuk tozunun saflığı, tane boyutu ve yüzey morfolojisi gibi özellikleri istenilen yönde değiştirilebilir. Burada temel ilke atık lastiklerin mekanik yöntemlerle parçalanmasıdır. Atık lastiklerin mekanik olarak parçalanması oda sıcaklığında parçalama ve kriyojenik parçalama olmak üzere iki şekildedir.

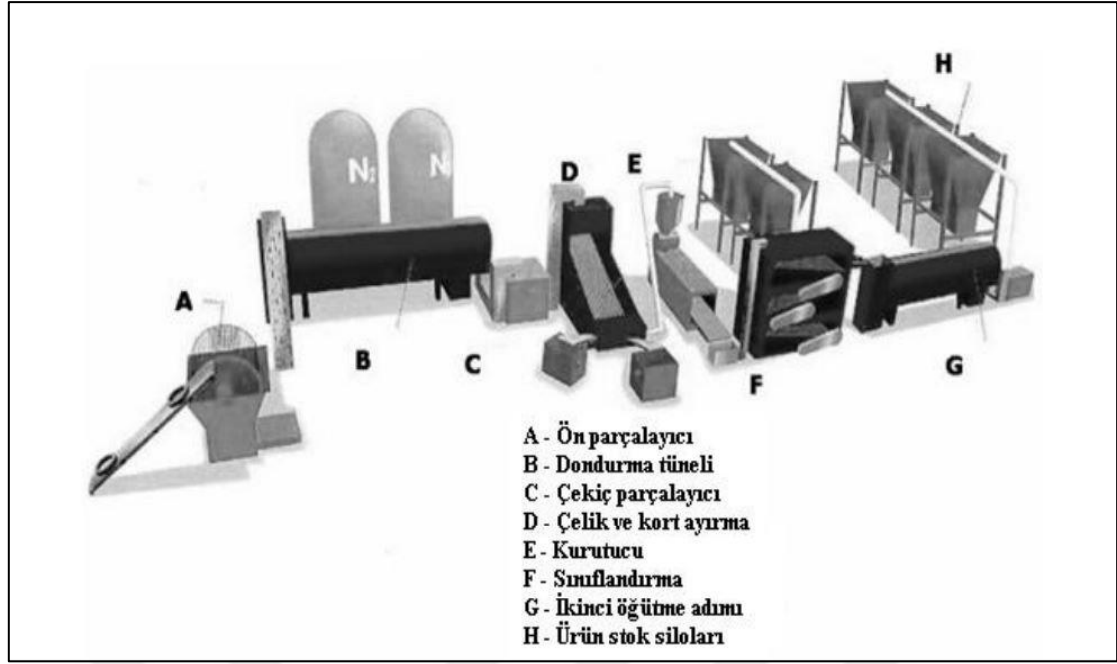
Oda sıcaklığında parçalama: bu yöntemde öncelikle atık lastiklerin içerisinde bulunan çelik tellerin ayrılması sağlanır. Çünkü lastik içinde bulunan çelik teller hem parçalanma için problem oluşturacak hem de parçalayıcı ve öğütücülere ciddi zararlar verecektir. Çelik tellerinden ayrılan atık lastikler küçük parçalara ayrılırlar. İlk aşamada parçalanmış lastiğin boyutu yaklaşık 5 santimdir. Böylelikle atık lastiğin hacmi azaltılmış olur. Bu durumda depolama ve taşıma maliyetleri de azaltılmış olur. Atık lastikler ön

parçalayıcıdan sonra kullanım alanlarına göre daha küçük parçalara ayrılırlar. Granül haline getirilen atık lastik manyetik bir ortamdan geçirilerek içinde kalmış olabilecek çelik tel kıymıklarının da ayrışması sağlanır. Ardından rüzgar eleklerinden geçirilerek lastik üretimi esnasında kullanılan kord bezi ve elyaf kırıntılarının temizlenmesi sağlanır (De S K vd. 2005). Oda sıcaklığında atık lastik parçalama tesisine ait şema Şekil 2.9’da verilmiştir.



Şekil 2.9 Oda sıcaklığında lastik parçalama tesisi gösterimi (İnt. Kyn. 4).

Kriyojenik Parçalama: bu yöntem lastiğin dondurularak parçalanması esasına dayanır. Lastikler $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'nin altındaki sıcaklıklara soğutularak cam formunda kırılğan hale getirilmektedir. Soğutularak dondurulan lastik mekanik parçalama işlemlerine tabi tutularak parçalama işlemi gerçekleştirilmiş olur. Atık lastiklerin çok ince ve temiz olması istenmesi durumunda bu yöntem kullanılır ve diğer yönteme göre daha ekonomiktir. Bu yöntem ile elde edilen tozların bir diğer avantajı ise ekstrüzyon ve kalenderden çıkan kauçuk levhaların daha pürüzsüz yüzeye sahip olmasıdır (De S K vd. 2005). Kriyojenik yönteme ait şematik gösterim Şekil 2.10’ da verilmiştir.



Şekil 2.10 Kriyojenik yöntemle lastik parçalama tesisi gösterimi (Karabörk vd. 2013).

Atık araç lastiklerinin oda sıcaklığında parçalanma yöntemi ile kriyojenik yöntemin karşılaştırılması Çizelge 2.8' da verilmiştir.

Çizelge 2.8 Oda sıcaklığında parçalama ve kriyojenik yöntemlerinin karşılaştırılması (Technical Guidelines 1999).

Parametre	Mekanik Yöntemi	Parçalama Yöntemi	Kriyojenik Parçalama Yöntemi
Çalışma sıcaklığı	Çevre sıcaklığı veya daha yüksek (max. sıcaklık 120 °C)	-80 °C veya daha düşük (-100 °C)	
Boyut küçültme prensibi	Kesme, makaslama	yırtılma,	Gevrek lastik parçalarını kırma
Tane yüzeyi	Süngersi ve kaba		Düz ve pürüzsüz
Tane boyut dağılımı	Parçacık boyutunda dar		Tane boyutlarında dağılım
Bakım maliyeti	Yüksek		Düşük
Elektrik tüketimi	Yüksek		Düşük
Sıvı azot tüketimi	Yok		1 kg lastik için 0,5-1 kg sıvı azot

3. MATERYAL VE METOT

Bu bölümde tez konusu için yapılan çalışmalara, kullanılan malzemelerin özelliklerine ve yapılan deneylere yer verilecektir. Öncelikli olarak deneylerde kullanılacak agrega belirlenmiştir. Daha sonra sıcak asfalt karışımında kullanılacak bitüm ve bitüm oranı belirlenmiştir. Sonrasında atık lastik ilaveli numuneler hazırlanacak ve Marshall deneyine tabi tutulmuştur. Bunların akabinde klasik yöntemlerle üretilen kontrol numunesini ile atık lastik tozu ilaveli numune kıyaslanmış ve çıkarımlar yapılmıştır. En son atık lastik tozu ilaveli sıcak asfalt üretilmiş ve serimi yapılmıştır. Serim işleminden sonra araç içi ve araç dışından desibel ölçüm cihazı ile ölçüm yapılmıştır.

3.1 Laboratuvar Çalışmasında Kullanılacak Agrega Seçimi

Yıldırım Belediyesi asfalt şantiyesinde, Karayolları Teknik Şartnamesinde belirtilen Tip-2 Aşınma gradasyonu kullanılmaktadır. Deneysel çalışmada bu gradasyon kullanılacaktır. Çizelge 3.1’ de Karayolları Genel Müdürlüğü’ nün aşınma Tip-2 gradasyon limitleri verilmiştir. Çalışmada kullanılacak agreganın gradasyon limitleri bu çizelgede verilen limitler aralığında olması sağlanmıştır. Çizelge 3.2’de deneylerde kullanılan agreganın teknik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.1 Aşınma Tip-2 gradasyon limitleri (KGM 2006).

Elek Boyutu (mm)	Şartname Alt Sınırı	Şartname Üst Sınırı	%Geçen	%Kalan	Ağırlık (gr)
12,5	100	100	0	0	
9,5	80	100	90	10	110
No.4 (4,75)	55	72	63,5	26,5	291,5
No.10 (2)	36	53	44,5	19	209
No.40 (0,425)	16	28	22	22,5	247,5
No.80 (0,180)	8	16	12	10	110
No.200 (0,075)	4	10	7	5	55
No.200 Altı				7	77

Çizelge 3.2 Deneyde kullanılan agreganın özellikleri (KGM, 2006).

Malzeme Özelliği	Deney Sonucu		İlgili Standart	İstenilen Sınırlar
	İnce	Kaba		
Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	2,70	2,70	ASTM C 127 TS EN 1097/6	-
Su Emme (%)	0,997	0,864	ASTM C 127 TS EN 1097/6	<2,5
Sıkışık Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)	1911,6		TS 3529	-
Gevşek Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)	1756,4		TS 3529	-
Aşınma Kaybı (%)	24,4		ASTM C 131 TS En 1097/2	<30

3.2 Laboratuvar Çalışmasında Kullanılacak Bitümlü Bağlayıcı Seçimi

Bu bölümde deneyde kullanılacak bitümlü bağlayıcının üzerinde deney yaparak seçimi gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar uygulamalarında 50/70 penetrasyonlu bitümlü bağlayıcı kullanılmıştır.

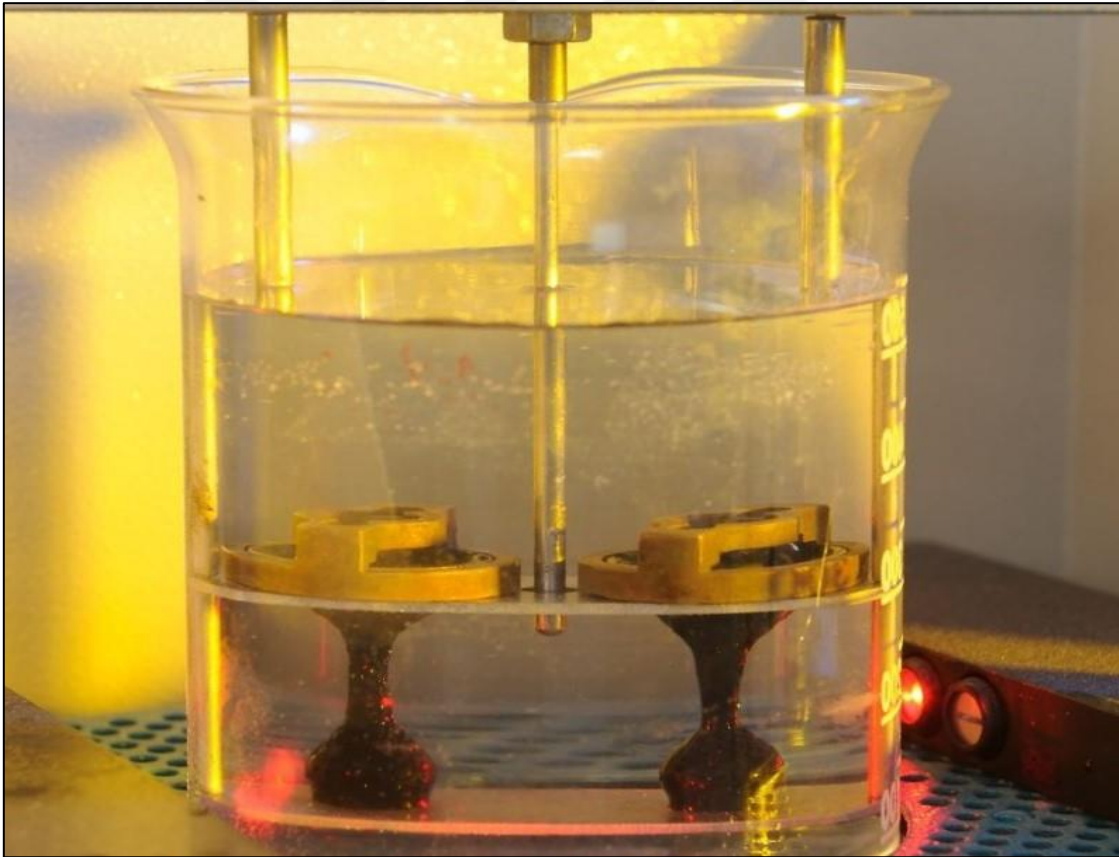
3.2.1 Bitümlü Bağlayıcının Yumuşama Noktasının Belirlenmesi

Bitümlü bağlayıcının kıvamını ve sıcaklıkla değişen davranışlarını tespit etmek amacı ile yumuşama noktası deneyi yapılmıştır. Deney TS 120 EN 1427-ASTM D36 standartlarına göre yapılmıştır. Deney için gerekli malzemeler:

- Isıtıcı: deney tipi kullanılmıştır.
- Su: deneyde kullanılacak su yeni kaynatılmıştır.
- Halkalar: pirinçten yapılmıştır.
- Beher: 600 veya 800 cm³ hacminde kullanılmıştır.
- Karıştırıcı: sıcaklığın, deney için oluşturulacak banyoda eşit miktarda dağılımını sağlayacak bir mıknatıs kullanılmıştır.
- Termometre

Bitümün viskozitesi ile yumuşama noktası doğru orantılıdır. Deneyde kullanılacak bitüm 90 °C'yi geçmeyecek şekilde ısıtılmıştır. Bu sırada bitümün kalıplanacağı yüzük

şeklindeki metaller ve bu metallerin üzerine konulacağı sehpa hazırlanmıştır. Sehpa üzerine bitümün kimyasal özelliklerine etki etmeyecek miktarda yağ veya vazelin sürülerek bitümün sehpaye yapışması önlenmiştir. Daha sonra 90 °C ısıtılan bitüm hazırlanan yüzük şeklindeki kalıpların içine dökülmüş ve 30 dakika oda sıcaklığında bekletilmiştir. Sonrasında içinde 5 °C sıcaklıkta bulunan yeterince büyüklükteki beherin içine hazırlanan numuneler, termometre ve bilye sabitleme aparatı deney düzeneğine takılarak yerleştirilmiştir. Hazırlanan düzenek sıcaklığı dakikada 5 °C artıracak şekilde ayarlanmış ısıtıcının üzerine konulmuş ve bitümün bilyenin ağırlığı ile birlikte çökerek düzeneğin taban yüzeyine değdiği andaki termometre sıcaklığı kaydedilmiştir. Böylelikle kullanılacak bitümün yumuşama noktası sıcaklık değeri tespit edilmiştir. Beher içindeki numunelerin her biri için elde edilen sıcaklıklar arasındaki fark, yumuşama noktası 80 °C'nin altında olanlar için 1 °C, 80 °C'nin üzerinde olanlar için 2 °C'yi geçerse deney tekrar edilir. Resim 3.1'de deney sonucunu gösterir örnek resim verilmiştir.



Resim 3.1 Yumuşama deneyi test sonucu (İSFALT laboratuvarı).

3.2.2 Bitümlü Bağlayıcının Kıvamının (Penetrasyon) Tayini

Bitümlü bağlayıcıların kıvamlılık oranının belirlenmesi için penetrasyon tayini deneyi yapılır. Bu deney TS 118 EN 1426-ASTM D5 standartlarına göre yapılmıştır. Deneyde kullanılan penetrasyon cihazının iğnesi standartlarla belirlenmiştir. Deneyde kullanılan bitüm yumuşama sıcaklığına kadar ısıtılmış ve çapı ve derinliği 5 cm olan kalıba dökülmüştür. Sonrasında oda sıcaklığında doksan dakika bekletilmiştir. Ardından sıcaklığı 25 °C olan su banyosuna konulan bitüm numunesi su içinde de doksan dakika bekletilir. Daha sonra sudan alınan numune penetrasyon cihazına yerleştirilmiştir.

Penetrasyon cihazına yerleştirilen numune üzerine cihazın iğnesi numune yüzeyine değmediği ama sıfır noktasına gelecek kadar yaklaştırılmıştır. Daha sonra iğne serbest düşme hareketine bırakılarak numuneye batma derinliği cihaz tarafından tespit edilmiştir. Bu işlem üç kere tekrar edilmiş ve elde edilen değerlerin ortalaması alınarak penetrasyon tayini yapılmıştır. Deneye göre elde edile ölçümlerin ortalaması, ondalık kısmına göre tam sayıya yuvarlanmış ve milimetrenin onda biri cinsinden penetrasyon değeri olarak hesaplanmıştır. Ölçümler arasında olabilecek en büyük farklar Çizelge 3.3’ te verilmiştir.

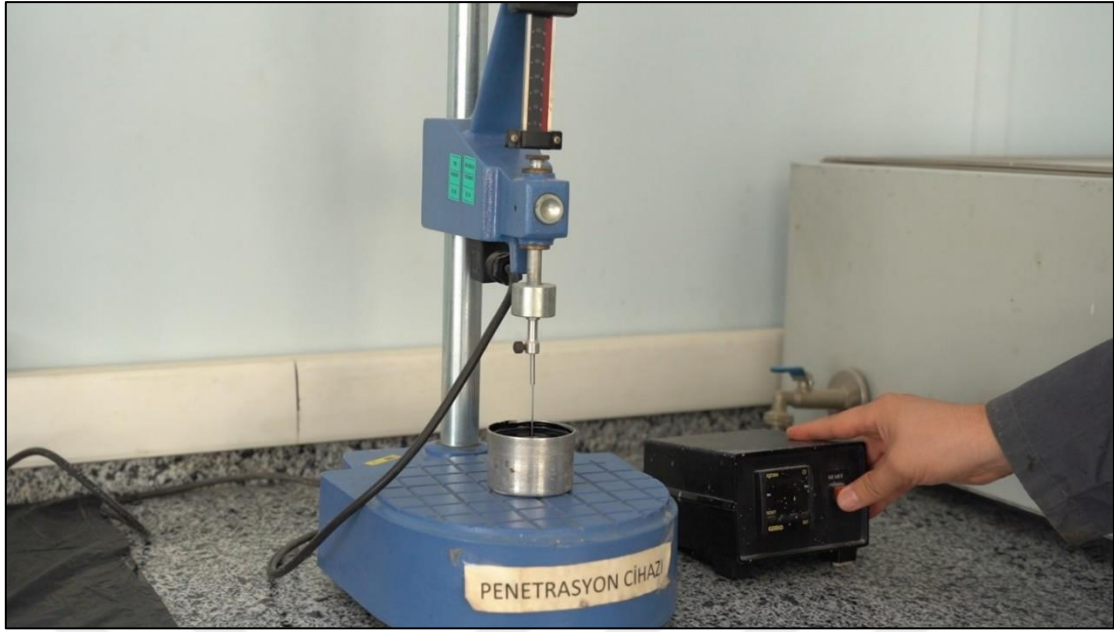
Çizelge 3.3 Ölçümler arasındaki farklar (Özen 2005).

0,01 mm olarak penetrasyon	<49	50-149	150-249	>250
En büyük fark	2	4	6	8

Deney esnasında kullanılan malzemeler;

- Penetrasyon cihazı
- Penetrasyon iğnesi (Rockwell sertliği C54-C60 olmalıdır.)
- Numune kabı
- Aktarma kabı
- Zaman ölçer

Deneyde kullanılan penetrasyon cihazına ait görsel Resim 3.2’de verilmiştir.



Resim 3.2 Penetrasyon Cihazı.

3.2.3 Bitümlü Maddelerin Isıtma Esnasında Kaybolan Isıl Değerlerin Hesaplanması Deneyi

Yarı katı numune üzerinde ısının ve atmosferin etkileri “Isıtma Kaybı Deneyi (TS 118 EN 1426-ASTM D5)” ile tespit edilmiştir. Böylelikle numunenin kullanım alanında maruz kaldığı atmosfer olaylarına karşı nasıl tepki vereceği hesaplanmıştır. Ayrıca asfalt betonun hazırlanması ve serilmesi sırasında yüksek sıcaklıklara maruz kalmasından dolayı muhteviyatında oluşacak bitüm kaybı miktarını da bu deney sayesinde tespit edilmiştir. Bu deney için gerekli malzemeler;

- Etüv
- Deney Kabı

Deney için kullanılan etüv sıcaklığı 163 °C de sabit olarak tutabilen ve kapağı açılmadan ısı tespiti yapılabilen özellikte seçilmiştir. Ayrıca deney kabı olarak çapı 15 cm derinliği ise 3,5 mm olan silindirik metal tepsisi kullanılmıştır. Deneye başlarken önce bu metal kapların darası alınmıştır. Önceden 163 °C’ye ısıtılmış bitüm hassas terazi üzerine konan metal kaplara 50 gram dökülür. Bu şekilde iki numune hazırlanır. Hazırlanan numuneler etüv içine konulur ve 163 °C de 5 saat bekletilir. 5 saat sonunda etüvden çıkarılan numuneler hassas terazi yardımıyla tekrar tartılmış ve kayıp hesaplaması yapılmıştır. Hesaplama denklem (3.1) yardımı ile yapılmıştır.

$$\left(\frac{W_1 - W_2}{W_1}\right) \times 100(\%) \quad (3.1)$$

W_1 : numunenin test edilmeden önceki ağırlığı

W_2 : numunenin test sonrası ağırlığı

Yapılan deneyin yüksek hassasiyetli sonuç vermesi isteniyor ise tek bir bitümlü maddeden alınmış bir iki deney numunesi hazırlanır. Çizelge 3.5'te referans değerleri verilmiştir. Bunun gibi çift numuneden alınacak duyarlılık sonuçları için bu tablo referans alınır. Tablo incelendiğinde deney sonucunda alınan gerçek değerler verilen değerlere yuvarlanır. Çizelge 3.4'te ısıtma kaybı deneyinde elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Çizelge 3.4 Isıtma kaybı deneyi sonucunda elde edilen değerler.

Numune	İlk Ağırlık (gr)	Son Ağırlık (gr)	Isıtma Kaybı	Ortalama Isıtma Kaybı (%)
1	50	49.7	0.5	0.49
2	50	49.76	0.48	

Numunelere yapılan ısıtma kaybı deneyinden elde edilen sonuçlar denklem (3.1) de yerine konularak hesaplanmış ve sonuçta elde edilen değerlerin ortalaması alınarak nihai sonuç belirlenmiştir.

Çizelge 3.5 Isıtma Kaybı Duyarlılık Sınırları (Özen 2005).

Isıtma Kaybı Değeri (%)	Sayısal Düzeltme	Isıtma Kaybının Gerçek Değeri (%)
5.0	±0.5	4.50-5.50
5.5	±0.51	4.99-6.01
6.0	±0.52	5.48-6.52
10.0	±0.60	9.40-10.60
15.0	±0.70	14.30-15.70
25.0	±0.90	24.10-25.90
40.0	±1.20	38.80-41.20

Tüm bu deneyler Yıldırım Belediyesi asfalt şantiyesinde bulunan laboratuvarında yapılmıştır. Tesis aktif halde asfalt üretilen ilçenin ve Bursa ilinin asfalt ihtiyacını karşılayan komplekstir. Tesis saatte 240 ton asfalt üretim kapasitesine sahiptir. Yapılan ısıtma kaybı deneyinde kullanılan etüve ait fotoğraf Resim 3.3'te verilmiştir.



Resim 3.3 Isıtma kaybı deneyinde kullanılan etüv.

3.3 Ömrünü Tamamlamış Otomobil Lastikleri

Otomobil lastik kullanım sayıları günümüzde hızla artış göstermiş ve ömrünü tamamlamış atık lastiklerin bertaraf edilmesi ülkeler için başlı başına bir mesele haline gelmiştir. Amerika Birleşik Devletleri, İspanya, Portekiz, Almanya, Rusya gibi gelişmiş ülkeler ömrünü tamamlamış lastiklerin bertaraf edilmesinde sıcak asfalt kaplamalarına katkı maddesi olarak kullanarak meseleye bir nebze olsun çare bulmuşlardır. Bu durum ülkemizde de yavaş yavaş yaygınlaşmaktadır.

Çalışmada ömrünü tamamlamış atık lastikleri kimyasal ya da ısı bir işleme tabi tutmadan su jeti ile yaklaşık 5 cm boyutunda parçalanarak daha küçük boyuta getirilir. Daha sonra

atık lastik içindeki çelik tellerin ayıklanması sağlanır. Bu işlemde lastik 10 mm çapında partiküller haline gerilir ve manyetik sistem tarafından bu çeliğin lastik tozundan ayrışması sağlanır. Toz lastik içinde kalan elyaflar da rüzgârlı elekler sayesinde ayıklanır ve elde sadece lastik tozunun kalması sağlanır. Kullanım amacına göre daha küçük lastik tozu kullanılacak ise elde edilen atık lastik tozu ardışık öğütme sistemlerinden geçirilerek daha tane çapı daha küçük lastik tozu elde edilir (De S.K. vd. 2005). Parçalama işlemi oda sıcaklığında ve sulu ortamda yapılmaktadır. Yıldırım Belediyesi Asfalt Şantiyesinde atık lastik tozu katkılı 400 ton modifiyeli sıcak asfalt üretilmiş ve yaklaşık 2500 m² alana serim işlemi yapılmıştır. Deneyde kullanılan atık lastiklerin kimyasal ve fiziksel özellikleri Çizelge 3.6.'da verilmiştir.

Çizelge 3.6 Deneyde kullanılan atık lastiklerin özellikleri.

Malzemeler	Özellikleri	Değerler
Lastik Kauçuğu	Aseton (%)	15,5
	Kül (%)	6
	Karbon Siyahı (%)	29,5
	Kauçuk Hidrokarbonlar (%)	49
	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	1,15

Atık lastiklerin özellikleri incelenirken karbon siyahı miktarı önemli bir parametredir. Karbon siyahı lastiğe siyah rengini veren, sırt kısmında biriken ısının uzaklaşmasını sağlayan, lastik dayanımı arttıran önemli bir katkı malzemesidir. Karbon siyahı miktarı diğer araç lastiklerine oranla otomobil lastiklerinde daha yüksek bulunmaktadır. Bunun nedeni otomobil lastiklerinin sürüş güvenliği açısından kabiliyetlerini üst düzeye çıkmasını sağlaması ve kauçuğu yumuşaklık ve dayanım kazandırması ile sürüş kalitesini arttırmasıdır.

Yıldırım Belediyesi asfalt şantiyesinde hazırlanan sıcak asfalta modifiye amaçlı katılacak olan atık lastik tozuna ilişkin örnek fotoğraf Resim 3.4'de verilmiştir.



Resim 3.4 Atık lastik tozu.

3.4 Atık Lastik Tozu İlaveli Asfaltın Gürültü Ölçümü

Bu çalışmada, Yıldırım Belediyesi tarafından Mimarsinan Mahallesi 1. Meydan Sokak a serimi yapılan atık lastik tozu katkılı asfaltta desibel ölçüm cihazı ile ölçüm yapılmıştır. Ardından yine Yıldırım İlçesinde bulunan Erikli Mahallesi 3. Evren Sokakta klasik yöntemlerle üretilmiş asfalt ile kaplanmış yolda desibel ölçümü yapılarak sonuçları karşılaştırılmıştır. Ölçümler araç içi ve araç dışında yapılmıştır. Her ölçümde aynı araç kullanılmıştır.

Yıldırım Belediyesi Zabıta Müdürlüğü bünyesinde faaliyet gösteren Çevre Denetim Birimine ait desibel ölçüm cihazı ile serimi yapılan %8 atık lastik tozu katkılı asfaltın sesi absorbe etme yeteneği gözlemlenmiştir. Gözlem esnasında Fiat Egea marka araç kullanılmıştır. Desibel ölçümü sabit hızda ve motor devir sayısında hem araç içinde yolcu bölmesinde hem de araç dışında sabit noktada beklerken aracın geçmesi ile yapılmıştır. Bu gözlemin amacı, atık lastik tozu ile modifiye edilmiş asfalt ile klasik yöntemlerle üretilmiş asfaltın gürültüye sebebiyet verme oranlarını tespit etmektir. Resim 3.5’ te ses ölçümünde kullanılan cihaz fotoğrafı verilmiştir.



Resim 3.5 Desibel ölçüm cihazı.

3.4 Marshall Stabilite Deneyi

Bu deney kara yolundaki yüklere maruz kalacak asfaltın istenilen dayanımda olması için optimum bitüm miktarının belirlenmesi için yapılır. Bu deney sıcak asfalt karışımlarının akma direnci, karışım hesabı, imalat ve sonrası için gerekli bilgilerin elde edilmesi için

yapılır. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli hususlardan biri de agrega tane boyutunun maksimum 25 mm olmasıdır.

Marshall Tokmağı: Bu cihaz yol yapında asfaltı düzleştirmek için kullanılan silindirin laboratuvar ortamına uyarlanmış halidir. Yaklaşık ağırlığı 4536 gr olan tokmak sıkıştırılacak numune üzerine 457 mm yükseklikten serbest düşme yaptırılır. Yaptığımız deney asfaltın aşınma tabaksına yönelik olduğundan numunelere 75 darbe uygulanmıştır. Bu cihaz Marshall deneyinde kullanılacak numune briketlerin hazırlanması için kullanılır. Marshall tokmağına ait fotoğraf Resim 3.6’ da verilmiştir.



Resim 3.6 Marshall Tokmağı.

Santrifüj Ekstraktör: Asfalt betonunun bitüm yüzdesini hesaplamak için kullanılan cihazdır. Karot makinesi yardımı ile serimi yapılmış asfaltdan alınan numune parçalara ayrılarak makine haznesine konulur ve üzerine solüsyon eklenir. Makine içindeki malzemeyi 3600 devir/dakika ile döndürürken tahliye borusundan akan sıvı berraklaşana kadar solüsyon ilave edilir. Sıvı berraklaştıktan sonra makine durdurulur ve içindeki malzeme kuruması için etüve konulur. Kuruyan malzeme etüvden alınarak gerekli hesaplamalar yapılır. Resim 3.7’de santrifüj ekstraktör makinesine ait fotoğraf verilmiştir.



Resim 3.7 Santrifüj Ekstraktör

Cihaz yardımı ile numunenin agrega tane boyu dağılımı da hesaplanmaktadır. Deney sonucunda yapılan hesaplama denklem (3.2) ile yapılır.

$$BO = \frac{(Gi-Gs)}{Gi} \times 100 \quad (3.2)$$

BO: bitüm içeriği (%)

Gi: numune deney başlangıç ağırlığı (gr)

Gs: numune son ağırlığı

Su Banyosu: numuneler kalıptan çıkarıldıktan sonra su banyosunda yarım saat 60 °C de bekletilir. Su banyosu cihazına ait fotoğraf Resim 3.8’de verilmiştir.



Resim 3.8 Su Banyosu

Numunelerin uzun süre istenilen sıcaklıkta tutmak için su banyosu çok önemlidir. Kontrol paneli sayesinde numunenin tutulması istenen sıcaklık ayarlanır ve su içinde bekletilir. Su banyosu 3 ana bileşenden oluşur. Isıtma ünitesi, numunenin ve suyun doldurulduğu hazne ve kontrol panelinden oluşur. Su banyosu güvenli sıcaklık kontrolü sağlar.

Marshall Stabilite – Akma Ölçme Aleti: 50 kN kapasiteli bu cihaz özetle numunenin ne kadar yüke dayanabileceğini ve akma derecesini belirlemede kullanılır. Cihaz, dayanıklı, yüksekliği ayarlanabilir, iki kolonlu gövdeye ve bir üst kirişe sahiptir. Yükleme başlığı hızı, veri toplama ve otomatik kontrol mekanizması üzerinden dakikada 6 mm ile 60 mm aralığından ayarlanabilir. Kontrol panelindeki yön tuşları ile yükseklik ayarı kolayca yapılabilir.

Karayolları Teknik Şartnamesine göre gradasyonu ayarlanmış 1150 gr agrega sıcaklığı 160 °C'ye ayarlanmış etüve konulur ve 2-3 saat bekletilir. Deney esnasında kullanılacak olan malzemeler (şişleme çubuğu, kalıp, kürek) ısı kaybını önlemek için agrega ile birlikte etüvde bekletilir. Etüvden çıkarılan agrega içerisine istenilen oranda bitüm konulur. Isı kaybını önleyici mikserde karıştırılır. Bitüm miktarı agrega ağırlığının % 3,5 ile 6,5'i aralığında olmalıdır. Her orandan üçer adet numune hazırlanır. Miksere konulan agrega ve bitüm karışımı iki dakika karıştırılır. Karışımın sıcaklığını korumak için mikserin altına ısıtıcı konulur. Mikserde bulunan malzeme daha önce etüvde ısıtılan kalıba şişlenerek kürekle doldurulur. Kalıba numunenin yapışmaması için numune konulmadan önce kalıp gres yağı ile ince bir tabaka olacak şekilde sürülür. Kürek ve şiş sıcaklık kaybını önlemek için etüvde bekletilir. Şişlemenin amacı numune içindeki boşlukların malzeme ile iyice dolmasını sağlamaktır. Kalıba doldurulan numune Marshall tokmağı ile 75 vuruş yapılarak sıkıştırılır. Sıkıştırma işleminden sonra numune oda sıcaklığında üç saat soğumaya bırakılır. Soğuyan numune kalıptan çıkarılır ve bir gün oda sıcaklığında bekletilir. Ertesi gün numunenin çapakları temizlenir ve havada ve sudaki ağırlıkları tespit edilir. Daha sonra numuneler sıcaklığı 60 °C' ye ayarlanmış su banyosunda yarım saat bekletilir. Su banyosuna ait fotoğraf Resim 3.8' de verilmiştir. Su banyosundan çıkarılan numuneler kurularak Marshall test cihazına konulur. Bu cihaz sayesinde numunenin akma ve dayanım sınırları tespit edilir. Cihaz numuneye dakika da 51 mm yük uygular. Bu işlem sonucunda numunen akma ve dayanım değerleri tespit edilmiş olur. Her oran için hazırlanan üç numunen değerlerinin ortalaması alınır.

Stabilite numunenin şekil değiştirmeye karşı gösterdiği en yüksek dirençtir. Akma ise numunenin en yüksek yükte milimetrik olarak şekil değiştirmesi ile Marshall cihazının çizdiği şekil değiştirme grafiğine çizilen teğetin yükün sıfırlandığı noktaya doğru uzatılması ile anma şekil değiştirme arasındaki fark olarak ifade edilir. Marshall oranı ise stabilite oranının akma oranına oranlanması ile elde edilir (İSFALT 2021). Akma uygulamada trafikteki araçların asfalt betonuna uyguladığı yüke karşı gösterdiği direnci, stabilite ise agrega karışımının gösterdiği direnci ifade eder. Asfaltın ömrü açısından akma ve stabilite değerleri önemlidir. Düşük akma direnci gösteren bir asfaltın kullanım ömrü de düşük olacaktır. Resim 3.9’ da deneyde kullanılan cihaza ait fotoğraf verilmiştir.



Resim 3.9 Marshall stabilite cihazı.

4. BULGULAR

4.1 Deneyde Kullanılan Bitümlü Bağlayıcının Özellikleri

Yapılan deney sonucunda kullanılacak bitümlü bağlayıcının penetrasyon derecesi (25 °C, 1/10 mm) 62 olarak hesaplanmıştır. Penetrasyon derecesi arttıkça bitümün akışkanlığı ve yumuşaklığı artacaktır. Karayolları Teknik Şartnamesinde penetrasyon için belirlenen sınır değerler 50-70 arasında verilmiştir. Bulunan değer bu değerler arasındadır. Bulunan makul seviyede yumuşaklığa ve akışkanlığa sahip bitüm seçildiği anlaşılmaktadır. Kullanılan bitümün özgül ağırlığı 1,05 gr/cm³ bulunmuştur. Bulunan değer sınır değerler aralığındadır. Düktilite deneyinin amacı bitümün yavaş etkiyen yükler altında uzama kabiliyetini belirlemektir. Çizelge 4.1’de verilen değer şartnamede belirlenen koşulları sağlamıştır. Şartnamede belirlenen sınırlar altında olması durumunda bitümün yük altında daha kırılğan yapıda olmasına neden olur. Bu durumda asfalt betonunun kolay dağılmasına yol açar. Parlama noktası bitümün yüksek sıcaklıkta buharına alevin temas ettiği ancak yanmadığı sıcaklık noktasıdır. Asfalt betonu üretiminde ve kaplanması esnasında yüksek sıcaklıklarda çalışıldığı için kullanılacak bitümlü bağlayıcının parlama noktası tayini önemlidir. Deneyde kullanılan bitümlü bağlayıcının parlama noktası 275 °C de bulunmuş ve Karayolları Teknik Şartnamesinde belirlenen sınır değerinin üzerinde olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.1 Deneylerde kullanılan bağlayıcının özellikleri.

Yapılan Deney	Deney Sonucu	Standart	Sınır Değerler
Penetrasyon (25 °C, 1/10 mm)	62	ASTM D5 TS 118 En 1426	50-70
Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	1,05	ASTM D70	1,0-1,1
Düktilite (25°C, 5 cm/dk)	>100	ASTM D 113 TS 119	+100
Parlama Noktası (°C)	275	ASTM D 92 TS 123 EN 22592	Min. 230
Isıtma Kaybı (%)	0,49	ASTM D 6 TSEN 12607-2	Maks. 0.50
Yumuşama Noktası (°C)	51	ASTM D 36 TS 120 EN 1427	46-54

Asfalt betonu imalatı ve seriminin yapılması esnasında yüksek sıcaklıklarda çalışılır. Bu sıcaklıklarda bitüm miktarındaki kaybı belirlemek için ısıtma kaybı deneyi yapılmıştır. Yapılan deney sonucunda tespit edilen %0,49 değeri şartnamede belirlenen sınır değer altında kalmıştır. Bu değer yüksek çıkması durumunda asfalttaki bitüm miktarı sıcaklığa bağlı olarak azalacak bu da yapısal problemlere neden olacaktır.

Yumuşama noktası deneyi sonucunda kullanılan bitümün sıcaklıkla değişen kıvam oranı ve davranışları araştırılmıştır. Deneyde ısıtılan bitümün yumuşama noktası santigrat derece cinsinden 51 °C bulunmuştur. Karayolları Teknik Şartnamesinde verilen aralık 46-54 °C'dir. Deney sonucunda bulunan değer bu aralıkta ve makul bir değerdir. Yumuşama noktası bitümün viskozitesi ile doğru orantılıdır. Verilen sınır değerler üzerinde bulunan bir değer bitümün daha kalın ve akışkan olmayan bir malzeme olmasına neden olacak bu durumda da asfalt betonu üretiminde yapısal sorunlar baş gösterecektir

4.1.1 Bitümlü Bağlayıcının İçeriğinin Hesaplanması

Bitüm muhtevasının belirlenmesi için numunenin boşluk oranı, özgül ağırlığı, bitümün homojen dağılma oranı, agrega boşluk oranı, Marshall akma değeri bulunduktan sonra grafiğe dökülür. Kullanılacak en verimli bitüm yüzdesini hesaplamak için; Marshall stabilitesini sağlayan bitüm oranı, boşluk oranını %4 yapan bitüm oranı, pratik özgül ağırlığı istenilen seviyeye getiren bitüm oranı ve bitümle dolu boşluk oranını %70 yapan bitüm oranı grafiklerden okunarak tayin edilir. Tayin edilen değerlerin ortalaması alınarak deneysel çalışmada kullanılacak optimum bitüm yüzdesi hesaplanır. Optimum bitüm yüzdesini iki yöntemle hesaplanabilir. İlkinde grafiklerden okunarak tayin edilen 4 değerlerin ortalaması alınır. İkincisinde ise bitümle dolu boşluk oranı hesaba katılmayarak hesaplama yapılır. Neticede bulunan optimum bitüm yüzdesi akma-bitüm grafiğindeki değerlerle karşılaştırılarak Kara Yolları Şartnamesinde belirtilen değerler içinde kalıp kalmadığı tespit edilir. Bitüm yüzdesini yapacağımız çalışma da belirlemek için 7 farklı bitüm oranını (%3,5-6,5 aralığında) kullanılmıştır. Çizelge 4.2' de çalışmada referans alınacak Karayolları Teknik Şartnamesi aşınma tabakası asfalt betonu dizayn kriteri verilmiştir. Tabloda verilen minimum ve maksimum değerler arasında numunelerin verdiği optimum değere ulaşılmıştır. Deneyde her oran 3 için numune hazırlanmış ve Marshall testine tabi tutulmuştur. Çizelge 4.2'de Karayolları Teknik Şartnamesi aşınma

tabakası asfalt betonu dizayn kriteri ve Çizelge 4.3'te Marshall deneyi ortalama değerleri verilmiştir.

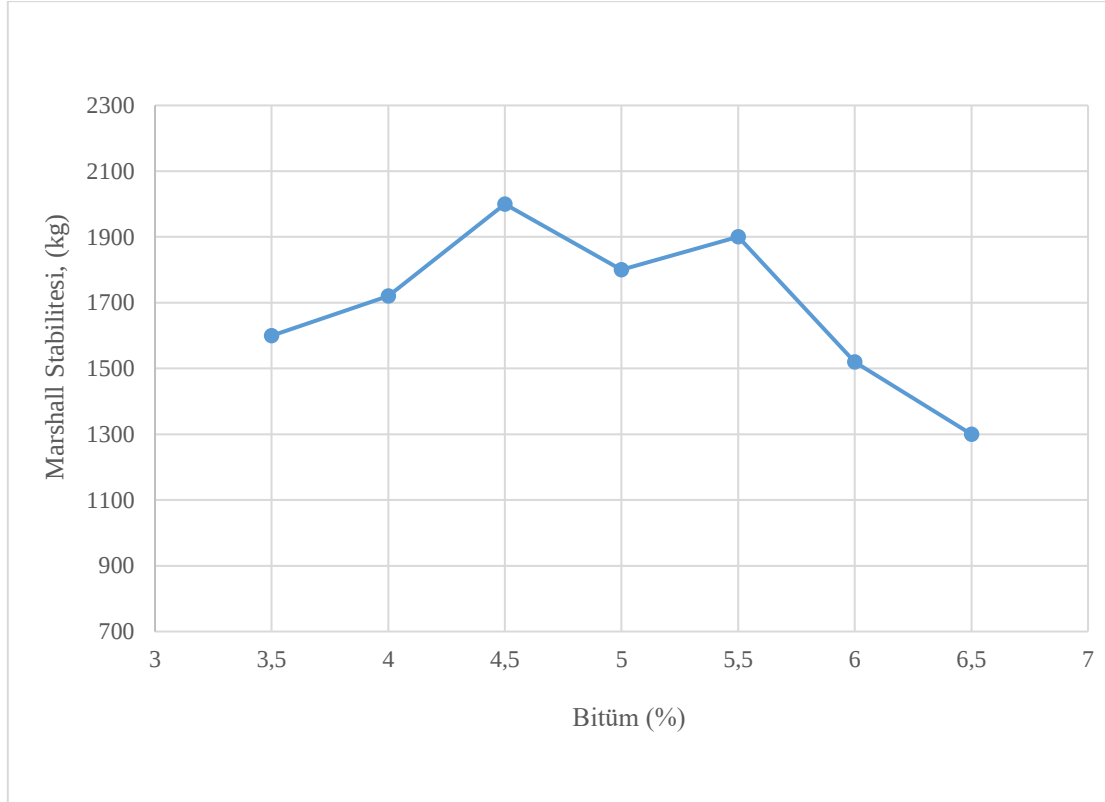
Çizelge 4.2 Aşınma tabakası asfalt betonu dizayn kriteri (Karayolları Teknik Şartnamesi 2006).

Malzeme Özellikleri	Minimum	Maksimum
Marshall Stabilesi, Kg	900	-
Boşluk, %	3	5
Bitümle Dolu Boşluk, %	65	75
Agregalar Arası Boşluk (VMA), %	14	-
Akma, mm	2	4
Filler/Bitüm Oranı	-	1,5
Bitüm (Ağırlıkça, 100)	4,0	7,0

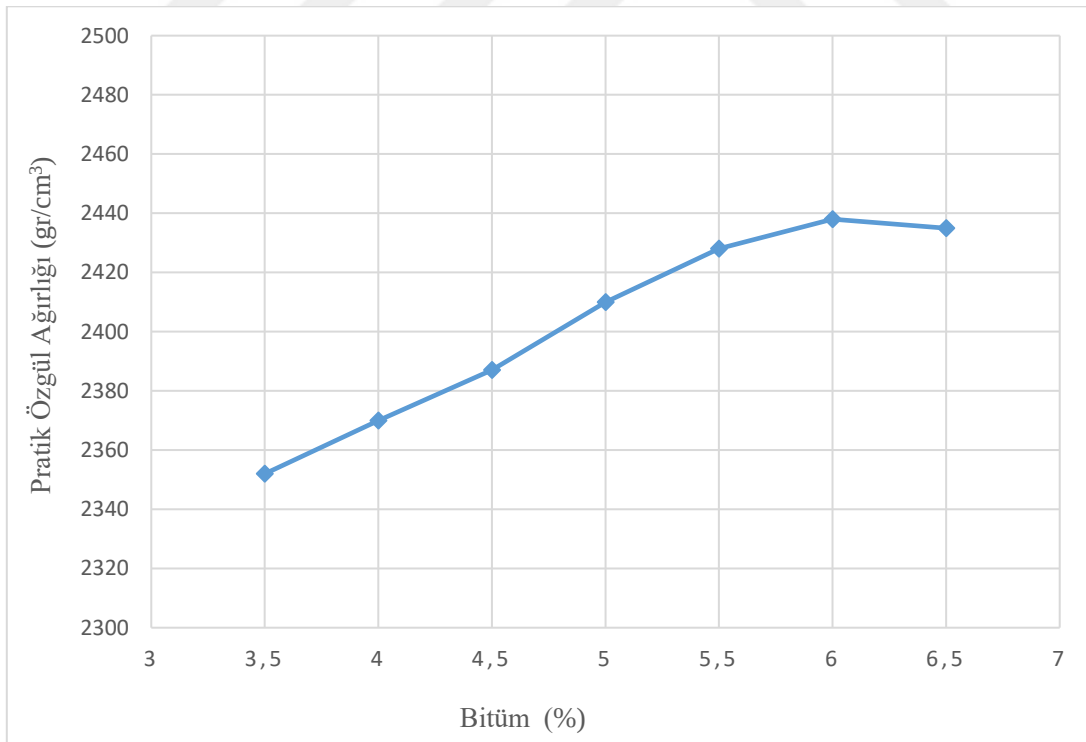
Toplamda 21 numune Marshall deneyine tabi tutulmuş ve her numune için ortalama değerler Çizelge 4.3'e işlenmiştir. Elde edilen bu değerler grafiklere işlenmiş ve kıyaslaması yapılarak hesaplamalar yapılmıştır. Agregalar arası boşluk (VMA) arttıkça kullanılan bitüm miktarı da arttığından daha mukavim bir yapı elde edilir.

Çizelge 4.3 Marshall deneyinden elde edilen ortalama değerler.

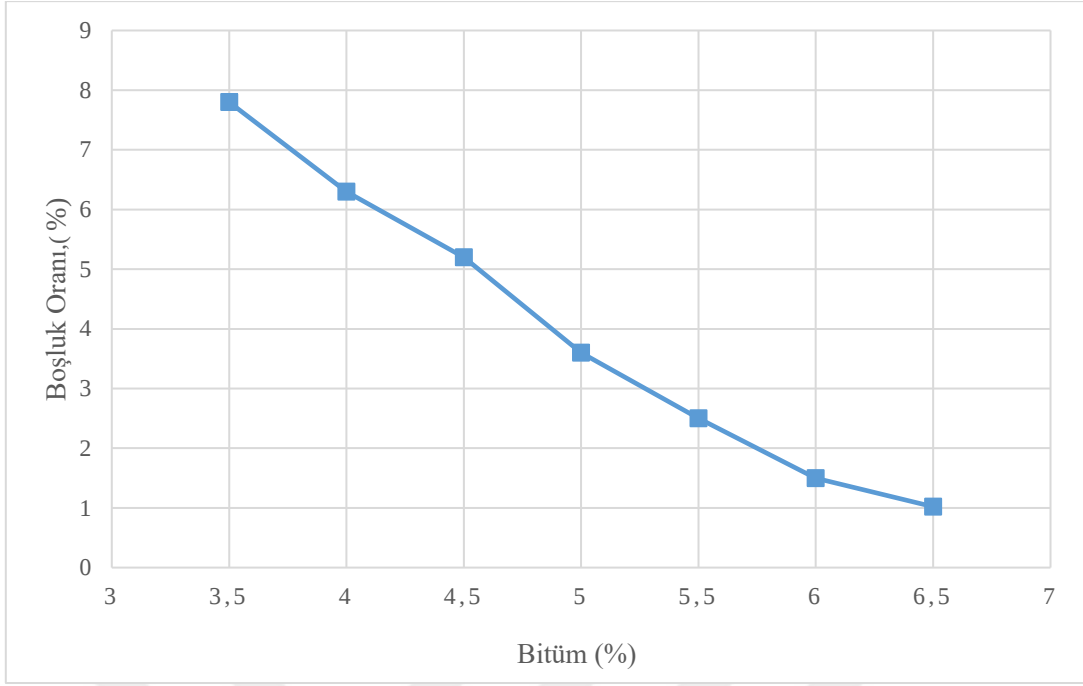
Bitüm Oranı (%)	VMA (%)	Bitümle Dolu Boşluk Oranı (%)	Boşluk Oranı (%)	Pratik Özgöl Ağırlık (gr/cm ³)	Marshall Stabilesi (kg)	Akma (mm)	MQ (kg/mm)
3,5	15,56	48,85	8,02	2359,71	1636,26	2,42	682,55
4,0	15,30	56,97	6,65	2378,51	1779,51	2,46	742,96
4,5	15,07	65,23	5,31	2396,37	2040,22	2,72	754,54
5,0	14,78	74,13	3,89	2415,96	1970,40	2,25	895,62
5,5	14,55	83,05	2,53	2433,97	1781,63	2,67	687,19
6,0	14,66	89,82	1,56	2442,42	1597,06	3,00	534,13
6,5	15,17	93,48	1,05	2439,35	1296,49	4,05	320,60



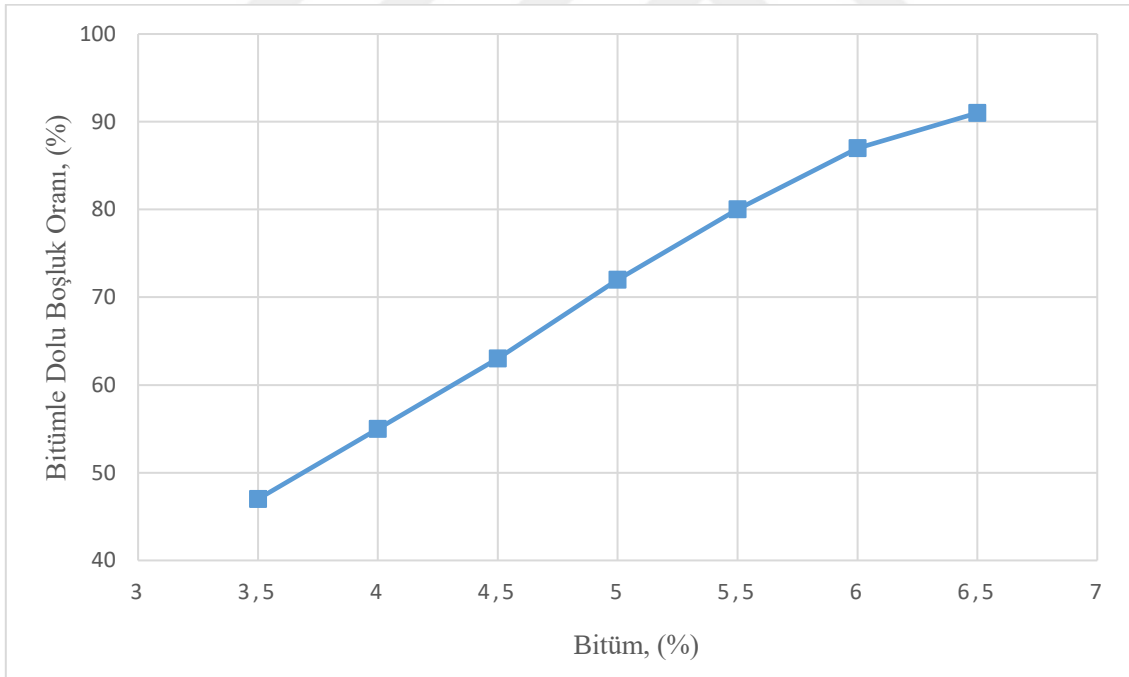
Şekil 4.1 Marshall stabilitesi – Bitüm grafiği.



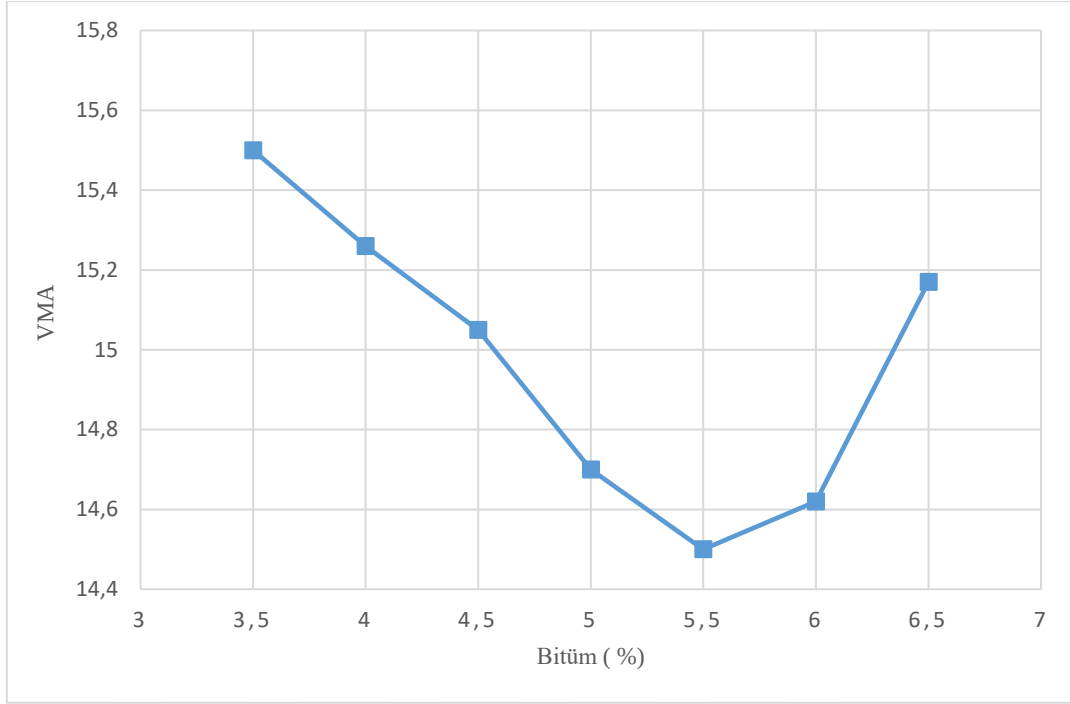
Şekil 4.2 Pratik özgül ağırlık - Bitüm grafiği.



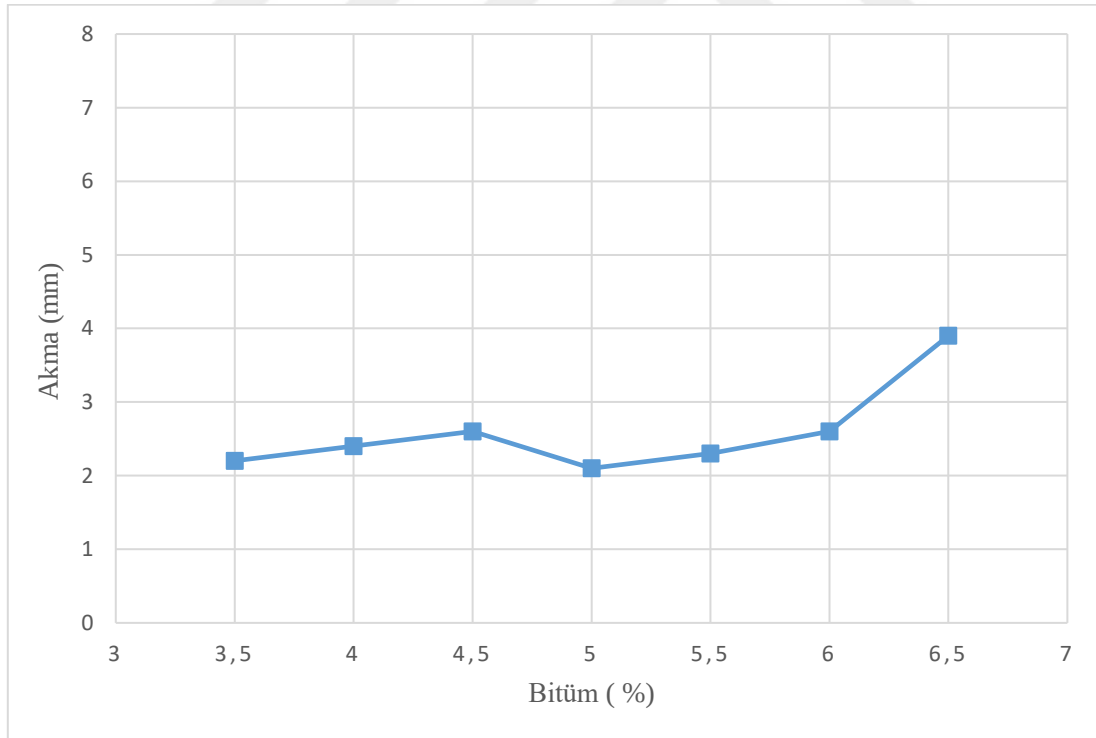
Şekil 4.3 Boşluk oranı - Bitüm grafiği.



Şekil 4.4 Bitümle dolu boşluk oranı- Bitüm grafiği.



Şekil 4.5 VMA -Bitüm oranı grafiği.



Şekil 4.6 Akma - Bitüm oranı grafiği.

Deney numunesine yapılan testler neticesinde yukarıdaki grafikler elde edilmiştir. Grafiklerin okunması sonucu; Marshall stabilitesi deney sonucunda elde edilen grafikten bitüm oranı %4,74, pratik özgül ağırlık grafiğinden bitüm oranı %6, boşluk – bitüm oranı %4,94, bitümle dolu boşluk oranı grafiğinden %4,72 okunmuştur. Bu durumda birinci hesap yöntemine göre denklem (4.1) kullanılır.

$$\frac{X_1+X_2+X_3+X_4}{4} = \text{Optimum Bitüm Oranı (\%)} \quad (4.1)$$

Burada;

X_1 = Marshall Stabilitesi – Bitüm Oranı grafiğinden elde edilen değeri,

X_2 = Pratik Özgül Ağırlık – Bitüm Oranı grafiğinden elde edilen değeri,

X_3 = Boşluk Oranı – Bitüm Oranı grafiğinden elde edilen değeri,

X_4 = Bitümle Dolu Boşluk Oranı – Bitüm Oranı grafiğinden elde edilen değeri ifade eder.

Bu durumda birinci yöntemle göre bitüm oranı %5,1 olarak hesaplanmıştır. İkincil yöntemde ise daha önce bahsedildiği gibi Bitümle Dolu Boşluk Oranı grafiğinde elde edilen değer hesaba katılmaz bu durumda oran %5,22 olarak hesaplanır. Birincil ve ikincil hesabın sonuçları bulunarak ikiye bölünmüş ve böylelikle optimum bitüm oranı %5,16 olarak hesaplanmıştır. Böylelikle Marshall stabilitesi deneyi için hazırlanan atık lastik katkılı ve katkısız numunelerin bitüm oranını tespit edilmiş olur. Karayolları Teknik Şartnamesi Standartları Tablosundan kullanılacak bitüm oranının %5,1 olduğu tespit edilmiştir.

4.1.2 Ömrünü Tamamlamış Lastik Katkılı Numunelerin Marshall Deneyi

Günümüzde ömrünü tamamlamış lastiklerin çeşitli yöntemlerle parçalanıp asfalta katkı maddesi olarak katılmasında kuru ve ıslak olmak üzere iki metot vardır. Bunlar;

Kuru Metot: Kuru metot yönteminde sıcak bağlayıcı madde eklenmeden önce kauçuk direkt olarak agregalar ile birlikte karışıma katılır ve karıştırma işlemi gerçekleştirilir. Karıştırma aşamasında kauçuk tozu şişer, bu süreç kauçuk asfalt karışımlarını taşınırken ve uygulanırken gerçekleşmesi gerekir. Bu yöntemin avantajları;

- Mevcut üretim yöntemleri ile uyumsuz hiçbir tarafı yoktur. Uygulanması kolaydır.
- Bu yöntemin uygulanacağı tesiste hiçbir ek yatırım ve modifikasyon gerektirmez.
- Depolama alanına gerek yoktur. Dikkat edilmesi gereken husus kauçuk tozunun kuru ortamda saklanmasıdır.
- Asfalt üretim operatörlerinin alışık olduğu geleneksel yöntemlerle uygulaması yapılır. Bunun dışında eğitim ve oryantasyon gibi süreçlere gerek yoktur.

Islak Metot: Islak metot yönteminde kauçuk önce bitümle karıştırılır ve bitüm kauçukla modifiyeli edilmiş olur. Bu karışım daha sonra agrega ile karıştırılarak atık lastik katkılı asfalt elde edilmiş olur. Bu yöntemde dikkat edilmesi gereken en önemli konulardan birisi, kauçuğun bitüm içerisinde homojen dağılımını sağlanmalı ve bitüm ile kauçuğun aktive olması için 160 ° C ila 185 °C de karışımın sağlanması gerekir. Islak yöntemde; Özel karıştırıcı ekipman gerekliliği vardır. Bu da büyük yatırım gerektiren bir durumdur.

- Islak yöntemde karıştırma sonrası bitüm içindeki kauçuk lastiğin çökmesi meydana gelebilir. Bu durum üretilen asfalt kalitesinde olumsuzluklara neden olur.
- Degradasyon tehlikesinden dolayı depolama süresi limitlidir.
- Kauçuk lastiğin bitüm içinde çökmesini engellemek için sürekli karışım gereklidir. Bu durumda gereksiz enerji ve iş gücü maliyetine sebep olur.

Kuru karışım metodu geleneksel asfalt üretim metotlarına uygun olması ve üretim sürecinde ekstra zaman ve işletim gideri doğurmadığından atık lastik katkılı modifiyeli asfalt üretiminde tercih edilen teknolojidir. Yıldırım Belediyesi asfalt üretim tesisinde de bu yöntem ile atık lastik katkılı asfalt üretimi gerçekleştirilmektedir.

Numunelerde kullanılacak bitüm yüzdesi hesaplandıktan sonra atık lastik araçlarından elde edilmiş toz kauçuk katkılı ve katkısız numune üretilmiştir. Atık lastikler oluşturulacak numune karışımına agrega ağırlığının %2, %4, %6, %8'i oranlarında katılmıştır. Numunelere katılacak atık lastik miktarı Marshall oranı değeri (MQ) göz önüne alınarak belirlenmiştir. Marshall oranı değeri asfalt karışımının performansı adına

önemli bir göstergedir. Marshall deneyinden elde edilen %5,1 oranında bağlayıcı içeren katkısız kontrol numunesinin ortalama değerleri Çizelge 4.4’te verilmiştir.

Çizelge 4.4 Katkısız karışım için Marshall deneyinden elde edilen ortalama değerler.

VMA (%)	Bitümle Dolu Boşluk Oranı (%)	Boşluk Oranı (%)	Pratik Özgül Ağırlık (gr/cm³)	Marshall Stabilite (kg)	Akma (mm)	MQ (kg/mm)
15,26	72,81	4,22	2404,54	2027,54	1,76	1166,85

Marshall deneyinden elde edilen %5,1 oranında bağlayıcı içeren atık lastikten elde edilmiş toz kauçuk katkılı numunelerin ortalama değerleri Çizelge 4.5’te verilmiştir.

Çizelge 4.5 Atık lastik tozu ilaveli numunelerin Marshall deneyinden elde edilen ortalama değerleri.

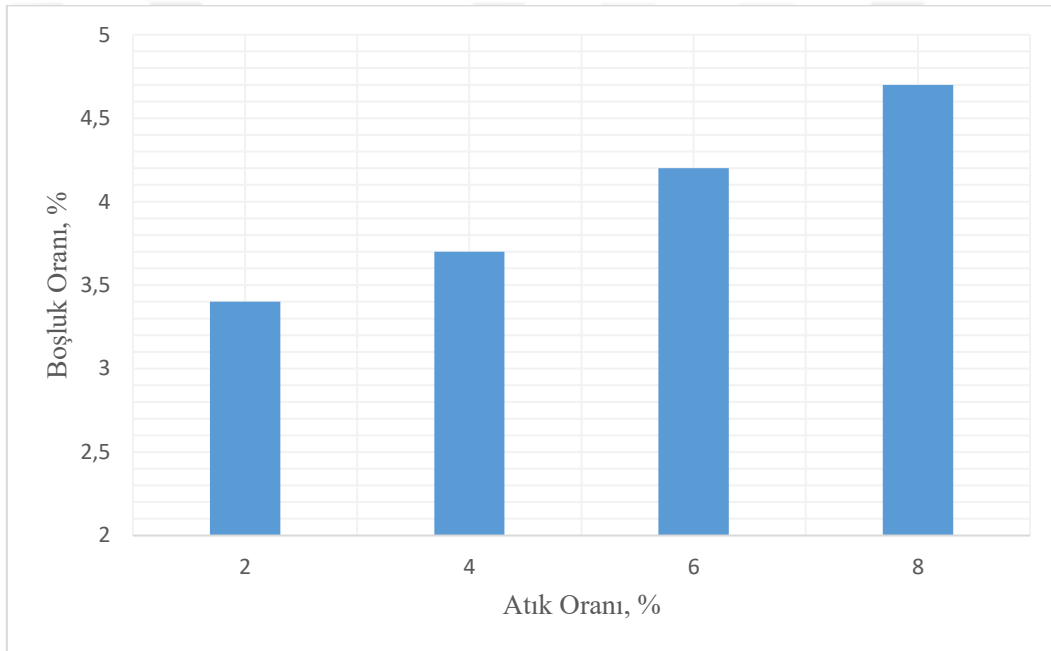
Atık Oranı (%)	VMA (%)	Bitümle Dolu Boşluk Oranı (%)	Boşluk Oranı (%)	Pratik Özgül Ağırlık (gr/cm³)	Marshall Stabilite (kg)	Akma (mm)	MQ (kg/mm)
2	14,51	77,35	3,36	2425,99	1878,72	2,26	891,56
4	14,81	75,45	3,70	2417,51	2009,49	1,79	1130,69
6	15,21	73,11	4,16	2406,09	2109,33	2,22	934,22
8	15,64	70,78	4,64	2393,98	2120,83	1,79	1182,92

Deney sonucunda sıcak asfalt karışımına katılan atık lastik tozu miktarı arttıkça numunelerin agregalar arası boşluk oranlarının da arttığı anlaşılmıştır. Marshall değerleri sonuç grafikleri;

Şekil 4.7’ de atık lastik tozu ilaveli numunelerin boşluk oranını gösterir grafik verilmiştir. Grafikten okunacağı üzere atık lastik tozu ilavesi arttıkça boşluk oranı da artma eğilimindedir. Asfalt kaplamalarının dayanımı etkileyen faktörlerden biri de boşluk oranıdır. Boşluk oranının düşük olması asfaltın geçirgenliğini azalmasına, tekerlek izi oluşumuna ve kalıcı deformasyona sebep olur. Asfalttaki boşluk oranı araç trafiğinin oluşturduğu ilave sıkıştırmayı ve sıcak havalarda oluşacak genişlemenin tolere edilmesi

açısından önemlidir (Komut vd. 2021). Grafik incelendiğinde tüm numuneler Karayolları Teknik Şartnamesinde verilen oran (%3-5) kriterini karşılamıştır.

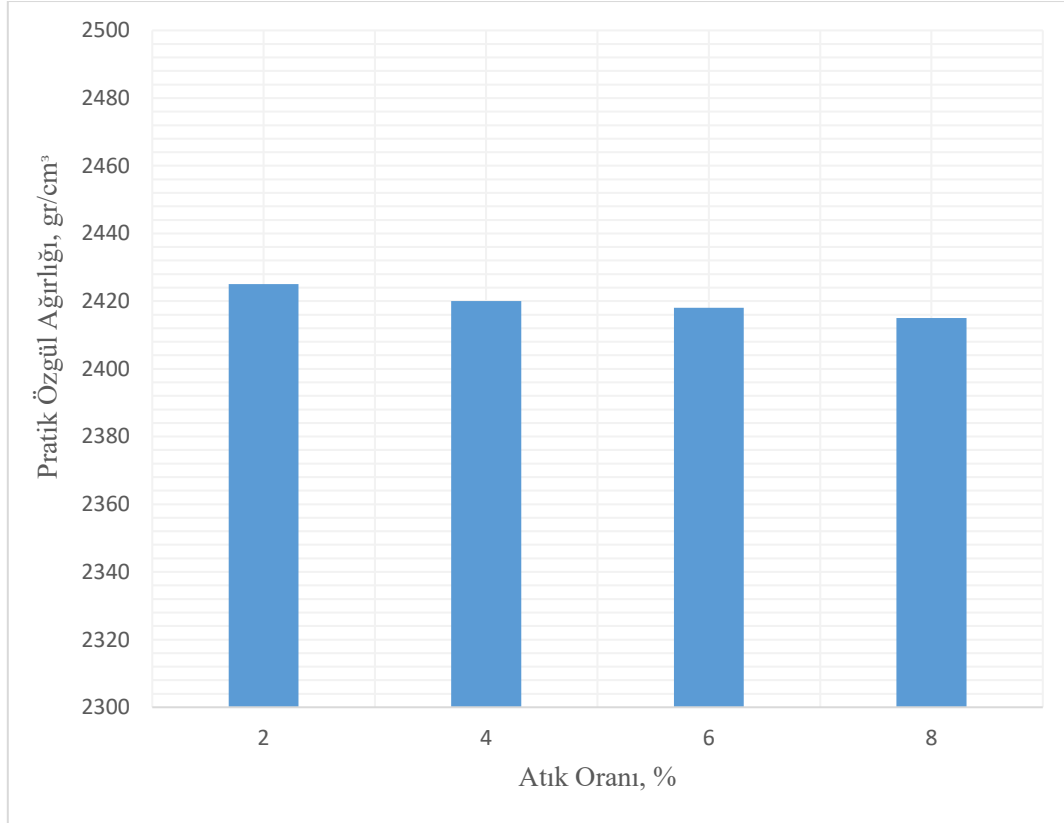
Atık lastik oranı %8 olan numune boşluk oranı en yüksek numunedir. Bu numunenin diğer numunelere göre tekerlek izi oluşumuna daha dayanıklı, sıcak havalarda genişmeden kaynaklı oluşacak deformasyonlara ve bitüm kusmasına karşı daha mukavemetli olacaktır. Boşluk oranının belirlenen kriterden yüksek olması yaşlanmaya ve kaplama tabakasında soyulmaya neden olur. Ancak numune Karayolları Teknik Şartnamesinde belirtilen oranlar (%3-5) arasında sonuç verdiği için boşluk oranı kriteri açısından en iyi sonucu vermiştir.



Şekil 4.7 Atık lastik tozu ilaveli numuneler için boşluk oranı-Atık oranı grafiği.

Şekil 4.8’ de atık lastik tozu ilavelerin hesaplanan pratik özgül ağırlıkları grafiği verilmiştir. Bir maddenin özgül ağırlığı kısaca birim hacimdeki karışım ağırlığı ifade eder. Sıcak asfalt kaplamalarında özgül ağırlığın belirlenmesi için sıkıştırılmış ve gevşek karışımındaki teorik maksimum özgül ağırlıklarıdır. Bu değerler sayesinde laboratuvar ortamında karışım dizaynı yaparken numunelerin boşluk miktarını hesaplamasında kullanılır. Sıcak asfalt kaplamalarında pratik yoğunluk kaplamanın performansını önemli ölçüde etkilediğinden doğru hesaplanması önemlidir (Komut vd. 2021).

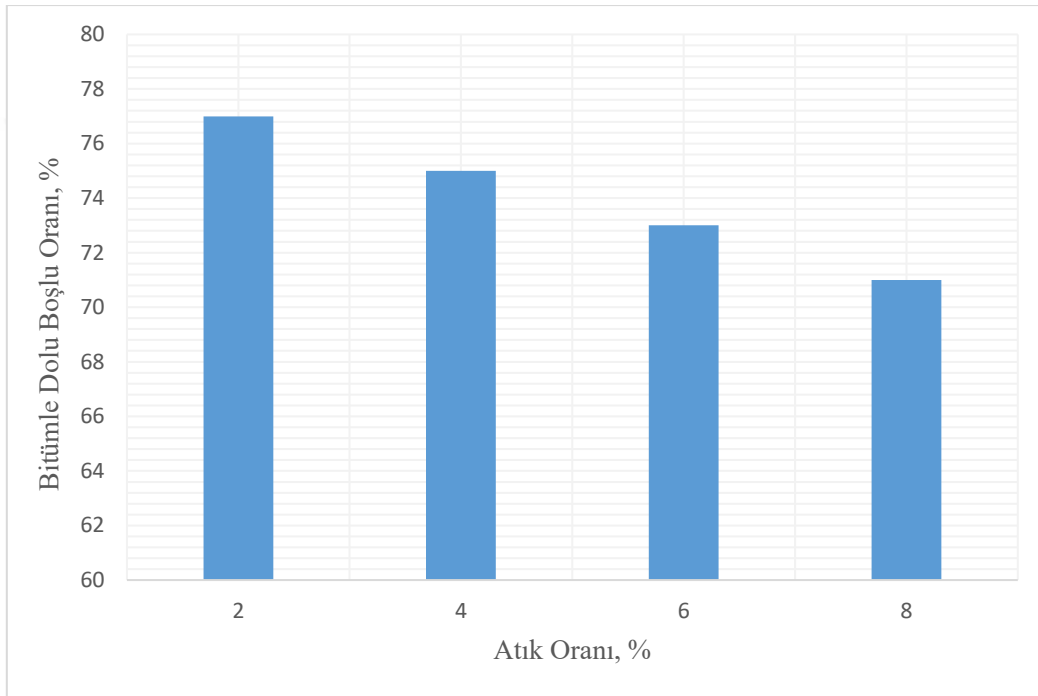
Atık lastik tozu ilaveli numunelerin özgül ağırlık performansları değerlendirildiğinde, %2 atık lastik katkılı numune en yüksek özgül ağırlığı en yüksek olan numunedir. Geçirimsiz ve kütlesi yoğundur. Diğer numuneler kontrol numunesinin özgül ağırlığına yakın değerler vermiştir. En düşük özgül ağırlık değeri %8 atık lastik tozu katkılı numunede görülmüştür. Bu durumda diğer numunelere oranla boşluk oranı ve geçirimi en yüksek numune olmuştur.



Şekil 4.8 Atık lastik tozu ilaveli numuneler için pratik özgül ağırlığı-Atık oranı grafiği.

Şekil 4.9’ da atık lastik tozu ilaveli numunelerin bitümle dolu boşluk oranları grafikte verilmiştir. Bir karışımın bitümle dolu boşluk oranını bitümle dolu olan hacminin agregalar arası boşluk değerine oranlanması ile elde edilmiştir. Bu oran karışımda kullanılan agregaların çevresinde yeterince bitümle kaplanmasını ifade eder. Bitümle dolu boşluk oranı düşük ise karışımın dayanımı zayıf, yüksek ise karışımın stabilite oranı düşük olmaktadır. Bitümle dolu boşluk oranı tayin ederken karışımın kullanılacağı trafik yoğunluğu ve iklim şartları göz önünde bulundurulmalıdır. Yüksek yoğunluklu trafikte kullanılacak bir karışımın bitümle dolu boşluk oranı az seçilir. Çünkü yüksek bitümle dolu boşluk oranı bitüm kusmasına ve tekerlek izi oluşumuna neden olacaktır (Komut vd.

2021). Atık lastik tozu ilaveli numunelerin bitümle dolu boşluk oranları incelendiğinde en yüksek oranı %2 atık lastik tozu ilaveli numune göstermiştir. Bu durumda trafiğin seyrek olduğu bölgelerde %2 atık lastik ilaveli numune kullanılabilir. Bitümle dolu boşluk oranı en yüksek olan numune %8 atık lastik tozu ilaveli numunedir. Bu durumda yoğun trafik olan yollarda kullanılacak karışıma %8 atık lastik tozu ilavesi uygun olacaktır. Karayolları Teknik Şartnamesinde belirlenen orana (%65-75) göre %8 atık lastik tozu ilaveli numune %70 dolu boşluk oranını vermiştir ve şartname kriterlerine uygundur.

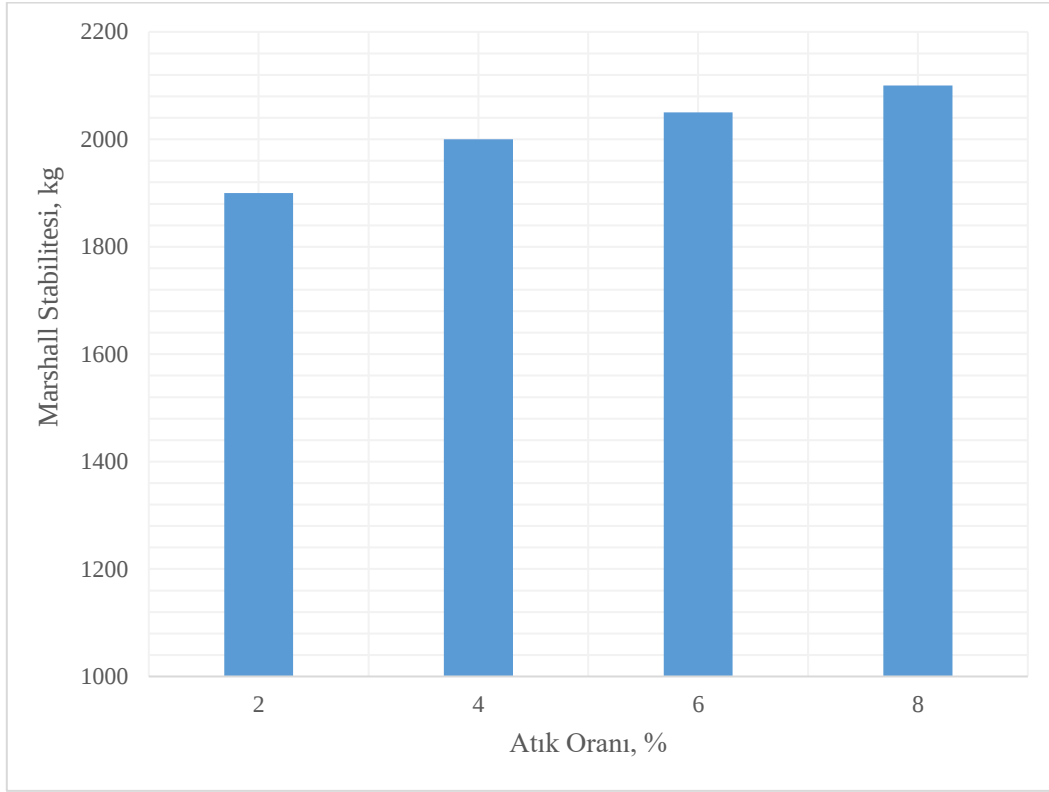


Şekil 4.9 Atık lastik tozu ilaveli numuneler için bitümle dolu boşluk oranı- Atık oranı grafiği.

Şekil 4.10’ da atık lastik ilaveli numunelerin Marshall stabilitesi performanslarının grafiği verilmiştir. Marshall stabilitesi, sabit yük altında numunelerin en yüksek yük dayanımıdır. Karayolları Teknik Şartnamesinde minimum Marshall stabilite değeri minimum 900 kg olarak belirtilmiştir. Bir üst sınır belirlenmemiştir. Ancak stabilite değeri arttıkça asfalt karışım gevrek davranış gösterir ve daha kırılgan bir hal alır. Bu nedenle üreticiler tarafından yüksek stabilite değeri çok revaçta olan bir davranış değildir.

Atık lastik tozu ilaveli numunelerin Marshall stabilite değerleri incelendiğinde numunelerin tümü Karayolları Teknik Şartnamesinde belirlenen minimum kriteri (900

kg) sağlamıştır. Atık lastik tozu ilavesi arttıkça stabilite değeri de artmıştır. Bu nedenle %2 atık lastik tozu ilaveli numunenin performansı stabilite değeri açısından yeterli bulunmuştur. Stabilite değerinin değişimine göre optimum atık lastik tozu kullanımı %2 olarak belirlenmiştir.

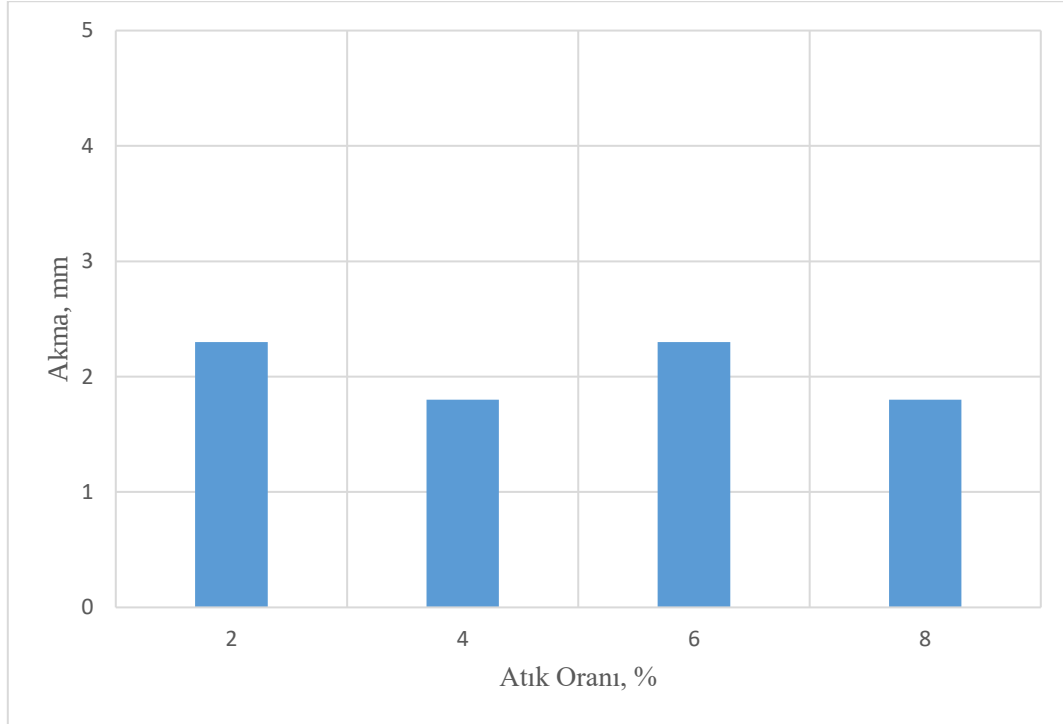


Şekil 4.10 Atık lastik tozu ilaveli numuneler için Marshall stabilitesi – Atık oranı grafiği.

Şekil 4.11’ de atık lastik tozu ilaveli numunelerin akma performansları grafik şeklinde verilmiştir. Numunelere yapılan Marshall deneyi sonucunda oluşan elastik ve plastik deformasyonların ölçümü akma değerini vermektedir. Akma oranı düşük olması kaplamanın gevrek davranış göstermesine dolayısı ile ani kırılmalara yol açan bir husustur. Akma değerinin çok yüksek olması da istenmeyen bir durumdur. Yüksek akma değeri miktarı kaplamada plastik deformasyon eğilimi göstergesidir. Bu sebeplerden ötürü Karayolları Teknik Şartnamesinde akma sınırı için alt ve üst limit belirlenmiştir.

Grafikte görüleceği üzere akma oranı kriteri açısından Karayolları Teknik Şartnamesinde belirtilen oranları (2-4) atık lastik tozu oranı %4 ve %8 olan numuneler karşılamamış ve minimum değer olan 2’nin altında kalmışlardır. %2 ve %6 atık lastik tozu ilaveli

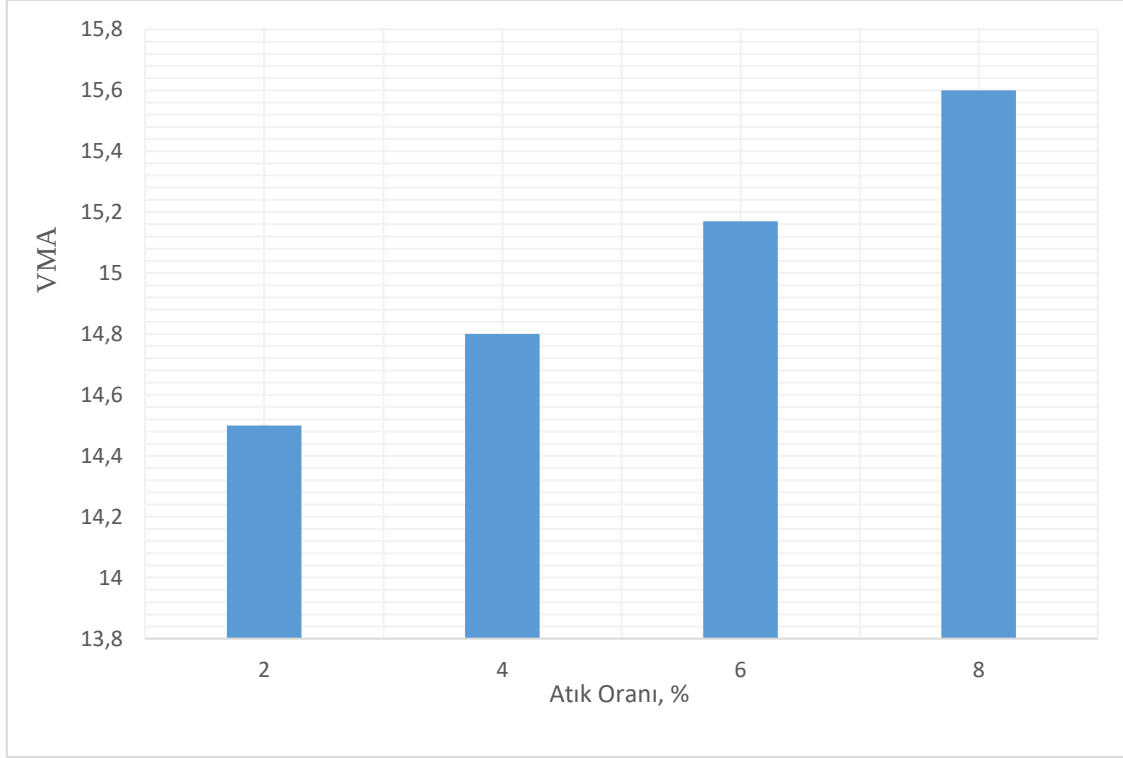
numuneler ise şartnamede belirtilen sınırlar içinde performans göstermiştir. %6 atık lastik tozu ilaveli numune en yüksek akma derecesine sahip olan numunedir. Ancak yüksek akma derecesi plastik deformasyon eğilimine sebep olduğu için minimum değer olan 2'ye en yakın performansı gösteren %2 atık lastik tozu ilaveli numune tercih edilmiştir.



Şekil 4.11 Atık lastik tozu ilaveli numuneler için akma – Atık oranı grafiği.

Şekil 4.12’de atık lastik tozu ilaveli numunelerin agregalar arası boşluk (VMA) oranlarını gösterir grafik verilmiştir. Asfalt karışımlarında agregalarının tamamen bitüm ile kaplanmasının yanı sıra agregalar arasındaki boşluğun dolması içinde bitüm hacmine ihtiyaç vardır. VMA oranı agregata tane boyutu ile doğrudan ilgilidir. Agregata tane boyutu küçüldükçe kaplanması gereken agregata yüzey oranında da artış olacak böylelikle daha yüksek agregalar arası boşluk hacmine ihtiyaç duyulacaktır. Agregalar arası boşluk azaldıkça ihtiyaç duyulan efektif bitüm oranı da azalacak bu durumda da kaplama daha düşük dayanıklılığa sahip olacaktır. Sıkıştırılmış bitümlü kaplamada agregalar arası boşluk, toplam hacmin yüzdesi olarak ifade edilmektedir (Komut vd. 2021).

Karayolları Teknik Şartnamesinde agrega boşluk oranı (VMA) için minimum sınır %14 olarak belirlenmiştir. Grafik incelendiğinde tüm numunelerin şartnamede belirlenen değeri sağladığı görülmektedir.

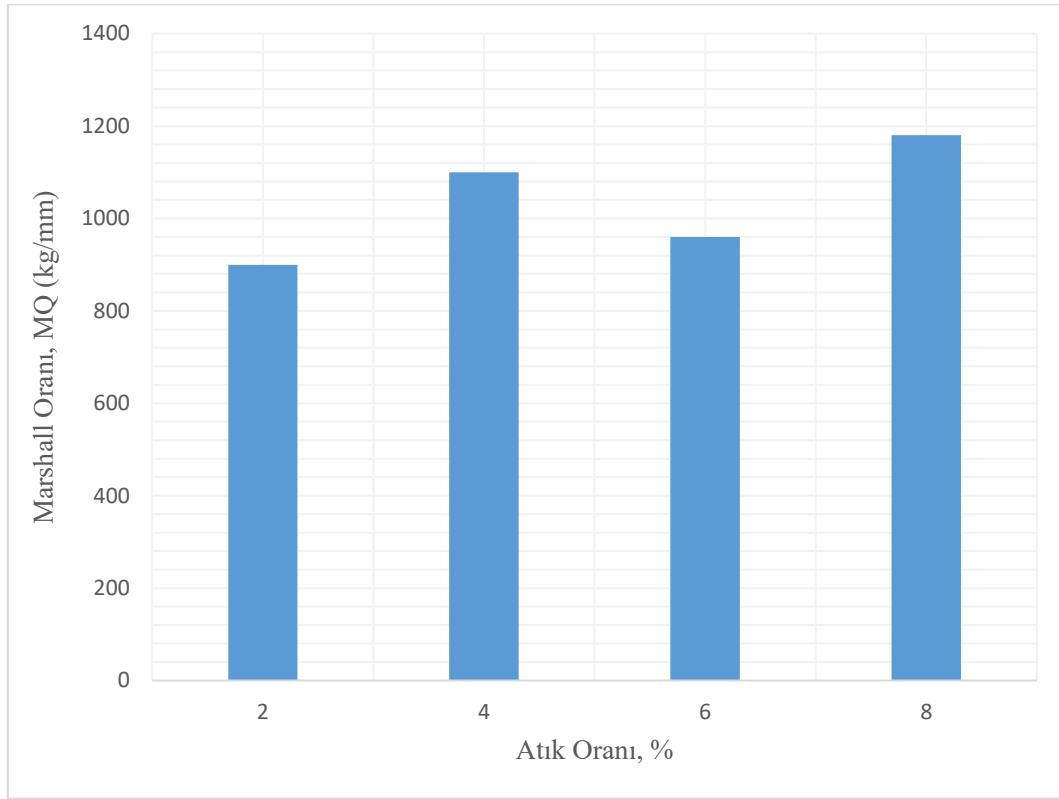


Şekil 4.12 Atık lastik tozu ilaveli numuneler için VMA– Atık oranı grafiği.

Şekil 4.13'te atık lastik tozu ilaveli numunelerin Marshall oranlarını gösterir grafik verilmiştir. Marshall oranı (MQ) kaplamanın stabilitesinin akma oranına oranını ifade eder. Marshall oranı arttıkça kaplamanın modülü dayanımı da artar. Bu durumda kaplamanın plastik deformasyon eğilimi azalır. Grafik incelendiğinde en yüksek Marshall oranı değerini %8 atık lastik ilaveli numune vermiştir.

Atık lastik tozu ilaveli asfalt numunelerine ait grafikler incelendiğinde, dizayn kriterinin sağlanması genel anlamda başarılı olmuştur. Karayolları Teknik Şartnamesinde Marshall stabilitesi minimum 900 kg, agregalar arası boşluk oranı minimum %14, boşluk oranı %3-5 verilmiş ve bu standartlar tüm asfalta katılan atık lastik oranlarında sağlanmıştır. Ancak, Asfaltla dolu boşluk oranında %2 ve %4 kauçuk tozu katkılı numunelerde sırasıyla %77,35 ve %77,45 oranları elde edilmiştir. Karayolları yönetmeliğinde bu standart %65-75 arasındadır. Bu numuneler standardın dışında kalmıştır. Akma kriterinde

ise kauçuk tozu oranı %4 ve %8 olan numuneler ise minimum 2 mm olan akma kriterinin biraz altında kalmıştır.



Şekil 4.13 Atık lastik tozu ilaveli numuneler için Marshall oranı– Atık oranı grafiği.

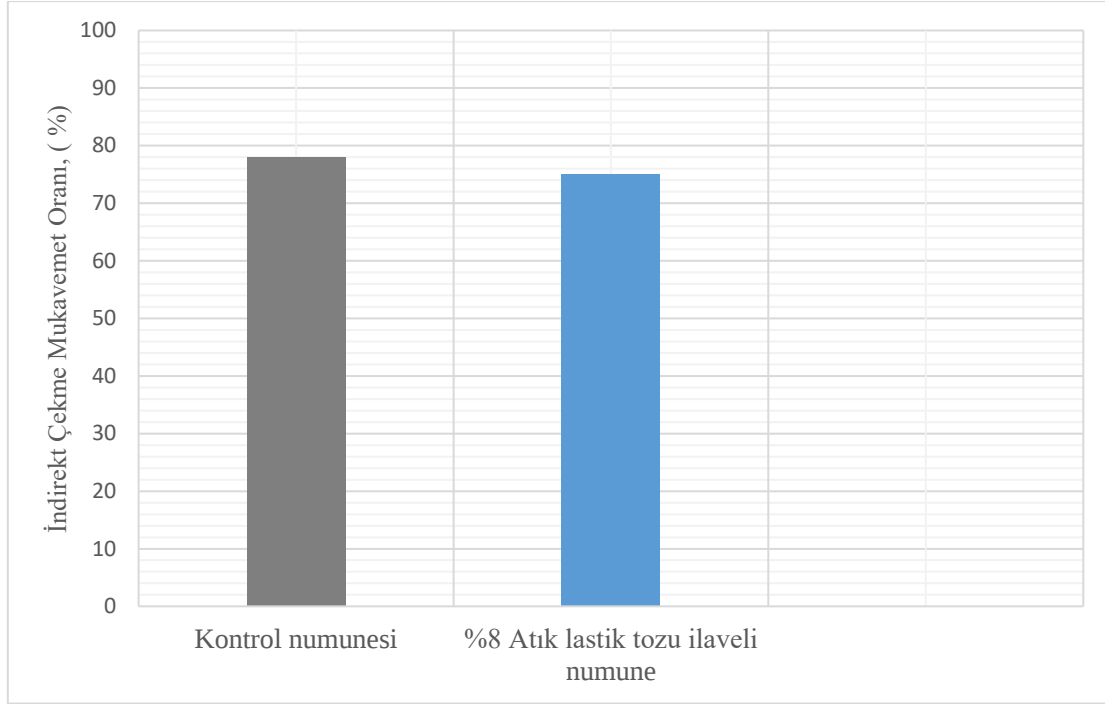
Marshall stabilitesi kriteri açısından numuneler incelendiğinde, %8 kauçuk tozu katkılı numunenin en yüksek Marshall stabilitesi performansını yakaladığı görülmüştür. Bunun doğrultuda numunedeki atık lastik tozu miktarı arttıkça Marshall mukavemetinin de arttığı tespit edilmiştir. Pratik özgül ağırlık oranı açısından incelendiğinde atık lastik tozu oranı %2 olan numune en yüksek değeri vermiştir. Marshall oranı (MQ) açısından bakıldığında ise en yüksek değer bünyesinde %8 oranında atık lastik tozu bulunduran numunede saptandığı görülmüştür. Kontrol numunesi ile kıyaslandığında en yakın performans değerlerini gösteren numune %8 atık lastik tozu katkılı olanıdır. Hatta %6 ve %8 atık lastik tozu katkılı numunelerin Marshall stabiliteleri kontrol numunelerinkinden daha yüksek değerler vermektedir. Kontrol numunelerine oranla Marshall oranı yönünden en yüksek performansı %8 kauçuk tozu katkılı numune vermiştir.

Elde edilen tüm sonuçlar neticesinde Marshall deney performansı açısından ve diğer kriterler açısından kabul edilebilir performans gösteren %8 atık lastik tozu ilaveli numune

indirekt çekme mukavemet oranı, boşluk içeriği, kopma enerjisi, tekerlek izi performansları açısından mukayese edilmiştir. %8 atık lastik tozu katkılı numunenin seçilmesi ve kontrol numunesi ile kıyaslanmasının en önemli sebeplerinden biride; deneyde kullanılan diğer numunelere göre içeriğinde daha fazla atık lastik tozu kullanılmasıdır. Bu çalışma ile atık lastiklerin başta çevre kirliliğine neden olan atık lastiklerin çevreye minimum düzeyde zarar vererek yeniden değerlendirmesini sağlamaktır. Bu nedenle sıcak asfaltın Karayolları Teknik Şartnamesi dizayn kriterine göre belirlenen kriterleri karşılamak kaydı ile muhteviyatına ne kadar atık lastik tozu ilave edilirse atık lastiklerin bertaraf edilmesine o kadar katkı sağlayacaktır.

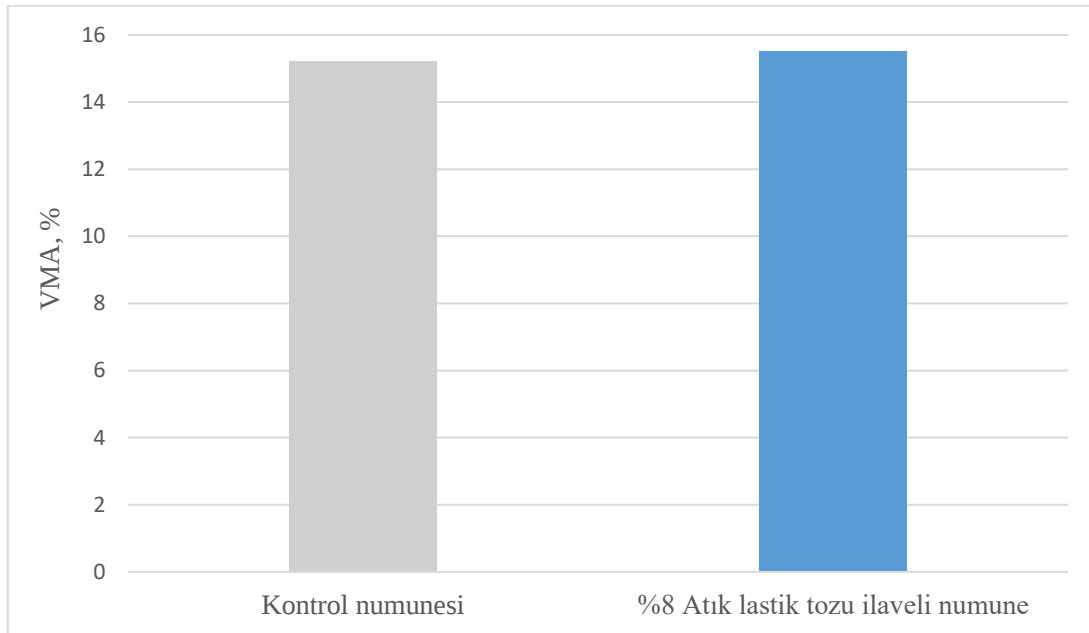
Elde edilen bu veriler doğrultusunda Şekil 4.15’de kontrol numunesi ve %8 atık lastik tozu katkılı numuneye ait İndirekt çekme mukavemet oranı grafiği, Şekil 4.16’da kontrol numunesi ve %8 atık lastik tozu katkılı numuneye ait boşluk içeriği grafiği verilmiştir. Daha sonra Şekil 4.17’de %8 atık lastik tozu katkılı numune ve kontrol numunesine ait kopma enerjisi grafiği, Şekil 4.18’de atık lastik tozu katkılı numune ve kontrol numunesine ait yükleme grafiği ve Şekil 4.19’da %8 atık lastik tozu katkılı numunenin tekerlek izi grafiği verilmiştir.

Şekil 4.14’te atık lastik ilaveli numune ve kontrol numunesinin indirekt çekme performanslarını gösterir grafik verilmiştir. İndirekt çekme mukavemeti Marshall deneyi cihazında bağlantı plakaları yardımı ile yapılır. Numuneye test cihazının başlığı dakikada 50 mm değerine ulaşınca kadar yük uygulanmıştır. Numunede dikey yönde çatlak oluşana kadar yüklemeye devam edilir ve çatlak oluşumundan sonra numune test cihazından alınır. İçyapısı kontrol edilerek indirekt çekme dayanımı hesaplanır. (Komut vd. 2021). Yapılan deney neticesinde %8 atık lastik tozu numune kontrol numunesine çok yakın bir performans göstermiştir.



Şekil 4.14 %8 Atık lastik tozu ilaveli numune ve kontrol numunesine ait indirekt çekme mukavemet grafiği.

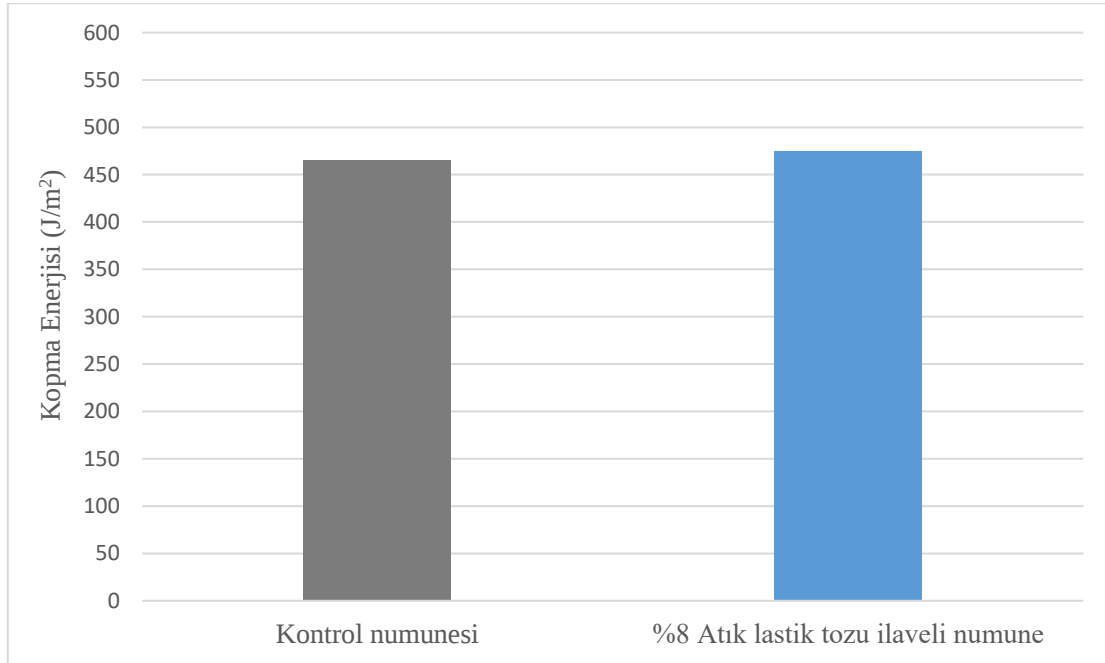
Şekil 4.15'te %8 atık lastik tozu ilaveli numune ve kontrol numunesine ait VMA (agregalar arası boşluk oranı) grafiği verilmiştir. Grafik incelendiğinde atık lastik tozu ilaveli numune kontrol numunesine göre daha fazla VMA oranına sahiptir.



Şekil 4.15 %8 Atık lastik tozu ilaveli numune ve kontrol numunesine ait VMA grafiği.

Şekil 4.16’ da %8 atık lastik tozu ilaveli numune ve kontrol numunesine ait kopma enerjisi grafikleri verilmiştir. Kopma enerjisi numunelerin çok soğuk hava şartlarında gösterdiği performansın bir ölçüdür. Ani sıcaklık düşüşleri ve soğuk hava koşullarında kaplama termal büzölmeye maruz kalabilir. Bu nedenle kaplamanın büzölme kuvvetlerine karşı dayanımlı olması gerekir. Bitümlü karışımı oluşturulan malzemelerin mühendislik özellikleri kadar bitümlü bağlayıcı ve agreganın birlikte sergileyeceklerini davranışlarda kaplamanın dayanım kriterlerinde etkilidir.

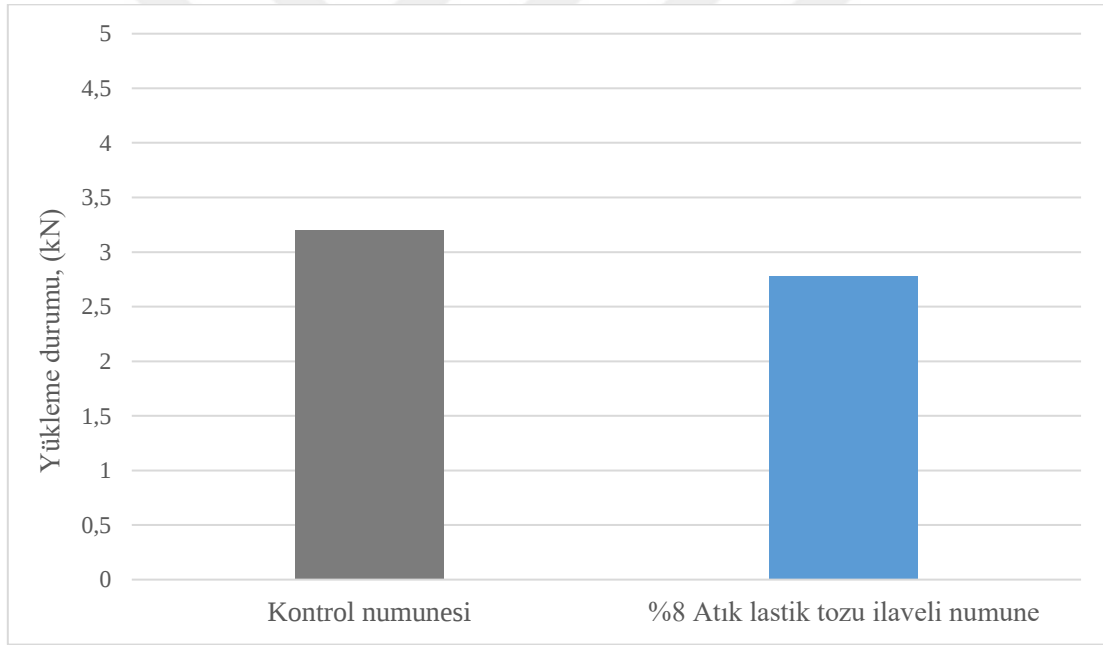
Bu deney sayesinde Marshall deneyleri sonucu tayin edilen bitümlü bağlayıcı oranının da bağlayıcılık kabiliyeti test edilmiştir. Atık lastik ilaveli numunenin kontrol numunesine göre deformasyona karşı daha dirençli olması tespit edilen bitüm oranın deneysel olarak boşluk oranında da performanslı olduğu sonucunu vermiştir. Ani sıcaklık değışiklikleri ve düşük sıcaklıklarda optimum bağlayıcılık özelliğini korumuştur. Kopma enerjisi düşük olan kaplama eksi değeri soğuk havalarda dağılma eğilimine girecek ve üzerindeki trafik yükleri altında daha kolay plastik deformasyona uğrayacaktır. Bu kriter yönü ile grafik incelendiğinde %8 atık lastik tozu ilaveli numune kontrol numunesine göre daha iyi performans göstermiştir. Bu durum atık ilaveli numunenin kullanımı açısından avantaj sağlamıştır.



Şekil 4.16 %8Atık lastik tozu ilaveli numune ve kontrol numunesinin kopma enerjisi grafiğı.

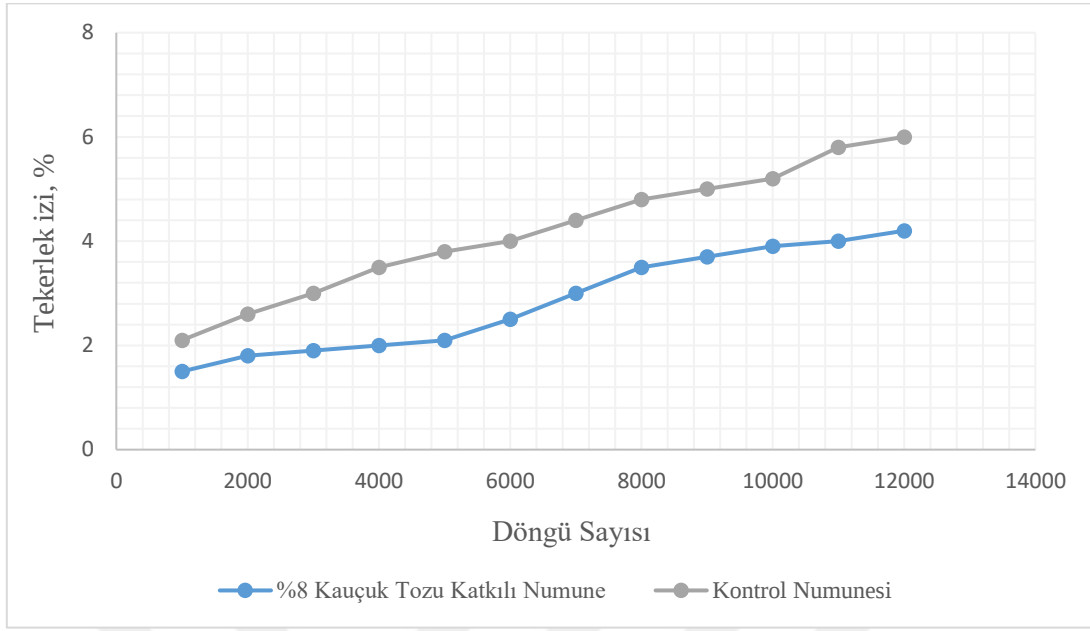
Şekil 4.17’de %8 atık lastik tozu ilaveli numune ve kontrol numunesine ait yükleme kuvvetleri sonucu meydana gelen grafik verilmiştir. Bitümlü sıcak karışımlarda yükleme, kaplamanın basınç dayanımını tayin etmek için kullanılmıştır. Bu yöntem sayesinde kaplamanın fiziksel özellikleri doğrultusunda belirli yükler altında kaplamanın uygunluğunun saptanması için kullanılmıştır. Bu kriter saptanırken numunenin özgül ağırlığı, yoğunluğu ve boşluk oranı parametreleri önemli etkindir.

Yükleme dayanımı kriteri açısından atık lastik tozu ilaveli numune kontrol numunesine göre daha iyi performans göstermiştir. Bunun sebebinin atık lastik katkılı numunenin kontrol numunesine göre daha sünek yapıda olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu deney neticesinde atık lastik tozu ilaveli numunenin yoğunluğunun ve boşluk oranının da isabetli seçildiği anlaşılmıştır.



Şekil 4.17 Atık lastik tozu ilaveli numune ve kontrol numunesine ait yükleme grafiği.

Şekil 4.18’ de %8 atık lastik tozu ilaveli numune ve kontrol numunesinin tekerlek izi deneyinden elde edilen verilerin grafiğe işlenmiş hali verilmiştir. Bu yöntemde bitümlü asfalt karışımlarının trafik yükleri altında hassasiyetleri belirlenmiştir. Sabit sıcaklıkta ve sabit tekerlek yükü altında numunede oluşacak tekerlek izinin derinliği tayin edilir. (Komut vd. 2021). Atık lastik ilaveli numune kontrol numunesine göre tekerlek izi deneyinde daha iyi performans göstermiş ve daha az deformasyona uğramıştır.



Şekil 4.18 %8 Atık lastik tozu ilaveli numune ve kontrol numunesinin tekerlek izi deneyi grafiği.

Yapılan mukayeseler sonucunda %8 atık lastik tozu ilaveli numune indirekt çekme mukavemeti ve boşluk oranı kriterleri açısından kontrol numunesine yakın sonuçlar vermiştir. Ancak dikkat edilmesi gereken husus atık lastik tozu ilaveli numunenin boşluk oranı kontrol numunesinin boşluk oranından biraz fazladır. Boşluk oranının fazla olması oksidasyona yani yaşlanmaya ve soyulmaya neden olabilir.

Kopma enerjisi ve yükleme kriteri açısından iki numunede başarılı sonuçlar vermiştir. Bu durumda atık lastik tozu ilavesinin bitümlü sıcak kaplamanın düşük sıcaklıklarda ki performansını da olumlu yönde etkilediği saptanmıştır. Tekerlek izi deneyinde atık lastik tozu ilaveli numunenin bitümlü sıcak kaplamanın deformasyon direncini arttırdığı tespit edilmiştir. Buradan atık lastik tozunun bitümlü sıcak kaplamanın esneklik davranışını geliştirdiği tespit edilmiştir.

4.1.3 %8 Atık Lastik Tozu İlaveli Asfaltın Ses Ölçüm Tayini

Günümüzde asfalt yollar kaynaklı trafik gürültüsünün desibel oranlarını azaltmak için kullanılan en yaygın yöntem, sıcak asfalt karışımlarının atık lastik tozu ile modifiye edilmesidir. Asfaltın modifiye edilmesi için atık lastik tozunun kullanılmasının amacı

hem atık lastiklerin ekonomiye geri kazandırılması hem de bertaraf edilmesi açısından önemli katkı sağlamasıdır. Kauçuk katkısının yanı sıra agrega gradasyonunun maksimum seçilmesi ve pürüzsüz bir asfalt kaplama yüzeyinin elde edilmesi de trafik gürültüsünün azaltılmasında önemli faktörlerden biridir. Bu durum ele alınarak gürültü önleme amacıyla yıllarca gözenekli asfalt kaplama yapılmış ancak zamanla kauçuk katkılı asfalta göre kullanım ömrünün daha az olduğu tespit edilmiştir.

Ömrünü tamamlamış lastiklerden elde edilen toz kauçuk katkısı ile üretilen asfaltın ses sönümlemesini tespit etmek için iki farklı yöntem vardır. Birinci yöntemde laboratuvar ortamında hazırlanan numuneler üzerinde gerekli deney ve gözlemleri yapmak, ikincisi ise kauçuk modifiyeli asfalt ile kaplanmış yol ile klasik yöntemlerle üretilen asfaltla kaplanmış yollarda farklı ölçüm metotları ile ölçüm yaparak çıkan sonuçların karşılaştırmasını yapmaktır. Çizelge 4.6’da Yıldırım İlçesi 1. Meydan Sokak’ta yapılan ses ölçüm sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.6 Gözlemlenen desibel oranlarının karşılaştırılması.

%8 Asfalt Katkılı Yol		Klasik Yöntemlerle Üretilen Asfalt	
Araç İçi Ses Miktarı	51 dB	Araç İçi Ses Miktarı	57 dB
Araç Dışı Ses Miktarı	57 dB	Araç Dışı Ses Miktarı	64 dB

Yapılan ölçümlerde göstermektedir ki kauçuk katkısı asfaltın ses sönümleme özelliklerini arttırmaktadır. Burada en önemli etkenler, toz kauçuğun asfaltın yüzey pürüzsüzlüğü, agrega ile bitümün birbirine sıkıca bağlanmasına katkıda bulunması, asfalta elastikiyet kazandırmasıdır. Çizelge 4.7’ de diğer ülkeler tarafından kauçuk katkılı asfalt için yapılan testler neticesinde elde edilen ses sönümleme sonuçları verilmiştir. Çizelge 4.8’ de ise Amerika Birleşik Devleti’nde eyalet bazlı yapılan çalışma sonuçları aktarılmıştır.

Çizelge 4.7 Avrupa Ülkelerinde yapılan uygulamalarda tespit edilen sönümleme değerleri (Mc Clellan vd. 2007).

Ülke	Deney Yılı	Azaltılan Gürültü Miktarı
Belçika	1981	8-9 dB
Fransa	1984	2-3 dB
Almanya	1980	3 dB

Çizelge 4.7 (Devam) Avrupa Ülkelerinde yapılan uygulamalarda tespit edilen sönümleme değerleri (Mc Clellan vd. 2007).

Avusturya	1988	3 dB
Hollanda	1988	2,5 dB

Çizelge 4.8 Amerika Birleşik Devletleri Eyaletlerinde yapılan uygulamalarda tespit edilen sönümleme değerleri (Mc Clellan vd. 2007).

Eyalet	Deney Yılı	Azaltılan Gürültü Miktarı
Arizona Phoenix	1990	10 dB
Arizona Tucson	1989	6.7 dB
California Sacramento	1993	7,7-8 dB
California Orange	1992	3-5 dB
California Los Angeles	1991	3-7 dB

Yapılan desibel ölçümlerinde elde edilen sönümleme değerleri Amerika Birleşik Devletleri ve Avrupa Ülkelerinde tespit edilen ses sönümleme değerlerine yakındır. Bu durumda atık lastik tozu ilaveli asfaltın trafik gürültüsünü önlemede asfaltın sönümleme kabiliyetini geliştirdiği görülmüştür. Benzer bilimsel çalışma örneklerine bakıldığında; Paje ve arkadaşları, atık lastik katkılı ve klasik yöntemlerle üretilmiş asfaltların akustik yönden davranışlarını araştırmışlardır. Bir test pistinde çeşitli deneysel yöntemlerle gürültü ölçümlerini yapmış ve atık lastik katkılı asfaltın klasik yöntemle üretilmiş asfalta göre 2 dB kadar daha az gürültüye sebebiyet verdiği anlaşılmıştır (Paje vd. 2010).

İmamoğlu, yaptığı laboratuvar deneylerinde kauçuk tozu katkılı asfaltın diğer bir asfalt gürültüsü önleme yöntemi olan ses perdeleriyle beraber kullanımı durumunda ses perdesi üretim maliyetlerinde azaltmaya ve ses sönümlemesi sağlanmasına yardımcı olduğunu tespit etmiştir (İmamoğlu vd.2012). Tüm bu sonuçlar göstermektedir ki %8 atık lastik tozu katkılı asfaltın gürültü önlenmesi açısından klasik yöntemle üretilen asfalta göre üstün olduğu anlaşılmaktadır.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Çalışmanın bu bölümünde tez çalışması sırasında yapılan deneylerin değerlendirilmesi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Teknik Açıdan Değerlendirme

Bu çalışmanın amacı hem çevre duyarlılığı hem de asfalt üretimindeki inovatif yaklaşımları Yıldırım Belediyesi asfalt şantiyesinde uygulayarak sonuçlarının gözlemlenmesidir. Böylelikle ilçe genelinde toplanan atık lastiklerinin hem yeniden ekonomiye kazandırılması hem de atık lastikler kaynaklı çevre kirliliğinin önüne geçilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca atık lastik tozu ilaveli asfaltın akustik davranışlarının iyileşmesinin tespit edilmesi de amaçlanmıştır. Çalışmalar esnasında Yıldırım Belediyesi asfalt şantiyesi bünyesinde bulunan laboratuvar kullanılmıştır.

Bitüm içeriğinin belirlenmesi için 7 farklı oranda (3,5 ile 9,5 arasında) bitüm içeren Marshall numuneleri hazırlanarak akma ve stabilite deneyleri uygulanmıştır. Uygulanan deneyler neticesinde optimum bitüm içeriğinin %5,1 olması kararlaştırılmıştır.

Marshall testi uygulamak için atık lastik tozu oranı %2, %4, %6, %8 olan numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerin fiziksel özellikleri, Marshall oranı (MQ), akma ve Marshall stabilite değerleri belirlenmiştir.

Kauçuk katkılı numunelerden çıkacak sonuçları karşılaştırmak için klasik asfalt üretimi yöntemine göre bir kontrol numunesi hazırlanmıştır. Kontrol numunesinin Marshall oranı 1166,85 kg/mm, Marshall stabilite oranı ise 2027,33 kg olarak bulunmuştur. %8 atık lastik tozu ilaveli numunenin ise Marshall oranı 1182,92 kg/mm, Marshall stabilite değeri ise 2120,83 kg olarak bulunmuştur. Elde edilen değerler karşılaştırıldığında %8 kauçuk tozu katkılı karışım kontrol numunesine göre çok daha iyi sonuçlar vermiştir. Atık lastik tozu, agrega ve bitüm arasındaki tutunma bağına kuvvetlendirmektedir. Bu durum da asfalttaki kauçuk tozu miktarı arttıkça Marshall stabilitesi miktarını da artmaktadır. Ancak burada dikkat edilmesi gereken durum, stabilitenin yüksek olması malzemede

gevrek kabiliyetin artmasına sebep olacaktır. Sıcak asfalta katılacak atık lastik tozu ilavesi miktarı bu durum göz önüne alınarak yapılmalıdır.

Atık lastik tozu katılan numunelerden performans açısından en iyi değerleri %8 atık lastik tozu ilaveli numune vermiştir. Marshall oranı (MQ) açısından bakıldığında %8 kauçuk tozu katkılı numune kontrol numunesine göre daha iyi performans göstermiştir. Bu durumda atık lastik tozunun asfalt karışımın mekanik özelliklerini arttırdığı sonucuna varılmaktadır.

Asfalt kaplamanın kullanım ömrü boyunca göstereceği performansı daha iyi tespit edebilmek için tekerlek izi deneyi yapılmıştır. Şekil 4.18 tekerlek izi deneyinden elde edilen veriler incelendiğinde %8 atık lastik tozu ilaveli numune kontrol numunesine göre daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Sünme performansı açısından ise kontrol numunesi ile atık lastik tozu katkılı karışımın performansları birbirine yakındır. Bu durumda, %8 atık lastik tozu ilaveli numunenin sıcak hava koşullarında, trafik sirkülasyonunun yoğun olduğu kavşak bölgelerinde, statik yüke maruz kalan otobüs duraklarında çatlak ve tekerlek izi oluşumuna, kismaya ve bozulmaya karşı klasik asfalt karışımlarına oranla daha mukavemetli olacağı düşünülmektedir.

Çalışmaya benzer olarak Arabani ve arkadaşları granülize edilmiş atık lastiklerin asfalt uygulamalarına katkısını araştırmıştır. Çalışmalarında lastik atık katkı oranlarını %1, %3 ve %5 oranlarında kullanmışlar ve bu numuneleri 40 °C'de sünme testine tabi tutmuşlardır. Yapılan test neticesinde atık lastik katkılı numunelerin deformasyon değerleri kontrol numunesinden daha düşük çıkmıştır (Arabani vd. 2009). Bu durum tekerlek izi deneyinde elde edilen veriler ile benzerlik göstermiştir.

Yine benzer bir çalışmada, Satoda, hurda kauçuktan damıtma yöntemi ile siyah karbon elde etmiş ve bunu asfalta katarak modifiye asfalt elde etmiştir. Modifiye edilen asfalt serimini yapmış, 10 gözlemlene yapmıştır. Yapılan gözlem neticesinde; serimi yapılan asfalt çevresel etkilere karşı iyi derece dayanım göstermiş olup, stabilitesi dahi bozulmamıştır. Ayrıca trafik gürültüsünde de önemli ölçüde azalma tespit etmiştir (Satoda, 2006). Bu çalışmada alınan veriler Satoda' nın çalışmaları ile benzerlik göstermiştir.

Cao, sıcak asfalt karışımına doğrudan atık lastik parçacıkları eklemiş ve Marshall ve tekerlek izi testlerine tabi tutmuştur. Sonuç olarak atık lastiğin asfaltın yüksek ve düşük sıcaklıklardaki mukavemetini belirgin oranda arttırdığını tespit etmiştir (Cao vd. 2007).

Bu sonuçlar kauçuk tozu katkılı numunelerden alınan sonuçlarla benzerlik göstermektedir.

Çevresel Açıdan Değerlendirme

Atık lastiklerin en önemli problemlerinden biri de bertaraf edilmesidir. Depolama, gömme, yakma gibi yöntemler çevre kirliliğine mahal vermekle birlikte ekonomik açıdan da kayıplara neden olmaktadır. Bu nedenle atık lastikleri asfalt kaplamalarında katkı maddesi olarak kullanarak hem asfaltın mekanik ve fiziksel özelliklerini iyileşme sağlıyor hem de çevre kirliliğine sebebiyet vermelerine engel olunuyor. Ayrıca atık lastikler için yeniden kullanım alanı oluşturarak ekonomik açıdan da fayda sağlanmaktadır.

Yapılan desibel ölçümleri neticesinde görülmüştür ki kauçuk katkılı asfalt klasik yöntemlerle üretilmiş asfalta göre daha az gürültüye sebep vermektedir. Kauçuk katkısının asfaltın elastik özelliklerini artırması, daha pürüzsüz bir yüzey oluşturması, darbe ve gürültü sönümlemesini ciddi derece iyileştirmiştir. Benzer şekilde, Amerika Birleşik Devletleri'nde yapılan bir çalışmada kauçuk katkılı modifiye asfaltın trafik gürültüsünü belirgin oranda azalttığı tespit edilmiştir (Sacramento County Department, 1999).

Sonuç olarak; asfalt katkı maddesi olarak atık lastik kullanımı asfaltın fiziksel ve kimyasal özelliklerinin iyileşmesine neden olmaktadır. Mesele çevresel yönü ile değerlendirildiğinde ise; asfalta atık lastik katılması, atık lastiğin bertaraf edilmesi ve ekonomik olarak geri kazanımını sağladığı gibi diğer bir çevresel kirlilik olan gürültünün azaltılması için de kullanımı elzemdir.

6. KAYNAKLAR

- Adhikari B, De D, Maiti S, 2000, Reclamation and Recycling of Waste Rubber, Progress in Polymer Science, 25, 909-948.
- Aksağan Z, 2021, Atık Lastiklerden Elde Edilen Siyah Karbonun Bitüm ve Bitümlü Sıcak Karışımlara Etkisi, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 102s, Malatya.
- Anonim, 2002, Technical Guidelines on the Identification and Management of Used Tyres, Secretariat of the Basel Convention International Environment House, 02/10, Switzerland.
- Anonim, 1996, Taşıt Lastiklerinin Hammaddelerinin Üretim Metotları, Petlas Lastik Fabrikası Dokümanları, Kırşehir.
- Anonim, 2006, 2005 Yılı Geri Dönüşüm Verileri Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), Yayın no: 35241, Ankara.
- Anonim, 2021, 2020 Yılı Geri Dönüşüm Verileri, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), Yayın no: 37198, Ankara.
- Anonim, 2010, 2009 Yılı Geri Dönüşüm Verileri, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), Yayın no: 36223, Ankara.
- Anonim, 2010, Asfalt Üretimi Sektörel Uygulama Kılavuzu (Taslak), Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Yayın no: Bila, Ankara.
- Arabani M, Mirabdolazimi S M, Sasani A R, 2009, The Effect of Waste Tire Thread Mesh on the Dynamic Behaviour of Asphalt Mixtures, Construction and Building Materials, 1060-1068.
- Basel Convention, 2010, Revised Technical Guidelines on Environmentally Sound Management of Used Tyres, Basel Convention Serie, UNEP/CHW/OEWG/7/INF/9.
- Batır B, 2002, Türkiye İçin Kullanılmış Lastik Yönetimi Araştırması, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 87s, İstanbul.
- Bell J K, 2002, Handbook of Solid Waste Management-Scrap Tire , Mc Graw-Hill Companies, 260p, Kaliforniya.

- Bilitewski B, Hardtle G, Marek K, 1997, Waste Management, Springer, 691p, Berlin.
- Birpınar M E, Cihan F, 2009, İstanbul ‘da Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Yönetimi, Türkiye, 2, 223-228.
- Bishop P L, 2004, Pollution Prevention: Fundamentals and Practice, McGraw-Hill Companies, 425p, Boston.
- Cao W, 2007, Study on Properties of Recycled Tire Rubber Modified Asphalt Mixtures Using Dry Process, Construction and Building Materials, Elsevier, 1011-1015.
- Clark C, Meardon K, Russell D, 1992, United States, Scrap Tire Technology and Markets, Noyes Data Corporation, 316p, North California.
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2003, Atık Eylem Planı 2008-2012, 2007, AB Genel Sekreterliği, AB Müktesebatının Üstlenilmesine İlişkin Ulusal Program, Ankara.
- De S K, Isayev A, Khait K, 2005, Rubber Recycling (1 st Edition), CRC Press, Taylor & Francis Group, 528p, USA.
- Dhir R K, MC Limbachiya, K A Paine, 2001, Recycling and Reuse of Used Tyres, Thomas Telford, 325p, London.
- Edeskar T, 2004, Technical and Environmental Properties of Tyre Shreds Focusing on Ground Engineering Applications, Department of Civil and Mining Engineering, Lulea University of Technology, 88p, Lulea.
- European Asphalt Pavement Association (EAPA) 2007, Environmental Guidelines on Best Available Techniques (BAT) for the Production of Asphalt Paving Mixes, 54p, Belgium.
- Gönüllü M T, 2004, Atık Lastiklerin Yönetimi, Katı Atık Geri Dönüşüm Teknolojileri Semineri, 2 Kasım 2004, İstanbul, 11s.
- Greenwood N N, Earnshaw A, 1984, Chemistry of the Elements, Pergamon, 1305p, United Kingdom.
- Gualtier M, Andrioletti M, Vismara C, Milani M, Camatini M, 2005, Toxicity of tire Debris Leachates, Environment International, 31, 723-730.

- Gündüz A, 2011, Asfalt Kaplamalarda Atık Lastik İlavesinin Etkilerinin İncelenmesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 156s, Eskişehir.
- Hava Kirliliği Kontrol Yönetmeliği, 2021, Almanya Federal Kanun Gazetesi, 18 Ağustos 2021, 48.
- Higgins T E, Raton B, 1995, Pollution Prevention Handbook, Lewis Publishers. Indicator Fact Sheet TERM 2002 11b EU, 350p, USA.
- İmamoğlu C T, 2012, Atık Lastik Kaplamalı Asfalt Kaplamaların Trafik Gürültüsünü Sönümlemedeki Etkileri, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 116s, İstanbul.
- Kanematsu M, Hayashi A, Denison M S, Young T M, 2009, Characterization and Potential Environmental Risks of Leachate From Shredded Rubber Mulches, Chemosphere, 76, 952-958.
- Karaağaç B, 2003, Lastik Sanayinde Takviye Malzemeleri Hurdalarının Kriyonejik Yöntemle Geri Kazanımı, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 102s, Kocaeli.
- Karabörk F, Akdemir A, 2013, Atık Taşıt Lastiklerinin Parçalanması ve Lastik Tozunun Karakterizasyonu, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 29, 29-40.
- Karacasu M, Bilgiç Ş, 2009, Atık Lastik Katkısının Sıcak Asfalt Özelliklerine Katkısı, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 22, 31-35.
- Komut M. vd., 2021, Bitümlü Karışımlar Laboratuvar El Kitabı, Karayolları Genel Müdürlüğü, 278s, Ankara.
- Lorasokkay M A, 2014, Piroliz Yöntemi Kullanılarak Sıvılaştırılmış Atık Lastikle Modifiye Edilen Bitümlü Karışımların Mühendislik Özellikleri, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 177s., Konya.
- Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Kontrolü Yönetmeliği, 2006, Resmî Gazete, 25 Kasım 2006, 26357.
- Özen H, 2005, Ulaştırma Laboratuvar Deneyleri, YTÜ Basım Yayın Merkezi, İstanbul.

- Ryhner C R, Schwartz L J, Wenger R B, Kohrel M G, 1995, Waste Management and Resource Recovery, CRC Press, 544p, USA.
- Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği, 2009, Resmî Gazete, 3 Temmuz 2009, 27277.
- Satoda H, 2015, The Recovery of Carbon Black From Scrap Rubber by a Continuous Dry Distillation System and its use for an Asphalt Pavement, Tanso, 270, 250-256.
- Sugözü İ, Mutlu İ, 2009, Atık Taşıt Lastikleri ve Değerlendirme Yöntemleri, Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi, 1, 35-46.
- Şit E, İskender E, Aksoy A, 2020, Asfalt Kaplamalarda Akustik Özellikler, Journal of Investigations on Engineering & Technology, 1, 27-36.
- Tortum A, Çelik C, Aydın, A C, 2005, Determination of the Optimum Conditions for Tire Rubber in Asphalt Concrete, Building and Environment, 40, 1492-1504.
- Tunç B, 2009, Atık Lastiklerin Yönetimi ve Monofillerdeki Fiziksel ve Kimyasal Davranışların İncelenmesi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik Fakültesi, Yüksek Lisans Tezi, 78s, Gebze.
- Uzunoğlu H, 2007, Çevreyi Tehdit Eden Tehlike: Atıklar, İzmir Ticaret Odası Ar-Ge Bülten, İzmir Ticaret Odası, 31s, İzmir.
- Vahapoğlu V, 2006, Kauçuk Türü Malzemeler-Sentetik Kauçuk, KSÜ Fen Bilimleri Dergisi, 9, 44-55.
- White J R., De S K, 2001, Rubber Technologist Handbook, Rapra Technology Ltd, 576s, United Kingdom.
- Yildirim Y, 2007, Polymer Modified Asphalt Binders, Construction and Building Materials, 21, 66-72.

İnternet Kaynakları

- 1- https://www.makinemarket.net/?4455/piroliz_tesisi, 05.04.2022
- 2- <https://sites.google.com/site/dedeotolastik1/home/hakkimizda>, 05.04.2022

3- <https://malzemebilimi.net/atomizasyon-nedir-gaz-ve-su-atomizasyonu-yontemleri-ile-nasil-toz-uretilir.html>, 05.04.2022

4- <http://tr.rasper-miller.com/tire-recycling-machines/tire-recycling-line/tire-recycling.html> 19.05.2023

