

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI**

**KAĞIT ÜRETİMİ ATIK MADDESİ OLAN  
MAGNEZYUM LİGNOSÜLFONATIN ASFALT  
MODİFİKASYONUNDA  
KULLANILABİLİRLİĞİNİN  
ARAŞTIRILMASI**

**Nuray UĞURLU**

**Yüksek Lisans Tezi  
İnşaat Mühendisliği  
Anabilim Dalı  
Dr. Öğr. Üyesi Bahadır YILMAZ  
2019  
(Her hakkı saklıdır)**

T.C.  
BAYBURT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KAĞIT ÜRETİMİ ATIK MADDESİ OLAN MAGNEZYUM  
LİGNOSÜLFONATIN ASFALT MODİFİKASYONUNDA  
KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nuray UĞURLU

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Bahadır YILMAZ

BAYBURT

Nisan, 2019

## TEZ ONAY SAYFASI

### KAĞIT ÜRETİMİ ATIK MADDESİ OLAN MAGNEZYUM LİGNOSÜLFONATIN ASFALT MODİFİKASYONUNDA KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Dr.Öğr. Üyesi Bahadır Yılmaz danışmanlığında, Nuray Uğurlu tarafından hazırlanan bu tez çalışması 26/04/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından inşaat mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Doç. Dr. Mehmet YILMAZ

İmza:

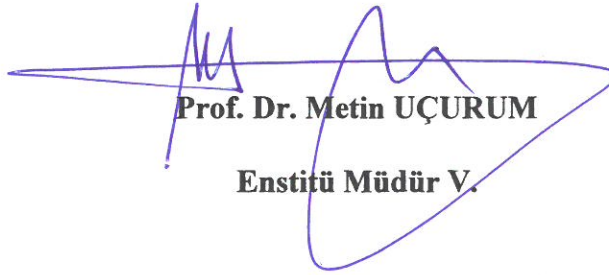
Üye: Doç. Dr. İlker TEKİN

İmza:

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Bahadır YILMAZ

İmza:

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum.

  
**Prof. Dr. Metin UÇURUM**  
**Enstitü Müdür V.**

**Not:** Bu tezde kullanılan ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

## TEZ BİLDİRİMİ

Bu tez içindeki bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu ve bu çalışmada şahsıma ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.



Nuray UĞURLU

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### KAĞIT ÜRETİMİ ATIK MADDESİ OLAN MAGNEZYUM LİGNOSÜLFONATIN ASFALT MODİFİKASYONUNDA KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Nuray UĞURLU

Bayburt Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Bahadır YILMAZ

Bu çalışmada, odundan kağıt üretimi sırasında açığa çıkan ve organik bir atık madde olan magnezyum lignosülfonatın asfalt bağlayıcı üzerindeki performans özellikleri araştırılmıştır. B50/70 penetrasyon derecesine sahip asfalta, asfalt ağırlığının %2, %4, %6 ve %8 oranlarında magnezyum lignosülfonat (MLS) eklenmesi ile modifikasyon gerçekleştirilmiştir. Katkının asfalta ilave edilmesiyle oluşan modifiye asfalt bağlayıcıların morfolojik yapısı, modifikasyon mekanizması ve termal bozunma sıcaklıkları sırasıyla, Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM), FT-IR ve TG analizleri ile tespit edilmiştir. Laboratuvar ortamında yapılan Penetrasyon, Yumuşama Noktası, Dönel İnce Film Halinde Yaşlandırma (RTFOT), Dinamik Kayma Reometresi (DSR) ve Dönel Viskozimetre (RV) deneyleri ile malzemenin fiziksel ve reolojik özellikleri belirlenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda organik esaslı atık katkının asfaltın kıvamını, tekerlek izi ve kısa süreli yaşlanma direncini arttırdığı, sıcaklık hassasiyetini düşürdüğü tespit edilmiştir. Deneylerden elde edilen verilere göre, asfalt bağlayıcının performans özelliklerine en iyi etki eden katkı oranının %6 olduğu görülmüştür.

**2019, 83 Sayfa**

**Anahtar kelimeler:** Asfalt, Geri dönüşüm, Organik katkı, Lignin, Lignosülfonat

## **ABSTRACT**

MS Thesis

### **INVESTIGATION OF THE USABILITY OF MAGNESIUM LIGNOSULFONATE WHICH WASTE MATERIALS IN PAPER PRODUCTION IN ASPHALT MODIFICATION**

Nuray UĞURLU

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

Supervisor: Dr. Bahadır YILMAZ

The aim of this study is to investigate the performance characteristics of magnesium lignosulfonate, an organic waste material on asphalt binder, released during the production of wood from paper. B50/70 penetration asphalt was modified by adding 2%, 4%, 6% and 8% Magnesium Lignosulfonate (MLS) to the asphalt weight. The morphological structure, modification mechanism and thermal decomposition temperatures of modified asphalt binders formed by addition of additive to asphalt were determined by Scanning Electron Microscopy (SEM), FT-IR and TG analysis, respectively. Penetration, Softening Point, Rotating Thin Film Aging (RTFOT), Dynamic Shear Rheometer (DSR) and Rotary Viscometer (RV) tests were performed in the laboratory to determine the physical and rheological properties of the material. As a result of the experiments, it has been determined that organic based waste additive increased the asphalt consistency, wheel marking and short term aging resistance and decreased temperature sensitivity. According to the data obtained from the experiments, the best contribution rate which has the best effect on the performance characteristics of the asphalt binder was found to be 6%.

**2019, 83 Pages**

**Keywords:** Asphalt, Recycling, Organic Additive, Lignin, Lignosulfonate

## TEŞEKKÜR

Tez danışmanlığımı yürüterek tez konumun belirlenmesinde ve çalışmamın tamamlanmasında bana yardımcı olan, değerli katkıları ve içtenliği ile çalışmalarına yön veren danışman hocam sayın Dr. Öğr. Üyesi Bahadır YILMAZ'a teşekkür eder, sevgi ve saygılarımı sunarım.

Yüksek lisans eğitimim boyunca ders aldığım ve kendilerinden gerek akademik gerekse insani olarak çok şey öğrendiğim değerli hocalarım Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ATALAY ve Doç. Dr. Semet ÇELİK; tez savunma sınavımda yer alarak katkılarıyla tezime değer katan değerli hocalarım sayın Doç. Dr. İlker TEKİN ve Prof. Dr. Mehmet YILMAZ'a teşekkür ederim.

Tez çalışmamda yapısal analizlerin yorumlanması aşamasında destek sağlayan Doç. Dr. İbrahim Fazıl ŞENGÜL, Dr. İbrahim KORKUT'a göstermiş oldukları ilgi ve sağduyu için teşekkürü borç bilirim.

Lisans ve lisansüstü eğitim hayatımın her anında yanımda olan, desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen değerli arkadaşlarım Meltem DURMUŞ, Melek DURMUŞ, İrem DİRİKOLU ve Rabia CİDAN arkadaşlarıma sevgilerimi sunarım.

Hayatımın her evresinde sevgilerini kalbimde hissettiğim başta annem Hadice UĞURLU ve babam Kerem UĞURLU olmak üzere değerli aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

*Bu tez 2014 yılında hayatını kaybeden kuzenim Ceylan KUTLU anısındadır.*

Nuray UĞURLU

Nisan/2019

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET .....</b>	<b>İ</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>İİ</b>
<b>TEŞEKKÜR.....</b>	<b>İİİ</b>
<b>İÇİNDEKİLER.....</b>	<b>IV</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ.....</b>	<b>VII</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ.....</b>	<b>IX</b>
<b>SEMBOLLER VE KISALTMALAR.....</b>	<b>X</b>
<b>1. GENEL BİLGİLER.....</b>	<b>1</b>
1.1. Giriş.....	1
1.2. Kaynak Özetleri .....	2
1.3. Çalışmanın Amacı.....	8
1.4. Bitümlü Bağlayıcılar .....	9
1.5. Asfaltın Kimyasal Yapısı .....	10
1.6. Asfaltın Reolojisi .....	12
1.7. Asfalt Bağlayıcıya Uygulanan Deneyler.....	13
1.7.1. Geleneksel Bağlayıcı Deneyler .....	14
1.7.1.1. Penetrasyon Deneyi.....	14
1.7.1.2. Yumuşama Noktası Deneyi .....	15
1.7.1.3. Düktilite Deneyi .....	16
1.7.1.4. Parlama Noktası Deneyi.....	17
1.7.1.5. İnce Film Halinde Isıtma Deneyi .....	18
1.7.1.6. Trikloretilende Çözünürlük Deneyleri .....	18
1.7.1.7. Özgül Ağırlık Deneyi .....	18
1.7.1.8. Fraass Kırılma Noktası Deneyi .....	20
1.7.1.9. Nicholson Soyulma Deneyi .....	20
1.7.2. Superpave Bağlayıcı Deneyler.....	21
1.7.2.1. Dönel Viskozimetre Deneyi.....	22
1.7.2.2. Dinamik Kayma Reometresi Deneyi .....	24
1.7.2.3. Dönel İnce Film Halinde Isıtma Deneyi .....	27
1.7.2.4. Basınçlı Yaşlandırma Kabı Deneyi.....	28
1.7.2.5. Kiriş Eğme Reometresi Deneyi.....	30
1.8. Asfalt Modifikasyonu.....	31



1.8.1.	Asfalt Katkı Maddelerinde Aranan Özellikler .....	32
1.8.2.	Katkı Maddeleri ve Sınıflandırılması.....	32
1.9.	Yapısal Analiz Yöntemleri.....	36
1.9.1.	Fourier Dönüşümü Kızılötesi Spektroskopisi (FT-IR) .....	36
1.9.2.	Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) .....	36
1.9.3.	Termogravimetrik Analiz (TG/DTG) .....	36
1.10.	Kağıt Üretimi ve Magnezyum Lignosülfonat .....	37
1.10.1.	Selüloz ve Kağıt Fabrikaları.....	37
1.10.2.	Odun ve Yapısı.....	38
1.10.2.1.	Selüloz.....	39
1.10.2.2.	Hemiselüloz.....	40
1.10.2.	Lignin .....	40
2.	MATERYAL ve YÖNTEM.....	45
2.1.	Modifiye Asfalt Bağlayıcıların Hazırlanması .....	46
2.2.	Asfalt Bağlayıcıların Yapısal Özelliklerinin Belirlenmesi .....	47
2.2.1.	FT-IR Analizi .....	47
2.2.2.	SEM Analizi.....	47
2.2.3.	TG/DTG Analizi .....	48
2.3.	Asfalt Bağlayıcıların Fiziksel ve Reolojik Özelliklerinin Belirlenmesi ...	49
<b>3.</b>	<b>BULGULAR ve İRDELEME .....</b>	<b>50</b>
3.1.	Katkı Maddesinin Yapısal Analiz Sonuçları.....	50
3.2.	Orijinal ve Modifiye Asfalt Bağlayıcıların Yapısal Analiz Sonuçları .....	51
3.3.	Penetrasyon ve Yumuşama Noktası Deney Sonuçları .....	58
3.4.	Dinamik Kayma Reometresi (DSR) Deney Sonuçları.....	59
3.5.	Dönel Viskozimetre (RV) Deney Sonuçları .....	62
3.6.	Dönel İnce Film Halinde Isıtma (RTFOT) Deney Sonuçları.....	64
<b>4.</b>	<b>SONUÇLAR ve ÖNERİLER .....</b>	<b>76</b>
<b>5.</b>	<b>KAYNAKÇA .....</b>	<b>77</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b>		

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<b>Şekil 1.1</b>	Ham petrolden bitüm elde edilme süreci.....	9
<b>Şekil 1.2</b>	Trinidadat göl asfaltı.....	10
<b>Şekil 1.3</b>	Asfaltın kimyasal yapısı ve bileşenleri.....	11
<b>Şekil 1.4</b>	Asfaltın zaman ve sıcaklığa bağlı davranışı.....	12
<b>Şekil 1.5</b>	Asfaltın yük ve sıcaklığa bağlı davranışı.....	13
<b>Şekil 1.6</b>	Penetrasyon deneyi ve aşamaları.....	15
<b>Şekil 1.7</b>	Yumuşama noktası deneyi.....	15
<b>Şekil 1.8</b>	Düktilite deneyi.....	17
<b>Şekil 1.9</b>	Parlama noktası deney aleti.....	17
<b>Şekil 1.10</b>	TFOT deney aleti.....	18
<b>Şekil 1.11</b>	Piknometre deney aleti ve deneyin yapılışı.....	19
<b>Şekil 1.12</b>	Fraass kırılma noktası deneyi.....	20

<b>Şekil 1.13</b>	Nicholson soyulma deneyi.....	21
<b>Şekil 1.14</b>	Brookfield viskozimetresi.....	23
<b>Şekil 1.15</b>	RV deney şeması.....	23
<b>Şekil 1.16</b>	DSR deney aleti.....	24
<b>Şekil 1.17</b>	DSR çalışma prensibi.....	25
<b>Şekil 1.18</b>	Asfalt bağlayıcının viskoelastik özelliği.....	25
<b>Şekil 1.19</b>	Superpave performans sınıfı gösterimi.....	26
<b>Şekil 1.20</b>	Dönel ince film etüvü (RTFOT) aleti şematik gösterimi..	27
<b>Şekil 1.21</b>	PAV deneyi.....	29
<b>Şekil 1.22</b>	Kiriş eğme reometresi deney aleti.....	30
<b>Şekil 1.23</b>	Kiriş eğme reometresinin (BBR) şematik gösterimi.....	31
<b>Şekil 1.24</b>	Sünme oranı değerinin belirlenmesi.....	31
<b>Şekil 1.25</b>	Odun bileşenleri.....	38
<b>Şekil 1.26</b>	Odun bileşenlerinin kimyasal elementel analizleri.....	38
<b>Şekil 1.27</b>	Odun elemanlarının sıcaklığa göre kararlılığı.....	39

<b>Şekil 1.28</b>	Selülozun moleküler yapısı.....	39
<b>Şekil 1.29</b>	1996-2016 yılları arasında yayınlanan farklı alanlarda lignin uygulamalarına yönelik araştırma belgeleri.....	40
<b>Şekil 1.30</b>	Lignin biyosentezinde yer alan monolignoller içeren bir lignin polimer yapısı.....	41
<b>Şekil 1.31</b>	Lignini lignoselülozik biyokütleden ve ilgili teknik ligninlerden ayırmak için farklı ekstraksiyon işlemleri.....	42
<b>Şekil 2.1</b>	Modifiye asfalt bağlayıcıların hazırlanması.....	46
<b>Şekil 2.2</b>	FT-IR analizi.....	47
<b>Şekil 2.3</b>	SEM cihazı ve iletken karbon bant üzerinde asfalt numuneler	48
<b>Şekil 2.4</b>	TG Analizi.....	48
<b>Şekil 3.1</b>	MLS katkısının FT-IR spektrumu.....	50
<b>Şekil 3.2</b>	MLS katkısının SEM görüntüleri.....	51
<b>Şekil 3.3</b>	Orijinal asfaltın FT-IR spektrumu.....	51
<b>Şekil 3.4</b>	%2 katkılı modifiye asfaltın FT-IR spektrumu.....	51
<b>Şekil 3.5</b>	%4 katkı içeren modifiye asfaltın FT-IR spektrumu.....	52

<b>Şekil 3.6</b>	%6 katkı içeren modifiye asfaltın FT-IR spektrumu.....	52
<b>Şekil 3.7</b>	%8 katkı içeren modifiye asfaltın FT-IR spektrumu.....	52
<b>Şekil 3.8</b>	Orijinal asfaltın SEM görüntüsü.....	53
<b>Şekil 3.9</b>	%2 katkılı modifiye asfaltın SEM görüntüsü.....	53
<b>Şekil 3.10</b>	%4 katkılı modifiye asfaltın SEM görüntüsü.....	54
<b>Şekil 3.11</b>	%6 katkılı modifiye asfaltın SEM görüntüsü.....	54
<b>Şekil 3.12</b>	%8 katkılı modifiye asfaltın SEM görüntüsü.....	54
<b>Şekil 3.13</b>	Orijinal asfalt bağlayıcının TG/DTG sonucu.....	55
<b>Şekil 3.14</b>	%2 katkılı modifiye asfaltın TG/DTG sonucu.....	55
<b>Şekil 3.15</b>	%4 katkı içeren modifiye asfaltın TG/DTG sonucu.....	56
<b>Şekil 3.16</b>	%6 katkı içeren modifiye asfaltın TG/DTG sonucu.....	56
<b>Şekil 3.17</b>	%8 katkı içeren modifiye asfaltın TG/DTG sonucu.....	57
<b>Şekil 3.18</b>	Penetrasyon deney sonuçları.....	58
<b>Şekil 3.19</b>	Yumuşama noktası deney sonuçları.....	58
<b>Şekil 3.20</b>	G* değerleri.....	60

<b>Şekil 3.21</b>	$\delta$ değerleri.....	60
<b>Şekil 3.22</b>	$G^*/\sin \delta$ değerleri.....	61
<b>Şekil 3.23</b>	Asfalt bağlayıcıların 105°C, 135°C, 165°C ve 180°C sıcaklıklardaki viskozite değerleri.....	62
<b>Şekil 3.24</b>	Logaritmik sıcaklık-viskozite grafiği.....	63
<b>Şekil 3.25</b>	RTFOT deneyi sonrası penetrasyon değerleri.....	64
<b>Şekil 3.26</b>	RTFOT deneyi sonrası yumuşama noktası değerleri.....	64
<b>Şekil 3.27</b>	RTFOT deneyi öncesi ve sonrası yumuşama noktası sıcaklık farkları.....	65
<b>Şekil 3.28</b>	RTFOT sonrası $G^*/\sin \delta$ değerleri.....	66
<b>Şekil 3.29</b>	RTFOT deneyi sonrası asfalt bağlayıcıların 105°C, 135°C, 165°C ve 180°C sıcaklıklardaki viskozite değerleri.....	67
<b>Şekil 3.30</b>	RTFOT sonrası logaritmik sıcaklık-viskozite grafiği.....	67
<b>Şekil 3.31</b>	RTFOT sonrası orijinal asfaltın FT-IR spektrumu.....	68
<b>Şekil 3.32</b>	RTFOT sonrası %2 katkıli modifiye asfaltın FT-IR spektrumu	69
<b>Şekil 3.33</b>	RTFOT sonrası %4 katkıli modifiye asfaltın FT-IR spektrumu	69
<b>Şekil 3.34</b>	RTFOT sonrası %6 katkıli modifiye asfaltın FT-IR spektrumu	70

<b>Şekil 3.35</b>	RTFOT sonrası %8 katkılı modifiye asfaltın FT-IR spektrumu	70
<b>Şekil 3.36</b>	RTFOT sonrası orijinal asfaltın SEM görüntüsü.....	71
<b>Şekil 3.37</b>	RTFOT sonrası %2 katkılı modifiye asfaltın SEM görüntüsü	71
<b>Şekil 3.38</b>	RTFOT sonrası %4 katkılı modifiye asfaltın SEM görüntüsü	72
<b>Şekil 3.39</b>	RTFOT sonrası %6 katkılı modifiye asfaltın SEM görüntüsü	72
<b>Şekil 3.40</b>	RTFOT sonrası %8 katkılı modifiye asfaltın SEM görüntüsü	72
<b>Şekil 3.41</b>	RTFOT sonrası %2 katkılı modifiye asfaltın TG/DTG sonucu	73
<b>Şekil 3.42</b>	RTFOT sonrası %4 katkılı modifiye asfaltın TG/DTG analizi	73
<b>Şekil 3.43</b>	RTFOT sonrası %6 katkılı modifiye asfaltın TG/DTG sonucu	74
<b>Şekil 3.44</b>	RTFOT sonrası %8 katkılı modifiye asfaltın TG/DTG sonucu	74

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<b>Çizelge 1.1</b>	Asfaltın kimyasal bileşenleri.....	10
<b>Çizelge 1.2</b>	Superpave bağlayıcı deneyleri, kullanım amaçları ve performans parametreleri.....	22
<b>Çizelge 1.3</b>	DSR deneyinde kullanılan bağlayıcı türüne göre şartname sınır değerleri.....	26
<b>Çizelge 1.4</b>	Bağlayıcı sınıfına göre PAV deney sıcaklıkları.....	29
<b>Çizelge 1.5</b>	Asfalt katkı maddelerinin sınıflandırılması.....	33
<b>Çizelge 1.6</b>	Polimer olan ve polimer olmayan katkı maddeleri.....	34
<b>Çizelge 1.7</b>	Yaygın olarak kullanılan bazı modifiyerlerin bağlayıcı üzerindeki etkisi.....	35
<b>Çizelge 1.8</b>	Asfalt karışımlara eklenen kimyasal katkıların olumlu etkileri.....	35
<b>Çizelge 1.9</b>	Selüloz ve kağıt fabrikalarında kirlilik yaratan maddeler...	37



<b>Çizelge 1.10</b>	Temel sülfid yöntemleri ve işletme koşulları.....	42
<b>Çizelge 2.1</b>	Orijinal asfalta ait fiziksel özellikler.....	45
<b>Çizelge 2.2</b>	Magnezyum lignosülfonata ait özellikler.....	45
<b>Çizelge 3.1</b>	MLS katkısının FT-IR spektrum verileri.....	50
<b>Çizelge 3.2</b>	DSR deney sonuçları.....	59
<b>Çizelge 3.3</b>	RV deney sonuçları.....	62
<b>Çizelge 3.4</b>	Asfalt bağlayıcıların karıştırma ve sıkıştırma sıcaklık aralıkları.....	63
<b>Çizelge 3.5</b>	RTFOT deneyi sonrası DSR test sonuçları.....	65
<b>Çizelge 3.6</b>	RTFOT deneyi sonrası RV sonuçları.....	66
<b>Çizelge 3.7</b>	RTFOT sonrası asfalt bağlayıcıların karıştırma ve sıkıştırma sıcaklık aralıkları.....	68

## SEMBOLLER ve KISALTMALAR

### Simgeler

$^{\circ}\text{C}$	Santigrat derece
c	Kohezyon
cP	Santipoise
dk	Dakika
$E_m$	Esneklik modülü
g	Gram
$G^*$	Kompleks kayma modülü
m	Metre
mm	Milimetre
MPa	Mega Paskal
Pa	Pascal
Pa.s	Pascal-saniye
Pen25	Asfaltın 25 $^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki penetrasyon değeri
PI	Penetrasyon İndeksi
Pmax	Maksimum yük
Rm	Rijitlik modülü
rpm	Dakikadaki devir sayısı
sn	Saniye
T	Sıcaklık
t	Yükleme süresi veya hızı
$\delta$	Faz açısı
$\epsilon$	Şekil değiştirme (deformasyon)
$\tau$	Kayma mukavemeti

$\sigma$	Gerilme
$\nu$	Poisson oranı

### **Kısaltmalar**

AASHTO	Amerikan Devlet Karayolu ve Ulaştırma İdareleri Birliği
ASTM	Amerikan Test ve Malzeme Kurumu
AC	Asfalt Çimentosu
BBR	Eğilme Kirişi Reometresi
DSR	Dinamik Kayma Reometresi
FT-IR	Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopi
MLS	Magnezyum Lignosülfonat
NMR	Nükleer Manyetik Rezonans
PAV	Basınçlı Yaşlandırma Kabini
PG	Performans Aralığı
RTFOT	Dönel İnce Film Halinde Yaşlandırma Deneyi
RV	Dönel Viskozimetre
SBS	Sitren-Butadien-Sitren
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
TFOT	İnce Film Halinde Yaşlandırma Deneyi
TG	Termogravimetri
UV	Ultraviyole
YN	Asfaltın yumuşama noktası sıcaklık değeri

## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1 Giriş

Ulaşım, insanların veya yüklerin bir yerden başka bir yere taşınmasıdır. Günümüzde ulaşımın %95'i gibi büyük bir oranı karayollarından sağlanmaktadır. Artan trafik ve dingil yükleri, üretim hataları, hava ve iklim şartları etkisiyle asfalt kaplamalarda tekerlek izi oluşumu, yorulma çatlakları ve kalıcı deformasyonlar oluşmakta, bu da yolların hizmet kalitesini düşürmektedir.

Asfalt kaplamalar, mineral agrega, asfalt bağlayıcı ve havadan oluşan çok fazlı karmaşık bir yapıya sahiptir. Asfalt kaplamalarda genellikle bağlayıcı olarak kullanılan asfalt çimentosu (AC), karışım içerisinde %4-7 gibi düşük oranda olmasına rağmen kaplama performansı üzerinde büyük öneme sahiptir. Asfalt, visko-elastik özelliğinden dolayı, iklim koşullarına bağlı olarak farklı davranışlar göstermektedir. Yüksek sıcaklıklarda artan trafiğin etkisiyle kaplamada tekerlek izi oluşurken, orta sıcaklıklarda yorulma ve düşük sıcaklıklarda çatlamlar oluşmaktadır. Bu deformasyonları azaltmak ve kaplama performansını iyileştirmek için asfalt bağlayıcıya katkı maddeleri ilave edilerek modifikasyonlar yapılmaktadır.

Kağıt, insanların günlük ve iş hayatları gibi birçok alanda kullandıkları vazgeçilmez bir parçadır ve bilindiği gibi ağaçlardan üretilmektedir. Bu üretim için ağaç yapısındaki selülozdan atık olarak doğaya magnezyum lignosülfonat bırakılmaktadır. Bu atıkların hem değerlendirilmesi hem de çevreye verdiği zararı en aza indirmek amacıyla esnek üstyapı kaplamaların esasını oluşturan asfalt bağlayıcılarda katkı olarak değerlendirilmesi düşüncesi ortaya çıkmıştır. Bu düşünceden hareketle bu çalışmada söz konusu atık malzeme asfalt bağlayıcıda katkı olarak kullanılmış ve bağlayıcı üzerindeki fiziksel ve reolojik etkileri incelenmiştir.

## 1.2 Kaynak Özetleri

Artan trafik yükleri, iklim ve hava koşulları vb. nedenlerle esnek kaplamalarda (asfalt kaplamada) bozulmalar meydana gelmektedir. Bu bozulmaların engellenmesi ve asfalt kaplamanın iyileştirilmesi için asfalt bağlayıcıya çeşitli katkı maddeleri eklenmekte ve asfalt modifikasyonları ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir:

Yüceer ve Çelik (1991) tarafından çevre kirliliğine neden olan atık plastiklerin asfalt modifikasyonunda kullanılabilirliği araştırılmıştır. Numunelere uyguladıkları Marshall deneyleri sonucunda atık plastikler ile modifiye edilen asfaltta dayanım artışı görülmüştür.

Chebil vd. (2000) tarafından, ticari siyah karbon ve odun hammaddesinden elde edilen siyah karbonun %5-15 oranlarında bitümle modifikasyonu gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarına göre odun hammaddesinden piroliz yolu ile elde edilen siyah karbonun, ticari siyah karbona göre tekerlek izine karşı daha dirençli ve sıcaklık hassasiyetine karşı daha etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

Çelik (2001) tarafından, atık lastiğin bitümde kullanılması ile bitümlü karışımın yorulma davranışı araştırılmıştır. %5 oranında küçük bir katkı 50/70 penetrasyonlu bitümde yorulma süresini 2 kat arttırırken, 70/100 penetrasyonlu bitümle yapılan modifikasyonda yorulma süresinin 23 kat arttığı görülmüştür.

Wen vd. (2002) tarafından, SBS modifiyeli bağlayıcılara sülfür katkısı ilave edilerek dinamik kayma reometresi (DSR) deneyi uygulanmıştır. Karışımın kimyasına bakıldığında kükürtle sertleşmiş SBS ağı oluşturarak bağlayıcının sıcaklık hassasiyetinde büyük ölçüde azalma sağlanmıştır. Sülfür oranındaki artış ile bitümlü bağlayıcıda çapraz bağ artışı ve SBS katkılı asfalt bağlayıcının reolojik özelliklerinde iyileşme görülmüştür.

Yıldırım vd. (2004) tarafından, atık tonerler bitümlü sıcak karışımlarda kullanılmış ve yapılan deneylerle düşük sıcaklıklarda dayanımın arttığı, çatlak oluşumların ise azaldığı belirlenmiştir.

Deniz vd. (2005) tarafından, yorulma direncinin yüksek olmasıyla bilinen atık lastiklerin bitümlü sıcak karışımlarda (BSK) kullanımını araştırılmıştır. %0,5, %0,7, %1 ve %2 oranlarında 0-5 mm boyutunda lastik parçalarının bitüme ilave edilmesiyle elde edilen modifiye asfalta statik sünme, indirek çekme ve Marshall dayanım deneyleri uygulanarak performansları araştırılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda %0,5 oranında asfalta katılan atık lastik katkısının soğuk iklim bölgelerinde kalıcı deformasyonlara karşı direnç göstereceği belirlenmiştir.

Tayfur vd. (2007) tarafından, selüloz fiber, poliolefin, amorf polifaolefin, SBS ve bitümlü selülozun bitüme katkı olarak eklenmesiyle 5 farklı modifiye karışım elde edilmiştir. Bu asfalt karışımların kalıcı deformasyon mukavemetleri incelenmiştir. Deney sonuçlarından modifiye karışımların geleneksel karışımlara göre kalıcı deformasyon dirençlerinin arttığı ve SBS katkısının tekerlek izine karşı en yüksek dayanıma sahip olduğu belirlenmiştir.

Erol (2008) tarafından, atık malzemelerin yol inşaatlarında kullanımı üzerine araştırma yapılmıştır. Kullanım ömrünü tamamlayan atık lastiklerin yol dolgu malzemesi, metal cürufun temel tabakası ve uçucu küllerin ise zemin iyileştirmede kullanımı araştırılarak yapılan test sonuçları karşılaştırılmıştır. Deney sonuçlarına göre uçucu külün zeminde taşıma gücü arttırdığı ve metal cürufu olarak serilen temel tabakasında standart temel tabakalarına göre %200 daha az oturma olduğu belirlenmiştir.

Ahmedzade vd. (2008) tarafından, TÜPRAŞ'tan alınan siyah karbonun asfalt betonunda filler olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Aynı gradasyona sahip kalker ve siyah karbon içeren numuneler hazırlanarak indirek çekme ve sünme deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçları karşılaştırıldığında siyah karbonun bitümlü sıcak karışımlarda (BSK) stabilite, durabilite ve çekme mukavemetini arttırdığı sonucuna varılmıştır.

Yılmaz ve Süttaş (2008) tarafından, Antalya Ferrookrom İşletmesi'nin elektrik-ark fırınlarında atık madde olarak ortaya çıkan Ferrookrom (FrCr) cürufları bitüm bağlayıcıda filler olarak kullanılmıştır. Bitümlü bağlayıcıya, bitüm ağırlığının %2.5, %5, %7.5, %10 oranlarında katılan FrCr ile numuneler hazırlanarak stabilite ve akma değerleri tespit edilmiştir. Deney sonuçlarına göre atık katkının (FrCr) %5-10 oranlarında kullanılabilceği ve katkının stabiliteyi arttırdığı görülmüştür.

Görkem vd. (2008) tarafından, bitümlü sıcak karışımlara SBS ve EVA polimerleri ilave edilerek BSK'ların soyulma potansiyelleri ve suya karşı hassasiyetlerinin ölçülmesi amaçlanmıştır. Yapılan çalışmada, Nicholson soyulma deneyi ve modifiye Lottman deneyleri yapılmıştır. Farklı tipte agrega karışımlarının kullanıldığı çalışma sonucuna bakıldığında, her iki modifiyerin de agrega-bitüm adezyonunu geliştirdiği, suya karşı hassasiyeti düşürdüğü ve soyulma potansiyelini azalttığı belirtilmiştir. İki karışımın performansları karşılaştırıldığında ise SBS polimerin EVA polimerine kıyasla daha iyi performans gösterdiği belirlenmiştir.

Çubuk vd. (2009) tarafından, epoksi reçinenin bitüm modifiyeri olarak kullanıldığı çalışmada, modifiye bitüme yumuşama noktası, penetrasyon, dinamik kayma reometresi (DSR), fark tarama kalorimetresi (DSC), RTFOT, PAV, BBR ve yüzey gerilme enerjisi deneyleri yapılarak bu karışımların stabilite ve adezyon özellikleri Marshall stabilite ve Nicholson soyulma deneyleri ile bulunmuştur. Bitüme %1-6 oranlarında katılan epoksi reçinenin optimum oranının %2 olduğu ve bu oranda epoksi reçinenin viskozite, yumuşama noktası, tekerlek izine karşı direnci arttırdığı, penetrasyon, çatlama, kasma, soyulma değerlerini ise azalttığı belirlenmiştir.

Üstümkol ve Turabi (2009) tarafından, bitümlü karışımlarda mermer tozu, uçucu kül, fosfoalçı ve cam tozu gibi atıkların filler olarak kullanılmasının stabiliteye olan etkisi araştırılmıştır. Endüstriyel atıklar, %0-7 oranlarında bitümlü bağlayıcıya ilave edilmiş ve Marshall tasarım yöntemi ile optimum bitüm oranı bulunmuştur. Endüstriyel atıkların bitümlü sıcak karışımlarda Marshall dayanımı arttırdığı belirlenmiştir. Fosfoalçı ve uçucu kül kullanılan numunelerde boşluk değeri şartname sınır değerlerini sağlamadığından, bitümlü karışımların geçirimsiz olması istendiğinde bu atıkların (fosfoalçı ve uçucu kül) kullanılmayacağı sonucuna varılmıştır.

Taşçı (2010) tarafından, atık lastiklerin piroliz işleminden geçirilmesi ile elde edilen atık yağ ve karbon siyahının BSK'larda kullanılabilirliği araştırılmış ve reolojik özellikleri incelenmiştir. Bitüm ağırlığının %3, %6, %9 oranlarında ilave edilen atık lastik yağı ile modifiye karışım hazırlanmıştır. Uygulanan deney sonuçları incelendiğinde atık katkının kullanılması ile bitümde dayanım azalmıştır. Fakat katkı maddesinin bitümde penetrasyon değerini ve sıcaklık hassasiyetini arttırdığı

gözenmiştir. Ayrıca bitümde yaşlanma azalmış ve düşük sıcaklıklarda işleme kolaylığı olacağından çatlama ve kırılmaları önleyebileceği sonucuna varılmıştır.

Chen vd. (2011) tarafından, bitümlü sıcak karışımlarda tuğla ve kireç tozlarının filler olarak eklenmesiyle karışımların mekanik özellikleri araştırılmıştır. Kireç tozuyla yapılan numunelerin tuğla tozuyla yapılan numunelere göre daha iyi sonuç verdiği ulaşılmıştır.

Yılmaz (2011) tarafından, Silopi asfaltinin BSK'larda filler olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bitüme %1-5 aralığında 5 farklı oranda katılan asfaltit ile yapılan modifikasyona superpave deneyleri uygulanmıştır. Deneyler kısa ve uzun süreli yaşlanmaya tabi tutulmuştur. Deney sonuçlarına göre karışımda asfaltit oranı arttıkça kalıcı deformasyon, nem hasarı, yorulma çatlakları, çatlak ilerleyişlerine karşı direnç ve rijitliğin olduğu fakat daha gevrek kırılmanın meydana geldiği belirtilmiştir. Hacimsel tasarıma göre en uygun asfaltit oranının %3 olduğu belirlenmiştir.

Arabani vd. (2011) tarafından, bitümlü bağlayıcıya demir tozu ilave edilerek dinamik yükler altındaki yorulma davranışları ve çekme dayanımları incelenmiştir. Yapılan çalışma sonuçlarına göre demir tozunun bitümde yorulma ömrünü uzattığı ve çekme dayanımını arttırdığı görülmüştür.

Bostancıoğlu (2012) tarafından, fındık kabuğu atıklardan elde edilen aktif karbon ile bitkisel atıklardan elde edilen furan reçinesinin bitüm modifikasyonunda kullanılabilirliği araştırılmıştır. Farklı boyut ve oranlarda bitüme katılan aktif karbon ve furan reçinesine geleneksel ve superpave bağlayıcı deneyler uygulanmıştır. Yapılan deney sonuçlarına göre hem aktif karbonun hem de furan reçinesinin bitüm sertliğini arttırdığı, sıcaklık hassasiyetini düşürdüğü ve orijinal asfaltın reolojik özelliklerini iyileştirdiği belirtilmiştir. Modifiye bağlayıcılar ile hazırlanan karışımların mekanik özelliklerinin tespit edilmesi için Marshall stabilite, dolaylı çekme mukavemeti (ITS), dolaylı çekme esneklik modülü (ITSM), su hasarı (Modifiye Lottman) ve Nicholson soyulma deneyleri uygulanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Her iki modifiye karışımın da tekerlek izine ve yorulma dayanımına karşı direnç oluşturduğu belirtilmiştir. Ayrıca furan reçinesinin aktif karbona kıyasla nem direncine karşı daha dirençli bir katkı olduğu belirtilmiştir.



Geçkil (2013) tarafından, öğütölmüş atık lastik ve SBS'nin bitümde kullanılması araştırılmıştır. Modifiye asfalt karışımına yapılan testler sonucunda atık lastiğın bitümde kullanılması ile soğuk iklim bölgelerinde oluşın düşük sıcaklık çatlaklarına karşı direnç oluşacağı kanıtlanmıştır. Bitümlü karışımında SBS yerine atık lastik kullanımının daha ekonomik olduğu belirlenmiştir.

Aminbakhsh (2013) tarafından, şeker fabrikalarında atık madde olarak çıkan şeker pancarı melası atığının bitüm özelliklerinin iyileştirilmesinde kullanılabilirliğı araştırılmıştır. Şeker pancarı melasına ilaveten eklenen boroksit ile MEBSA adında bir katkı daha elde edilmiştir.

Gürü vd. (2013) tarafından, sentezlenen organik esaslı magnezyum bileşigi ile bitüm modifiye edilmiş ve katkı maddesinin bitüm özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Modifiye bitümün özellikleri viskozite, penetrasyon, yumuşama noktası, DSR, RTFOT, PAV, BBR, Nicholson soyulma, Marshall, DSC ve DSA testleri ile incelenmiştir. Organik esaslı magnezyum bileşigi bitümün penetrasyonunu arttırmış, yumuşama noktasını azaltmış ve bitüm-agrega arasındaki adezyonu iyileştirmiştir.

SHA vd. (2014) tarafından, çevreyi korumada uygun bir yol olduğu düşünölen cam katkılı asfalt betonunun performansı ve kapalı alan yansıma özellikleri araştırılmıştır. Yapılan test sonuçlarına göre yüksek oranda katılan cam içeriğinin güçlü ışık yansıması yaptığı ve cam içeriğinin %15'e ulaştığında yol performansının bükölme noktası gösterdiğı belirlenmiştir. Çalışmanın sonucu olarak yol performansı ve yansıma özellikleri düşünöldüğünde karışım için %4.2 bitüm, %15 atık cam, %2 sönmüş kireç uygun olduğu belirtilmiştir.

Shafabakhsh vd. (2014) tarafından, atık lastik tozların bitümlü sıcak karışımlarda (BSK) kullanılması amacıyla yapılan çalışmada dinamik kayma reometresi (DSR) ile tekerlek izine karşı dayanım ölçölmüştür. Elde edilen sonuçlarda bitüm ağırlığının %10'u oranında katılan lastik tozlarının asfaltta tekerlek izine karşı dayanımı yükselttiğı ve asfalt kaplamanın hizmet ömrünü arttırdığı belirlenmiştir.

Xue vd (2014) tarafından, asfalt bağlayıcıya pirinç kabuğı külü (RHA) ve ahşap talaşı külü (WSA) ilave edilmiştir. Elde edilen modifiye asfaltın fiziksel ve reolojik özellikleri penetrasyon, düktilite, yumuşama noktası, dinamik kayma reometresi, ince

film halinde ısıtma ve dönel viskozimetre deneyleri ile belirlenmiş ve yapısal analizi Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi (FT-IR) ile yapılmıştır. Deney sonuçlarından RHA'nın WSA'ya kıyasla daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir.

Yılmaz (2016) tarafından laboratuvar ortamında bor içerikli yeni bir katkı maddesi sentezlenmiştir. Bu katkı maddesi, asfalt ağırlığının %1, %2, %4 ve %6 oranında asfalta ilave edilmesiyle katkının asfalt üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Sentezlenen katkı maddesinin reolojik ve fiziksel özellikleri geleneksel ve superpave bağlayıcı deneyler ile belirlenmiştir. Modifiye asfaltın yapısal özellikleri ise Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi (FT-IR), nükleer manyetik rezonans (NMR), taramalı elektron mikroskopu (SEM) ve termogravimetrik (TG) analiz yöntemleri ile tespit edilmiştir. Deney sonuçlarına bakıldığında katkı maddesinin asfaltın kıvamını, tekerlek izini, yorulma ve yaşlanma direncini arttırdığı, sıcaklık hassasiyetini ise azalttığı belirlenmiştir.

Hussein vd. (2017) tarafından, asfalt bağlayıcıya seramik atıklardan oluşan nanoseramik toz (NCP) katkısı %2, %4 ve %6 oranlarında katılmıştır. Modifiye asfaltın fiziksel ve reolojik özellikleri penetrasyon, yumuşama noktası ve dinamik kayma reometresi deneyleri ile araştırılmıştır. Modifiye asfaltın X-ışını kırınımı, Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi, geçirimli elektron mikroskopisi, atomik kuvvet mikroskopisi ve floresan spektroskopisi ile yapısal analizi yapılmıştır. Katkının orijinal asfaltta viskoziteyi, kıvamı arttırdığı ve sıcaklık hassasiyetini azalttığı belirlenmiştir.

Salem vd. (2017) tarafından, asfalt karışımlarda ince atık cam kullanılabilirliği araştırılmıştır. Asfalt karışıma %5, %10, %15 ve %20 oranlarında eklenen kırılmış camlar ince agrega olarak kullanılmıştır. Atık cam boyutunun maksimum boyutunun 2.36 mm (No:8) olduğu belirlenmiştir. Modifiye asfaltın soyulma direnci sönmüş kireç ve soyulma önleyici katkıları ile iyileştirilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda en iyi performansı veren oranın %10 olduğu belirlenmiştir.

Gürbüz (2018) tarafından yapılan çalışmada nanokil katkı maddesinin asfalt bağlayıcıyla modifikasyonu gerçekleştirilmiştir. Modifiye asfalt bağlayıcının fiziksel ve reolojik özellikleri penetrasyon, yumuşama noktası, duktilite, dönel ince film halinde ısıtma (RTFOT), dinamik kayma reometresi (DSR), basınçlı yaşlandırma kabı

(PAV) ve dönel viskozite (RV) deneyleri ile araştırılmıştır. Katkı maddesinin ve modifiye asfalt bağlayıcının yapısal ve morfolojik özellikleri ise X-Işını kırınımı (XRD), taramalı elektron mikroskobu (SEM), Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi (FT-IR) ve diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analizleriyle yapılmıştır. Yapılan alışma sonucunda katkı maddesinin (nanokil), orijinal asfaltın kıvamını, sertliğini ve kısa süreli yaşlanma direncini arttırdığı, sıcaklık hassasiyetini ve uzun süreli yaşlanma direncini azalttığı tespit edilmiştir.

### **1.3 Çalışmanın Amacı**

Atık maddeler, hava ve evre kirliliğine neden olmakta ve yaşanılması g bir dünya oluşturmaktadır. Çalışmanın amacı ise kağıt üretimi sırasında atık olarak ortaya çıkan magnezyum lignosülfonatın asfalt bağlayıcılarda kullanılarak tekrar değerlendirilmesi ve çevreci bir çözümün sunulmasıdır.

Lignin, selüloz ile birlikte hücre çeperinin yapısında bulunan ve bitkiye odunsu yapıyı veren organik bir moleküldür. Birçok ağaç ve bitkide bulunan lignin, bitkinin dik durmasını ve su moleküllerini iterek yüksekteki yaprak ve dallara su iletimini sağlamaktadır. Ancak lignin çoğunlukla kağıt yapımında atık madde olarak karşımıza çıkmakta ve sülfit pişirme yöntemi sonucu magnezyum lignosülfonat olarak çevreye atılmaktadır. Magnezyum lignosülfonat (MLS), koyu renkte bir sıvı olan organik bir atıktır.

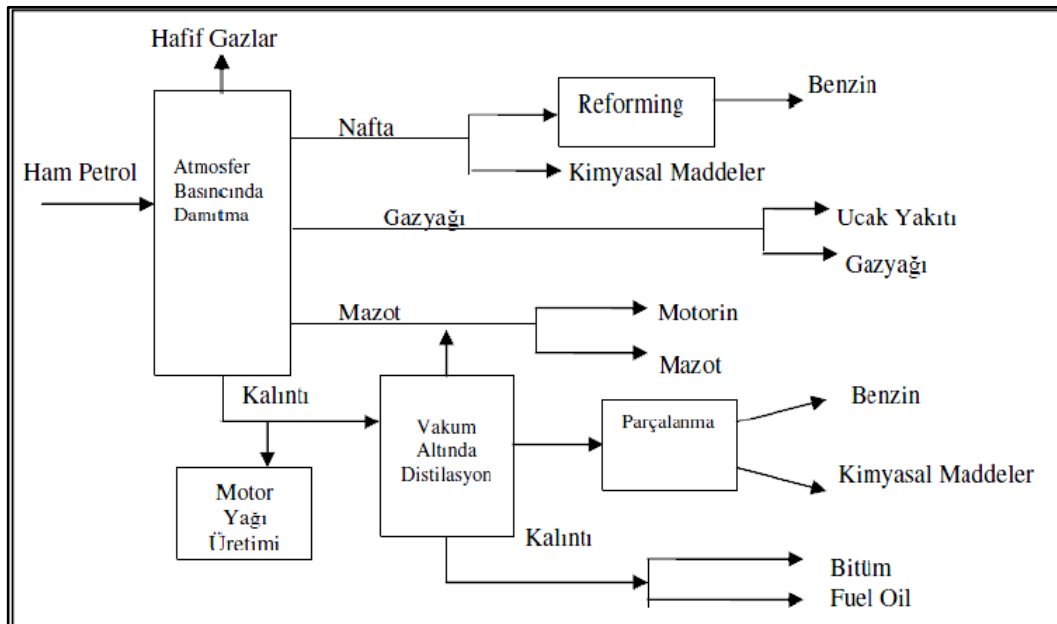
Bilindiği gibi asfalt da MLS gibi organik bir yapıya sahiptir. Bu iki malzemenin modifikasyonu ile asfalt ile MLS arasında koordinasyonun sağlanacağı ve böylelikle hem asfaltın performans özelliklerinin iyileşeceği hem de söz konusu bu atık malzemenin farklı bir alanda tekrar değerlendirilmesiyle çevreci bir çözümün ortaya çıkacağı düşüncesiyle bu çalışmaya girişilmiştir.

#### 1.4 Bitümlü Bağlayıcılar

Bitüm, hidrokarbon ve türevlerinden oluşan, siyah veya koyu renkli, kıvam bakımından katı, yarı katı ya da viskoz, kuvvetli bağlayıcı özelliği olan, doğal halde bulunan ya da ham petrolün damıtılmasıyla elde edilen bağlayıcı bir maddedir. Bitümler, asfalt ve katran olmak üzere iki ana grupta incelenmektedir.

Katranlar odun ve kömürün kapalı bir sistem içerisinde damıtılması ile ham katran olarak elde edilmekte ve yol inşaatında kullanılabilmesi için ikinci bir damıtma işleminden geçirilmeleri gerekmektedir.

Yol kaplamalarında yaygın olarak kullanılan bağlayıcılar, ham petrolün rafinerilerde damıtılması ile katı veya yarı katı olarak elde edilen ve asfalt çimentosu (AC) olarak adlandırılan petrol asfaltlarıdır (Şekil 1.1). Tabiatta doğal halde bulunan kaya ve göl asfaltları birtakım ayrıştırma işlemlerinden geçtikten sonra yol kaplamalarında kullanılabilmekte ve genellikle bitümlü karışımlara modifiye olarak eklenmektedir (Kök vd., 2012). Trinidad asfalt gölü en çok bilinen doğal asfalt göldür (Şekil 1.2).



Şekil 1.1. Ham petrolden bitüm elde edilme süreci (Bostancıoğlu, 2012)



**Şekil 1.2.** Trinidat göl asfaltı

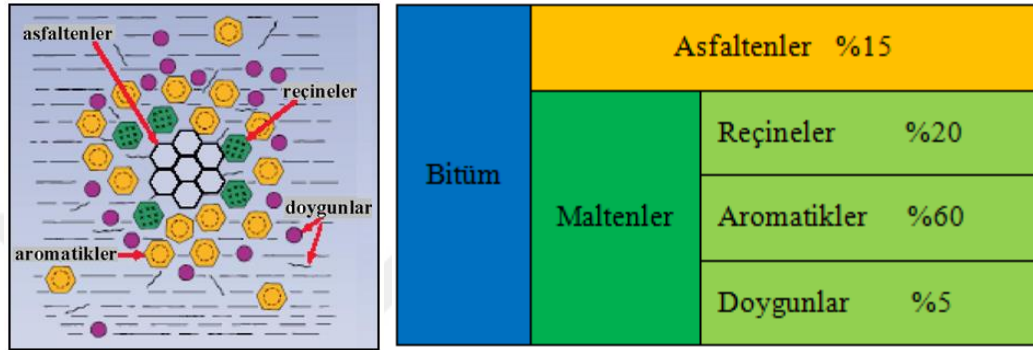
### 1.5 Asfaltın Kimyasal Yapısı

Asfalt, hakim durumdaki hidrokarbon moleküller (karbon, hidrojen) ile az miktarda yapısal özellikleri benzer heterosiklik türler (azot, kükürt) ve sülfür, nitrojen ve oksijen atomları içeren fonksiyonel grupların karmaşık bir kimyasal karışımıdır (Geçkil, 2008). Aynı zamanda asfalt, inorganik tuzlar, oksitler veya porfirin yapıları şeklinde ortaya çıkan vanadyum, nikel, demir, kalsiyum ve magnezyum gibi metaller de içermektedir (Uncu, 2017). Ham petrolden elde edilen asfaltın element analizleri Çizelge 1.1’de verilmiştir.

**Çizelge 1.1.** Asfaltın kimyasal bileşenleri (Whiteoak, 2004)

Bileşenler	Kütle Yoğunluk Oranı (%)
Karbon	%82-88
Hidrojen	%8-11
Sülfür	%0-6
Oksijen	%0-1.5
Nitrojen	%0-1

Asfalt, n-heptanda çözünme durumuna göre asfaltener ve maltenler olarak iki gruba ayrılmaktadır (Uncu, 2017). Maltenler ise reçineler, aromatikler ve doygunlar olmak üzere alt gruplara ayrılmaktadır. Asfaltın kimyasal yapısı ve bileşenleri Şekil 1.3'te verilmiştir.



Şekil 1.3. Asfaltın kimyasal yapısı ve bileşenleri

**Asfaltenerler:** Esasen karbon ve hidrojenden oluşan, bir miktar sülfür, nitrojen ve oksijen içeren, n-heptan içerisinde çözünemeyen, siyah veya kahverengi amorf katılar olup asfaltın %5 ile %25'ini oluşturmaktadır. Asfaltener miktarı arttıkça daha sert, daha viskoz ve daha yüksek yumuşama noktasına sahip bitüm elde edilmektedir (Gürbüz, 2018).

**Maltenler:** n-heptan içerisinde çözünebilen reçineler, aromatikler ve doygunlardan meydana gelmektedir.

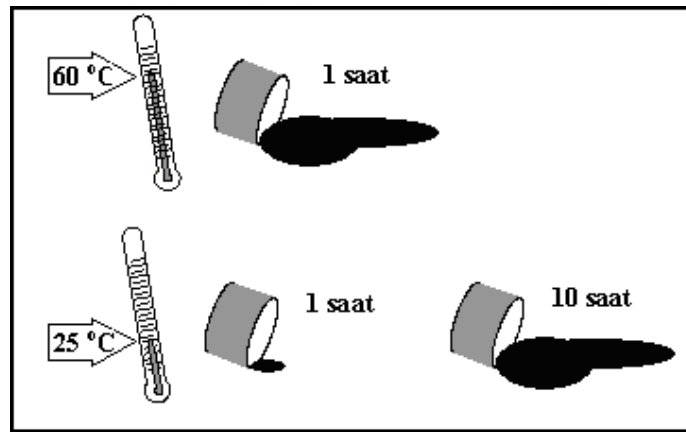
**Reçineler:** Asfaltenerler gibi büyük ölçüde karbon ve hidrojenden oluşan, küçük miktarda oksijen, azot ve kükürt içeren, n-heptan içerisinde çözünebilen, koyu kahve renkli, katı ya da yarı katı kıvamda ve doğal elektriksel yüklere sahip (polar) olması özelliğiyle asfalta yüksek adezyon özelliği kazandırmaktadır (Geçkil, 2008).

**Aromatikler:** Bitüm içerisindeki en düşük molekül ağırlıklı naftenik aromatik bileşenlerden oluşan, bitümün %40 ile %65'ini oluşturan, asfaltenerlerin yayılımı için gereken ortamı teşkil eden, koyu kahve renkli viskoz yağ şeklinde sıvılardır (Whiteoak, 2004).

**Doygunlar:** Doygunlar veya doymuş hidrokarbonlar, bitümün %5 ile %20'sini oluşturan, saman rengi veya beyaz renkte olan, ortalama molekül ağırlığı aromatiklere benzeyen, hem parafinli, hem de parafinsiz bileşenlerden oluşan, polar olmayan viskoz yağlardır (Yılmaz, 2016).

### 1.6 Asfaltın Reolojisi

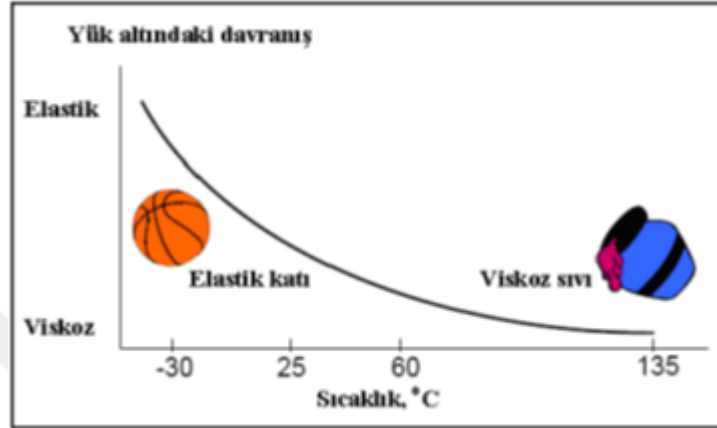
Reoloji, malzemelerin yüklemeye ve sıcaklık etkisiyle zaman içindeki davranışlarını inceleyen bilim dalıdır. Asfalt, mühendislik davranışı bakımından visko-elastik ve termo-plastik davranışlar göstermektedir. Asfaltın davranışı sıcaklık ve yüklemeye zamanına bağlı olduğu için, aynı yük farklı sürelerde uygulandığında asfalt farklı özellikler sergilemeye başlayacaktır. Şekil 1.4'te görüldüğü gibi asfaltın 60°C'de 1 saatte gösterdiği akış miktarı ile 25°C sıcaklıkta 10 saatte gösterdiği akış miktarı aynıdır. Yani asfaltın yüksek sıcaklık ve kısa sürede yaptığı davranış, düşük sıcaklık ve daha uzun sürede yaptığı davranış ile eşdeğerdir (Geçkil, 2008).



**Şekil 1.4.** Asfaltın zaman ve sıcaklığa bağlı davranışı

Asfalt, yüksek yüklemeye hızında (hızlı taşıtlar) veya düşük sıcaklıklarda elastik, düşük yüklemeye hızında (yavaş ya da duran taşıtlar) veya yüksek sıcaklıklarda viskoz, orta yüklemeye hızında veya orta sıcaklıklarda ise visko-elastik davranış gösterirler (Şekil 1.5). Bu nedenle asfalt, sıcak havalarda ve düşük yüklemeye hızlarında viskoz sıvılar gibi hareket ederek tekerlek izi oluşumuna neden olur. Düşük sıcaklıklarda ise asfalt

kaplamalar termo-plastik özelliğinden dolayı çok sert ve kırılğan hale gelerek kaplamada çatlamalara neden olmaktadır (Yılmaz, 2016).



Şekil 1.5. Asfaltın yük ve sıcaklığa bağlı davranışı

### 1.7 Asfalt Bağlayıcıya Uygulanan Deneyler

Asfalt bağlayıcıların özellikleri, yol kaplamalarının dayanımı ve performansı üzerinde çok önemli etkilere sahiptir. Bu özelliklerin tayini için çeşitli deney yöntemleri bulunmakta ve bu deneyler iki grup altında toplanmaktadır. Bunlardan birincisi ülkemizde Karayolu Teknik Şartnamesinde yer alan ve bitümlü bağlayıcılara uygulanan geleneksel deneyler ve ikincisi Amerika Stratejik Karayolu Araştırma Programı tarafından geliştirilen “Yüksek Performanslı Asfalt Kaplama (Superpave)” şartnamesinde bulunan performans esaslı bağlayıcı deneyleridir (Yılmaz, 2016). İki grup altında toplanan bu deneyler aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Geleneksel Bağlayıcı Deneyleri

Penetrasyon deneyi

Yumuşama noktası deneyi

Düktilite deneyi



Parlama noktası deneyi

İnce film halinde ısıtma deneyi (Thin Film Oven Test, TFOT)

Trikloretilende çözünürlük deneyi

Özgül ağırlık deneyi

Fraass kırılma noktası deneyi

Nicholson soyulma deneyi

- Superpave Bağlayıcı Deneyleri

Dönel viskozite deneyi (Rotational Viscosimeter, RV)

Dinamik kayma reometresi deneyi (Dynamic Shear Rheometer, DSR)

Dönel ince film halinde ısıtma deneyi (Rolling Thin Film Oven Test, RTFOT)

Basınçlı yaşlandırma kabı deneyi (Pressure Aging Vessel, PAV)

Kiriş eğme reometresi deneyi (Bending Beam Rheometer, BBR)

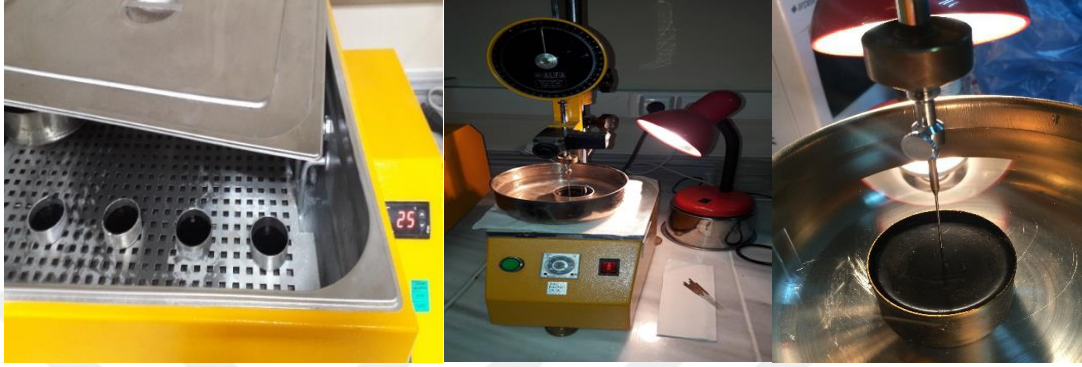
### 1.7.1 Geleneksel Bağlayıcı Deneyler

Bu bölümde asfalt bağlayıcıya uygulanan geleneksel deney yöntemleri anlatılmaktadır.

#### 1.7.1.1 Penetrasyon Deneyi

Penetrasyon (batma) deneyi, asfaltın sertliğini yani kıvamını belirlemek için yapılan deneydir. Standart bir iğnenin 25°C sıcaklıkta 100 g yük altında 5 saniye süreyle asfalt bağlayıcıya dikey doğrultuda batma miktarıdır. İğnenin batma miktarı desimilimetre (0,1 mm) cinsinden ölçülür. Penetrasyon değeri asfalt bağlayıcının kıvamıyla ters orantılıdır. Yani penetrasyon değerinin artması ile asfalt yumuşamakta, penetrasyon

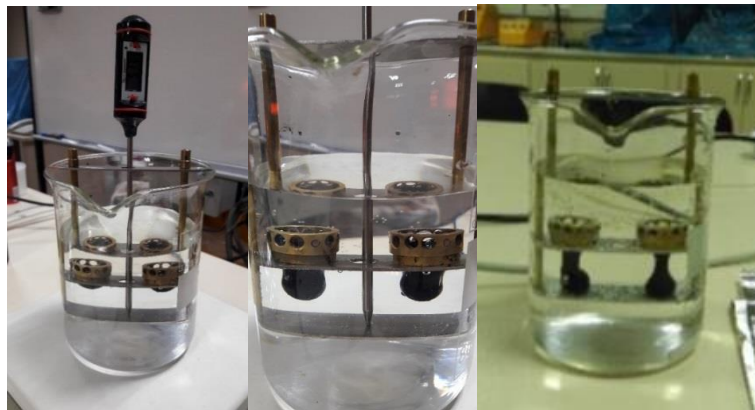
değerinin azalması ile asfalt sertleşmektedir. Penetrasyon deney aleti ve yapıma aşamaları Şekil 1.6’da gösterilmiştir.



Şekil 1.6. Penetrasyon deneyi ve aşamaları

### 1.7.1.2 Yumuşama Noktası Deneyi

Asfalt bağlayıcının sıcaklık hassasiyetini (hangi sıcaklıkta akmaya başladığını) ölçen deneydir. Bu deneyde standart halkaların içine dökülen asfalt bağlayıcıların üzerine 3,5 gram ağırlığında bilyeler yerleştirilir ve numuneler bir su banyosunda 5°C/dk hızda ısıtılır. Isınma sonucunda malzeme yumuşar ve bilyelerin kalıbın tabanına değdiği andaki sıcaklık değeri yumuşama noktası olarak kaydedilir. Şekil 1.7’de yumuşama noktası deneyine ait görüntüler verilmiştir.



Şekil 1.7. Yumuşama noktası deneyi

Asfalt bağlayıcıların sıcaklık hassasiyetleri, penetrasyon ve yumuşama noktası değerlerine bağlı olarak Penetrasyon İndeksi (PI) ile hesaplanmaktadır. PI sıcaklığın bir fonksiyonu olarak bitüm kıvamının değişimi olarak tanımlanır ve Formül 1.1 ile hesaplanmaktadır.

$$PI = \frac{1952 - 500 \cdot \log(\text{Pen}25) - 20 \cdot YN}{50 \cdot \log(\text{Pen}25) - YN - 120} \quad (1.1)$$

Pen25 : Asfaltın 25 °C sıcaklıktaki penetrasyon değeri (dmm)

YN : Asfaltın yumuşama noktası sıcaklık değeri (°C)

Düşük PI değeri yüksek sıcaklık hassasiyetini gösterirken, PI değerinin yüksek olması ise bağlayıcının düşük ısı çatlaklarına ve kalıcı deformasyona karşı direncinin yüksek olduğunu göstermektedir.

### 1.7.1.3 Düktilite Deneyi

Düktilite, kelime olarak uzama ve çekilebilme anlamına gelmektedir. Tanım olarak, asfalt çimentosundan yapılmış standart bir briketin, belirli sıcaklık ve hızda kopmadan çekilebilme uzunluğunun cm cinsinden ifadesi olarak tanımlanmaktadır. Asfaltın bağlama yeteneği düktilitesine bağlı olduğundan düktilite değeri yüksek olan asfaltın bağlayıcılık özellikleri de yüksektir. Düktilite cihazı, 25°C sıcaklıkta içi su dolu olan ve numuneyi 5 cm/dk hız ile yatay olarak çeken bir cihazdır (Şekil 1.8). Numune briket kopuncaya kadar çekme işlemine devam edilmekte ve briket koptuğu anda düktilite cihazının kenarındaki cetvelden uzama miktarı cm cinsinden ölçülmektedir. Düktilite cihazı ile aynı anda 3 numune test edilebilmekte ve bu 3 numunenin düktilite sonuçlarının ortalaması, bitümlü bağlayıcının düktilitesi olarak kabul edilmektedir (Orhan, 2012).



**Şekil 1.8.** Düktilite Deneyi (Yılmaz, 2005)

#### 1.7.1.4 Parlama Noktası Deneyi

Bir maddenin alev temasında geçici olarak parladığı fakat yanmaya devam etmediği en düşük sıcaklıktır. Parlama noktası deneyi, açık kap deneyleri ile belirlenmektedir. Açık kap deneyleri, asfalt bağlayıcının açık bir kaptan ısıtılması sırasında, yüzeyin üzerinde bir kıvılcım tatbik edilerek, yüzeyin herhangi bir noktasında alevin görüldüğü andaki sıcaklık, deneye tabi tutulan asfalt bağlayıcının parlama noktası olarak seçilmektedir (Yılmaz, 2016). Bir malzemenin parlama noktasının bilinmesi, o malzemenin uygulanması sırasında ısıtılırken meydana gelebilecek herhangi bir tutuşma ve yangın tehlikesinin engellenmesi bakımından önemlidir (Gençtürk, 2011). Parlama noktası deney aleti Şekil 1.9’da verilmiştir.



**Şekil 1.9.** Parlama noktası deney aleti

### 1.7.1.5 İnce Film Halinde Isıtma Deneyi (Thin Film Oven Test, TFOT)

İnce film halinde ısıtma deneyi (TFOT), asfalt tesislerinde agrega ile asfalt bağlayıcı karıştırıldığı zaman meydana gelen yaşlanmanın laboratuvar ortamında belirlenmesi için yapılmaktadır (Gürbüz, 2018). Bu deneyde 14 cm çapındaki küçük bir tepsinin içine 3,2 mm kalınlığındaki bitüm numunesi konularak tepsinin içine yayılması sağlanır. Bu numuneler 5-6 devir/dk hızda dönen bir platform üzerine yerleştirilerek 5 saat süreyle 163°C sıcaklıktaki fırında bekletilir (Şekil 1.10). Bu süre sonunda fırından çıkartılan numuneler tartılarak yaşlanma öncesi ve sonrasındaki ağırlık kaybı 0.01 gram hassasiyetle belirlenir.



Şekil 1.10. TFOT deney aleti (Yılmaz,2016)

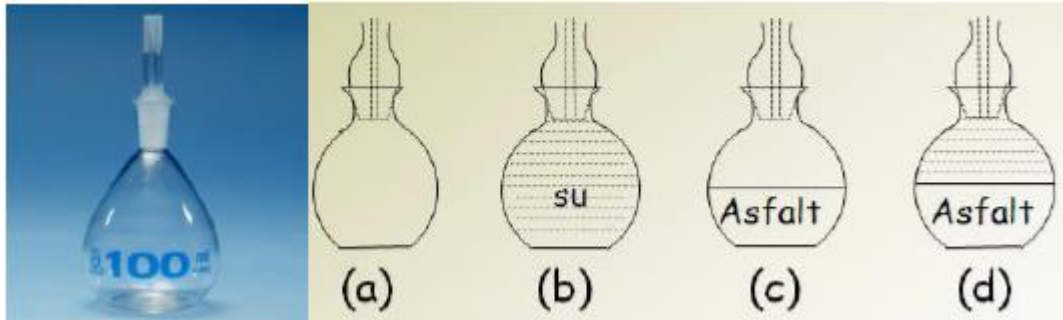
### 1.7.1.6 Trikloretilende Çözünürlük Deneyi

Bu deney, içerisinde mineral madde bulunmayan ya da çok az bulunan asfalt bağlayıcının organik çözücüler (trikloretilen, karbon sülfür, benzen vb) ile çözünürlüğünün belirlenmesi için yapılmaktadır. Asfaltın trikloretilende en az %99 oranında çözünmesi beklenmektedir (Orhan, 2012).

### 1.7.1.7 Özgül Ağırlık Deneyi

Asfalt bağlayıcının özgül ağırlığı, 25°C sıcaklıkta hacmi bilinen bir asfalt numunesinin ağırlığının, aynı sıcaklık ve hacimdeki suyun ağırlığına oranı ile elde edilir. Arşimet'in ortaya koyduğu; yüzen cisimlerin ağırlığı, kapladıkları hacim kadar sıvının ağırlığına

eşittir ilkesine dayanmaktadır. Bu deney çok akıcı asfaltlar için kullanılmaktadır. Piknometre, su banyosu ve terazisi kullanılan özgül ağırlık deneyine ilk olarak piknometrenin tartılması ve bu tartımın kaydedilmesi ile başlanır. Daha sonra 25°C sıcaklıkta su ile doldurulan piknometrenin kapağı sıkıca kapatılarak tekrar tartılır ve kaydedilir. Asfalt numunesi yeterince akışkan değilse bir miktar ısıtılarak yeterli akışkanlık sağlanır. Piknometre yaklaşık yarısına kadar bu asfalt numunesiyle doldurulur. Piknometre içindeki numune ile birlikte oda sıcaklığına kadar soğutulur kapağı ile birlikte tartılır. Piknometrenin içindeki asfalt numunesinin üzeri damıtılmış su ile doldurularak kapağı sıkıca kapatılır. Ardından sıcaklığı 25±0.5°C'deki su banyosuna tamamen batırılır ve 30 dakika sonra piknometrenin dışı kurularak tartılır (Yılmaz, 2016). Şekil 1.11'de piknometre deney aleti ve deneyin yapılışı gösterilmiştir. Özgül ağırlık hesabı ise Formül 1.2'de gösterilmiştir.



Şekil 1.11. Piknometre deney aleti ve deneyin yapılışı (Gürbüz,2018)

$$\text{Özgül ağırlık} = \frac{c-a}{(b-a)-(d-c)} \quad (1.2)$$

a : Boş piknometre ağırlığı, gram

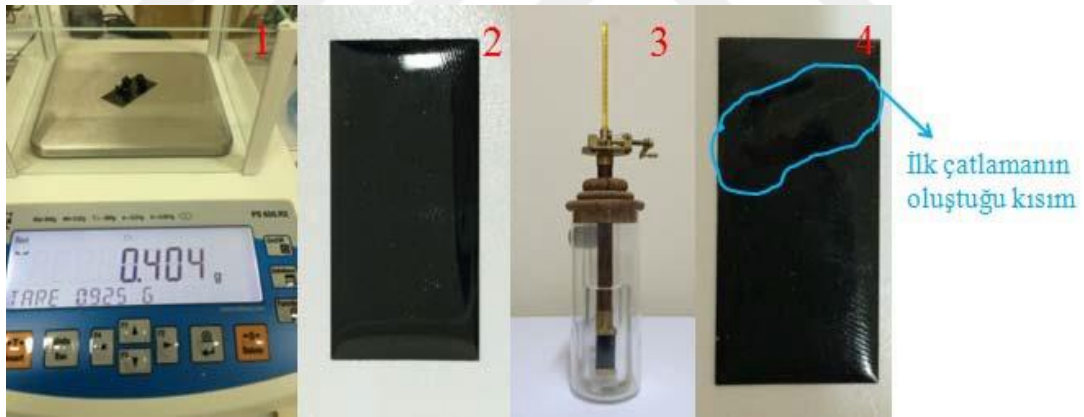
b : Saf su ile dolu piknometre ağırlığı, gram

c : Yarısına kadar bitüm dolu piknometre ağırlığı, gram

d : Asfalt, saf su ve piknometre ağırlığı, gram

### 1.7.1.8 Fraass Kırılma Noktası Deneyi

Fraass kırılma noktası deneyi, bir asfalt bağlayıcı filminin belirtilen yük şartları altında kırıldığı Celcius cinsinden sıcaklık olarak tanımlanmaktadır (Yılmaz, 2016). Bu deney bitümün düşük sıcaklıktaki davranışını belirlemek için yapılmaktadır (Orhan, 2012). Asfalt numunesi, kalınlığı her tarafa eşit olacak şekilde metal bir plaka üzerine tatbik edilir. Tavlanmış yay çeliğinden yapılan plakanın uzunluğu  $41 \text{ mm} \pm 0.05 \text{ mm}$ , genişliği  $20 \text{ mm} \pm 0.02 \text{ mm}$  ve kalınlığı  $0.15 \text{ mm} \pm 0.02 \text{ mm}$ 'dir. Metal plakanın üzerine  $0.40 \text{ g} \pm 0.01 \text{ g}$  asfalt bağlayıcı konularak tartılır ve sonrasında plaka sabit hızla soğutulur. Asfalt bağlayıcı tabakasında çatlama oluşuncaya kadar belirli aralıklarla esnetilir ve ilk çatlamanın olduğu sıcaklık Fraass kırılma noktası olarak belirlenir. Fraass kırılma noktası deney aletleri ve yapılış adımları Şekil 1.12'de gösterilmiştir.



Şekil 1.12. Fraass Kırılma Noktası Deneyi (Yılmaz,2016)

### 1.7.1.9 Nicholson Soyulma Deneyi

Nicholson Soyulma Deneyi, su etkisiyle asfalt bağlayıcının agregadan ayrışmasına karşı direncini tespit etmek için yapılmaktadır (Umar, 1985). Bu deneyde, kırılmış agrega numunesinin 9.5-6.3 mm elekleri arasında kalan kısmından 200 gr alınarak, iyice yıkanıp saf su ile birkaç kez çalkalanarak  $110^{\circ}\text{C}$ 'lik etüvde kurutulmaktadır.

Beher içinde tartılarak yıkanmış kurumuş agregadan  $100 \pm 0.5$  gr numune alınmakta ve ısıtılmak için 1 saat  $140^{\circ}\text{C}$ - $150^{\circ}\text{C}$ 'lik etüvde bekletilmektedir. Asfalt bağlayıcıdan da beher içinde tartılarak  $5.0 \pm 0.1$  gr elde edilmektedir. Asfalt bağlayıcı içeren beher kum banyosuna yerleştirilerek ısıtılır. Asfalt bağlayıcı eriyince, agrega asfalt üzerine dökülür, bir cam bagetle tüm agregaların üzeri asfaltla kaplanıncaya kadar karıştırılır. Karışım eşit olacak şekilde iki petri kabına boşaltılarak 10 dk laboratuvar sıcaklığında bekletilmekte ve sonrasında petri kapları, içerisinde saf su bulunan tepsilere konularak üzerinde en az 3 cm'lik su filmi oluşması sağlanır. Daha sonra petri kaplarını içeren tepsiler  $60^{\circ}\text{C}$ 'lik etüvde 24 saat bekletilir. 24 saat sonunda petri kabı çıkarılarak suyu değiştirilir. Yan taraftan gelen bir ışık altında numuneler görsel olarak incelenir (Yılmaz, 2016). Tüm agrega danelerinin soyulmamış yüzeylerinin, karışımdaki toplam agrega yüzey alanına oranı, soyulmaya karşı dayanıklılığını ya da soyulma direncini ifade etmektedir. Nicholson soyulma deneyi Şekil 1.13'te gösterilmektedir.



**Şekil 1.13.** Nicholson Soyulma Deneyi

### 1.7.2 Superpave Deneyleri

Superpave sistemindeki performans esaslı bağlayıcı şartnamesi, kaplamalarda meydana gelen kalıcı deformasyon, yorulma çatlakları ve düşük sıcaklık çatlaklarının azaltılarak bağlayıcı performansının en üst düzeye çıkarılması için tasarlanmıştır. Bu şartnamenin en önemli özelliği uygulama bölgesindeki iklim koşulları dikkate alınarak asfaltın saha performansı ile ilgili fiziksel ve reolojik özelliklerin tespit edilmesine olanak sağlamaktır (Yılmaz, 2016). Çizelge 1.2'de Superpave yönteminde kullanılan bağlayıcı deneyleri ve bu deneylerin kullanım amaçları verilmiştir.

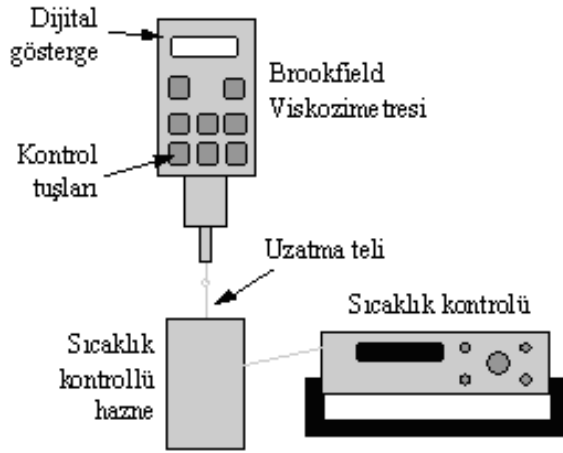


**Çizelge 1.2.** Superpave bağlayıcı deneyleri, kullanım amaçları ve performans parametreleri

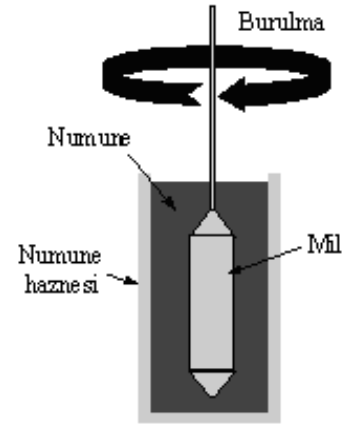
<b>Deney Adı</b>	<b>Kullanım Amacı</b>	<b>Performans Parametresi</b>
Dönel Viskozimetre (RV)	Bağlayıcının yüksek sıcaklık özelliklerini belirlemek	Aktarma ve pompalama
Dinamik Kayma Reometresi (DSR)	Bağlayıcının yüksek ve orta sıcaklık özelliklerini belirlemek	Kalıcı deformasyon ve yorulma çatlağı direnci
Dönel İnce Film Halinde Isıtma (RTFOT)	BSK üretimi ve yapımı süresince bağlayıcı yaşlanmasını belirlemek	Yapım süresince yaşlanma direnci
Basıncılı Yaşlandırma Kabı (PAV)	BSK hizmet ömrü süresince bağlayıcı yaşlanmasını belirlemek	Hizmet ömrü süresince yaşlanma direnci
Kiriş Eğme Reometresi (BBR)	Bağlayıcının düşük servis sıcaklık özelliklerini belirlemek	Termal çatlak direnci

### 1.7.2.1 Dönel Viskozimetre Deneyi (Rotational Viscosimeter, RV)

Dönel viskozimetre (RV) deneyi, asfalt bağlayıcının yüksek sıcaklıktaki akışkanlık ve pompalanabilirlik karakteristiklerini belirlemek için yapılmaktadır. Bu amaçla AASHTO TP48 standardına uygun olarak “Brookfield Viskozimetresi” kullanılmaktadır (Şekil 1.14). Pompalama ve karıştırma sırasında bağlayıcıların yeterince akışkan olup olmadıklarının tespiti amacıyla bağlayıcıların yüksek sıcaklık viskozite değerleri belirlenmektedir. Orijinal bağlayıcılara uygulanan RV deneyinde şartnameye göre bağlayıcının 135°C sıcaklıkta ölçülen viskozite değerinin 3 Pa.s’yi (3000 cP) aşmaması gerekir (Karahançer, 2017). Dönel viskozite değeri, silindirik bir milin sabit sıcaklıkta asfalt bağlayıcı numunesi içinde kendi etrafında dönüş hızını sabit tutacak şekilde burulma kuvvetinin ölçülmesi ile belirlenmektedir. Viskozite deneyinde asfalt bağlayıcı içerisinde 20 rpm hızla dönen bir milin dönmeye karşı gösterdiği dirençle viskozite değeri belirlenmektedir (Şekil 1.15).



Şekil 1.14. Brookfield viskozimetresi



Şekil 1.15. RV deneyi şeması

Bu deney için asfalt bağlayıcıdan 30 gram civarında numune alınmakta ve etüvde  $150^{\circ}\text{C}$ 'den daha düşük sıcaklıkta ısıtılarak akışkan hale getirilmektedir. Numuneden yaklaşık 11 gram alınarak silindirik tüp bölmesine konulmaktadır. Tüp, sıcaklık kontrollü kaba yerleştirilir ve numune 10-15 dakika sabit sıcaklıkta bekletildikten sonra deney yapılır (Geçkil, 2008). Deney sırasında yaklaşık olarak eşit viskozite değerlerine ulaşıldıktan sonra üç adet okuma yapılarak bu üç değerın ortalaması asfalt bağlayıcının viskozitesi olarak alınır (Yılmaz, 2016). Sıcak asfalt karışımların karıştırılmasında asfalt bağlayıcının  $170\pm 20$  cP, sıkıştırılmasında ise  $280\pm 30$  cP viskozite değerine sahip olması istenmektedir. Bu viskozite değerlerine karşılık gelen sıcaklık değerleri, karıştırma ve sıkıştırma sıcaklığı olarak tanımlanmaktadır. Bu amaçla  $135^{\circ}\text{C}$  ve  $165^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta yapılan dönel viskozimetre deneylerinden elde edilen değerler sıcaklık-viskozite grafiğinde yerine konularak karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları elde edilir (Yılmaz, 2011).

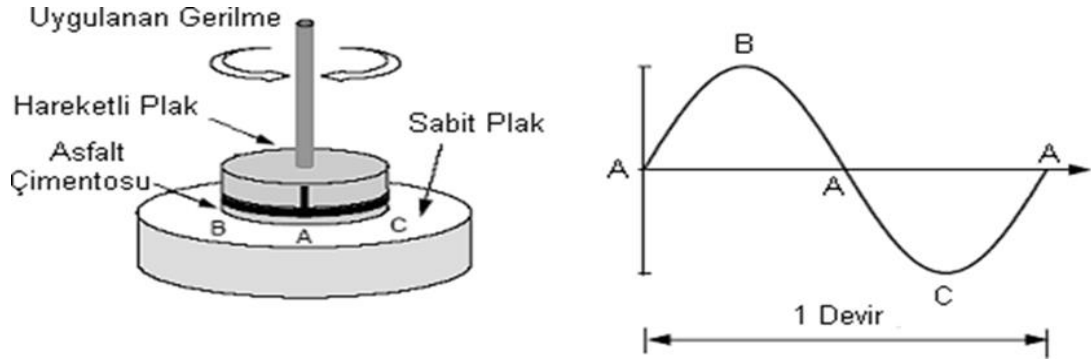
### 1.7.2.2 Dinamik Kayma Reometresi Deneyi (DSR)

DSR deneyi, bağlayıcıların yüksek sıcaklıklarda tekerlek izi oluşumuna ve normal sıcaklıklarda yorulmaya karşı dayanımını tespit etmek amacıyla uygulanmaktadır (Bostancıoğlu, 2012). Asfalt bağlayıcıların tekerlek izi oluşumuna karşı dayanımlarını belirlemek amacıyla işlem görmemiş (yaşlandırılmamış) ve RTFOT yöntemiyle yaşlandırılmış bağlayıcılar kullanılırken, bağlayıcıların yorulma davranışlarını belirlemek amacıyla PAV yöntemiyle yaşlandırılmış bağlayıcılar kullanılmaktadır (Yılmaz 2011). Tekerlek izi dayanımını tespit etmek için 25 mm çapında ve 1000 mikron yükseklikte, yorulma dayanımını tespit etmek için ise 8 mm çapında ve 2000 mikron yükseklikte numuneler kullanılmaktadır (Yılmaz, 2016; Bostancıoğlu, 2012). DSR deney aleti Şekil 1.16'da gösterilmiştir.



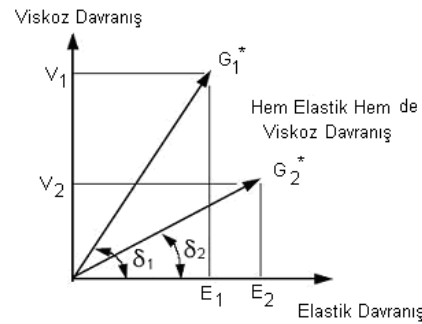
Şekil 1.16. DSR deney aleti

DSR deneyinde asfalt bağlayıcı birbirine paralel iki plaka arasına yerleştirilir (Şekil 1.17). Alttaki plaka sabit, üstteki plaka ise hareketlidir. Üstteki plaka A noktasından B'ye, B noktasından A'ya, A noktasından C'ye ve C noktasından tekrar A'ya hareket etmektedir. Bu harekete devir ya da salınım denir ve deney boyunca tekrarlanmaktadır. Deneyde dönme frekansı yaklaşık 1,59 devir/saniye (10 rad/sn)'dir. Deneyde ortam şartlarını yansıtması amacıyla ön koşullandırma yapılmakta ve daha sonra 10 devirlik standart deney uygulanmaktadır (Yılmaz, 2016).



**Şekil 1.17.** DSR çalışma prensibi

DSR deneyi, asfalt çimentosunun kompleks kayma modülü ( $G^*$ ) ve faz açısını ( $\delta$ ) belirleyerek viskoz ve elastik davranışını karakterize etmektedir (Şekil 1.18).  $G^*$ , tekerrür eden kayma gerilmelerinin oluşturduğu deformasyonlara karşı asfalt çimentosunun gösterdiği toplam direncin göstergesidir. Hem  $G^*$  hem de  $\delta$  değerleri asfalt bağlayıcının sahip olduğu ısı ve yükleme hızı ile önemli ölçüde değişmektedir.



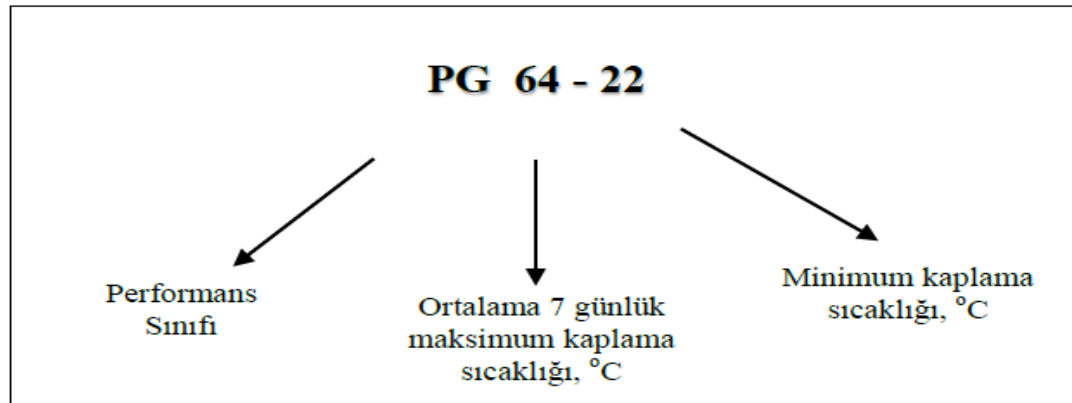
**Şekil 1.18.** Asfalt bağlayıcının viskoelastik özelliği

DSR deney sonucunda belirlenen  $G^*$  ve  $\delta$  değerleri kullanılarak tekerlek izi dayanım parametresi olan  $G^*/\sin \delta$  değeri, yani asfaltın tekerlek izi direnç parametresi bulunur. Bu deneyde tekerlek izi oluşumu ve yorulmaya karşı dayanım şartname sınır değerleri Çizelge 1.3'te verilmiştir.

**Çizelge 1.3.** DSR deneyinde kullanılan bağlayıcı türüne göre şartname sınır değerleri (McGennis vd., 1994)

Bağlayıcı Türü	Deney Amacı	Şartname Sınır Değerleri
Orijinal	Tekerlek izi oluşumuna karşı dayanım	Minimum 1000 Pa
RTFOT ile yaşlandırılmış	Tekerlek izi oluşumuna karşı dayanım	Minimum 2200 Pa
PAV ile yaşlandırılmış	Yorulmaya karşı dayanım	Maksimum 5000 kPa

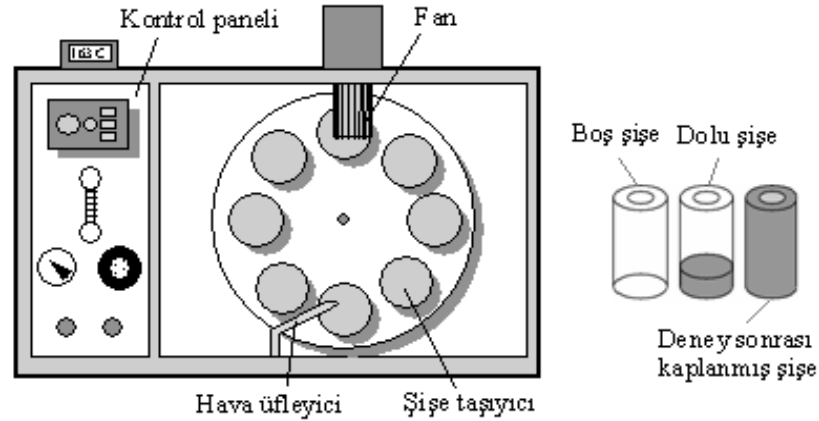
Superpave bağlayıcı şartnamesinde bağlayıcının performans seviyesi PG X-Y olarak verilmektedir. Buradaki X bağlayıcının özelliklerini kaybetmeden hizmet verdiği en yüksek sıcaklığı, Y ise en düşük sıcaklığı vermektedir. DSR deney sonucunda  $G^*/\sin\delta$  değerinin sağlanması gereken en küçük değeri veren en yüksek sıcaklık değeri, bağlayıcının yüksek sıcaklık performans derecesini temsil etmektedir (Yılmaz, 2016; Bostancıoğlu, 2012). Şekil 1.19’da bir sınıflama örneği gösterilmiştir.



**Şekil 1.19.** Superpave performans sınıfı gösterimi (Sağlık vd., 2012)

### 1.7.2.3 Dönel İnce Film Halinde Isıtma Deneyi (Rolling Thin Film Oven Test, RTFOT)

Dönel ince film halinde ısıtma deneyi (RTFOT) ile asfalt bağlayıcının karıştırma, taşıma ve yerleştirme sırasındaki kısa süreli yaşlanması AASHTO T240 veya ASTM D2872 şartnamelerine göre laboratuvar ortamında simule edilmektedir (Yılmaz, 2012; Bostancıoğlu 2012). Bu deneyde, ince bir film halinde hareket eden asfalt bağlayıcıda sıcaklık ve havanın etkisiyle oluşan uçucu maddelerin belirlenmesi ve deneyden sonra yaşlandırılmış asfalt bağlayıcının fiziksel özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Deney aleti Şekil 1.20’de şematik olarak gösterilmiştir. 163°C’lik ısıya sahip bir etüv, etüvün içerisine silindirik cam şişeleri yerleştirmek için monte edilmiş dönen tablası bulunan bir taşıyıcı ve şişelere hava püskürtmeye yarayan bir hava üfleyici parçaya sahiptir (Geçkil, 2008).



Şekil 1.20. Dönel İnce Film Etüvü (RTFOT) Aleti Şematik Görünüşü

RTFOT deneyinde 163°C sıcaklıktaki etüvde 8 adet şişe kullanılmaktadır. Deneyde her bir şişeye 35 gram asfalt bağlayıcı doldurulup düşey ekseninde dakikada 15 devir yapacak şekilde 75 dakika boyunca döndürülür (Yılmaz, 2016; Gürbüz 2018). Dönme sırasında deney aletinin tabanında bulunan bir hava üfleyici yardımıyla şişelere, akışı  $4000 \pm 200$  mL /dk olacak şekilde hava püskürtülür. Sıcaklık, dönme hareketi ve hava üfleme etkisiyle asfalt bağlayıcı şişe içerisini tam olarak kaplayarak ince bir film

tabakası oluşturmakta ve bu sayede bağlayıcının yaşlanması sağlanmaktadır (Geçkil, 2008). Bu sürenin sonunda iki numune kütle kaybının tayini için kullanılırken geri kalan altı şişe ise asfalt bağlayıcının yaşlandıktan sonraki fiziksel özelliklerinin tespit edilmesi için kullanılmaktadır. Kütle kaybı Formül 1.3'teki gibi hesaplanmaktadır.

$$\text{Kütle Kaybı, \%} = \frac{\text{İlk Kütle} - \text{Son Kütle}}{\text{İlk Kütle}} \cdot 100 \quad (1.3)$$

Kütle kaybı; asfalt bağlayıcı içerisindeki uçucu maddelerin kaybının göstergesi olup asfaltın taşıma, depolama, ısıtılma, kaplamanın inşası ve kullanımı sırasında sertleşmenin bir göstergesidir (Tunç, 2004).

#### **1.7.2.4 Basınçlı Yaşlandırma Kabı Deneyi (Pressure Aging Vessel, PAV)**

Arazide servis sırasında meydana gelen oksidasyon yaşlanmasını (uzun süreli yaşlanma) laboratuvara yansıtılabilmek amacıyla Basınçlı yaşlandırma kabı deneyi geliştirilmiştir (Bostancıoğlu,2012). PAV deneyi, RTFOT deneyinden elde edilen asfalt bağlayıcılara uygulanmaktadır. Bu sayede kaplamanın karıştırma, yapım ve hizmet sırasında karşılaşılabileceği çevresel koşullar deney ortamında yansıtılmış olur (Yılmaz, 2016). PAV deneyi, kaplama servis ömrünün ilk 5-10 yılı boyunca asfalt bağlayıcıda meydana gelen uzun süreli yaşlanmayı temsil etmektedir (Geçkil, 2008).

AASHTO PP1 standardına uygun olarak her bir numune kabına 50 gram RTFOT deneyinden elde edilen bağlayıcılar konulmaktadır (Yılmaz, 2011). Bağlayıcı sınıfına göre değişen (90°C, 100°C veya 110°C) sıcaklıkta numunelere 20 saat süreyle 2070 kPa'lık (21 bar) basınç uygulanmaktadır. Bağlayıcı sınıfına göre değişen deney sıcaklıkları Çizelge 1.4'te verilmiştir. Deney aleti ise Şekil 1.21'de gösterilmiştir.

**Çizelge 1.4.** Bağlayıcı sınıfına göre PAV deney sıcaklıkları

Bağlayıcı Sınıfı	PAV Deney Sıcaklığı (°C)
PG 46-Y	90
PG 52-Y	90
PG 58-Y	100
PG 64-Y	100
PG 70-Y	100-110
PG 76-Y	100-110
PG 82-Y	100-110



**Şekil 1.21** PAV deneyi

RTFOT ve PAV deneylerinden elde edilen numuneler Superpave deneylerinde kullanılmakta, yaşlandırılmış asfalt bağlayıcıların performansları ve şartname kriterlerine uygunlukları tespit edilmektedir (Yılmaz, 2011).



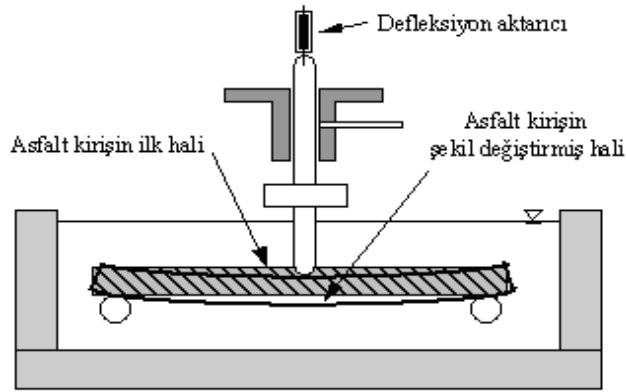
### 1.7.2.5 Kiriş Eğme Reometresi Deneyi (Bending Beam Rheometer, BBR)

Soğuk iklime sahip bölgelerde inşa edilen esnek kaplamalarda, yüke bağlı olmayan fakat iklim ve çevre şartlarından kaynaklanan ve termal çatlak olarak da isimlendirilen düşük sıcaklık çatlaklarının gözlenmesi amacıyla Şekil 1.22’de görülen kiriş eğme reometresi geliştirilmiştir. Bu deney, belirli ısıda ve sabit bir yük altında asfalt bağlayıcının ne kadar sünme veya defleksiyon yapacağını ölçmekte ve asfalt kaplamanın karşılaşılabileceği en düşük sıcaklıklardaki elastik davranışını belirlemeye çalışmaktadır (Bostancıoğlu, 2012). Ayrıca RTFOT ve PAV testleri ile yaşlandırılmış bağlayıcılar üzerinde de deney yapılabildiğinden, asfalt bağlayıcının zaman içindeki değişimi de belirlenebilmektedir (Geçkil, 2008).

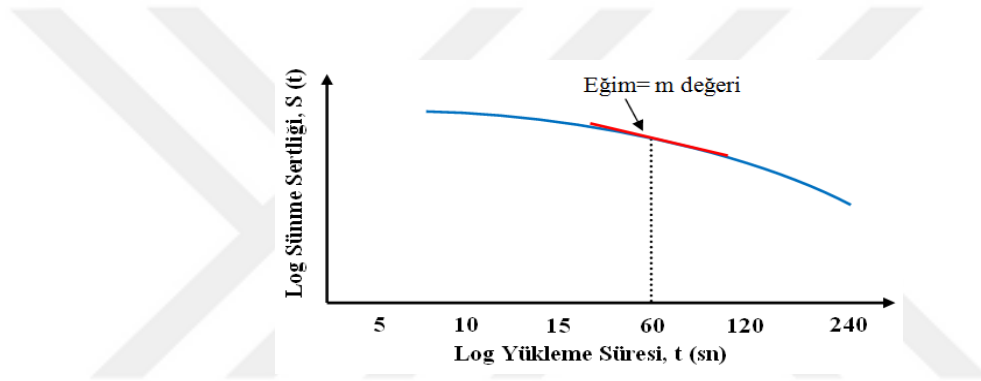


**Şekil 1.22.** Kiriş eğme reometresi deney aleti

Bu deneyde 6,35x127x12,7 mm boyutlarındaki kalıplar kullanılmaktadır. AASHTO TP1 standardına uygun olarak yapılan kiriş eğilme reometresi (BBR) deneyinde asfalt kirişin orta noktasından 240 saniye boyunca 980 mN’luk yük etki ettirmektedir. (Şekil 1.23). Deney sonunda yük ve defleksiyon, asfalt bağlayıcının sünme sertliğini ve sünme oranını (m değeri) tespit etmek için kullanılmaktadır (Yılmaz, 2011). Sünme sertliği, asfalt bağlayıcının sünme gerilmelerine karşı gösterdiği direnç; sünme oranı ise yükleme süresi boyunca asfalt bağlayıcının sertliğindeki değişimdir (Gürbüz, 2018). Superpave şartnamesine göre 60 saniye yükleme süresi için sünme sertliği değeri en fazla 300 MPa olmalıdır. Sünme oranı ise zamana bağlı olarak sünme sertliği değişimini ifade etmekte olup Şekil 1.24’te gösterilmiştir.



Şekil 1.23. Kiriş eğme reometresinin (BBR) şematik gösterimi



Şekil 1.24. Sünme oranı değerinin belirlenmesi (Yılmaz, 2016)

## 1.7 Asfalt Modifikasyonu

Esnek yol kaplamalarında kullanılan asfalt bağlayıcının veya karışımın performansını arttırmak ve deformasyon oluşumuna engel olmak amacıyla bağlayıcı içerisine çeşitli katkı maddelerinin belirli oran ve şartlarda karıştırılmasına modifikasyon adı verilmektedir (Uncu, 2017). Asfaltın modifiye edilme sebepleri şu şekilde sıralanabilir (Bostancıoğlu, 2012).

- Düşük sıcaklıklarında daha esnek karışımlar elde ederek çatlakları azaltmak,
- Yüksek sıcaklıklarda daha rijit karışımlar elde ederek tekerlek izlerini azaltmak,
- Kayma direnci yüksek kaplama yüzeyleri elde etmek,
- Karışımların stabilitesini, mukavemetini ve yorulma direncini arttırmak,

- Karışımın işlenebilirliğini ve sıkışmasını geliştirmek,
- Düşük kaliteli agregaları kullanılabilir hale getirebilmek,
- Düşük kaliteli bağlayıcıların verimini arttırmak,
- Agregaya ve bağlayıcı arasındaki adezyon kuvvetini artırarak soyulmayı azaltmak,
- Kusmayı ya da terlemeyi azaltmak,
- Yaşlanmaya karşı bağlayıcının direncini arttırmak,
- Daha ince kaplama tabakası yapılmasını mümkün kılmak,
- Yansıma çatlaklarını geciktirmek,
- Kaplamanın uzun vadede ekonomik olmasını sağlamak,
- Kaplamaların bütün özelliklerini geliştirmek.

### **1.7.1 Asfalt Katkı Maddelerinde Aranılan Özellikler**

Modifikasyon işleminde kullanılacak olan katkıların asfalt uygulamada etkili, uygun ve ekonomik olması bakımından bazı özellikleri sağlaması gerekmektedir. Bu özellikler aşağıda maddeler halinde verilmiştir (Uncu, 2017).

- Kolay elde edilebilir olmalıdır.
- Asfaltla homojen karışabilmelidir.
- Asfalt karışım sıcaklığında özelliklerini kaybetmemelidir.
- Yüksek karıştırma ve serme sıcaklıklarında bitümü çok fazla viskoz hale getirmemeli, yüksek yol sıcaklıklarında akışkanlığa karşı direnci arttırmalıdır.
- Düşük sıcaklıklarda bitümün çok kırılğan ya da sert olmasını önlemelidir.
- Ekonomik olmalıdır.

Asfaltın modifiye edilmesi için katkı arayışına girildiğinde bu özelliklerin göz önünde tutulması gerekmektedir.

### **1.7.2. Katkı Maddeleri ve Sınıflandırılması**

Asfalt veya asfalt karışımlar, farklı tür ve yapıya sahip değişik katkı maddeleri ile modifiye edilebilmektedir. Bu katkı maddelerin genel sınıflandırılması Çizelge 1.5'te verilmiştir. Son yıllarda polimerli katkılara ilginin arttığı görülmektedir. Bu yüzden

polimer olan ve polimer olmayan katkıların sınıflandırılması da Çizelge 1.6’da verilmiştir (Bostancıoğlu, 2012).

**Çizelge 1.5.** Asfalt katkı maddelerinin sınıflandırılması (Yılmaz, 2016; Gürbüz, 2018)

Tip	Örnek Katkı Maddeleri	Bitüm Kıvamına Etkisi	
1. Filler	Mineral filler Taş tozu Kireç Portland çimentosu Karbon siyahı Sülfür	Sertleştirme	
2.Ekstender (Genleştirici)	Sülfür Lignin (Odun özü)	Sertleştirme	
3.Kauçuk Doğal lateks Yapay lateks Blok kopolimer İşlenmiş kauçuk	POLİMERLER Doğal kauçuk Stiren-Butadien-Rubber (SBR) Stiren-Butadien-Stiren (SBS) Dönüştürülmüş kauçuk	-	
4.Plastik		Polietilen Polipropilen Etilen-Vinil-Asetat (EVA) Polivinil-Klorid (PVC)	Sertleştirme
5.Bileşim		3 ve 4’teki polimerlerin karışımı	-
6.Fiber	Doğal fiber Asbest Taş yünü Yapay Polipropilen Polyester Fiberglas	Sertleştirme	
7.Oksidan	Manganez tuzu	Sertleştirme	
8.Antioksidan	Kurşun karışımları Karbon Kalsiyum tuzu	Yumuşatma	
9.Hidrokarbon	Yeniden kullanma ve gençleştirme yağları Sertleştirme ve doğal asfaltlar	Yumuşatma veya Sertleştirme	
10.Soyulma önleyici	Aminler Kireç	Yumuşatma	

**Çizelge 1.6.** Polimer olan ve polimer olmayan katkı maddeleri [Bostancıoğlu, 2012]

Modifikasyon Tipi	Örnekler
1. Polimer Modifikasyon A. Plastikler a. Termoplastikler  b. Termosetler  B. Elastomerler a. Doğal Kauçuklar b. Yapay Elastomerler  C. İşlenmiş Kauçuklar D. Fiberler	Polietilen (PE), Polipropilen (PP), Polivinil-Klorid (PVC), Polistiren (PS), Etilen-Vinil-Asetat (EVA)  Epoksi reçineler  Stiren-Butadien-Rubber (SBR) Stiren-Butadien-Stiren (SBS) İsobüten-İsopren kopolimer (IIR)  Polyester fiberler, Polipropen fiberler
2. Polimer olmayan katkı ile modifikasyon A. Fillerler B. Soyulma Önleyici Katkılar C. Ekstender (Genleştiriciler) D. Antioksidanlar  E. Organo-metal bileşimleri F. Diğerleri	Kil, karbon siyahı, uçucu kül Organik aminler ve amidler Lignin, sülfür Çinko antioksidanlar, kurşun antioksidanlar, phenolikler, aminler  Organo-manganez bileşimleri Organo-karbon bileşimler
3. Kimyasal reaksiyon modifikasyonu	Katkı reaksiyonu (Bitüm+Monomer) Vulkanizasyon (Bitüm+Sülfür) Nitrasyon reaksiyonu (Bitüm+Nitrik Asit)

Yaygın olarak kullanılan bazı modifiyerlerin bağlayıcı üzerindeki etkisi Çizelge 1.7’de ve asfalt karışımlara eklenen kimyasal katkıların olumlu etkileri Çizelge 1.8’de verilmiştir.

**Çizelge 1.7.** Yaygın olarak kullanılan bazı modifiyerlerin bağlayıcı üzerindeki etkisi

Modifiyer Tipi	Bağlayıcı Üzerindeki Etkisi
Yağ	Bitümün yapısı, bağlayıcılık, viskozite, penetrasyon, yumuşama noktası
Filler tozu	Yumuşama noktası, viskozite, sertlik, yoğunluk, maliyet, mekanik sağlamlık
Fiberler	Tiksotropik, çatlak direnci, viskozite
Balmumu	Viskozite (sıcak), sertlik (soğuk), bağlayıcılık, adezyon
Ataktik-Polipropilen (APP) Etilen-Vinil-Asetat (EVA)	Sertlik, penetrasyon, Fraass kırılma noktası, yumuşama noktası
Stiren-Butadien-Stiren (SBS)	Penetrasyon, yumuşama noktası, elastik geri dönüş, düşük sıcaklık kırılma noktası
Solvent	Viskozite
Emülsifikasyon	Viskozite, ıslatma kabiliyeti, uygulama sıcaklığı
Islatma Ajanları	Islatma kabiliyeti, adezyon

**Çizelge 1.8.** Asfalt karışımlara eklenen kimyasal katkıların olumlu etkileri

Kimyasal katkıları	Kimyasal katkıların rolü								
	Yaşlanma	Nem zararı	Agrega bağlayıcı değişikliği	İşlenebilirlik	Adezyon	Stabilite	Tekerlek izi	Soyulma	Sertlik
Hidrate Kil	X	X		X	X	X	X	X	X
Portland Çimentosu				X	X	X	X		
Manganez Modifiyesi			X	X	X		X	X	X
Katyonik Yüzey Aktif Ajanları	X	X		X	X	X			
Sülfür				X		X	X		X
Organik Polimerler				X		X	X		

X: Olumlu etki

## **1.8 Yapısal Analiz Yöntemleri**

Bu bölümde asfalt bağlayıcıların kimyasal, morfolojik ve ısıl stabilite özelliklerinin belirlenmesi amacıyla FT-IR, SEM ve TG/DTG analiz yöntemleri açıklanmıştır.

### **1.8.1 Fourier Dönüşümü Kızılötesi Spektroskopisi (FT-IR)**

Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FT-IR) organik veya inorganik katı, sıvı ya da gaz numunelerindeki IR-aktif moleküllerinin nitel ve nicel özelliklerini belirlemek için kullanılan bir tekniktir. Işıma şiddeti, Matematiksel Fourier dönüşümü spektroskopisinde zamanın bir fonksiyonudur. Her dalga boyunun ayrı ayrı taranmasına gerek duyulmadan hızlı ve yüksek çözünürlükte spektrumlar elde edilmektedir. Bu yöntem ile, moleküler bağ karakterizasyonu yapılarak organik bileşiklerin yapısındaki fonksiyonel gruplar, iki bileşiğin aynı olup olmadığı, yapıdaki bağların durumu ve bağlanma yerleri tespit edilmektedir (Gürbüz, 2018; Bostancıoğlu 2012).

### **1.8.2 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)**

Taramalı elektron mikroskobu (Scanning Electron Microscopy, SEM), odaklanmış bir elektron demeti ile numune yüzeyinin taranarak görüntü elde edilmesi prensine dayanır (Gürbüz, 2018). SEM ile yüksek büyütmelerde yüksek çözünürlüklü görüntü alınabilir. Ayrıca bu yöntem ile x300.000 ya da daha fazla büyütmelere kadar morfolojik, yapısal ve elementel bilgiler elde edilebilmektedir (Yılmaz, 2016).

### **1.8.3 Termogravimetrik Analiz (TG/DTG)**

TG, ağırlığın (numune kütesinin) numune sıcaklığına veya zamana göre ölçümüdür. TG'de numune genellikle sabit sıcaklıkta ısıtılır veya sabit sıcaklıkta tutulur. TG eğrilerinin birinci türevleri, DTG eğrileri olarak isimlendirilir ve zaman ya da sıcaklığa bağlı olarak kütle değişimini gösterir. TG ölçümünün sonunda kütle veya % kütlenin zamana ya da sıcaklığa karşı grafiği TG eğrileri ile görüntülenmektedir (Yılmaz, 2016).

## 1.9 KAĞIT ÜRETİMİ VE MAGNEZYUM LİGNOSÜLFONAT

### 1.9.1 Selüloz ve Kağıt Fabrikaları

Selüloz ve kağıt fabrikaları; petrol, çimento, deri, tekstil ve çelik endüstrilerinden sonra altıncı en büyük çevre kirleten endüstridir. Selüloz ve kağıt fabrikalarından kaynaklı, kirlilik yaratan maddeler dört ana gruba ayrılır (Çizelge 1.9). Bunlar gazlar, sıvılar, partiküller ve katı maddelerdir.

**Çizelge 1.9.** Selüloz ve kağıt fabrikalarında kirlilik yaratan maddeler (Alisreerishnan, 2001)

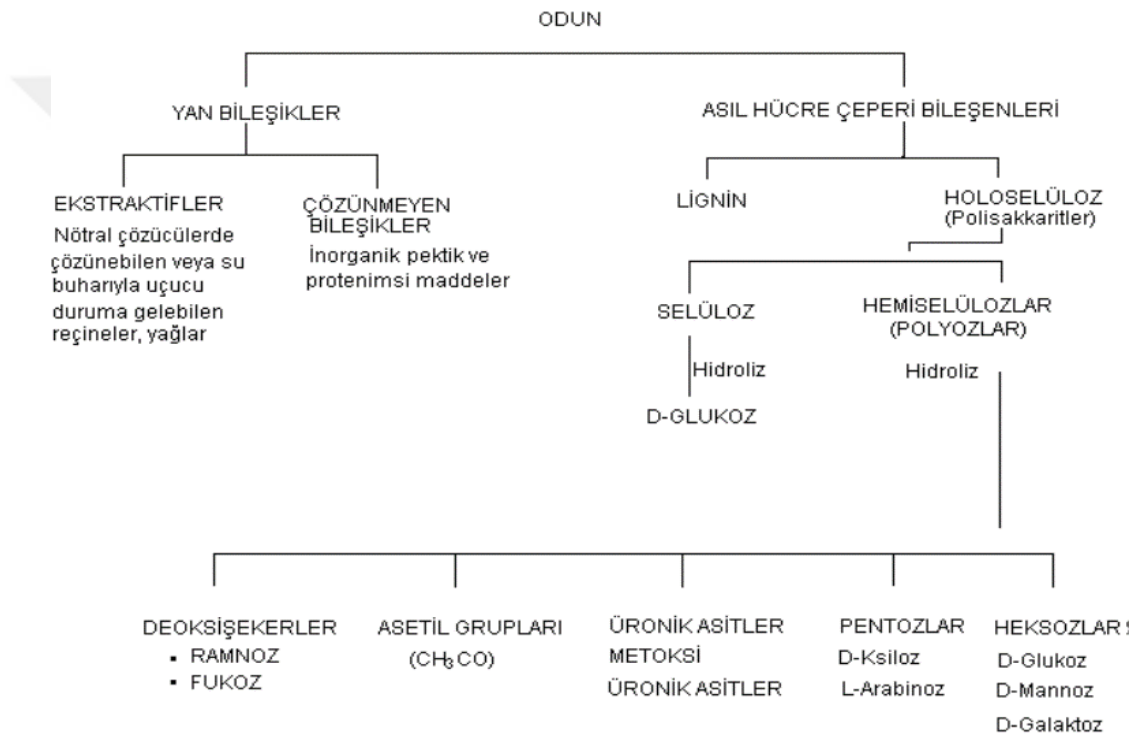
Kirlilik Tipi	Örnek ve Kaynak
Gazlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hidrojen sülfür ve merkaptan gibi kraft üretiminden ve geri kazanım prosesinden gelen kötü kokulu gazlar</li> <li>• SO<sub>2</sub> ve SO<sub>3</sub> gibi geri kazanım ve kireç kazanlarından gelen kükürt Oksitler</li> </ul>
Sıvılar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kabuk partikülleri, lif pigmentleri, kabuk soymadan gelen kirlilik içeren asılı katı maddeler</li> <li>• Hemiselüloz, şeker, yapışkan maddeler gibi çözülmüş koloidal organik maddeler</li> <li>• Lignin bileşikler</li> <li>• Ağartma işleminden kaynaklanan klorinli bileşikler</li> <li>• NaOH, Na<sub>2</sub>SO gibi çözülmüş inorganik maddeler</li> <li>• Termal deşarj</li> </ul>
Partiküller	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Buhar kazanından çıkan yanmış kül</li> <li>• Kabuk yakıcılarından çıkan cüruf</li> </ul>
Katı Atıklar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Primer ve sekonder işlem ve geri kazanım bölümünden gelen çamurlu atıklar</li> <li>• Kum, kabuk ve diğer kereste fabrikası atıkları gibi katılar</li> </ul>

Üretilen kağıt hamuru, odunun orijinal ağırlığının sadece %40-45'ine karşılık geldiği için sıvı atıklar yoğun miktarda organik madde içermektedir. Bu sıvı atıklar arıtılmadan sulara bırakıldığında, klorinli bileşiklere, asılı katı maddelere (esas olarak odun lifleri), yağ asitleri, tanenler, reçine asitleri, lignin ve türevleri, kükürt ve kükürt bileşikler gibi maddelere sahip olmalarından dolayı ciddi zararlara neden olurlar. Bu kirleticiler çoğu akut ve kronik toksin özelliğindedir (Nestmann, 1985).



## 1.9.2 Odun ve Yapısı

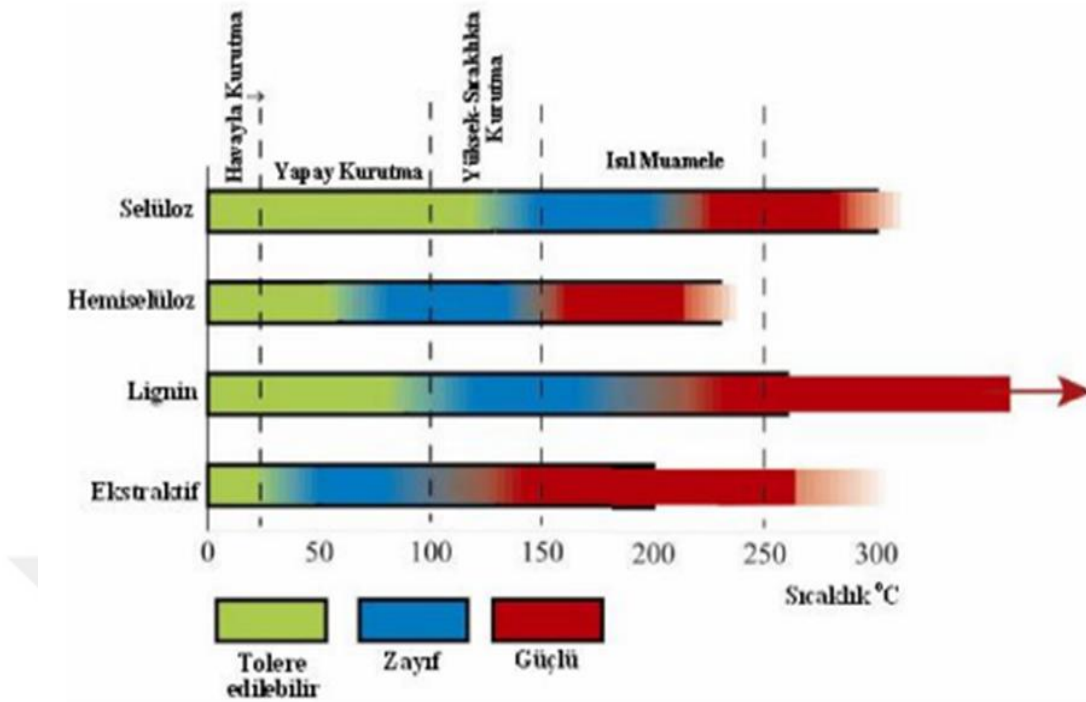
Odun lifleri hücre çeperinin temel bileşenleri selüloz, hemiselüloz ve lignindir. Bunlar büyük molekülü, yapısal olarak kompleks ve güçlükçe analiz edilebilen bileşiklerdir. Hücre çeperinin iskeleti selüloz fibrillerinden meydana gelir. Hemiselüloz, lignin ve pektin buna karşın bu iskeleti çevreleyen ve boşlukları dolduran ara maddeyi meydana getirmektedirler (Tozluoğlu, 2015). Odun bileşenleri Şekil 1.25’de, Odun bileşenlerinin elementel analizi Şekil 1.26’da ve odun elemanlarının sıcaklığa göre kararlılığı Şekil 1.27’de verilmiştir.



Şekil 1.25 Odun Bileşenleri

Şekil 1.26. Odun bileşenlerinin kimyasal elementel analizleri

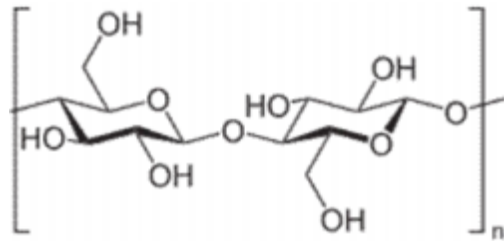
Bileşen	%C	%H	%S	%O*
Saf lignin	51,55	4,50	3,82	43,95
Saf selüloz	43,36	6,22	0	50,42
Saf hemiselüloz	39,83	6,54	0	53,63



Şekil 1.27 Odun elemanlarının sıcaklığa göre kararlılığı (Bourgois ve Guyonnet, 1991)

### 1.9.2.1 Selüloz

Selüloz, odunun tam kuru ağırlığının %40-45'ini oluşturmaktadır. Selüloz molekülü dallanmamış, rijit zincir yapılı ve  $\beta$  (1→4) glikozidik bağ ile bağlanmış anhidroD-glikopiranoz halka ünitelerinden oluşmuş uzun ve düz polimerdir. Her bir glikoz ünitesi C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub> ve C<sub>6</sub>'da hidroksil (OH) gruplarına sahiptir (Şekil 1.28) (Sjöström, 1993).



Şekil 1.28 Selülozun moleküler yapısı

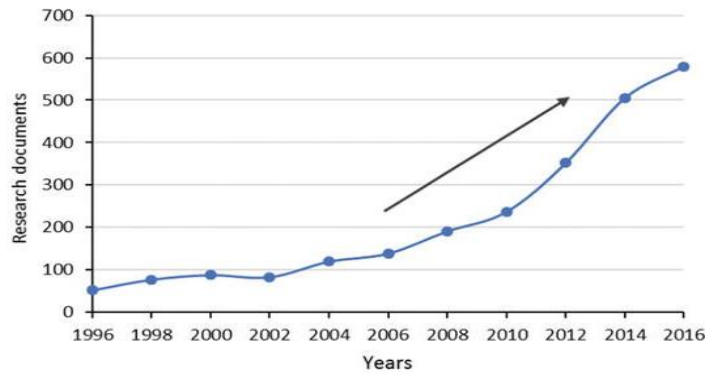
### 1.9.2.2 Hemiselüloz

Odun hemiselülozları, odunun tam kuru ağırlığının %20-30'unu oluşturur ve öncelikle D-glikoz, D-galaktoz ve D-mannoz gibi 6 karbonlu (heksoz) ve L-arabinoz ve Diksiloz gibi 5 karbonlu (pentoz) halka şeklindeki çeşitli basit şeker ünitelerinden oluşan dallanmış amorf polimerlerdir. Hemiselülozlar düz zincir omurgasına sahip fazla sayıda dallanmış ve selüloza göre polimerizasyon derecesi düşük (100-200) bir yapıya sahiptir. Selüloz zincirlerinin amorf bölgelerinde bulunur ve lignin ile yakın ilişki içerisindedir. Selüloz ve lignini bağlayıcı materyal olarak görülmekte ve hücre çeperinin yoğunluğunu arttırmaktadır.

### 1.9.2.3 Lignin

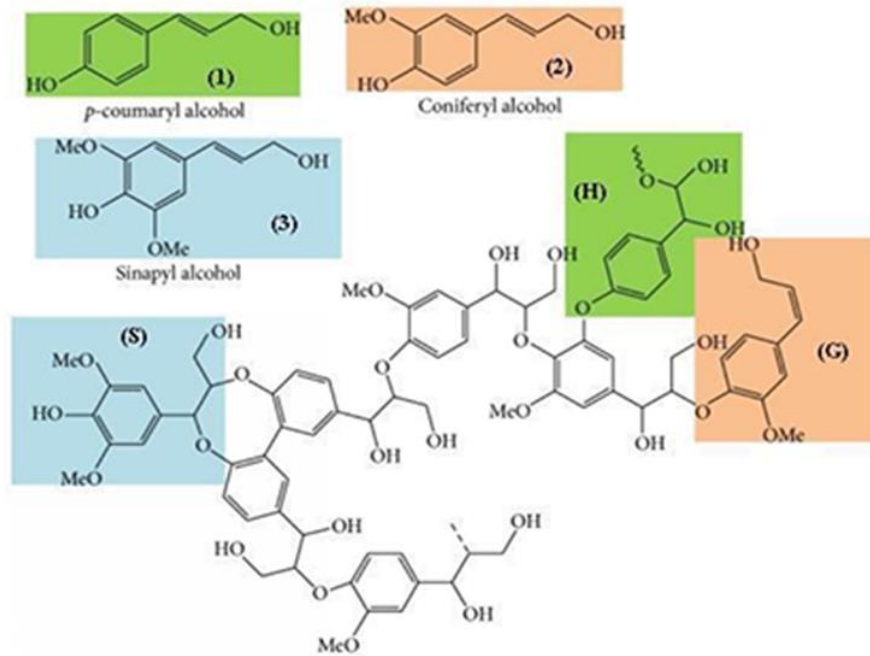
Lignin, selülozdan sonra yeryüzünde bitkiler üzerinde en fazla bulunan doğal amorf polimerdir (Dence, Lin, 1992). Odunda “sarmalayıcı bir malzeme” olarak ligninin ilk sözü 1839’da Payen’den gelmektedir. Ligninin hücre çeperindeki esas görevi, yapıştırıcı özelliğinden dolayı, selüloz liflerini bir arada tutmak olarak tanımlanabilir. Günümüzde lignin çoğunlukla odun hamuru işleminin bir atığı veya yan ürünü olarak açığa çıkmaktadır (Klapiszewski vd., 2017).

Lignin, katma değerli kimyasallar için bol, sürdürülebilir ve yenilebilir bir hammadde kaynağı gibi görülmektedir ve lignine son ilgi, son 20 yılda yayınlanan “lignin uygulaması” kelimesini içeren artan sayıda araştırma dokümanı ile kanıtlanmaktadır (Şekil 1.29).



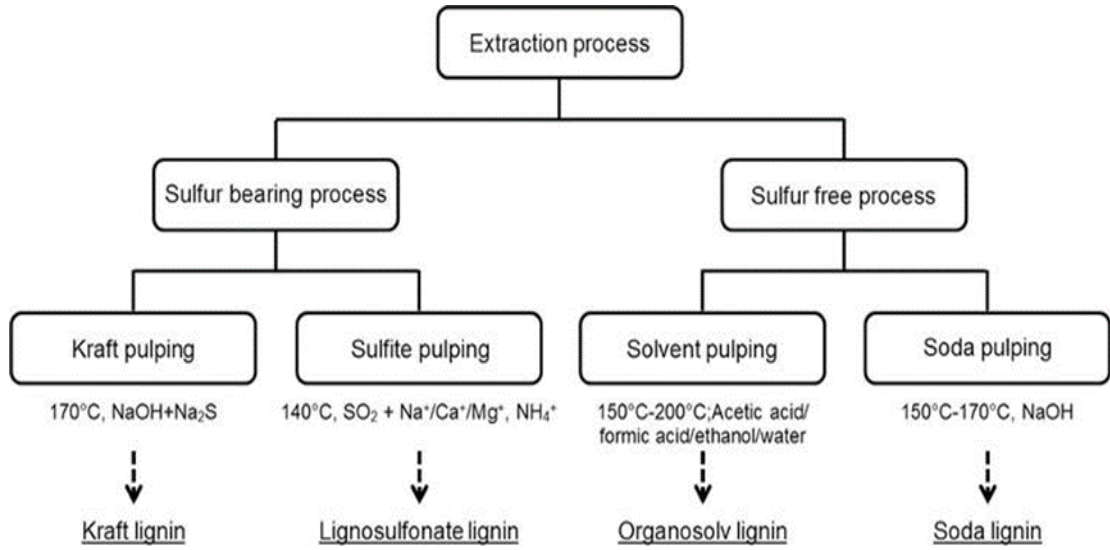
**Şekil 1.29.** 1996-2016 yılları arasında yayınlanan farklı alanlarda lignin uygulamalarına yönelik araştırma belgeleri (“lignin uygulamaları” Scopus® veritabanı)

Lignin üç boyutlu aromatik amorf bir polimer olup hücre çeperinin en hidrofobik bileşenidir. Karbonhidratların etrafında ve üzerinde kabuk bağlama birimi olarak görülür. Odunda lignin miktarı %20-40'tır. Lignin fenolik bir bileşik olup lignin biyosentezinin ilk basamağı olarak hidroksil (OH) ve metoksi (OCH<sub>3</sub>) ikame eden para-kumaril alkol, koniferil alkol ve sinapil alkol gibi fenil propan ünite tipleri farklı olarak bağlanmış asimetrik yapı olarak düşünülebilir (Şekil 1.30). Lignin, odun bileşenleri içerisinde ısıya karşı en iyi karşı koyabilendir. Sıcaklık ancak 2000 °C'yi aştığı zaman lignin kütlelerinde azalma ve β-aril-eter bağları kırılmaya başlar (Boonstra, 2008).



**Şekil 1.30.** Lignin biyosentezinde yer alan monolignoller içeren bir lignin polimer yapısı: p-kumaril alkol (1), koniferil alkol (2) ve sinapil alkol (3). Muhtemel fenolik yapılar: guaiasil (G), p-hidroksifenil (H) ve şırında (S) (Bawadi Abdullah; Hindawi)

Pek çok ticari lignin türü vardır ve hepsi doğal ligninden farklıdır. Piyasadaki ligninin çoğu, kâğıt hamuru üretiminde popüler olan kraft alkali işleminden gelmektedir. Ligninin, teknik ligninlerden ayrılma işlemleri Şekil 1.31'de verilmiştir.



**Şekil 1.31** Lignini, lignoselülozik biyokütleden ve ilgili teknik ligninlerden ayırmak için farklı ekstraksiyon işlemleri

### Sülfit Yöntemi

Sülfit yöntemi temelde üç farklı kola ayrılabilir. Birincisi kâğıt üretimi için selüloz üretimi, ikincisi tekstil ürünleri üretimi için selüloz çözme ve üçüncüsü kimyasal uygulamalar için selüloz üretimidir. Kullanılan yöntemler, pH aralıkları, kullanılan bazlar, pişirme sıcaklıkları, selülozlaştırma verimleri ve bu yöntemlerden elde edilebilecek ürün çeşitleri Çizelge 1.10’da verilmiştir. Sülfit pişirme yöntemi sıvı kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>) ve bir baz kimyasalın (magnezyum, kalsiyum, sodyum ve amonyak) çözeltisine dayanmaktadır (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2017).

**Çizelge 1.10.** Temel sülfit yöntemleri ve işletme koşulları

Yöntem	pH	Baz	Sıcaklık(°C)	Verim(%)	Kullanılan Ürünler
Asit (bi)sülfit	1 – 2,5	Mg <sup>+2</sup> , Ca <sup>+2</sup>	125 – 155	40 – 54	Peçete, baskı kâğıdı, özel kâğıt
Bisülfit (magnefit)	3 – 5	Mg <sup>+2</sup>	150 – 170	50 – 65	Baskı kâğıdı
Tekstil Ürünleri için Selüloz Çözme	1 – 2,5	Mg <sup>+2</sup> , Na <sup>+</sup> , Ca <sup>+2</sup> /Mg <sup>+2</sup>	150	35 – 38	Sentetik viskoz ve sentetik ipek
İhtisas Selüloz Üretimi	1 – 2	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Ca <sup>+2</sup>	125 – 150	30 – 55	Kimyasal ve filtre
Nötr Sülfit (NSSC)	5 – 7	Na <sup>+</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	160 – 185	75 – 90	Oluklu, yivli karton/mukavva

### **Lignosülfonatlar**

Ligninin lignosülfonatlar şeklinde elde edildiği ikinci bir önemli işlem sülfite hamurlama yöntemidir (Klapiszewski vd., 2017). Lignosülfonatlar sodyum, kalsiyum, magnezyum ve amonyum tuzları ile üretilirler (Büyükdere, 2011).

Günümüzde, bina ve inşaat endüstrisinde lignine olan talebin artması nedeniyle küresel lignin pazarının en büyük payını oluşturan lignosülfonatlar, büyük ölçüde Borregaard (Norveç) ve Tembac (Kanada) tarafından üretilmektedir (Aurélie Cayla vd., 2017).

### **Lignosülfonatların Kullanım Alanları**

- Sülfite atık çözeltileri ve ham lignin sülfonatlar stabilize yolların yüzeylerine, yüzeyden toz kalkmasını önlemek amacıyla dökülmektedir.
- Daha az su ile beton akışını sağlamak için beton yapımında plastikleştirici olarak çalışabilir. Kurşun bataryalarda, kurşun sülfatın kristalleşmesine etki etmek için kullanılarak batarya ömrünü uzatmaktadır.
- Seramik karolarda, elyaf levhalarda, döküm kumlarında ve yem peletlerinde, reçinelerde dolgu ve bağlayıcı olarak kullanılabilir.
- Lignosülfonat, yem, dispers pestisitler, boyalar, karbon siyahı gibi diğer çözünmeyen ürünlerde su içinde dağıtıcı olarak kullanılır.
- Mineral bulamaçların viskozitesini azaltabilir, petrol sondaj çamurunda avantaj sağlamak için kullanılır.
- Alçıpan üretiminde su miktarındaki azaltmak için kullanılabilir. Su içeriğindeki azalma, düşük fırın sıcaklıklarının alçıyı kurutmasını sağlayarak enerji tasarrufu sağlar.
- Lignosülfonatlar, toz ve granüler malzemelerde (demir cevheri tozu, kurşun ve çinko tozu, toz haline getirilmiş kömür, dökme demirin ekstrüzyonu, dökme çelik kum baskısı, kerpiç duvar ve yer karosu kalıplama vb) bağlayıcı olarak çalışarak yüksek mukavemet, stabilite, yağlama ve kalıpta iyi sonuçlar sağlar.

- Lignosülfonatlar ahşap malzeme yapıştırıcısı olarak delme sıvılarının ve çimentonun hazırlanmasında, dispersiyon ve emülsiyon maddesi olarak, briketlerin bağlayıcı maddesi ve lastiğe katkı olarak kullanımı hızla gelişmektedir (Uçar, 1988)

**Magnezyum Lignosülfonat:** Odundan kağıt üretimi sırasında ortaya yan ürün olarak çıkan ligninin, sülfite pişirme yöntemi ile elde edildiği Magnezyum Lignosülfonat (MLS) organik bir katkı olmakta ve lignin ile benzer özellikler göstermektedir. MLS katkısının en önemli özelliği bağlayıcı olmasıdır. Magnezyum Lignosülfonat doğrudan betonda yaygın bir su azaltıcı madde olarak kullanılabilirdiği gibi yüksek verimli su azaltma ürünleriyle de kullanılabilir. Eritme, seramik ve petrol endüstrilerinde yapıştırıcı, güçlendirici ve su kesme maddesi olarak yaygın olarak kullanılabilir (Klapiszewski vd., 2017)

## 2.MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, Tüpraş İzmit Rafinerisinden temin edilen ve sıcak asfalt karışımlarda kullanılan B50/70 penetrasyon dereceli asfalt ve katkı maddesi olarak kağıt üretimi sırasında atık olarak ortaya çıkan magnezyum liginosülfonat kullanılmıştır. Asfalt ve katkı maddesinin özellikleri aşağıda verilmiştir.

**Çizelge 2.1** Orijinal asfalta ait fiziksel özellikler

Deney	Standart	Değer
Penetrasyon (100g, 25°C, 5sn), dmm	ASTM D5	57
Yumuşama Noktası, °C	ASTM D36	50
Düktilite (25°C, 5cm/dk),cm	ASTM D113	100+
Parlama Noktası, °C	ASTM 92	248
Özgül Ağırlık, (25°C), g/cm <sup>3</sup>	ASTM D70	1,022
Fraass Kırılma Noktası, °C	IP80	-10
Trikloretilede Çözünürlük, %	EN 12592	99.9
Dönel İnce Film Halinde Isıtma Deneyi (RTFOT) Sonrası		
Penetrasyon (100g, 25°C, 5sn), dmm	ASTM D5	29
Kalıcı Penetrasyon (%)	ASTM D5	50.88
Yumuşama Noktası, °C	ASTM D36	56.2
Düktilite (25°C, 5cm/dk),cm	ASTM D113	100+
Kütle Kaybı (%)	ASTM D2872	0.06

**Çizelge 2.2** Magnezyum liginosülfonata ait özellikler

Madde	Magnezyum liginosülfonat
pH	4-7
Nem	Max %7
Yoğunluk	0,55g/cm <sup>3</sup>
Liginosülfonat	%50-60
Renk	Siyah-kahverengi

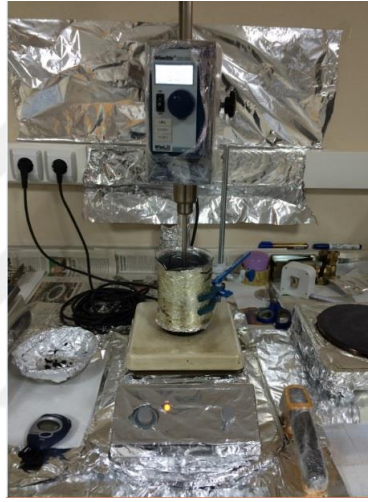


## 2.1.Modifiye Asfalt Bağlayıcıların Hazırlanması

B50/70 penetrasyon derecesine sahip asfalt bağlayıcı 155°C sıcaklığa kadar etüvde ısıtılarak akışkan hale getirilmiştir. Karıştırma kabının içerisine 50 gram asfalt bağlayıcı dökülerek, asfalt ağırlığının %2, %4, %6 ve %8 oranlarında Magnezyum lignosülfonat (MLS) katkısı eklenmiştir. Katkı ve asfalt bağlayıcı, 155 °C sıcaklıkta, 1000 rpm hızında 20 dakika mekanik dört kollu karıştırıcı yardımıyla karıştırılarak modifiye asfalt bağlayıcılar üretilmiştir (Şekil 2.1).



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

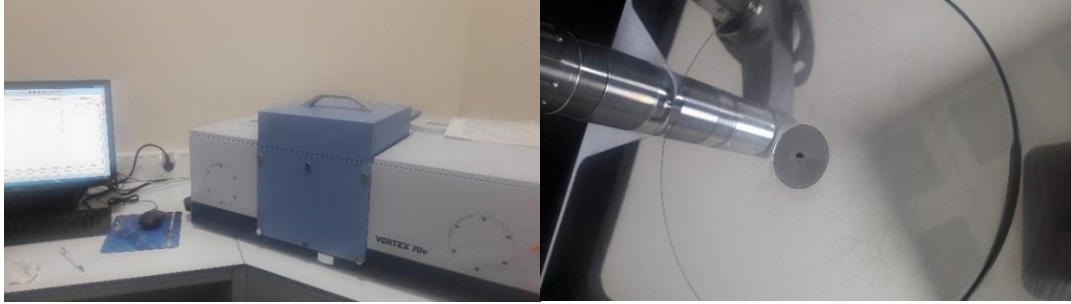
Şekil 2.1 Modifiye asfalt bağlayıcıların hazırlanması (a-e)

## 2.2 Asfalt Bağlayıcıların Yapısal Özelliklerinin Belirlenmesi

Magnezyum liginosülfonat ile modifiye edilen asfalt bağlayıcıların yapısındaki kimyasal değişimler, FT-IR analizi ile belirlenmiştir. Katkı maddesinin asfalt bağlayıcı içerisinde homojen dağılımının gerçekleşip gerçekleşmediği SEM analizi ile görülmüştür. Modifiye asfaltın ısıl bozunma sıcaklıkları ve kütleli değişimleri ise TG/DTG analizi ile incelenmiştir.

### 2.2.1 FT-IR Analizi

Modifiye asfalt bağlayıcıların kimyasal yapı karakterizasyonları Atatürk Üniversitesi Merkez Laboratuvarında (DAYTAM) Bruker Vertex marka FT-IR spektrometresi ile incelenmiştir. Cihazın numune tablasının üzerine 1-2 mg asfalt numunesi yerleştirilerek oda sıcaklığında ölçüm yapılmıştır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 FT-IR analizi

### 2.2.2 SEM Analizi

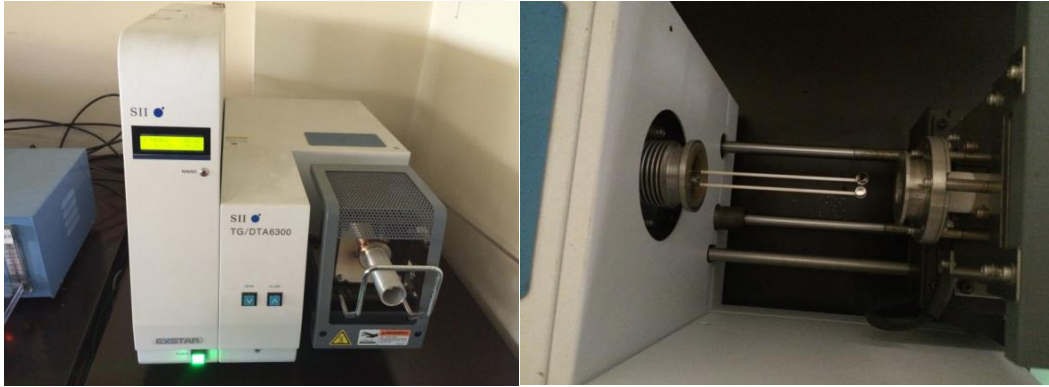
Modifiye asfalt bağlayıcıların morfolojik yapısı Zeiss Sigma 300 marka SEM cihazı ile belirlenmiştir. Bağlayıcı numuneler iletken bir karbon bant üzerine yerleştirilip SEM cihazının numune bölgesine yerleştirilmiştir. Cihaz 1000 büyütme oranında ayarlanarak SEM fotoğrafları elde edilmiştir. Bu analiz Atatürk Üniversitesi Merkez Laboratuvarında (DAYTAM) yapılmıştır.



**Şekil 2.3** SEM cihazı ve iletken karbon bant üzerinde asfalt numuneler

### 2.2.3 TG Analizi

Bayburt Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında Exstar SII TG/DTG 6300 model cihaz kullanılarak yapılan analizde, asfalt numunelerinden 7-10 mg alınarak platinyum pota içerisinde konulmuştur. Analiz 20°C sıcaklıktan 600°C sıcaklığa kadar 10 °C artışlarla yapılmıştır (Şekil 2.4).



**Şekil 2.4** TG/DTG analizi

### 2.3 Asfalt Bağlayıcıların Fiziksel ve Reolojik Özelliklerinin Belirlenmesi

Modifiye asfalt bağlayıcıların fiziksel ve reolojik özelliklerinin belirlenmesi için penetrasyon, yumuşama noktası, dinamik kayma reometresi (DSR), dönel viskozimetre (RV) ve dönel ince film halinde ısıtma (RTFOT) deneyleri yapılmıştır.

Modifiye asfalt bağlayıcıların yüksek sıcaklıklardaki tekerlek izi oluşumuna karşı dayanımları DSR deneyi ile belirlenmiştir. Bohlin DSR II reometre cihazı kullanılarak bağlayıcılara ait kompleks kayma modülü ( $G^*$ , Pa), faz açısı ( $\delta$ ) ve tekerlek izi dayanım parametresi ( $G^*/\sin \delta$ , Pa) değerleri 64°C ve 70°C sıcaklıklarda bulunmuştur. Deneyde 25 mm çapında paralel plaklar kullanılarak, plaklar arası boşluk 1 mm olarak ayarlanmıştır. Asfalt numunelere, kontrollü gerilme altında 120 Pa sabit gerilme 1.59 Hz (10 rad/s) frekansta uygulanmıştır.

Asfalt bağlayıcıların yüksek sıcaklıktaki akışkanlık karakteristikleri RV deneyi ile belirlenmiştir. Brookfield DV2T marka dönel viskozimetre cihazı kullanılarak 105°C, 135°C, 165°C ve 180°C sıcaklıklarda numunelerin viskozite değerleri bulunmuştur. Numunelerin 135°C ve 165°C sıcaklıklardaki viskozite değerleri viskozite-sıcaklık grafiğinde işaretlenerek 170 ±20 cP ve 280 ±30 cP değerlerine karşılık gelen sıcak asfalt karışımlardaki karıştırma ve sıkıştırma sıcaklık aralıkları hesaplanmıştır.

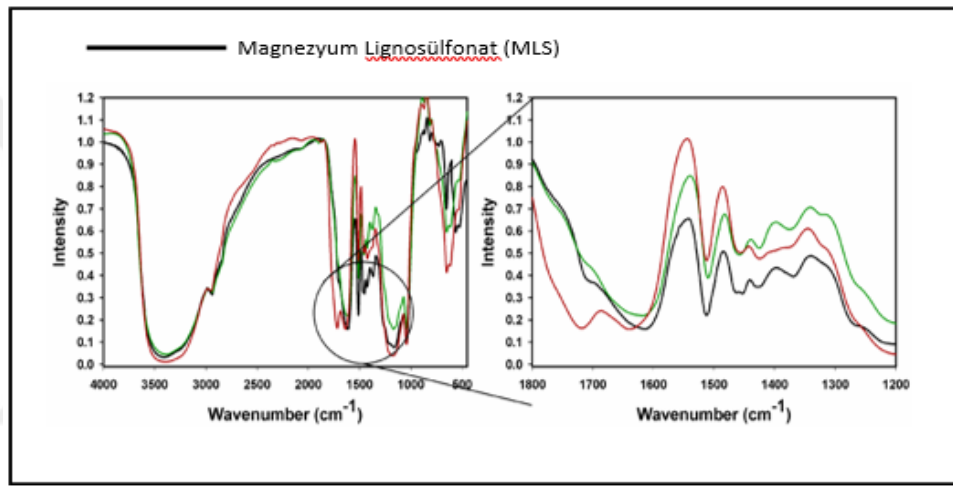
Modifiye asfalt bağlayıcıların kısa süreli yaşlanma özellikleri RTFOT deneyi ile belirlenmiştir. Yaşlandırma sonrası bağlayıcılara penetrasyon, yumuşama noktası, DSR ve RV deneyleri yapılarak yaşlanma sonrası özellikleri belirlenmiştir.

### 3. BULGULAR ve İRDELEME

Bu bölümde MLS katkı maddesinin, katkısız ve modifiye bağlayıcıların yapı analizleri ve performans deneylerinden elde edilen bulgular ile grafikleri verilerek deney sonuçlarına ait değerlendirmeler yapılmıştır.

#### 3.1 Katkı Maddesinin Yapısal Analiz Sonuçları

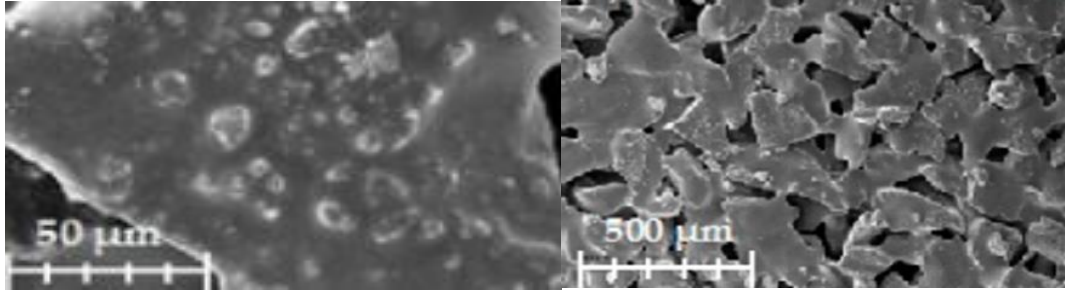
MLS katkısının FT-IR spektrumu Şekil 3.1’de ve spektruma ait veriler Çizelge 3.1’de, SEM görüntüleri ise Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.1. MLS katkısının FT-IR spektrumu

Çizelge 3.1. MLS katkısının FT-IR spektrum verileri

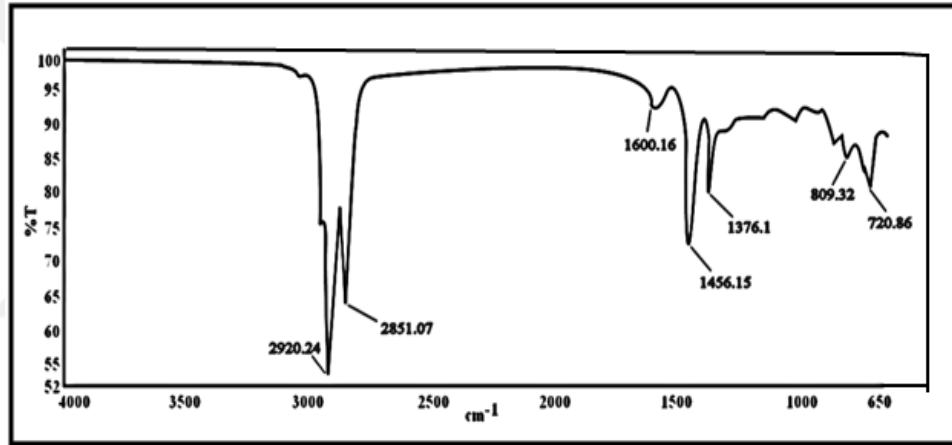
Magnezyum Lignosülfonat (MLS)	
Titreşim dalga sayıları (cm <sup>-1</sup> )	Titreşim Atama
3425	O-H gerilme
2940	C-H <sub>x</sub> gerilme
1515-1610	C-C, C=C (aromatik iskelet), gerilme
1465	CH ( = CH <sub>2</sub> ), bükme
1379-1427	C-C, C=C (aromatik iskelet), gerilme
1179	Aromatik C---H (guaiasil ünitesi), gerdirme
1044	C-OH + C-O-C (alifatik OH + eter) germe, sülfonik asitler
654	CH <sub>x</sub> bükme



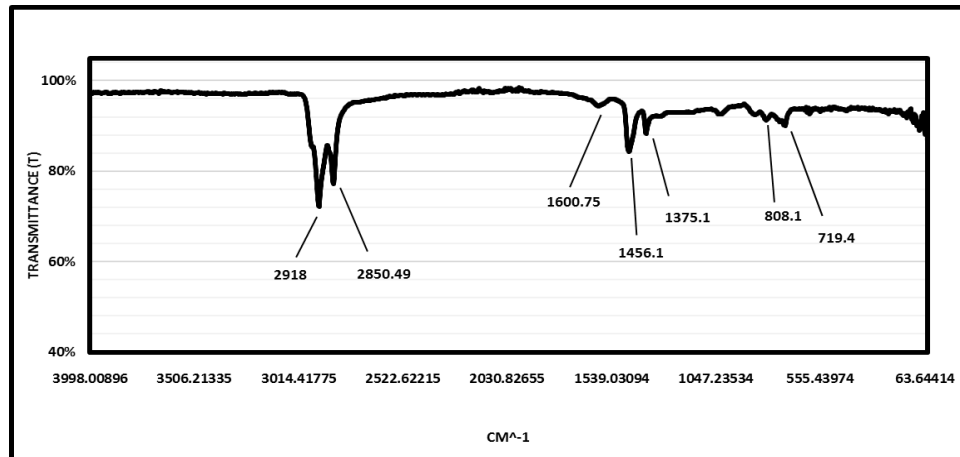
Şekil 3.2. MLS katkısının SEM görüntüleri (Klapiszewski vd., 2017)

### 3.2 Orijinal ve Modifiye Asfalt Bağlayıcıların Yapısal Analiz Sonuçları

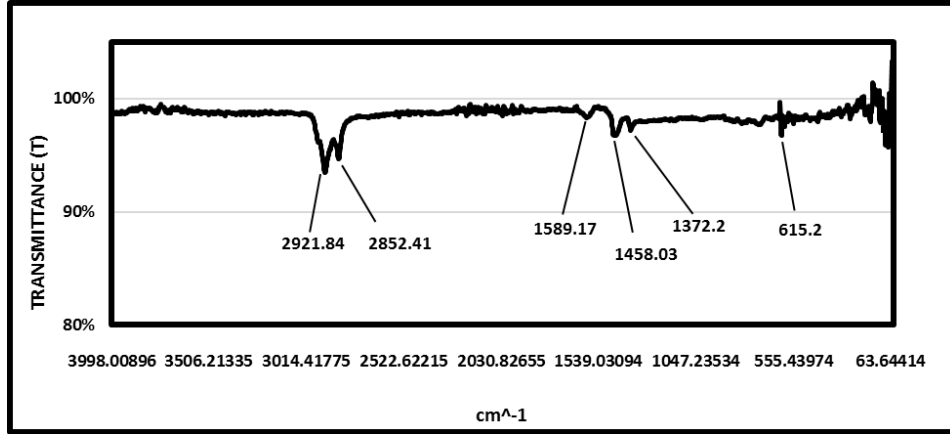
Orijinal ve modifiye asfalt bağlayıcıların FT-IR spektrumları Şekil 3.3-3.7’de verilmiştir.



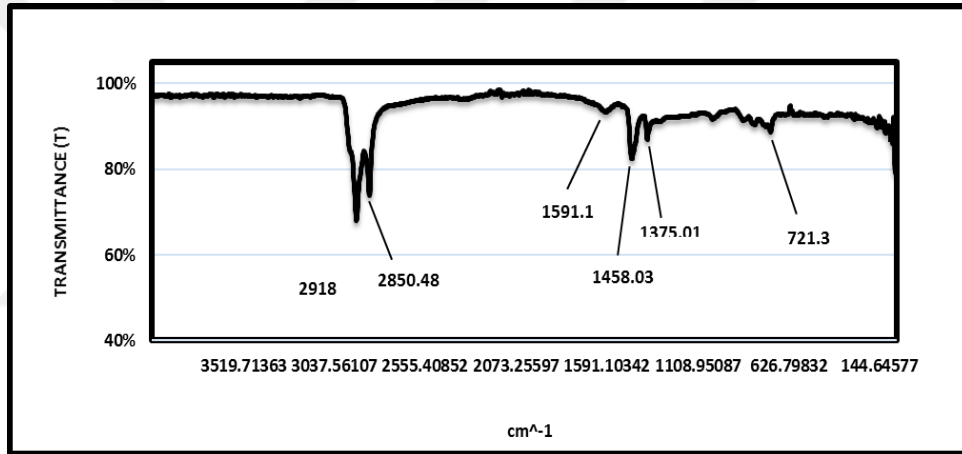
Şekil 3.3. Orijinal asfaltın FT-IR spektrumu



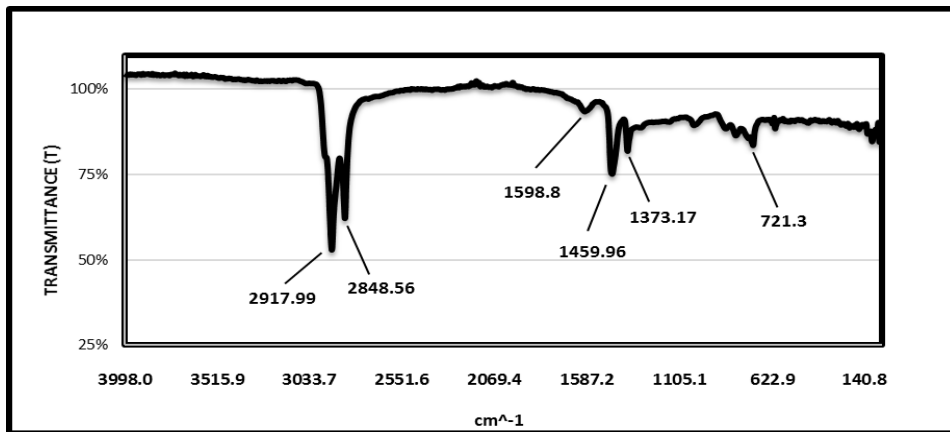
Şekil 3.4. %2 katkı içeren modifiye asfaltın FT-IR spektrumu



Şekil 3.5. %4 katkı içeren asfalt numunesinin FT-IR spektrumu



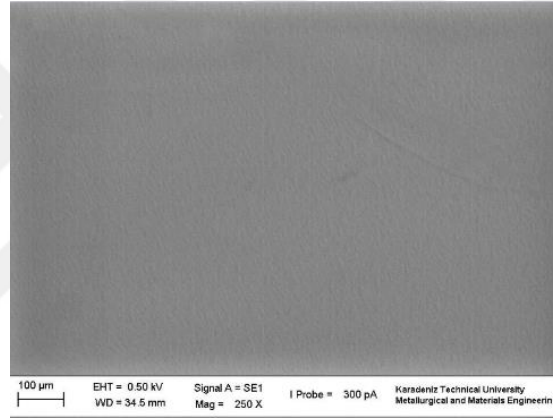
Şekil 3.6. %6 katkı içeren asfalt numunesinin FT-IR spektrumu



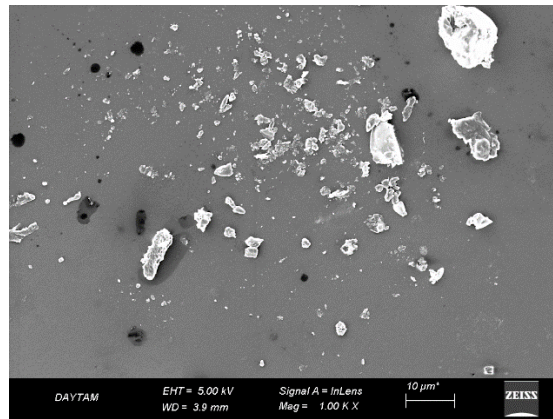
Şekil 3.7. %8 katkı içeren asfalt numunesinin FT-IR spektrumu

FT-IR verileri incelendiğinde katkısız asfalt bağlayıcıda alifatik hidrokarbon zincir içeriğinden ileri gelen CH gerilim bantları  $2920$  ve  $2851\text{ cm}^{-1}$  aralığında metil ve metilen gruplar olarak gözlenirken,  $\text{CH}_3$  ve  $\text{CH}_2$  gruplarına ilişkin deformasyon bantlarının ise  $1455$  ve  $1376\text{ cm}^{-1}$  aralığında aromatik halka ve iskelet sistemleri olarak ortaya çıkmıştır. MLS katkısı ile modifiye edilen asfalt bağlayıcıdan alınan FT-IR spektrumları incelendiğinde ise MLS katkı içerisinde  $2500\text{--}3600\text{ cm}^{-1}$  aralığında karboksilik asite ait olan OH grubu piklerin asfalt içerisinde kaybolduğu gözlenmiştir. Öte yandan asfalt- katkı ilişkisine ait çok belirleyici veriler gözlenmemektedir.

Orijinal, %2, %4, %6 ve %8 katkılı modifiye asfalt numunelerin SEM görüntüleri sırasıyla Şekil 3.8-3.12’de verilmiştir.

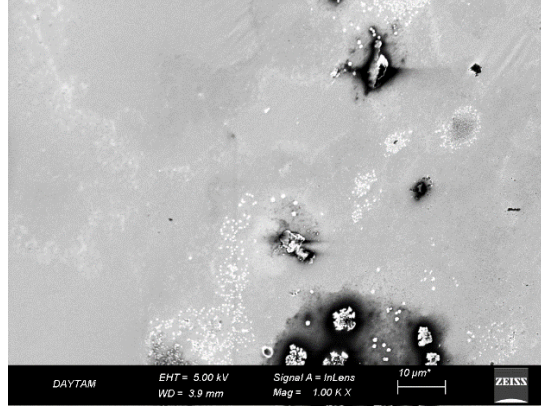


Şekil 3.8. Orijinal asfaltın SEM görüntüsü

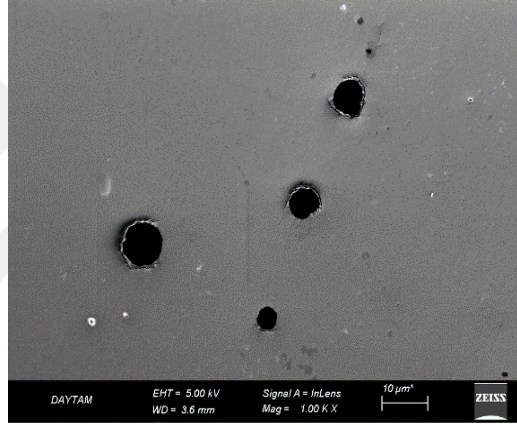


Şekil 3.9. %2 katkılı modifiye asfaltın SEM görüntüsü

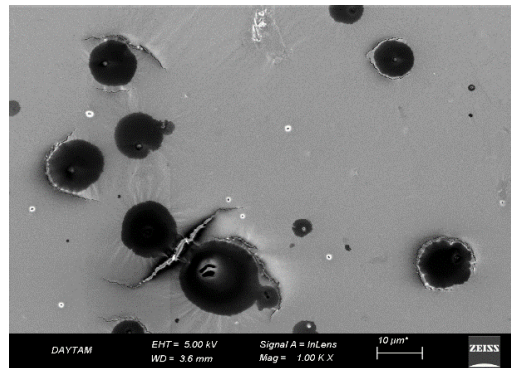




Şekil 3.10. %4 katkılı modifiye asfaltın SEM görüntüsü



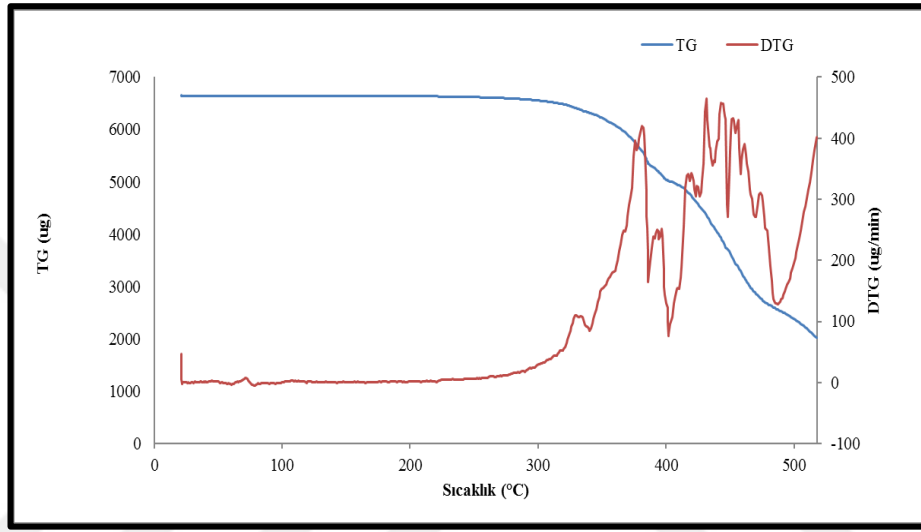
Şekil 3.11. %6 katkılı modifiye asfaltın SEM görüntüsü



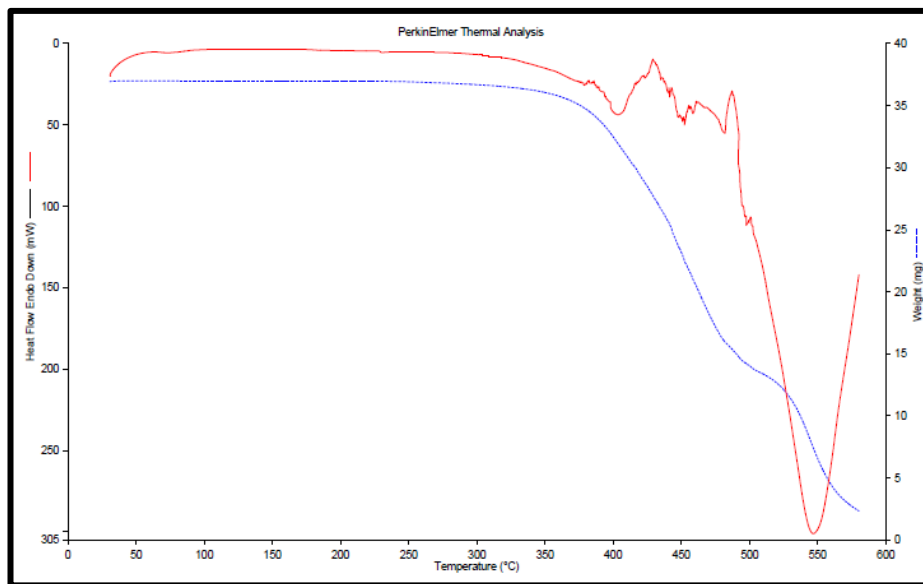
Şekil 3.12. %8 katkılı modifiye asfaltın SEM görüntüsü

SEM görüntüleri incelendiğinde MLS katkısının gözenekli yapısı ve asfalttaki dağılımı görülmektedir. Kullanılan katkı maddesi atık malzeme olduğu için asfaltın içerisinde katkı/asfalt ara yüzünde bazı faz ayrımları görülmekte olup ancak genel itibarla bir matriksin oluştuğu söylenebilir.

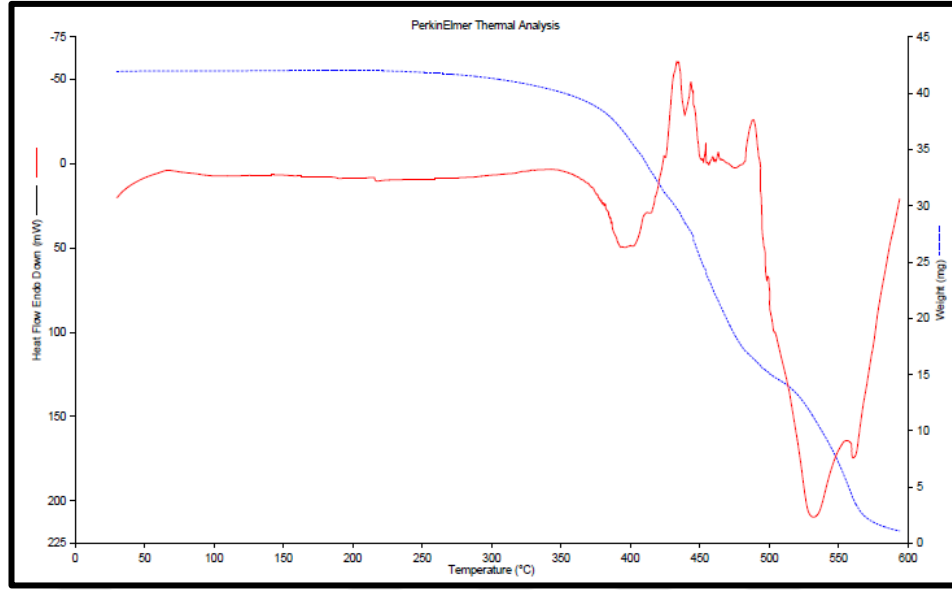
Orijinal, %2, %4, %6 ve %8 katkılı asfalt bağlayıcıların termal analiz (TG/DTG) sonuçları sırasıyla Şekil 3.13-3.17’de verilmiştir.



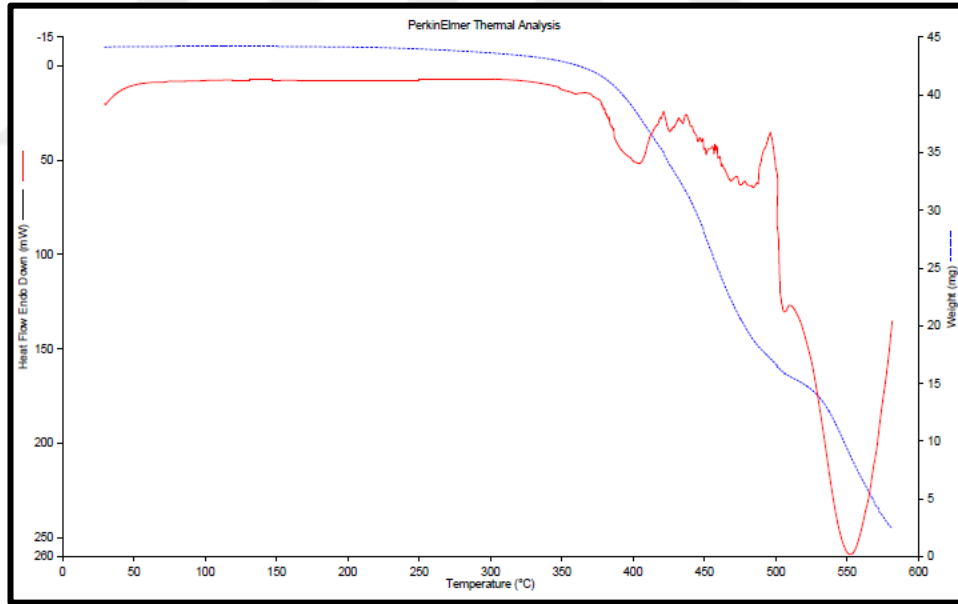
Şekil 3.13. Orijinal asfalt bağlayıcının TG/DTG sonucu



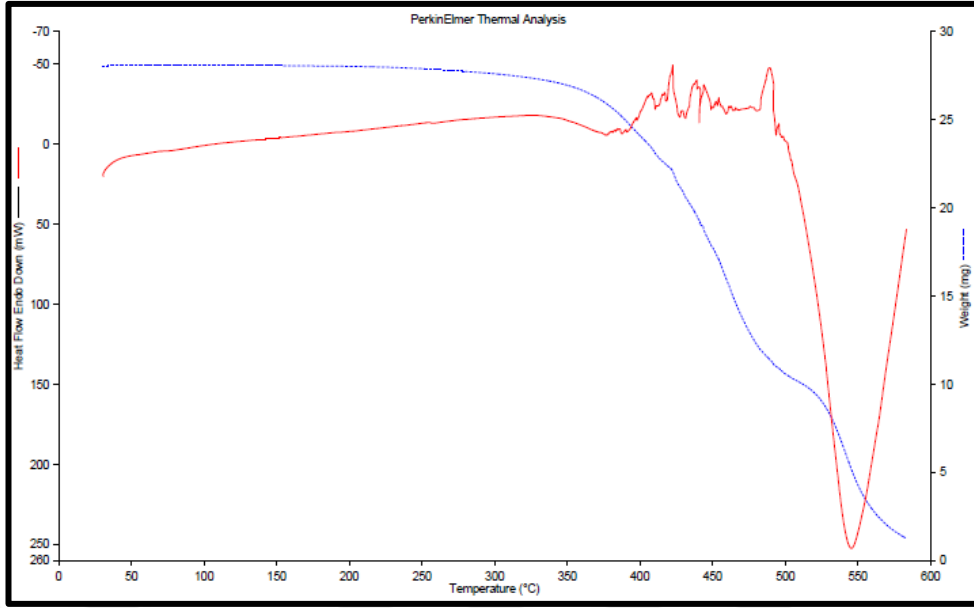
Şekil 3.14. %2 katkı içeren modifiye asfalt bağlayıcının TG/DTG sonucu



Şekil 3.15. %4 katkı içeren modifiye asfalt bağlayıcının TG/DTG sonucu



Şekil 3.16. %6 katkı içeren modifiye asfalt bağlayıcının TG/DTG sonucu

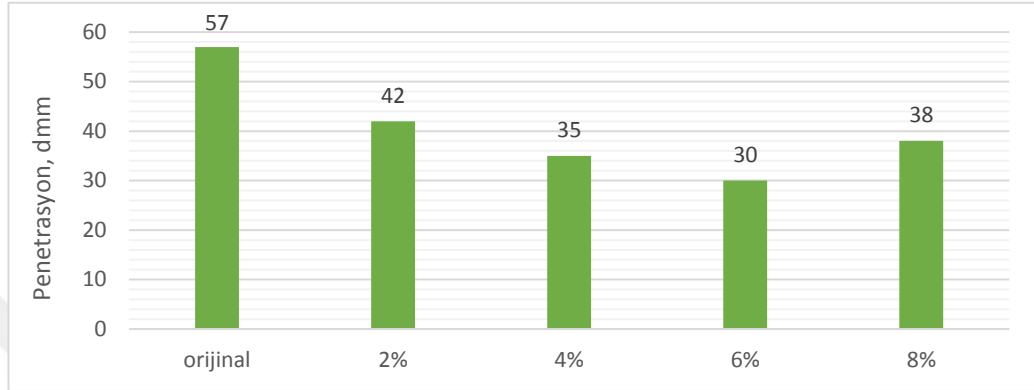


**Şekil 3.17.** %8 katkı içeren modifiye asfalt bağlayıcının TG/DTG sonucu

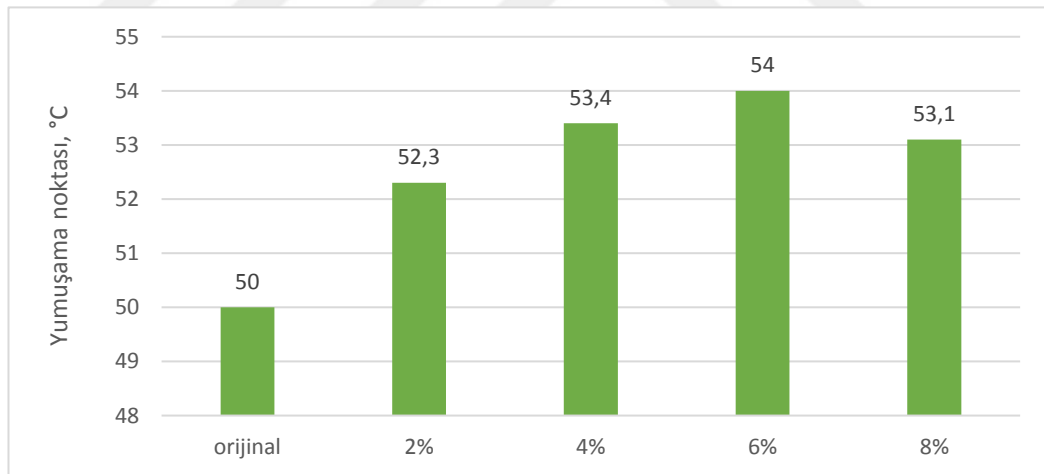
Şekil 3.13 incelendiğinde katkısız asfaltın 325°C sıcaklıkta bozulmaya başladığı ve 475°C sıcaklığa kadar etkin bir şekilde devam ettiği, ayrıca DTG eğrisine göre 381°C, 433°C ve 442°C sıcaklıklarda en fazla kütle kayıplarının gerçekleştiği görülmektedir. Diğer yandan %2 katkı içeriğinde, TG eğrisine göre 385°C sıcaklıkta bozulmaya başladığı ve 495°C sıcaklığa kadar devam ettiği, ayrıca DTG eğrisine göre en fazla kütle kayıplarının 400°C ve 445°C sıcaklıklarda gerçekleştiği görülmüştür. %4 katkı içeriğinin 390°C ve 495°C sıcaklık aralığında bozulmaların etkin şekilde gerçekleştiği, DTG eğrisinde ise en fazla kütle kayıplarının 400°C ve 445°C sıcaklıklarda gerçekleştiği görülmektedir. %6 katkı içeriğinde, 400°C ve 500°C sıcaklık aralığında bozulmanın etkisi ve DTG eğrisinde en fazla kütle kayıplarının 400°C ve 440°C sıcaklıklarda olduğu görülmektedir. %8 katkı içeriğinde ise 360°C ve 480°C sıcaklık aralığında bozulmaların etkin şekilde gerçekleştiği ve DTG eğrisinde 430°C sıcaklıkta en fazla kütle kayıplarının olduğu görülmektedir. Orijinal (katkısız) ile modifiye asfalt bağlayıcılarda, ortam sıcaklığından 300°C sıcaklığa kadar önemli bir kütle kaybı olmamıştır. Orijinal, %2, %4, %6 ve %8 katkılı bağlayıcıların kütlelerinde 400°C sıcaklıkta sırasıyla %25, %19, %17, %16 ve %14 oranlarında kayıplar gerçekleşmiştir. MLS katkı içeriği arttıkça kütle kaybı azalmıştır.

### 3.3. Penetrasyon ve Yumuşama Noktası Deney Sonuçları

MLS katkısının asfaltta kullanılması ile elde edilen modifiye asfalt bağlayıcıların %6 oranına kadar penetrasyon değerinin azaldığı, yumuşama noktası değerinin ise arttığı Şekil 3.18 ve Şekil 3.19’da görülmektedir.



Şekil 3.18. Penetrasyon deney sonuçları



Şekil 3.19. Yumuşama noktası deney sonuçları

Orijinal asfaltın penetrasyon değeri %2, %4, %6 ve %8 katkı içeriğiyle sırasıyla %26,3, %38,6, %47,4 ve %33,3 oranlarında azalırken, yumuşama noktası değeri ise sırasıyla %4,6, %6,8, %8 ve %6,2 oranlarında artmıştır. Genel itibarla bütün katkı içeriklerinde orijinal asfaltın kıvamı artmış ve sıcaklık hassasiyeti azalmıştır ancak %6 katkı içeriğinden sonra orijinal asfaltın kıvamı azalmaya ve sıcaklık hassasiyeti artmaya başlamıştır. Burada %6 sınır değer olarak bulunmuştur.

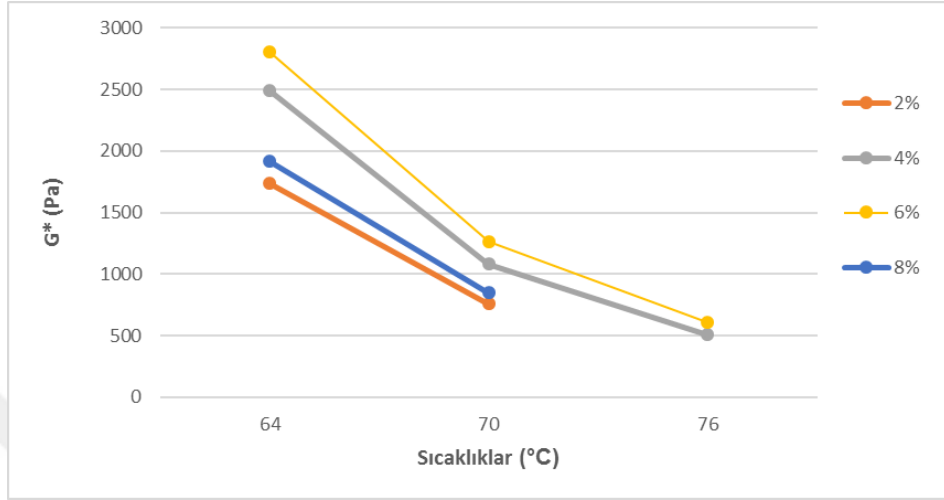
### 3.4. Dinamik Kesme Reometresi (DSR) Deney Sonuçları

DSR deneyi 64°C, 70°C ve 76°C sıcaklıklarda kontrollü gerilme (120 Pa) altında, 1.59 Hz (10 rad/s) frekans, 25 mm paralel plaklar ve plakalar arası boşluk 1 mm ayarlanarak yapılmıştır. Deney sonucunda  $G'$ ,  $G''$ ,  $G^*$ ,  $\delta$  ve  $G^*/\sin\delta$  değerleri bulunmuş ve Çizelge 3.2'de verilmiştir.

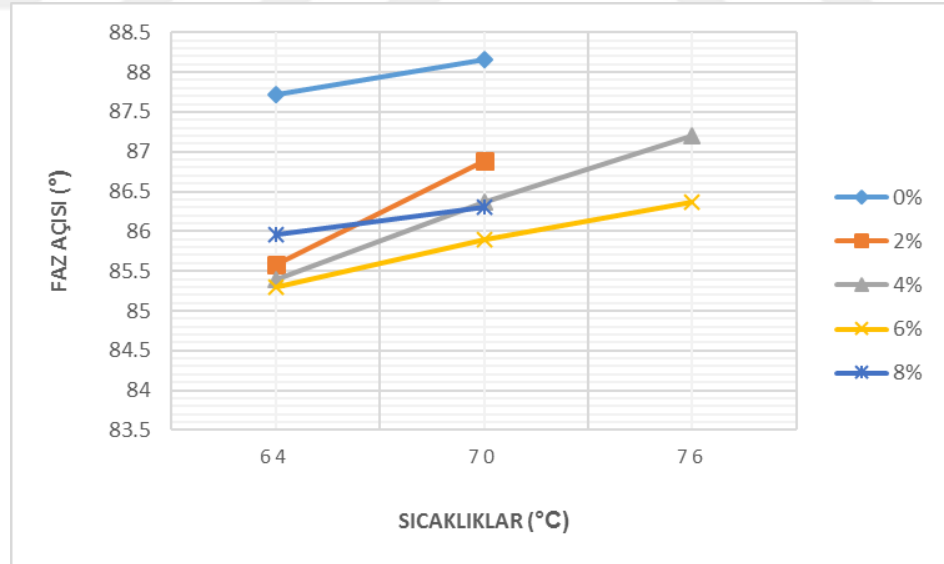
**Çizelge 3.2.** DSR Deney Sonuçları

Numune Adı	Sıcaklık (°C)	$G'$ (Pa)	$G''$ (Pa)	$G^*$ (Pa)	$\delta$ (°)	$G^*/\sin\delta$ (Pa)	Şartname Limiti (Pa) (AASHTO T5)
Katkısız Asfalt	64	41.22	1037.08	1037.90	87.72	1038.72	1000 min.
	70	15.22	473.27	473.52	88.16	473.76	
%2	64	133.76	1730.37	1735.53	85.58	1740.37	
	70	41.28	757.52	758.65	86.88	757.52	
%4	64	199.70	2479.35	2487.38	85.40	2495.44	
	70	68.82	1080.62	1082.81	86.36	1085.00	
	76	37.99	504.95	506.38	87.20	507.81	
%6	64	229.46	2792.32	2801.73	85.30	2811.17	
	70	90.71	1262.07	1265.33	85.89	1268.59	
	76	43.73	603.57	605.15	86.36	606.73	
%8	64	135.10	1911.83	1916.59	85.96	1921.37	
	70	54.77	845.96	847.73	86.30	849.50	

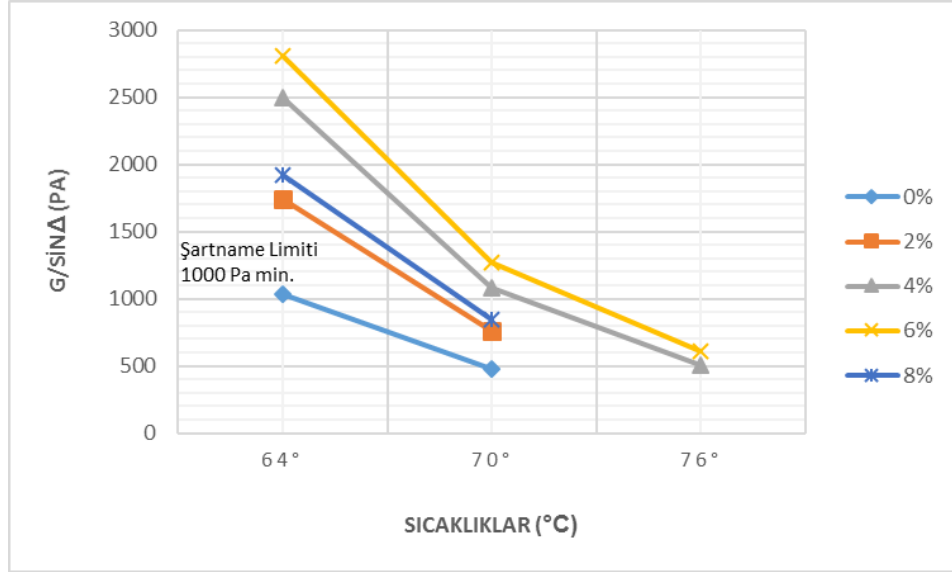
DSR deneyinden elde edilen  $G^*$ ,  $\delta$  ve  $G^*/\sin \delta$  değerlerine ilişkin bulgular grafiklerde Şekil 3.20- Şekil 3.22’de verilmiştir.



Şekil 3.20.  $G^*$  değerleri



Şekil 3.21.  $\delta$  değerleri



**Şekil 3.22.** G\*/sinδ değerleri

Deney sonuçları incelendiğinde sıcaklık artışıyla birlikte asfalt bağlayıcıların kompleks kayma modülü değerlerinde azalma olduğu, ancak bu azalma sonucunda elde edilen değerlerin deneyin yapıldığı her sıcaklıkta orijinal asfalta kıyasla daha yüksek seviyede olduğu, faz açısı değerlerinin ise kompleks kayma modülü değerlerinin aksine arttığı tespit edilmiştir. Diğer bir ifadeyle katkı maddesinin, orijinal asfaltın elastik özelliğini iyileştirdiği ve tekerlek izi dayanımını arttırdığı belirlenmiştir. Şekil 3.18 ve 3.19’da verilen sonuçlardan 64°C sıcaklıklarda %2 katkı içeriğinde, orijinal asfaltın kompleks kayma modülü değerinin %67.22 oranında arttığı, faz açısı değerinin ise %2.14 oranında azaldığı görülmektedir. Buradan anlaşılacağı gibi katkı maddesinin düşük miktarda ilave edilmesiyle bile orijinal asfaltın elastik özelliğine fayda sağladığı ve tekerlek izi dayanımını önemli derecede arttırdığı anlaşılmaktadır. %4 ve %6 katkı içeriklerinde şartname limiti olan 1000 Pa değeri 70°C sıcaklıkta yakalanmış olup söz konusu katkı içeriklerinde orijinal asfaltın performans sınıfı 64°C’den 70°C’ye çıkmıştır.

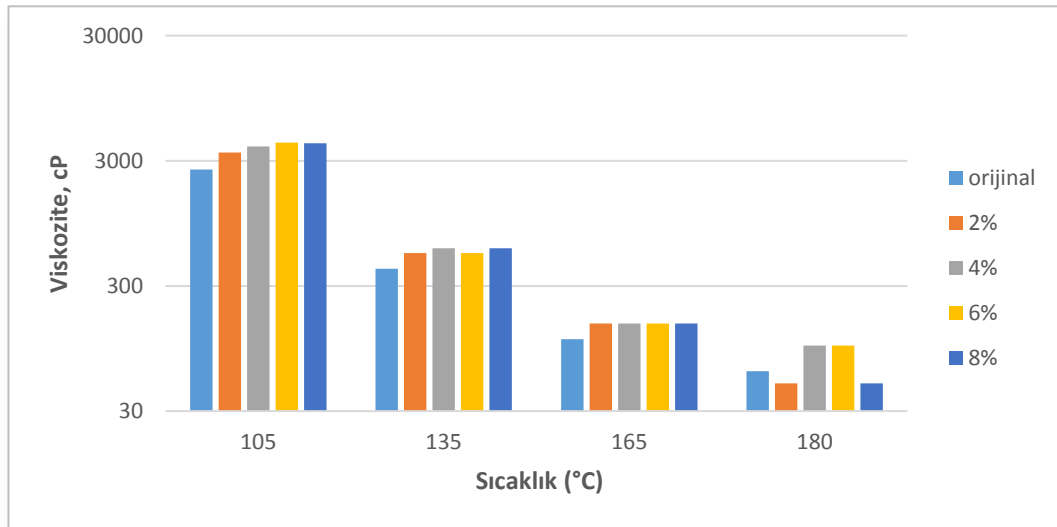


### 3.4. Dönel Viskozimetre (RV) Deney Sonuçları

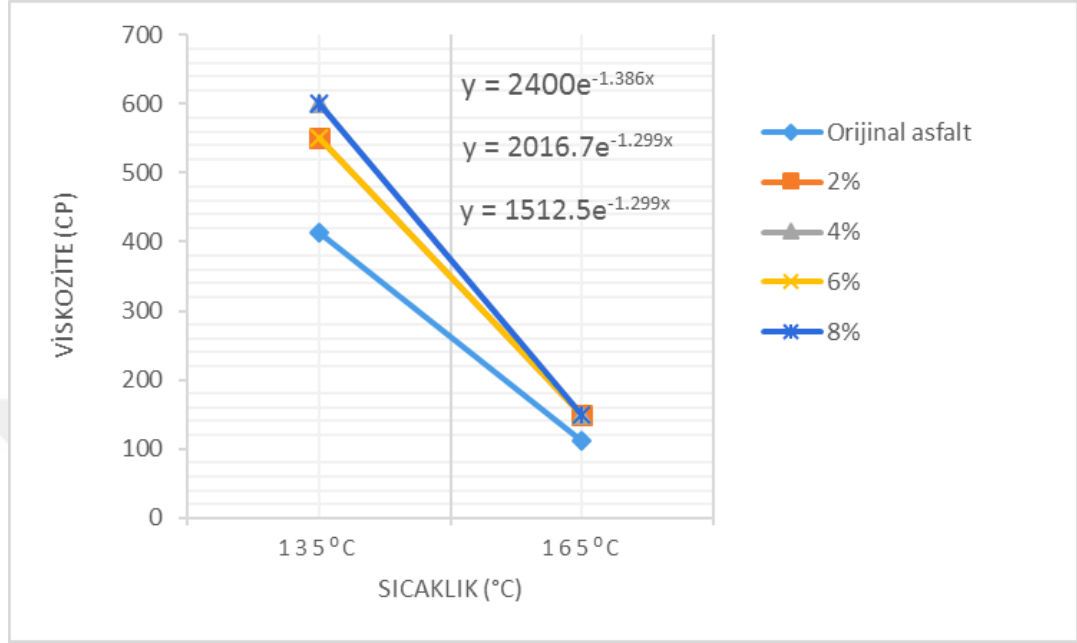
Orijinal ve modifiye asfalt bağlayıcıların 105<sup>0</sup>C, 135<sup>0</sup>C, 165<sup>0</sup>C ve 180<sup>0</sup>C sıcaklıklarda viskozite değerleri bulunmuştur (Çizelge 3.3). Daha sonra 135<sup>0</sup>C ve 165<sup>0</sup>C sıcaklıklardaki viskozite değerlerinden yararlanılarak logaritmik sıcaklık-viskozite grafiği çizilmiştir ve bu grafik üzerinden karıştırma ve sıkıştırma sıcaklık aralıkları hesaplanarak Çizelge 3.4'te verilmiştir.

**Çizelge 3.3.** RV Deney Sonuçları, cP

Numune Adı	105 <sup>0</sup> C	135 <sup>0</sup> C	165 <sup>0</sup> C	180 <sup>0</sup> C
Orijinal asfalt	2550	412.5	112.5	62.5
%2	3500	550	150	50
%4	3900	600	150	100
%6	4200	550	150	100
%8	4150	600	150	50



**Şekil 3.23.** Asfalt bağlayıcıların 105<sup>0</sup>C, 135<sup>0</sup>C, 165<sup>0</sup>C ve 180<sup>0</sup>C sıcaklıklardaki viskozite değerleri



Şekil 3.24. Logaritmik sıcaklık-viskozite grafiği

Çizelge 3.4. Asfalt bağlayıcıların karıştırma ve sıkıştırma sıcaklık aralıkları

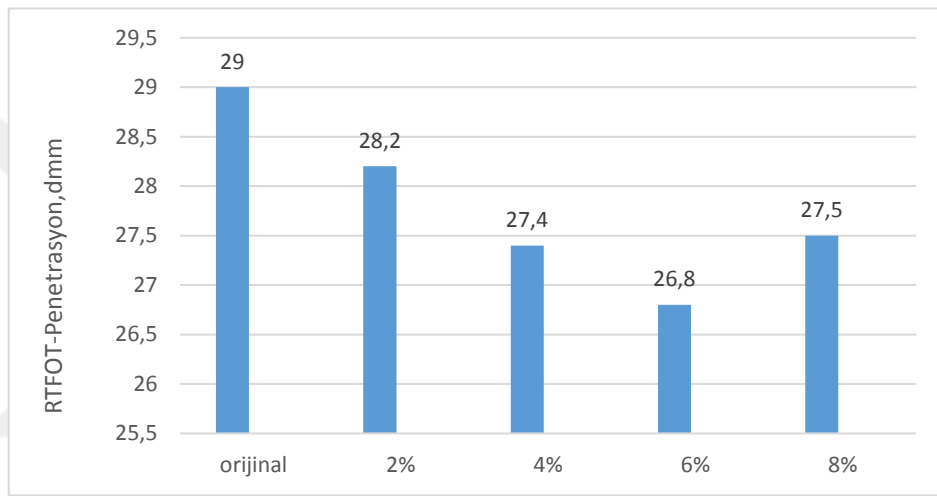
Numune Adı	Karıştırma Sıcaklık Aralıkları (°C)		Sıkıştırma Sıcaklık Aralıkları (°C)	
	Alt	Üst	Alt	Üst
Orjinal asfalt	160	154	148	143
%2	164	162	157	153
%4	164	163	158	154
%6	164	162	157	153
%8	164	163	158	154

Katkı maddesi (MLS), deneyin yapıldığı her sıcaklıkta orijinal asfaltın viskozite değerini artırmıştır. Orijinal asfaltın 135°C'deki viskozite değerleri %2, %4, %6 ve %8 MLS katkı içeriğinde sırasıyla %32.62, %45.45, %32.62, %45.45 oranlarında artmıştır. Bütün katkı içeriklerinin 135°C'deki viskozite değerleri 3000 cP şartname

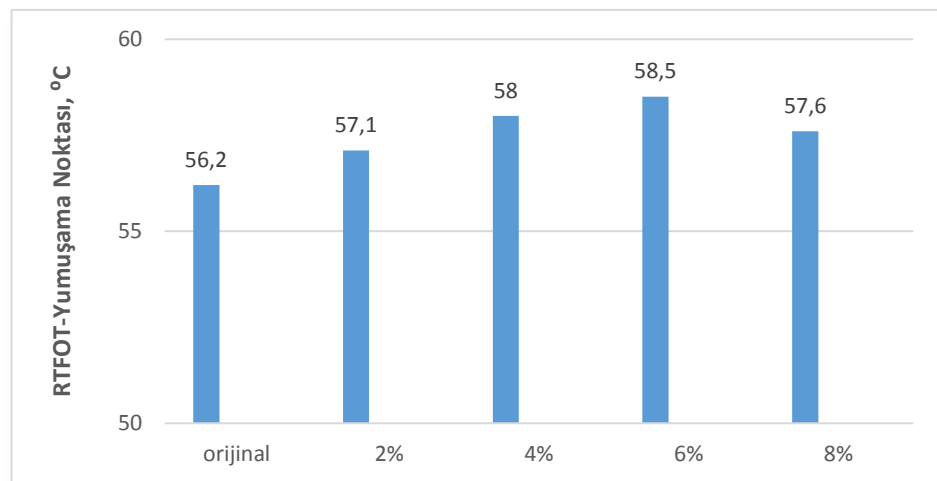
limitini geçmemiştir. MLS katkısı, orijinal asfaltın karıştırma ve sıkıştırma sıcaklık aralıklarında artışa neden olmuştur.

### 3.8. Dönel İnce Film Halinde Isıtma (RTFOT) Deney Sonuçları

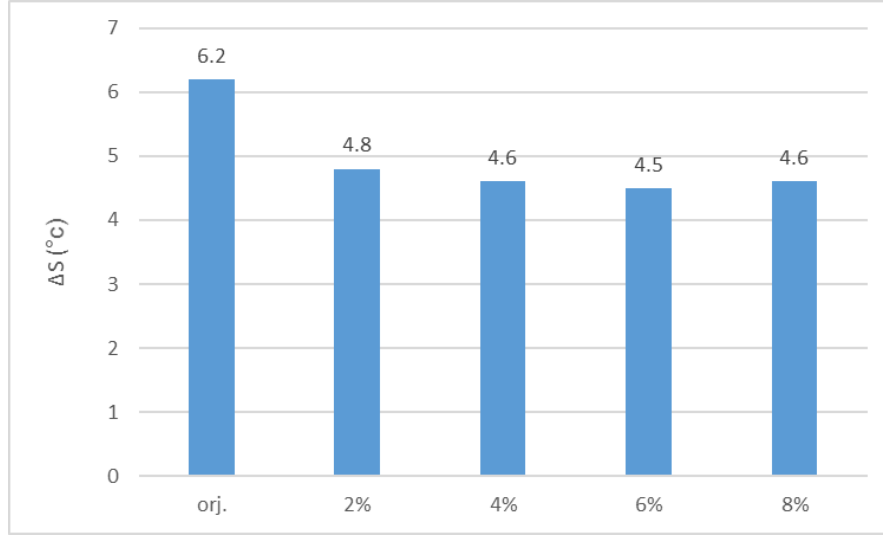
RTFOT sonrası asfalt numunelere penetrasyon, yumuşama noktası, DSR ve RV deneyleri yapılmış ve SEM, FT-IR, TG analizleri ile yaşlanma sonrası durumları tespit edilmiştir (Şekil 3.25-3.40 ve Çizelge 3.5-3.7).



Şekil 3.25. RTFOT deneyi sonrası penetrasyon değerleri



Şekil 3.26. RTFOT deneyi sonrası yumuşama noktası değerleri

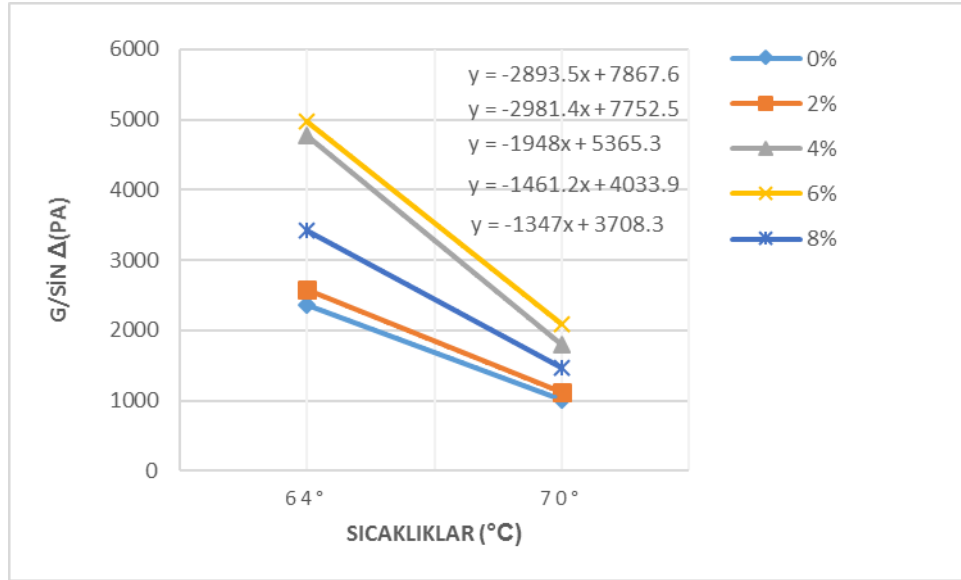


**Şekil 3.27.** RTFOT deneyi öncesi ve sonrası yumuşama noktası sıcaklık farkları

RTFOT deneyi sonrası orijinal ve modifiye asfalt bağlayıcılara DSR deneyi uygulanmıştır. DSR deneyi 64°C ve 70°C’de kontrollü gerilme (120 Pa) altında, 1,59 Hz (10 rad/sn) frekans, 25 mm paralel plaklar ve plakalar arası boşluk 1 mm olarak ayarlanmıştır. Deney sonucunda  $G'$ ,  $G''$ ,  $G^*$ ,  $\delta$  ve  $G^*/\sin\delta$  parametreleri bulunarak Çizelge 3.5’te verilmiştir. Ayrıca  $G^*/\sin\delta$  değeri grafik olarak Şekil 3.28’de verilmiştir.

**Çizelge 3.5.** RTFOT deneyi sonrası asfalt DSR test sonuçları

Numune Adı	Sıcaklık (°C)	$G'$ (Pa)	$G''$ (Pa)	$G^*$ (Pa)	$\delta$ (°)	$G^*/\sin\delta$ (Pa)	Şartname Limiti (Pa) (AASHTO T5)
% 0	64	204.75	2343.41	2352.33	85.01	2361.30	2200 min.
	70	71.00	1009.36	1011.85	85.98	1014.35	
% 2	64	228.29	2552.29	2562.48	84.89	2572.71	
	70	85.03	1105	1108.27	85.60	1111.55	
% 4	64	490.9	4720	4745.46	84.06	4771.06	
	70	154.56	1776.22	1782.94	85.03	1789.67	
% 6	64	492.09	4469.94	4496.94	83.72	4524.11	
	70	163.57	2067.65	2074.11	85.48	2080.59	
% 8	64	342.15	3382.73	3399.99	84.22	3417.34	
	70	114.75	1460.37	1464.87	85.51	1469.39	

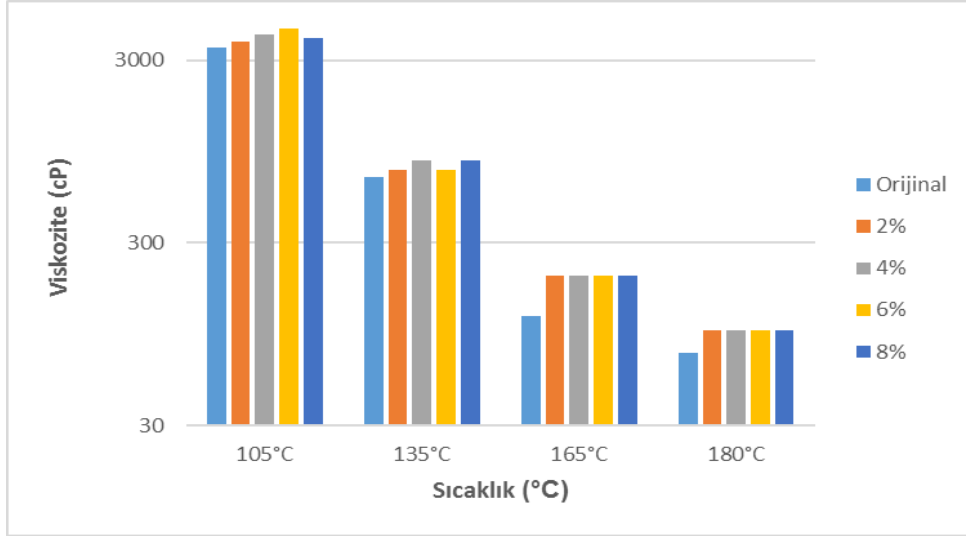


Şekil 3.28. RTFOT sonrası  $G^*/\sin \delta$  değerleri

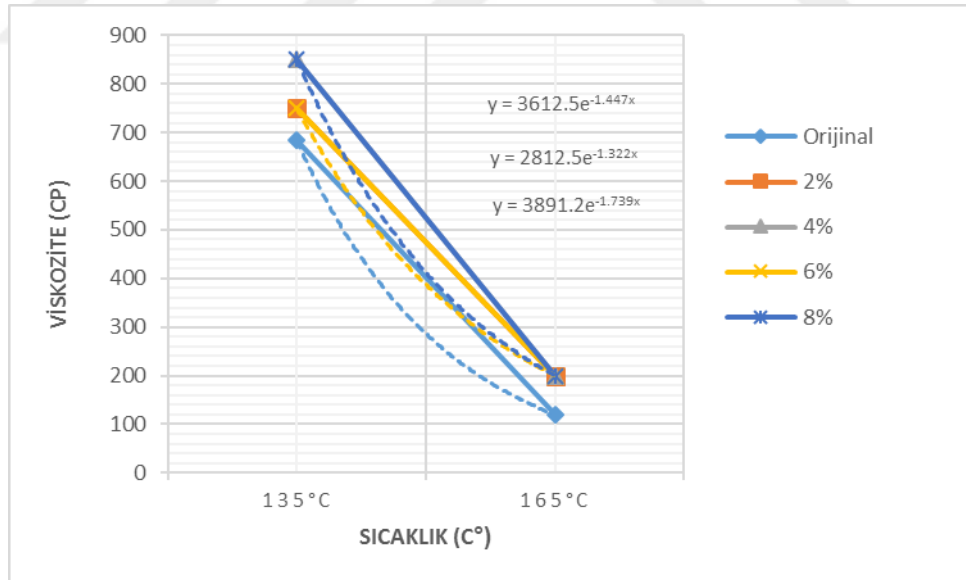
Çizelge 3.5’de görüldüğü gibi  $G'$ ,  $G''$ ,  $G^*$  ve  $G^*/\sin \delta$  değerleri, deneyin yapıldığı sıcaklıklarda orijinal asfalt bağlayıcıya göre artış göstermiş, faz açısı değerleri ise azalmıştır. Orijinal asfalt bağlayıcıya göre %2, %4, %6 ve %8 MLS katkı içeriğinde  $G^*/\sin \delta$  değerlerinde sırasıyla 64°C’de; %8.95, %102, %91.6, %45 ve 70°C’de; %9.58, %76.4, %105.11, %44.86 oranlarında artış olmuştur. Şartname limiti olan 2200 Pa değeri bütün bağlayıcılar 64°C’de sağlarken, 70°C sıcaklıkta hiçbir bağlayıcı sağlamamıştır.

Çizelge 3.6. RTFOT deneyi sonrası RV sonuçları, cP

Numune	105°C	135°C	165°C	180°C
%0	3500	683.33	120	75
%2	3800	750	200	100
%4	4150	850	200	100
%6	4500	750	200	100
%8	3950	850	200	100



Şekil 3.29. RTFOT deneyi sonrası asfalt bağlayıcıların 105<sup>0</sup>C, 135<sup>0</sup>C, 165<sup>0</sup>C ve 180<sup>0</sup>C sıcaklıklardaki viskozite değerleri

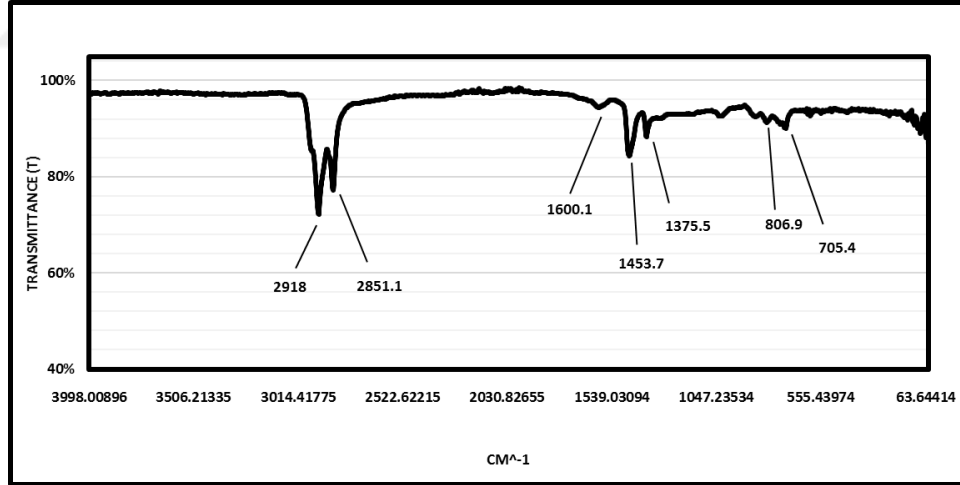


Şekil 3.30. RTFOT sonrası logaritmik sıcaklık-viskozite grafiği

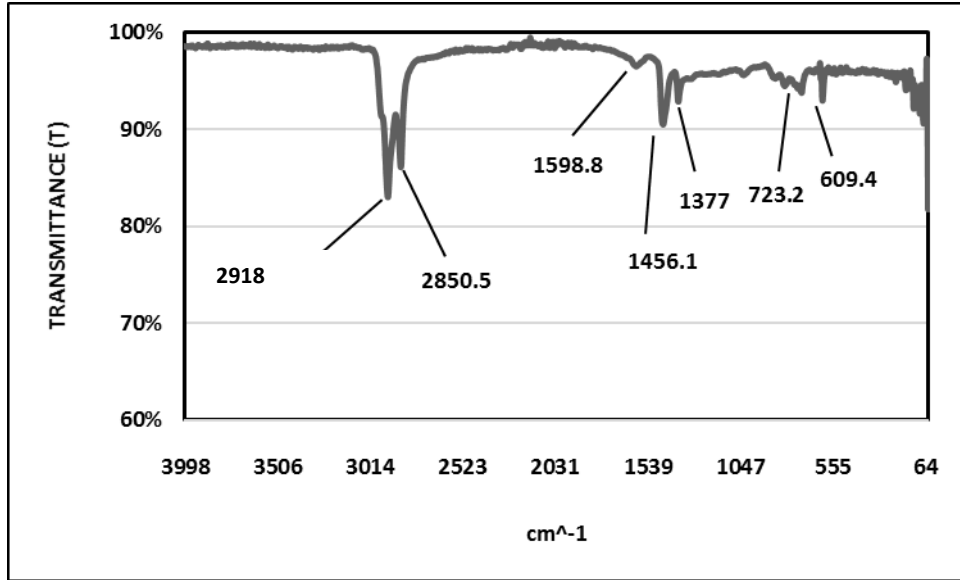
**Çizelge 3.7.** RTFOT sonrası asfalt bağlayıcıların karıştırma ve sıkıştırma sıcaklık aralıkları

Numune Adı	Karıştırma Sıcaklık Aralıkları (°C)		Sıkıştırma Sıcaklık Aralıkları (°C)	
	1	2	1	2
Orijinal asfalt	161	165	155	158
%2	165	167	158	163
%4	165	167	159	163
%6	165	167	158	163
%8	165	167	159	163

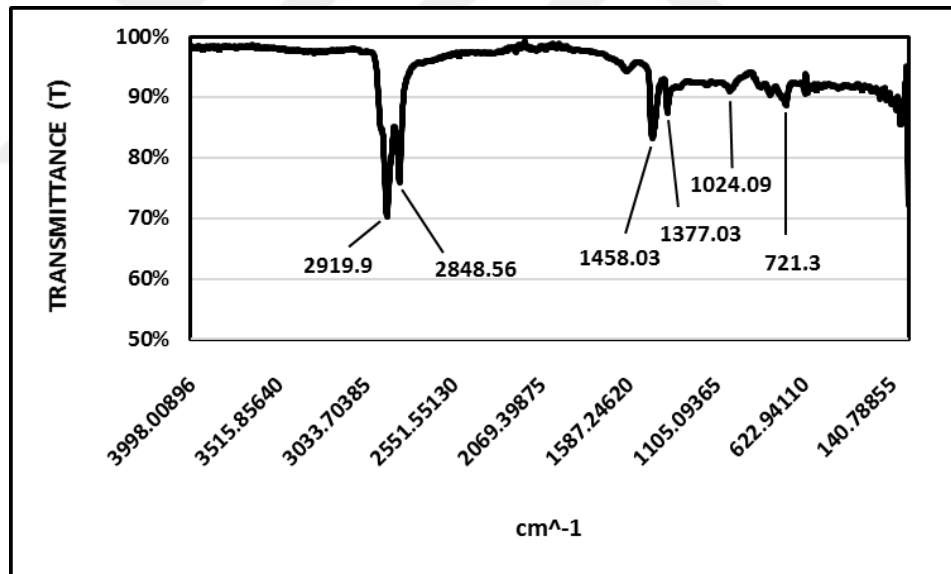
RTFOT sonrası orijinal, %2, %4, %6 ve %8 katkı içeren modifiye asfalt bağlayıcıların FT-IR spektrumları sırasıyla Şekil 3.31- 3.35’de verilmiştir.



**Şekil 3.31.** RTFOT sonrası orijinal asfaltın FT-IR spektrumu

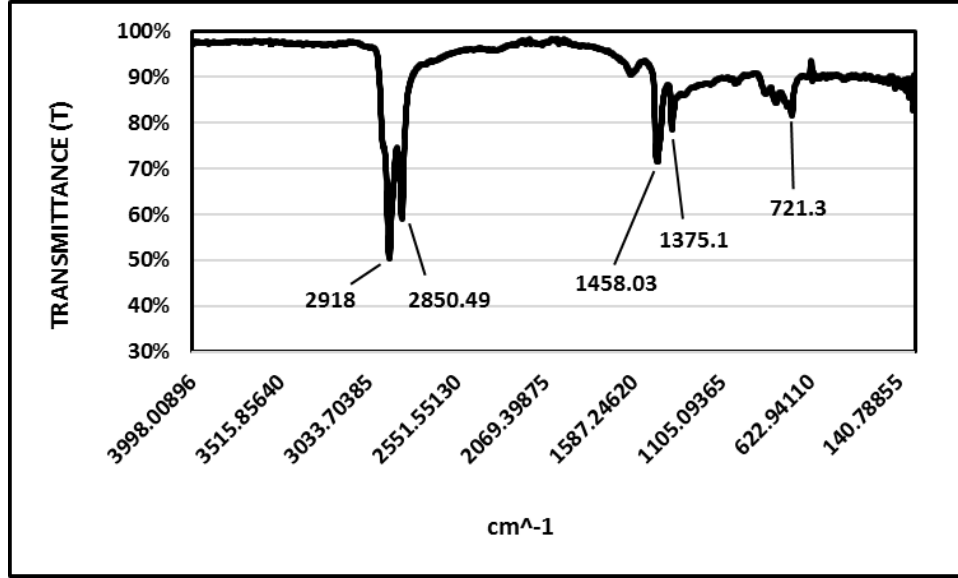


Şekil 3.32. RTFOT sonrası %2 katkılı modifiye asfaltın FT-IR spektrumu

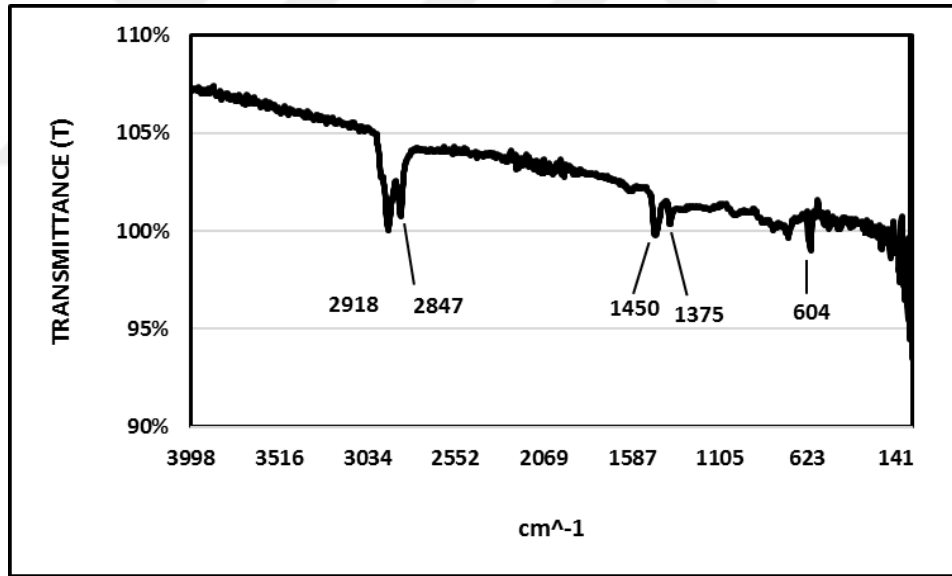


Şekil 3.33. RTFOT sonrası %4 katkılı modifiye asfaltın FT-IR spektrumu





Şekil 3.34. RTFOT sonrası %6 katkılı modifiye asfaltın FT-IR spektrumu

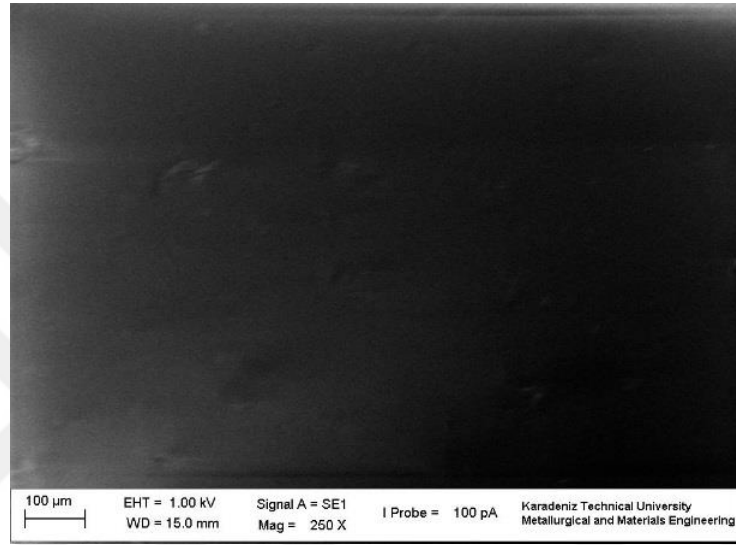


Şekil 3.35. RTFOT sonrası %8 katkılı modifiye asfaltın FT-IR spektrumu

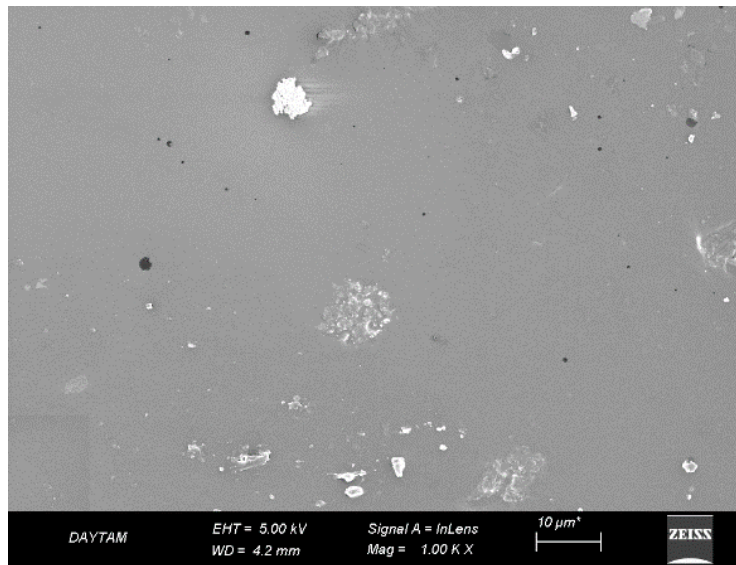
Kısa süreli yaşlanma (RTFOT) sonrası katkısız asfalt ile MLS katkılı modifiye asfalta ait FT-IR spektrumları aşağıda verilmiştir. Katkısız asfalta ait veriler incelendiğinde 2850-2920 cm<sup>-1</sup> aralığında CH metil ve metilen gruplar olarak gözlenirken, CH<sub>3</sub> ve CH<sub>2</sub> gruplarına ilişkin deformasyon bantlarının ise 1375 ile 1460 cm<sup>-1</sup> aralığında aromatik halka ve iskelet sistemleri olarak ortaya çıkmıştır. MLS katkısı ile modifiye

edilen asfalt bağlayıcıların RTFOT sonrası FT-IR spektrumları incelendiğinde ise MLS katkı içerisindeki OH gerilmelerinin asfalt içerisinde kaybolduğu gözlenmiştir. Bu sonuç, asfalttaki hidrokarbon zinciri ile MLS katkı arasındaki elektrostatik etkileşim varlığını göstermektedir.

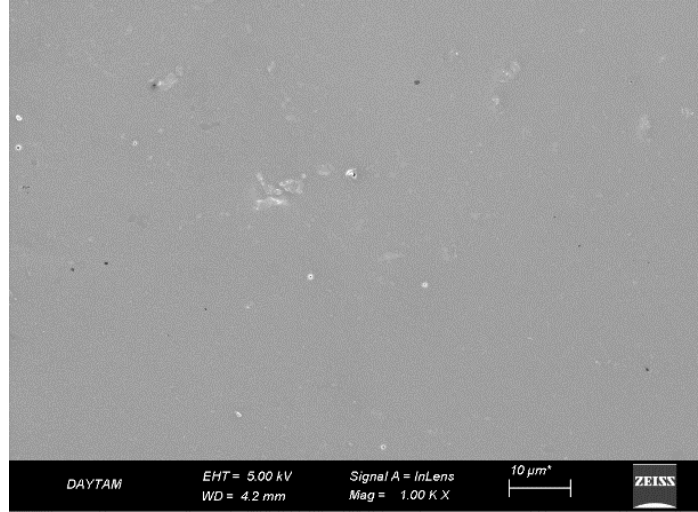
RTFOT sonrası orijinal, %2, %4, %6 ve %8 katkılı modifiye asfalt bağlayıcıların SEM görüntüleri sırasıyla Şekil 3.36-3.40'da verilmiştir.



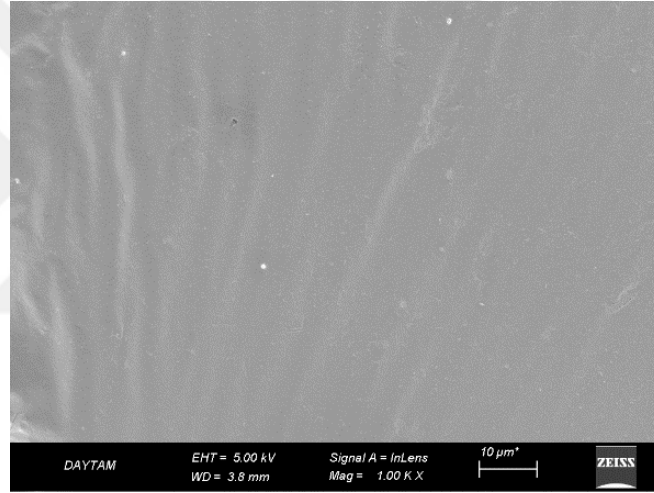
Şekil 3.36. RTFOT sonrası orijinal asfaltın SEM görüntüsü



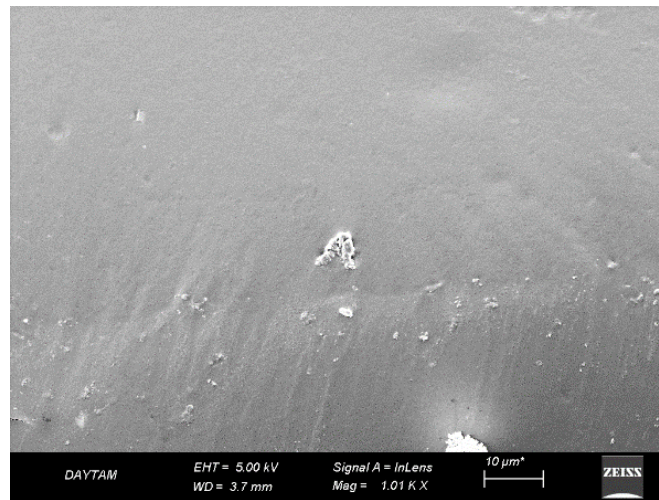
Şekil 3.37. RTFOT sonrası %2 katkılı modifiye asfaltın SEM görüntüsü



Şekil 3.38. RTFOT sonrası %4 katkılı modifiye asfaltın SEM görüntüsü



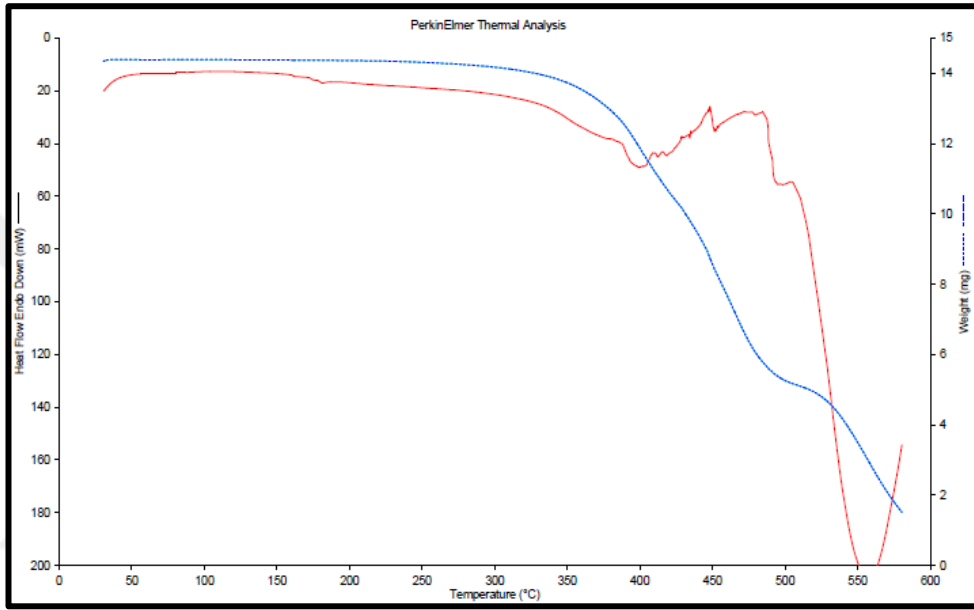
Şekil 3.39. RTFOT sonrası %6 katkılı modifiye asfaltın SEM görüntüsü



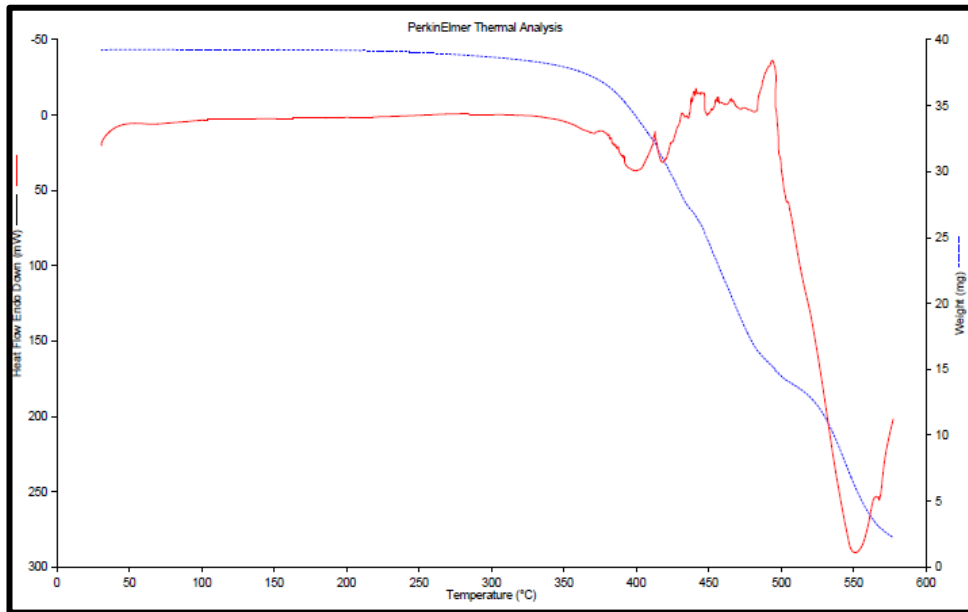
Şekil 3.40. RTFOT sonrası %8 katkılı modifiye asfaltın SEM görüntüsü

RTFOT sonrası katkısız asfalt bağlayıcı ile MLS katkıli modifiye asfalta ait SEM görüntüleri incelendiğinde MLS katkısı ile asfalt ara yüzünde yaşlanma öncesi olduğu gibi faz ayrımlarının olduğu ancak bu ayrımların azaldığı görülmektedir. Yaşlanma önce asfalt/katkı matrisin etkileşimi yaşlanma sonrası daha belirgin bir hal almıştır.

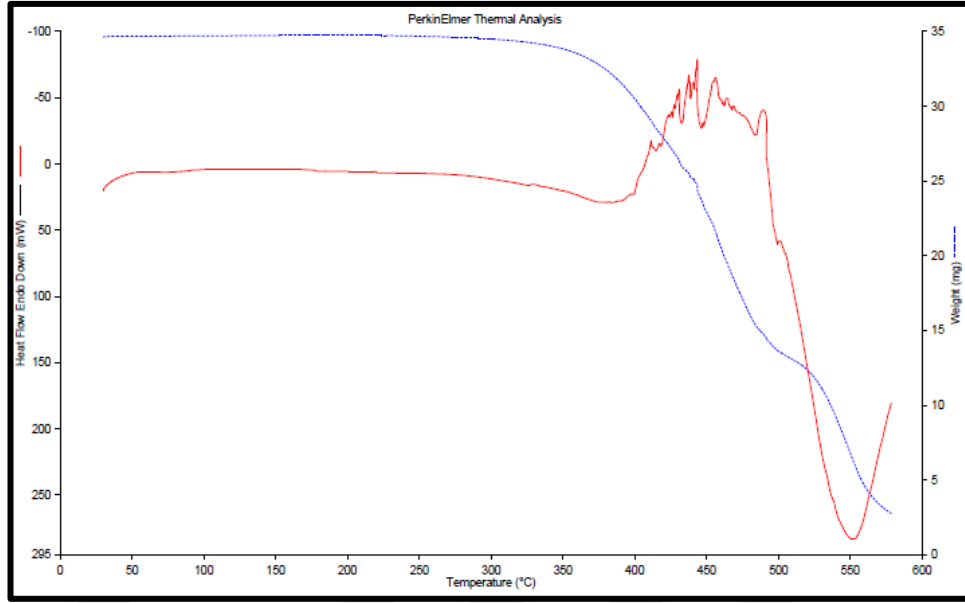
RTFOT Sonrası %2, %4, %6 ve %8 katkıli asfalt bağlayıcıların termal analiz (TG/DTG) sonuçları sırasıyla Şekil 3.41-3.44’de verilmiştir.



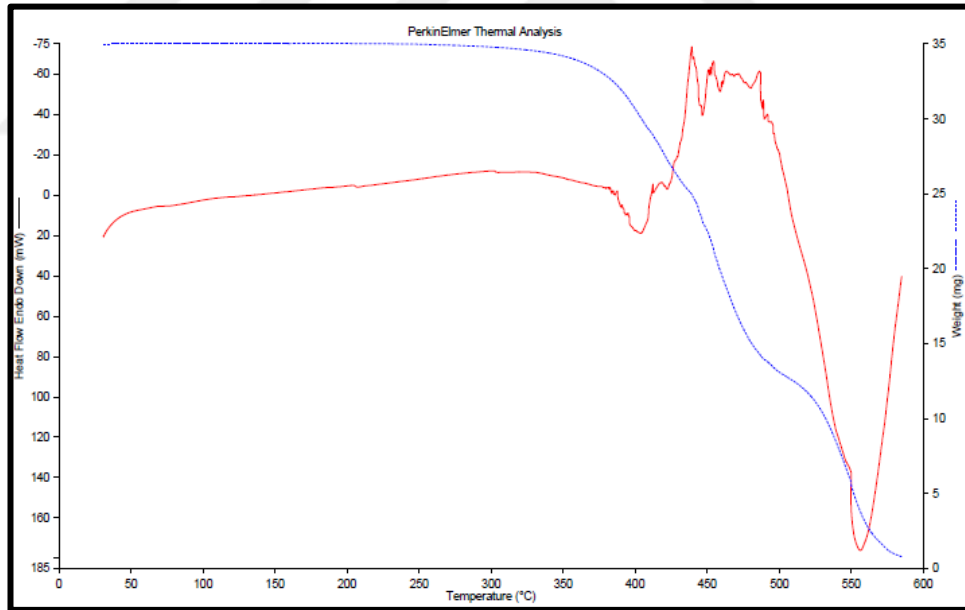
Şekil 3.41. RTFOT sonrası %2 katkıli modifiye asfaltın TG/DTG sonucu



Şekil 3.42. RTFOT sonrası %4 katkıli modifiye asfaltın SEM görüntüsü



Şekil 3.43. RTFOT sonrası %6 katkıli modifiye asfaltın SEM görüntüsü



Şekil 3.44. RTFOT sonrası %8 katkıli modifiye asfaltın SEM görüntüsü

RTFOT sonrası katkısız ve MLS katkıli modifiye asfalta ait termal analiz (TG/DTG) eğrileri verilmiştir. %2 MLS katkıli yaşlandırılmış asfalt bağlayıcı içeriğinde TG eğrisine göre 385°C sıcaklıkta bozulmaya başladığı ve 490°C sıcaklığa kadar devam

ettiği, ayrıca DTG eğrisine göre en fazla kütle kayıplarının 390°C ve 435°C sıcaklıklarda gerçekleştiği görülmüştür. %4 MLS içeriğinin 390°C ve 495°C sıcaklık aralığında bozulmaların etkin şekilde gerçekleştiği, DTG eğrisinde ise en fazla kütle kayıplarının 390°C ve 440°C sıcaklıklarda gerçekleştiği görülmektedir. %6 MLS katkı içeriğinde 395°C ve 500°C sıcaklık aralığında bozulmanın etkinliği ve DTG eğrisinde en fazla kütle kayıplarının 400°C ve 450°C sıcaklıklarda olduğu görülmektedir. %8 katkı içeriğinde ise 390°C ve 490°C sıcaklık aralığında bozulmaların etkin şekilde gerçekleştiği ve DTG eğrisinde 390°C ve 445°C sıcaklıkta en fazla kütle kayıplarının olduğu görülmektedir. Orijinal (katkısız) ile modifiye asfalt bağlayıcılarda, ortam sıcaklığından 300°C sıcaklığa kadar önemli bir kütle kayıp olmamıştır. %2, %4, %6 ve %8 katkılı yaşlandırılmış bağlayıcıların kütlelerinde 400°C sıcaklıkta sırasıyla %18, %13, %12 ve %11 oranlarında kayıplar gerçekleşmiştir.

#### 4.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Magnezyum lignosülfonat (MLS) katkısının asfalt bağlayıcılarda kullanılabilirliğinin araştırıldığı bu çalışmada, modifiye edilmiş asfalt bağlayıcıların özellikleri, performansları bulunarak orijinal asfaltla kıyaslanmış ve elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- FT-IR sonuçlarında, MLS katkının asfalt bağlayıcıya ilavesiyle OH (hidroksi) gruplarının kaybolduğu ve karbon gruplarının oluştuğu gözlenmiştir.
- SEM sonuçlarından, %2, %4, %6 ve %8 oranlarında asfalt bağlayıcıya eklenen MLS katkının asfalt matrisiyle genel itibarla etkileştiği görülmüştür.
- TG/DTG sonuçlarından katkı maddesinin asfalt bağlayıcıya ilavesiyle bozunma eğrilerinde daha yüksek sıcaklıklara kayan bir eğrinin gözlenmesi, MLS katkısının asfaltın stabilitesini arttırdığı ve sıcaklığa karşı daha dirençli bir yapı oluşturduğu tespit edilmiştir.
- Penetrasyon ve yumuşama noktası deneyleri incelendiğinde katkı oranının artışına bağlı olarak penetrasyon değerinin azaldığı, yumuşama noktası değerlerinin ise arttığı belirlenmiştir. Böylece katkı, asfalt bağlayıcıda sertliği ve kıvamı artırmış, sıcaklık hassasiyetini azaltmıştır.
- DSR deney sonuçlarından, katkı maddesinin asfaltın elastik özelliğini iyileştirerek yüksek sıcaklıklardaki tekerlek izi dayanımını önemli düzeyde arttırdığı görülmüş ayrıca istenilen şartname limitlerini sağladığı görülmüştür.
- RV deney sonuçlarından, katkı maddesinin orijinal asfaltta viskozite değerini arttırdığı belirlenmiş olup işlenebilirliği olumsuz etkilememiştir.
- RTFOT deneyi sonrası yapılan deney sonuçları RTFOT öncesi deney sonuçlarına göre paralellik göstermekte olup orijinal asfaltın yaşlanma direncini artırmış ve yapısını olumsuz yönde etkilememiştir.

Bütün deneyler bir bütün olarak değerlendirildiğinde kullanılan katkı maddesinin asfaltın kıvamını, stabilitesini, tekerlek izi ve yaşlanma direncini arttırdığı, sıcaklık hassasiyetini azalttığı tespit edilmiştir. En iyi sonuçlar %6 katkı içeriğinde yakalanmış olup optimum oran %6 olarak belirlenmiştir. MLS katkı maddesi, asfalt bağlayıcının bir takım özelliklerini iyileştirmiş olup söz konusu atık malzeme asfalt bağlayıcılarda kullanılarak tekrar değerlendirilebilir.

## 5. KAYNAKÇA

Alataş, T. ve Kizirgil, M. E. (2012). Saf ve Polimer Modifiyeli Bitümlü Bağlayıcıların Karıştırma ve Sıkıştırma Sıcaklıklarının Dönel Viskozimetre Deneyi ile Belirlenmesi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 28 (3), 249-256

Alı, M., Sreerkrshnan, T.R., 2001: Aquatic Toxiciry from Pulp and Paper Mill Effluents: A Review. Advances in Environmental Research 5, 175- 196. Elseiver Science

Abdullah, M. E., Zamhari, K. A., Hainin, M. R., Oluwasola, E. A., Hassan, N. A. ve Yusoff, N. I. Md. (2016b). Engineering Properties of Asphalt Binders Containing Nanoclay and Chemical Warm-Mix Asphalt Additives. Construction and Building Materials, 112, 232-240

Ahmedzade, P., Yılmaz, M. ve Yılmaz, M. (2007). Bitümlü Bağlayıcıların Yaşlandırılmasında Kullanılan Deney Yöntemlerinin Karşılaştırılması. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 23 (1-2), 112-126

Ahmedzade, P., Alataş, T. ve Geçkil, T. (2008). Asfalt Betonunda Siyah Karbonun Filler Olarak Kullanımı. İMO Teknik Dergi, 297, 4493-4507

Ahmedzade, P., Yılmaz, M. ve Yılmaz, M. (2007). Bitümlü Bağlayıcıların Yaşlandırılmasında Kullanılan Deney Yöntemlerinin Karşılaştırılması. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 23 (1-2), 112-126

Aksoy, A. (2002). Bitüm Reolojik Yapısının Bitümün Yaşlanmasına ve Kaplamanın Performansına Olan Etkisinin İncelenmesi, Uluslararası Trafik ve Yol Güvenliği Kongresi, Ankara

Aktar, T. 2011. Tarımsal yan ürünlerden düşük maliyetli yüksek gözenekli aktif karbonların hazırlanması, karakterizasyonu ve adsorpsiyon kapasiteleri. Ankara Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü Yüksek Lisans Tezi, 140 s., Ankara.

Altaş, Ö.Y., Bitümlü Malzemeler ve Karışım Şartnamelerinin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2002



Asfalt ve Uygulamaları, 2001, İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İSFALT Bilimsel Yayın No:1, İstanbul, 280s

Ayrilmis N, Laufenberg TL, Winandy JE 2009. Dimensional stability and creep behavior of heat-treated exterior medium density fiberboard, European Journal of Wood and Wood Products 67(3): 247-366, ISSN: 0018-3768

Balta, İ., Bitümlü Sıcak Karışımların Sudan Kaynaklanan Bozulmalara Karşı Duyarlılığı, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2004

Banoub JH, Delmas M 2003. JMS letters. Journal of mass spectrometry 38:900-903.  
Boonstra MJ 2008. A two-stage thermal modification of wood. Ph.D. dissertation in cosupervision Ghent University and Université Henry Poincaré - Nancy 1, 297 p. ISBN 978-90-5989-210-1

Bandosz, T.J. 2009. Activated Carbon Surfaces in Environmental Remediation. Elsevier Science and Technology Books, 571 p., United Kingdom

Bedük, T., Polimerler için Antistatik Katkı Malzemesi Olarak Lignin, Yüksek Lisans Tezi, 2018

Boerjan, W., Ralph, J., Baucher, M. 2003: Lignins Bios. Ann Rev. Plant biol. 54, 519-549

Bostancıoğlu, M., Bitkisel Atıklardan Elde Edilen Kimyasal Ürünler İle Bitümlü Sıcak Karışımların Mekanik Özelliklerinin Geliştirilmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2012

Bostancı, Ş. 1979. Türkiye Doğu Ladini (*Picea orientalis* (L.) Carr) Odununun kimyasal bileşimi ve Doğu Ladini ile Doğu Karadeniz Gökmarı (*Abies nodrmaniana*) Yongalarından elde edilen Mekanik Kağıt Hamurunun Endüstride Kullanım Olanakları, K.T.Ü. Orman Fakültesi, Yayın No:6, Trabzon, 1979

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Bitümlü Bağlayıcılar. [http://abs.mehmetakif.edu.tr/upload/0420\\_1759\\_dosya.pdf](http://abs.mehmetakif.edu.tr/upload/0420_1759_dosya.pdf), 22.06.2017

Büyükdere, B., Doğal Atık Materyal Lignininden Yüzey Aktif Madde Eldesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2011

Büyüksaraçoğlu, Y. (2009). Asphalt Yol İnşaatının Tedarik Zincirinin Simülasyon Tabanlı Modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 40.

Calvo-Flores, FG; Dobado, JA; Isac-García, J .; Martín-Martínez, FJ Lignin ve Yenilenebilir Hammaddeler Olarak Liganlar ; Wiley: Chichester, İngiltere, 2015.

Canovas, M., J., Sobrados, I., Sanz, J., Acosta, J., L., Linares, A., 2006: Proton mobility in hydrated sulfonated polystyrene NMR and impedance studies. Journal of Membrane Science 280, 461-469

Chakar, FS; Ragauskas, AJ Mevcut ve gelecekteki yumuşak ağaç kraft lignin işlem kimyasının gözden geçirilmesi. Ind. Prod. 2004 , 20 , 131-141

Çalgeriş, İ., Fındık Kabuğundan Lignin İzolasyonu ve Lignin/Nişasta Biyoçözünür Polimerlerin Elde Edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2010

Çevre ve Şehircilik Bakanlığının ÇED Alanında Kapasitesinin Güçlendirilmesi için Teknik Yardım Projesi (2007TR16IPO001.3.06/SER/42). Çevre ve Şehircilik Bakanlığı

Çubuk, M., Katkı Maddeleri ile Bitümün Reolojik Özelliklerinin Geliştirilmesi ve Esnek Kaplama Malzeme Oluşumunda Problemlerin Giderilmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2007

Davin, L. B., Lewis, N. G. 2005: „Lignin primary structures and dirigent sites“ . Current Opinion in Biotechnology 16(4), 407-415

Dilling, P. Ligninlerin Sülfonasyonu. ABD Patenti A5049661, 19 Ocak 1989

Engür, O., Kartal, N., 2001, Orman Ürünleri Endüstrisinde Çevre Kirliliği ve Kontrolü, İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi, 51(2)

Erişir, E., Alkali Sülfid Yönteminin Delignifikasyon Oranı ve Veriminin Arttırılması, Yüksek Lisans, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 2010

Geçkil, T., Siyah Karbonun Bitümlü Sıcak Karışımların Özelliklerine Etkisinin Araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2008

Gençtürk, G., Sönmüş Kireç İle Çimento Ve PR Plast Kullanımının Asfalt Kaplamaların Mekanik Özellikleri Üzerindeki Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2011

Gürbüz, H., Nanokil Kullanılarak Asfalt Bağlayıcı Özelliklerin İyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Bayburt Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bayburt, 2018

Hill, CAS 2006. Wood Modification: Chemical, Thermal and Other Processes, Wiley Series in Renewable Resources, John Wiley & Sons Inc., 260 pages, Chichester, UK. ISBN: 978-0-470-02172-9

Jin, Z., Matsumoto, Y., Tange, T., Akiyama, T., Higuchi, M., Ishii, T., Iiyama, K., 2005: Proof of the presence of guaiacyl-syringyl lignin in *Selaginella tamariscina*. *J Wood Sci* 51: 424-426

İlcalı, M., Tayfur, S., Özen, H., Sönmez, İ., Eren, K. ve Yıldız Teknik Üniversitesi Yayın Merkezi Başkanlığı (2001). Asfalt ve Uygulamaları (1. Baskı). İstanbul: İsfalt Bilimsel Yayın, 91-97

Kamdem DP, Pizzi A, Jermannaud A 2002. Durability of heat-treated wood. *Holz als RohundWerkstoff* 60: 1-6

Karahançer, Ş., Nano Modifiye Bitümlü Sıcak Bitümün Performansının Araştırılması, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2017

Karayolu Teknik Sarnamesi, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara, 2008

Klapiszewski, L., Jamrozik, A., Strzemiecka, B., Matykiewicz, D., Voelkel, A. ve Jesionowski, T. (2017). Activation of Magnesium of Lignosulfonate and Kraft Lignin: Influence on the Properties of Phenolic Resin-Based Composites for Potential

Applications in Abrasive Materials. *International Journal of Molecular Sciences*, 18 (6), 1224

Korkut, S., Kocaefe, D., Isıl İşlemin Odun Özellikleri Üzerine Etkisi, *Düzce Üniversitesi Ormancılık Dergisi*, 5(2), 11-34

Kök, B.V., Yılmaz, M. ve Kuloğlu, N., Asfaltitin Bitüm ve Bitümlü Sıcak Karışımların Mekanik Özelliklerine Etkisi, *İMO Teknik Dergi*, 371 (2012) 5813-5826

Kök, B.V., Yılmaz, M., Kuloğlu, N. ve Turgut, P., 2010. Laboratory Investigation of Syrian Natural Asphalt in Asphalt Concrete, 9th International Congress on Advances in Civil Engineering, Trabzon, Turkey, September, 27-30, 1-6.

Kuloğlu, N., Yılmaz, M. ve Kök, B. V. (2008). Farklı Penetrasyon Derecelerine Sahip Asfalt Çimentolarının Kalıcı Deformasyona Karşı Dayanımlarının ve İşlenebilirliklerinin İncelenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 13 (1), 81-91

Kutluhan, S., 2008. Bitümlü Sıcak Karışımlarda Tekerlek İz Oluşumunun Modellenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

Mandlekar, N., Cayla, A., Rault, F., Giraud, S., Salaün, F., Malucelli, G.ve G., J., Yangın Geciktirici Polimer Sistemlerinde Lignin ve Türevlerinin Kullanımına Genel Bir Bakış, 2018

Orhan, F., Bitümlü Karışımlar Laboratuvarı Çalışmaları, 2012, Karayolları Genel Müdürlüğü Oruç, S. ve Eren, Ü., 2008. Asfaltitin Asfalt Betonunda Mineral Filler Olarak Kullanılabilirliği, *Yapı Dünyası Dergisi*, 150, 10-14

Önal, M. A. ve Karaca, S., Asfalt Betonu ve Diğer Sıcak Karışım Tipleri İçin Karışım Dizayn Metotları, Karayolları Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara, 1990

Ren, J.L., and Sun, R.C., 2010. Cereal Straw as a Resource for Sustainable Biomaterials and Biofuels: Chemistry, Extractives, Lignins, Hemicelluloses and Cellulose. Elsevier Science and Technology Books, 300, United Kingdom.

Sağlık, A. (2009). Türkiye’de Üretilen Rafineri Bitümlerinin Karayolu Üstyapılarında Kullanımı için Performans Sınıflarının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 8, 11-12, 43-44, 63

Sernek M, Boonstra M, Pizzi A, Despres A, Gérardin P 2008. Bonding performance of heat treated wood with structural adhesives, European Journal of Wood and Wood Products 66(3): 163-242

Shell Bitüm El Kitabı, 2004, İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İSFALT Bilimsel Yayın No:3, İstanbul, 334s

Şahin, H. İ., 2006. Bambu (*Phyllostachys bambusoides*) nun sülfat kağıt hamuru üretim parametrelerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü

T.C. Dışişleri Bakanlığı, (2006). Türkiye’de Karayolu Taşımacılığı. [http://www.mfa.gov.tr/turkiye\\_de-karayolu-tasimaciligi-.tr.mfa](http://www.mfa.gov.tr/turkiye_de-karayolu-tasimaciligi-.tr.mfa), 22.06.2017

Tiryaki, B., Selüloz, Hemiselüloz ve Ligninden Aktif Karbon Üretimi Aktif Karbon Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2013

Tozluoğlu, A., Çöpür, Y., Özyürek, Ö. ve Çıtlak, S., Nanoselüloz üretim teknolojisi, Türkiye Ormancılık Dergisi, 2015, 16(2), 203-219

Tozoğlu, A., Şahin, H. ve Bekar, İ., Tarımsal Atık Bileşenlerinden Kimyasal ve Enerji Üretiminde Faydalanma, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, 2009, Karabük

TS 120 EN 1427, (2002). Bitümler ve Bitümlü Bağlayıcılar-Yumuşama Noktası Tayini-Halka ve Bilya Metodu, TSE, Ankara

Tunç, A., 2004, Esnek Kaplama Malzemeleri Elkitabı, Asil Yayın Dağıtım, Ankara, 352s

Türk Standardı TS EN 12593, Bitümler ve Bitümlü Bağlayıcılar-Fraass Kırılma Noktasının Tayini, Ankara, 2003

Uçar, G., 1989, Odun ve Orman Artıklarının Enerji ve Kimyasal Madde Kaynağı Olarak Değerlendirme Olanakları, İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi

Umar, F. ve Açar, E., Yol Üstyapısı, İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul, 1985

Uncu, D., Polimer Modifiye Bitüm Özelliklerinin Nanomalzemeler Kullanılarak İyileştirilmesi, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, İzmir, 2017

Uner, B., 2003, Kraft Hamurundan Kalıntı Ligninin İzole Edilmesi ve Yapısı, Süleyman Demirel Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi, 83-100

Whiteoak, D., “Shell Bitüm El Kitabı”, Abdullah Hilmi Lav, M.Ayşen Lav, İstanbul Büyükşehir Belediyesi İstanbul Asfalt Fabrikaları Sanayi ve Ticaret A.Ş., İstanbul, (2004)

Yılmaz, B., Bor İçerikli Organik Katkıyla Modifiye Edilen Asfaltın Performans Özelliklerinin Araştırılması, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2016

Yılmaz, M., Polyester Reçinenin Bitüm ve Bitümlü Sıcak Karışımlar Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2005

Yılmaz, M., Asfaltın Bitümlü Sıcak Karışımların Mekanik Özellikleri Üzerindeki Etkisinin Araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2011

## ÖZGEÇMİŞ

### **Nuray UĞURLU**

11.12.1994 yılında İstanbul'un Üsküdar ilçesinde doğdu. İlköğrenimini Pendik Ergenekon İlköğretim okulunda ve lise öğrenimini Gülizar Zeki Obdan Lisesi'nde tamamladı. 2012 yılında kazandığı Bayburt Üniversitesi'nde İnşaat Mühendisliği'ne başlayarak 2016 yılında buradan mezun oldu. 2017 yılında aynı üniversite olan Bayburt Üniversitesi'nde (Atatürk Üniversitesi Ortak Program) Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ulaştırma Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı.