

**T.C.  
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SBS, EVA VE REAKTİF TERPOLİMER KULLANILARAK  
BİTÜM MODİFİKASYONU**

**MİNE DEMİR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN  
YRD. DOÇ. DR. SEYFULLAH KEYF**

**İSTANBUL, 2011**

**T.C.**  
**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SBS, EVA VE REAKTİF TERPOLİMER KULLANILARAK**  
**BITÜM MODİFİKASYONU**

Mine DEMİR tarafından hazırlanan tez çalışması 20.10.2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı**

Yrd. Doç. Dr. Seyfullah KEYF

Yıldız Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri**

Yrd. Doç. Dr. Seyfullah KEYF

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ülker BEKER

Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Ayfer SARAÇ

Yıldız Teknik Üniversitesi

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## ÖNSÖZ

---

Bu çalışma kapsamında stiren bütadien stiren (SBS), etilen vinil asetat (EVA) ve reaktif elastomerik terpolimer kullanılarak bitüm modifiye edilmiştir. Modifiye edilen bitümün fiziksel özellikleri geliştirilmiştir. Karayolu üst yapısında kullanılan bitümün performansının artırılarak kullanım ömrünün uzatılması hedeflenmiştir.

Tez çalışmam boyunca hiçbir konuda desteğini esirgemeyen, çalışmanın her aşamasında bana destek olan, tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Seyfullah KEYF'e katkılarından dolayı en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarım süresince penetrasyon, yumuşama noktası, duktilite ve elastik deri dönme testlerinin yapılması için laboratuvarını açan Göçay-Güriş ortaklığına teşekkür ederim.

Ayrıca yaşamım boyunca sevgi ve desteklerini esirgemeyen, çalışmalarım süresince ve hayatımın her aşamasında benim yanımda olan sevgili aileme teşekkürlerimi sunarım.

Ağustos, 2011

Mine DEMİR

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	Vii
KISALTIMA LİSTESİ .....	Viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ .....	xi
ÖZET .....	xii
ABSTRACT.....	xiii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ .....	1
1.1    Literatür Özeti.....	1
1.2    Tezin Amacı.....	4
1.3    Orijinal Katkı .....	5
BÖLÜM 2	
BİTÜM.....	6
2.1    Bitümün Kimyasal Bileşimi.....	7
2.2    Bitümün Yapısı .....	9
2.2.1    Asfaltenler.....	12
2.2.2    Reçineler .....	13
2.2.3    Aromatikler .....	13
2.2.4    Doymuş Hidrokarbonlar .....	13
2.3    Bitümün Reolojisi .....	14
2.4    Bitümün Bileşimi ve Reolojisi Arasındaki İlişki .....	14
2.5    Bitümün Kimyasal Bileşimi ile Fiziksel Özellikleri Arasındaki İlişki .....	16
BÖLÜM 3	
BİTÜMÜN ÖZELLİKLERİ .....	18
3.1    Bitüm Özelliklerinin Belirlenmesi.....	18

3.1.1	Penetrasyon Deneyi .....	19
3.1.2	Yumuşama Noktası Deneyi .....	20
3.1.3	Düktilite Deneyi.....	21
3.1.4	Elastik Geri Dönme Deneyi .....	22
3.2	Bitümlü Karışımlardan Beklenen Özellikler .....	22
3.2.1	Stabilite .....	23
3.2.2	Durabilite (Dayanıklık).....	23
3.2.3	Geçirimsizlik.....	24
3.2.4	İşlenebilirlik .....	24
3.2.5	Esneklik .....	25
3.2.6	Yorulma Mukavemeti .....	25
3.2.7	Kayma Direnci .....	26
BÖLÜM 4		
BİTÜMÜN MODİFİKASYONU .....		
4.1	Katkı Maddelerinin Bitümlü Karışımlardaki Rolü .....	28
4.2	Bitümlü Bağlayıcıların Modifiye Edilme Nedenleri .....	30
4.3	Bitümün Modifikasyon Yöntemleri.....	31
4.4	Bitüm Katkı Maddelerinde Aranan Özellikler.....	32
4.5	Modifiye Bitümlerde Aranan Genel Özellikler .....	32
4.6	Modifiye Bitümlerde Aranan Teknik Özellikler .....	32
4.7	Bitümlü Bağlayıcıların Modifikasyonu İçin Kullanılan Katkılar .....	34
BÖLÜM 5		
POLİMERLER VE GENEL ÖZELLİKLERİ .....		
5.1	Polimerlerin Sınıflandırılması.....	36
5.2	Polimerlerin Genel Özellikleri.....	38
5.3	Polimer Modifiye Bitümlerde Kullanılan Polimerlerin Sınıflandırılması ..	39
5.3.1	Termoplastikler .....	39
5.3.2	Termosetler .....	39
5.3.3	Elastomerler .....	40
BÖLÜM 6		
DENEYSEL ÇALIŞMA .....		
6.1	Polimer Modifiye Bitümlerde Kullandığımız Polimerler .....	41
6.1.1	Elvaloy RET .....	41
6.1.1.1	Elvaloy RET'in Kimyasal Bileşimi.....	42
6.1.1.2	Elvaloy RET'in Yaşlanma ve Oksidasyona Direnci .....	43
6.1.1.3	Elvaloy RET'in Asfaltla Kimyasal Reaksiyonu.....	43
6.1.2	Stiren Bütadien Stiren (SBS) .....	44
6.1.2.1	Stiren Bütadien Stirenin Bitümle Karıştırılması.....	46
6.1.2.2	Elvaloy RET'in Stiren Bütadien Stiren Kopolimerleriyle Karşılaştırılması .....	46
6.1.3	Etilen Vinil Asetat (EVA).....	47
6.2	DeneySEL Çalışmada Kullanılan Kimyasalların Özellikleri .....	49
6.2.1	Bitüm .....	49
6.2.2	Elvaloy RET .....	50

6.2.3	Stiren Bütadien Stiren (SBS) .....	50
6.2.4	Etilen Vinil Asetat (EVA).....	51
6.2.5	Süper Polifosforik Asit .....	51
6.3	Deneyin Yapılışı .....	52
6.4	Kullanılan Cihazlar .....	52
BÖLÜM 7		
SONUÇLAR VE TARTIŞMA .....		53
7.1	Değişen SBS Oranının Etkisi.....	54
7.1.1	Penetrasyon Sonuçları.....	54
7.1.2	Yumuşama Noktası Sonuçları .....	55
7.1.3	Düktilite Sonuçları.....	56
7.1.4	Elastik Geri Dönme Sonuçları .....	57
7.2	Değişen EVA Oranının Etkisi.....	58
7.2.1	Penetrasyon Sonuçları.....	58
7.2.2	Yumuşama Noktası Sonuçları .....	59
7.2.3	Düktilite Sonuçları.....	60
7.2.4	Elastik Geri Dönme Sonuçları .....	61
7.3	Değişen Elvaloy RET Oranının Etkisi.....	62
7.3.1	Penetrasyon Sonuçları.....	62
7.3.2	Yumuşama Noktası Sonuçları .....	63
7.3.3	Düktilite Sonuçları.....	64
7.3.4	Elastik Geri Dönme Sonuçları .....	65
7.4	FT-IR Sonuçları .....	66
7.5	TGA ve DTA Sonuçları .....	68
BÖLÜM 8		
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....		74
KAYNAKLAR .....		76
EK A		
FT-IR SONUÇLARI.....		80
ÖZGEÇMİŞ .....		83

## SİMGE LİSTESİ

---

$\eta_r$	Geri kazanılmış viskozite
$\eta_0$	Orijinal viskozite

## KISALTMA LİSTESİ

---

ABS	Akrilonitril bütadien stiren
BR	Polibütadien
DTA	Diferansiyel Termal Analiz
DTG	Diferansiyel Termogravimetrik Analiz
EBA	Etilen bütül akrilat
EGA	Etilen/glisid/akrilat
EPDM	Etilen propilen di-monomer
EVA	Etilen vinil asetat
EVA-g-MAH	Maleik anhidritle aşılınmış etilen vinil asetat
FT-IR	Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi
GMA	Glisid metakrilat
IIR	İsobütadien-isopren kauçuk
JEL	Jelatin
KGM	Karayolları Genel Müdürlüğü
LDPE	Düşük yoğunluklu polietilen
MFI	Erime akış indeksi
NR	Doğal kauçuk
nBA	n-Bütül akrilat
PA	Poliamit
PC	Polikarbonat
PE	Polietilen
PMB	Polimerle modifiye edilmiş bitüm
PP	Polipropilen
PTFE	Poli tetra flor etilen
PVC	Polivinil klorür
Elvaloy RET	Reaktif elastomerik terpolimer
RTFOT	Rolling Thin Film Oven Test
SBR	Stiren-bütadien kauçuğu
SBS	Stiren bütadien stiren
SEBS	Stiren etilen-bütülen stiren
SIS	Stiren izopren stiren
SOL	Çözelti
SPFA	Süper polifosforik asit
TG	Termogravimetri
TGA	Termogravimetrik Analiz
VMA	Mineral agregalar arası boşluk



## ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1	Bitüm üretiminin şematik gösterimi ..... 7
Şekil 2.2	SOL tipi bitümler ..... 10
Şekil 2.3	JEL tipi bitümler ..... 11
Şekil 2.4	Asfaltın, reçineler, aromatikler ve doymuş hidrokarbonlar içeren bitümün öngörülen yapıları..... 12
Şekil 2.5	Asfaltın kimyasal yapısı..... 12
Şekil 2.6	Aromatiklerin kimyasal yapısı..... 13
Şekil 2.7	Doymuş hidrokarbonların kimyasal yapısı ..... 14
Şekil 2.8	Karıştırma, serme ve hizmet aşamalarında bitüm kompozisyonundaki değişimler ..... 16
Şekil 3.1	Penetrasyon ölçüm cihazı ..... 19
Şekil 3.2	Yumuşama noktası cihazı ..... 20
Şekil 3.3	Düktilite cihazı..... 21
Şekil 3.4	Düktilite cihazı kalıp mekanizması..... 21
Şekil 4.1	Statik yüklemeye viskoelastik tepki ..... 29
Şekil 4.2	Hareketli tekerlek yüküne viskoelastik tepki..... 29
Şekil 5.1	Stiren monomerinden polistirenin oluşumunun şematik gösterimi ..... 36
Şekil 6.1	Elvaloy RET'in fiziksel görünüşü ..... 41
Şekil 6.2	Reaktif elastomerik terpolimerin (Elvaloy RET) yapısı ..... 42
Şekil 6.3	Asfaltın Elvaloy RET ile reaksiyonu ..... 43
Şekil 6.4	EGA (etilen/glisid/akrilat) polimerinin karboksilli asit grubu içeren Asfaltın molekülüyle öngörülen reaksiyon ..... 44
Şekil 6.5	Stiren bütadien stirenin fiziksel görünüşü ..... 44
Şekil 6.6	SBS'nin molekül yapısı ..... 45
Şekil 6.7	Saf bitümün molekül yapısı ..... 45
Şekil 6.8	SBS ile modifiye edilmiş asfaltın molekül yapısı..... 46
Şekil 6.9	Etilen vinil asetatın yapısı..... 47
Şekil 7.1	Farklı SBS oranlarıyla hazırlanan bitümlere ait penetrasyon sonuçları . 54
Şekil 7.2	Farklı SBS oranlarıyla hazırlanan bitümlere ait yumuşama noktası sonuçları..... 55
Şekil 7.3	Farklı SBS oranlarıyla hazırlanan bitümlere ait düktilite sonuçları ..... 56
Şekil 7.4	Farklı SBS oranlarıyla hazırlanan bitümlere ait elastik geri dönme sonuçları..... 57
Şekil 7.5	Farklı EVA oranlarıyla hazırlanan bitümlere ait penetrasyon sonuçları..... 58

Şekil 7.6	Farklı EVA oranlarıyla hazırlanan bitümlere ait yumuşama noktası sonuçları.....	59
Şekil 7.7	Farklı EVA oranlarıyla hazırlanan bitümlere ait düktilite sonuçları .....	60
Şekil 7.8	Farklı EVA oranlarıyla hazırlanan bitümlere ait elastik geri dönme sonuçları.....	61
Şekil 7.9	Farklı Elvaloy RET oranlarıyla hazırlanan bitümlere ait penetrasyon sonuçları.....	62
Şekil 7.10	Farklı Elvaloy RET oranlarıyla hazırlanan bitümlere ait yumuşama noktası sonuçları .....	63
Şekil 7.11	Farklı Elvaloy RET oranlarıyla hazırlanan bitümlere ait düktilite sonuçları.....	64
Şekil 7.12	Farklı Elvaloy RET oranlarıyla hazırlanan bitümlere ait elastik geri dönme sonuçları .....	65
Şekil 7.13	Hazırlanan bitümlerin karşılaştırmalı FTIR'ları .....	67
Şekil 7.14	50/70 bitümün DTA ve TG termogramları.....	68
Şekil 7.15	%2 Elvaloy RET 1 numaralı örneğin DTA ve TG termogramları .....	69
Şekil 7.16	%2 Elvaloy RET 2 numaralı örneğin DTA ve TG termogramları .....	70
Şekil 7.17	%2 Elvaloy RET 4 numaralı örneğin DTA ve TG termogramları .....	71
Şekil 7.18	%2 Elvaloy RET 6 numaralı örneğin DTA ve TG termogramları .....	72
Şekil A.1	50/70 bitümün FTIR'ı.....	80
Şekil A.2	%2 Elvaloy RET 1 numaralı örneğin FTIR'ı.....	81
Şekil A.3	%2 Elvaloy RET 2 numaralı örneğin FTIR'ı.....	81
Şekil A.4	%2 Elvaloy RET 4 numaralı örneğin FTIR'ı.....	82
Şekil A.6	%2 Elvaloy RET 6 numaralı örneğin FTIR'ı.....	82

## ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1	Bitümlerin elementel analiz sonuçları ..... 8
Çizelge 2.2	100 penetrasyonlu bitümün 4 yapı grubunun elementel analizi ..... 9
Çizelge 4.1	KGM modifiye bitüm şartname limitleri ..... 33
Çizelge 4.2	Bitüm katkı maddelerinin genel sınıflandırılması ..... 34
Çizelge 6.1	Elvaloy RET'in kimyasal bileşimi..... 42
Çizelge 6.2	50/70 penetrasyonlu bitümün özellikleri ..... 49
Çizelge 6.3	Elvaloy RET'in özellikleri ..... 50
Çizelge 6.4	SBS'in özellikleri ..... 50
Çizelge 6.5	EVA'nın özellikleri ..... 51
Çizelge 6.6	Süper polifosforik asidin özellikleri ..... 51
Çizelge 7.1	Farklı SBS oranlarıyla hazırlanan bitümlere ait penetrasyon sonuçları..... 54
Çizelge 7.2	Farklı SBS oranlarıyla hazırlanan bitümlere ait yumuşama noktası sonuçları..... 55
Çizelge 7.3	Farklı SBS oranlarıyla hazırlanan bitümlere ait düktilite sonuçları ..... 56
Çizelge 7.4	Farklı SBS oranlarıyla hazırlanan bitümlere ait elastik geri dönme sonuçları..... 57
Çizelge 7.5	Farklı EVA oranlarıyla hazırlanan bitümlere ait penetrasyon sonuçları..... 58
Çizelge 7.6	Farklı EVA oranlarıyla hazırlanan bitümlere ait yumuşama noktası sonuçları..... 59
Çizelge 7.7	Farklı EVA oranlarıyla hazırlanan bitümlere ait düktilite sonuçları .... 60
Çizelge 7.8	Farklı EVA oranlarıyla hazırlanan bitümlere ait elastik geri dönme sonuçları..... 61
Çizelge 7.9	Farklı Elvaloy RET oranlarıyla hazırlanan bitümlere ait penetrasyon sonuçları..... 62
Çizelge 7.10	Farklı Elvaloy RET oranlarıyla hazırlanan bitümlere ait yumuşama noktası sonuçları ..... 63
Çizelge 7.11	Farklı Elvaloy RET oranlarıyla hazırlanan bitümlere ait düktilite sonuçları..... 64
Çizelge 7.12	Farklı Elvaloy RET oranlarıyla hazırlanan bitümlere ait elastik geri dönme sonuçları..... 65

## ÖZET

---

# SBS, EVA VE REAKTİF TERPOLİMER KULLANILARAK BİTÜM MODİFİKASYONU

Mine DEMİR

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı  
Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Seyfullah KEYF

Bu çalışmada 50/70 penetrasyonlu TÜPRAŞ bitümü modifiye edildi. Bitüm modifiyesi için DUPONT firmasının reaktif elastomerik terpolimer (Elvaloy RET) , stiren bütadien stiren (SBS) ve etilen vinil asetat (EVA) polimerleri kullanıldı. Elde edilen modifiye bitüm karışımından farklı sürelerde numuneler alındı. Her bir numuneye penetrasyon, yumuşama noktası, duktilite ve elastik geri dönme testleri yapıldı. Saf bitüm, %2 Elvaloy RET, %1 SBS ve %1 EVA içeren modifiye bitümden gerekli görülen numunelere IR spektrumu (FT-IR) ve termogravimetrik analiz / diferansiyel termal analiz (TG/DTA) yapıldı. Bitüm modifiye edildikten sonra penetrasyon ve duktilite değerinin azaldığı, yumuşama noktası ve elastik geri dönmenin arttığı belirlendi.

**Anahtar Kelimeler:** bitüm modifiyesi, polimer, penetrasyon, yumuşama noktası, duktilite, elastik geri dönme

---

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

## ABSTRACT

---

### THE BITUMEN MODIFICATION BY USING REACTIVE TERPOLYMER AND SBS, EVA

Mine DEMİR

Department of Chemical Engineering  
MSc. Thesis

Advisor: Assist. Prof. Dr. Seyfullah KEYF

In this study, 50/70 penetration graded bitumen was modified. Reactive elastomeric terpolymer (Elvaloy RET) of DUPONT company, styrene butadiene styrene (SBS) and ethylene vinyl acetate (EVA) polymers were used in bitumen modification. Samples were taken from the obtained modified bitumen mixture in specified hours. Penetration, softening point, ductility and elastic recovery tests were applied on each sample. The samples of pure bitumen, modified bitumens of 2% Elvaloy RET, 1% SBS and 1% EVA as deemed necessary were analyzed by means of IR spectroscopy (FT-IR) and thermogravimetric analysis / differential thermal analysis (TG/DTA). The virgin bitumen was modified, and it was determined that penetration and ductility values were decreased while softening point and elastic recovery were increased.

**Key Words:** Bitumen modification, polymer, penetration, softening point, ductility, elastic recovery.

---

YILDIZ TECHNICAL UNIVERSITY  
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE

#### 1.1 Literatür Özeti

Bitümler mineral kümelenmelerine iyi adezyon göstermeleri ve viskoelastik özellikleri nedeniyle yolların döşenmesinde sıklıkla kullanılırlar. Günümüzde trafik yoğunluğunun artması, ağır araçların çokluğu, yeni aks tasarımları ve yüksek lastik basınçları otoyolların daha dayanıklı yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Bu sebeple varolan asfalt maddelerinin özelliklerinin geliştirilmesi zorunlu hale gelmiştir. Asfaltın performansını artırmak için baz bitümlere genellikle polimerler eklenir. Polimerle modifiye edilmiş bitümler saf hallerine göre düşük ısıl hassaslık ve kalıcı deformasyon gösterirken, düşük sıcaklıklarda parçalanmaya karşı daha dayanıklıdırlar [1].

Bitüm modifikasyonunda kullanılan polimerler iki kategori altında sınıflandırılabilir: termoplastik elastomerler ve plastomerler. Termoplastik elastomerler kopolimerler bitüm modifikasyonunda çok sık kullanılmaktadır. Poli (stiren bütadien stiren) (SBS) bu grupta özellikle tercih edilen bir polimer konumundadır. Poli (stiren izopren stiren) (SIS)'de aynı kopolimer grubuna dahil olup sıklıkla kullanılmaktadır. Asfalt modifikasyonunda kullanılan plastomerik polimerler için ise polietilen (PE), etilen vinil asetat (EVA) ve etilen bütül akrilat (EBA) örnek verilebilir. Bitüm-polimer etkileşimleri bir çok durumda fizikseldir ve polimer yapısına bağlıdır [1].

Günümüzde, yeni bir bitüm modifiye edici olan reaktif polimer test edilmektedir. Bu tipte bir kopolimer bitüm molekülleri ile kimyasal bağlar oluşturabilen fonksiyonel gruplar içermektedir. Reaktif polimerlere örnek olarak maleik anhidrid ve epoksi halkaları içeren etilen bazlı kopolimerler kullanılarak fonksiyonelleştirilmiş termoplastik elastomerler gösterilebilir. İkinci seçenek olarak bahsedilenler ticari olarak

mevcuttur ve etilen, glisidil metakrilat (GMA) ve bir ester grubunun (genellikle metil, bütül akrilat) rastgele terpolimeridir. Kompozisyonları sebebiyle sıklıkla reaktif etilen terpolimerleri olarak adlandırılırlar [1].

Luo ve Chen (2011) çalışmalarında bitümü EVA ve EVA-g-MAH polimerleri kullanarak modifiye etmişlerdir. Performansları karşılaştırmak amacıyla, yumuşama noktası, düktilite ve depolama kararlılığını test etmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlar EVA-g-MAH ile modifiye edilen bitümün daha düşük ısıl duyarlığa sahip olduğunu ve kalıcı deformasyona daha dayanıklı olduğunu göstermiştir. Elde ettikleri TG ve DTG eğrileri sonucunda EVA-g-MAH ile modifiye edilen bitümün daha yüksek ısıl kararlılığa sahip olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca, farklı orijindeki bitümler ile benzer çalışmaların yürütülmesini önermişlerdir [1].

Airey (2004) çalışmasında iki farklı ham petrol kaynağından temin ettiği bitüm numunelerini üç farklı SBS içeriği kullanarak modifiye etmiştir. Modifiye edilmiş bitümlerin reolojik özelliklerini dinamik mekanik analiz ile incelemiştir. Çalışması sonucunda modifikasyon derecesinin bitüm kaynağı, bitüm-polimer bağdaşımı ve polimer konsantrasyonunun fonksiyonu olduğunu bildirmiştir. Polimer konsantrasyonu ve bitüm-polimer bağdaşımı sürekli bir polimer ağının kurulmasına uygun olduğunda, modifikasyonun özellikle yüksek sıcaklıklarda viskoziteyi, elastik geri kazanımı ve bükülmezliği arttıran yüksek derecede elastik bir ağ oluşumu ile sağlandığını belirtmiştir [2].

Gonzalez ve çalışma arkadaşları (2004) çalışmalarında 60/70 penetrasyon indeksli bitümü EVA ya da geri dönüştürülmüş EVA ile modifiye etmişlerdir. Düşük sıcaklıklarda parçalanmanın ve yüksek sıcaklıklarda iz oluşumunun azaldığını bildirmişlerdir. Geri dönüştürülmüş EVA ile modifiye edilmiş bitümün daha iyi viskoelastik özellikler gösterdiğini belirlemişler ve bunu polimer yapısında bulunup bir dolgu maddesi görevini gördüğünü düşündükleri karbon siyahına bağlamışlardır. Osilatuar akışı ve mikroskop kullanarak yaptıkları kararlılık testlerinde yüksek polimer oranına (%3) sahip karışımların 165°C'de 24 saat depolandıklarında faz ayrımına duyarlı oldukları, %1'lik karışımların ise en azından 4 gün süreyle kararlı olduğunu tespit etmişlerdir [3].

Lu ve Isacson (2001) bitümün modifiyesinde çeşitli termoplastik elastomerleri (SBS, SEBS, EVA, EBA) kullanmışlardır. Elde ettikleri ürünlerin temel özelliklerini

(morfoloji, reoloji, yaşlanma) floresans mikroskopisi, dinamik mekanik analiz, sünme testi ve jel permeasyon kromatografisini kullanarak çalışmışlardır. Modifiye bitümlerin morfolojik ve reolojik özelliklerinin polimer karakteristiği ile miktarından ve bitümün yapısından etkilendiğini bildirmişlerdir. Yeterli miktarda polimer içeriği kullanılarak (yaklaşık %6) sürekli polimer fazı oluşturulduğunda, karışımların reolojik özelliklerinin belirgin bir şekilde geliştiğini gözlemlemişlerdir. Belirli bir polimer miktarında, SBS ve SEBS içeren karışımların EVA ve EBA içeren karışımlara göre oldukça farklı reolojik davranışlarda bulunduğunu tespit etmişlerdir. Yaşlanma özelliğinin de kullanılan polimer çeşidinden kuvvetlice etkilendiği belirttikleri sonuçlar arasındadır. Yaşlanma esnasında gerçekleşen reolojik değişimleri bitümün oksitlenmesine ve/veya polimerin bozunmasına bağlamışlardır. Ayrıca, yaşlanma etkisinin test koşullarından (örneğin sıcaklık) etkilendiği rapor edilen bilgiler arasındadır [4].

Doğan (2006) üç farklı polimer ve dört farklı polimer konsantrasyonunda çalışarak polimer tipinin ve konsantrasyonunun bitüm kompozitlerinin özellikleri üzerindeki etkisini araştırmıştır. Polimer olarak düşük yoğunluklu polietilen (LDPE), stiren bütadien stiren kopolimeri (SBS) ve etilen vinil asetatı (EVA) seçmiş, polimer hacimlerini bitüm hacminin %5, %10, %20 ve %50'si olacak şekilde ayarlamıştır. Test sonuçlarına göre, polimer eklenmesinin mekanik özellikleri artırırken, eriyik akış indeksi ile ısıl kararlılığı azalttığını belirlemiştir. Morfolojik analizler sonucunda, bitüm hacminin %20'sine ulaşan LDPE ve EVA içerikli kompozitlerin gerilimle kırılmış yüzeylerinde fibrilasyon oluştuğunu belirtmiştir [5].

Metli (2007) çalışmasında SBS bazlı polimeri ağırlıkça %2, %3, %4, %5 ve %6 oranlarında saf bitüme ekleyerek 5 ayrı tip modifiye bitüm elde etmiştir. Elde ettiği modifiye bitümler ve saf bitüm ile penetrasyon, yumuşama noktası, ince film halinde ısıtma, ince film halinde ısıtma sonrası penetrasyon, ince film halinde ısıtma sonrası yumuşama noktası ve depolanabilirlik stabilitesi deneyleri yapmıştır. Modifiye ve saf bitümü kullanarak 54 adet Marshall briketi üretmiş ve bu briketlerin üçte birini kısa dönem yaşlandırmış, üçte birini ise uzun dönem yaşlandırmıştır. Sonrasında bütün bu numuneleri indirek çekme gerilmesine tabii tutmuştur. Yapmış olduğu laboratuvar testlerine dayanarak, SBS bazlı katkının bitümün sertliğini ve yapışkanlığını artırarak (penetrasyon testi), yüksek sıcaklıklarda dayanıklılığını artırarak (yumuşama noktası testi), ve yaşlanmaya karşı direncini arttırmak (ince film fırın testi) suretiyle bitümün reolojik özelliklerini geliştirdiğini belirtmiştir. Maksimum kaplama performansının ve



minimum modifikasyon maliyetlerinin sağlandığı optimum polimer içeriğinin saf bitüm ağırlık miktarının %3'ü olarak bildirmiştir [6].

Çubuk (2007) çalışmasında katkı maddeleri ilave ederek bitümün modifiye edilmesini ve bu katkı maddelerinin bitümün reolojik özelliklerine etkisinin incelenmesini hedeflemiştir. Katkı maddeleri olarak termoset grubu polimerlerden epoksi reçinesi, fenolformaldehit, termoplastik grubu polimerlerden ticari adıyla teflon olarak bilinen politetrafloretillen (PTFE) ve Mg abietat bileşiğini kullanmıştır. Deneysel çalışmaları sonucunda katkıların bitümün reolojik özelliklerini geliştirdiğini tespit etmiştir. Kütlece %2'lik epoksi reçinesinin bitümün viskozitesini artırdığını, adezyon özelliklerini geliştirdiğini ve tekerlek izi, yorulma çatlakları, soyulma direnci ve stabilitesini artırdığını; benzer kütlece %2'lik fenolformaldehit eklenmesinin bitümün viskozitesini artırdığını, adezyon özelliklerini geliştirdiğini ve tekerlek izi, yorulma çatlakları, soyulma direnci ve stabilitesini artırdığını rapor etmiştir. Kütlece %3'lük PTFE katkısının bitümün viskozitesini artırdığı, tekerlek izi ve yorulma çatlaklarına direnci artırdığı; Mg abietat bileşiğinin ise bitümün adezyonunu geliştirerek soyulma direncini artırdığı verdiği bilgiler arasındadır [7].

Selvavathi ve arkadaşları çalışmalarında (2002) 60/70 ve 80/100 özellikteki asfalt örneklerini %1,5, %2,0 ve %2,5 reaktif etilen terpolimeri ile modifiye etmişlerdir. Penetrasyon testlerinden çıkardıkları sonuç, asfaltın tipine bağlı olmaksızın (60/70 ya da 80/100), modifiye edicinin konsantrasyonu arttıkça modifiye edilmiş bitümün penetrasyonun azaldığı yönündedir. Ancak belirli bir modifiye edici konsantrasyonuna ulaşıldıktan sonra, penetrasyondaki azalış çok düşük miktarlarda olmaktadır. Modifiye edilmiş bitümün yumuşama noktasının orijinal bitüme göre arttığını gözlemlemişlerdir. Yumuşama noktasındaki belirgin bir artışın %2'lik etilen terpolimer ile sağlandığını belirtmişlerdir. Modifiye edilmiş bitümün düktilite değerlerinde bir düşüş tespit etmediklerini ve orijinal bitümün düktilite değerlerinde olduğunu belirtmişlerdir [8].

## **1.2 Tezin Amacı**

Karayollarında asfalt yapımı, binalarda izolasyon malzemesi olarak kullanılan bitümün modifiye edilerek; sıcaklığa karşı dayanım; mekanik çekme ve darbelere dayanım; elastikiyet özelliğini arttırmak, ayrıca havanın oksijenine ve neme karşı dayanımını arttırmak hedeflenmiştir. Bitümün kullanım ömrünü uzatarak, maliyetin azaltılmasına katkı sağlamaktır.

### **1.3 Orijinal Katkı**

Bitüm modifiyesinde çok farklı polimer karışımları kullanılmıştır. Bitüm modifiye edilerek fiziksel ve kimyasal özellikleri geliştirilmiştir. Bu çalışmada kullanılan SBS, EVA ve Elvaloy RET polimerleri ilk kez bir arada bitüm modifiyesi için çalışılmıştır. Elvaloy RET'in bitümün yük altında darbe dayanımı ve sıcaklığa karşı dayanımını arttırması, SBS'in bitüme elastikiyet verme özelliğiyle beraber EVA'ın yapışma özellikleri birleştirilerek bitüm modifiye edilmiştir.

## BÖLÜM 2

---

### BITÜM

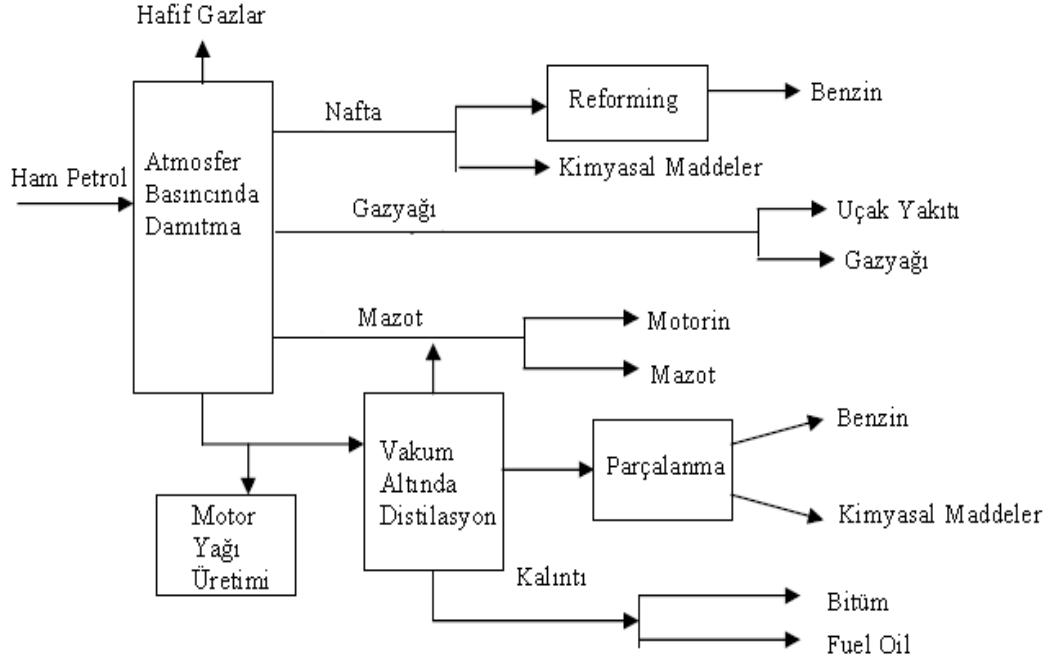
Bitüm, yol üst yapısında kullanılan en önemli bağlayıcıdır. Doğal kökenli hidrokarbonların bir karışımı ya da pirojenik kökenli hidrokarbonların bir karışımı veya bunların her ikisinin bir kombinasyonu olup, çok defa bunların gaz, sıvı, yarı katı ya da katı olabilen, metal dışı türevleriyle bir arada bulunan, yapıştırıcı özellikleri olan ve karbon disülfürde tamamen çözünen madde olarak tanımlanır [9].

Bitümlü bağlayıcılar esas olarak asfaltlar ve katranlar olmak üzere iki ana gruba ayrılırlar. Asfaltlarda doğal asfaltlar ve yapay asfaltlar olmak üzere iki grupta sınıflandırılabilir. Doğal asfaltlar, mineral maddeler ile karışmış halde bulunan kaya ve göl asfaltlarıdır. Yapay asfaltlar ise ham petrolün damıtılmasından elde edilir [10].

Katran ise başlıca kömürün veya odunun kapalı bir sistem içerisinde kuru kuruya damıtılmasından elde edilir [10].

Bitüm, genel olarak doğal kaynaklıdır. En zengin bitüm kaynağı ise ham petroldür [10].

Şekil 2.1'de ham petrolden bitüm üretiminin basit bir şematik gösterimi verilmektedir.



Şekil 2.1 Bitüm üretiminin şematik gösterimi [10]

Atmosferik veya vakum damıtması sonucu elde edilen dip ürün büyük ölçüde bitüm içerir. Damıtma ile elde edilen bitüm yol yapımında kullanılanlardan farklıdır. Bitüm özelliklerini geliştirici bir işlemde geçirerek yol yapım malzemesi olarak kullanılması mümkündür [10].

Yol yapımı için kullanılacak bitümlerde aranan özellikler [11] ise;

- Düktilite özelliğinin fazla olması,
- Yumuşama sıcaklığının yüksek olması,
- Maddeye şekil verilen sıcaklık aralığının geniş olması,
- Yapışabilme özelliği

dir. Bu fiziksel özelliklerin yanında aranan en önemli kimyasal özellikte bitümün hava ve toprağın oksijen ve nemine karşı yüksek bir oksitlenme direncine sahip olmasıdır. Bu özellikler bitüme 150-350°C arasında 2-24 saat süre ile hava üfleyerek kazandırılır [11].

## 2.1 Bitümün Kimyasal Bileşimi

Bitüm, hidrokarbon molekülleri ile yapısal olarak benzer heterosiklik türler ve kükürt, oksijen ve azot atomları içeren fonksiyonel grupların kompleks bir kimyasal karışımıdır. Bitüm aynı zamanda çok az miktarda oksitler ve inorganik tuzlar ya da kalsiyum, nikel,

demir, vanadyum ve magnezyum gibi metaller de içermektedir. Ham petrolerden elde edilen bitümlerin analiz sonuçları genel olarak Çizelge 2.1'deki elementleri içermektedir [10].

Çizelge 2.1 Bitümlerin elementsel analiz sonuçları [9]

<b>Element</b>	<b>Kütle yoğunluk %'si</b>
Karbon	82-88
Hidrojen	8-11
Sülfür	0-6
Oksijen	0-1,5
Nitrojen	0-1

Bitümün kesin kompozisyonu, malzemenin elde edildiği ham petrolün kaynağına, daha sonra imalat sırasında yapılan değişime (hava üfleme ve diğer modifiye işlemleri) ve ardından kullanma süresince meydana gelen yaşlanmaya göre değişiklik gösterir [12].

Bitümün kimyasal kompozisyonu oldukça karmaşık olduğundan malzemenin tam bir kimyasal analizi oldukça zahmetli incelemeler gerektirmekte ve sonuçta reolojik özelliklerle korelasyonu imkansız hale getirecek miktarda çok veri ortaya çıkmaktadır. Fakat bitümü asfaltlenler ve maltenler olarak adlandırılan iki geniş kimyasal guruba ayırmak mümkündür. Maltenler de ayrıca, doymuşlar, aromatikler, ve reçineler olarak alt gruplara ayrılır. Bu tür gruplandırmalar sayesinde bitüm reolojisi geniş, çok sayıdaki kimyasal kompozisyonlar ile karşılaştırılabilir [12].

Bitümü fraksiyonlarına ayırmak için kullanılan yöntemler şu şekilde sınıflandırılır [12]:

1. Çözücü kullanarak ayırmak
2. İnce şekilde bölünmüş katılar tarafından adsorbsiyon ve filtreleme yoluyla adsorbe edilmemiş çözeltinin ayrılması
3. Kromatografi
4. Moleküler damıtma

Çözücü kullanarak ayırma işlemi, diğerlerine göre daha hızlı bir teknik olduğundan daha caziptir, fakat elde edilen ayırma, çözücü etkisinin ayırıcı adsorbsiyon ile bütünleştirildiği kromatografi kullanımına göre genel olarak daha zayıftır. Benzer şekilde, basit adsorbsiyon yöntemleri, ayırıcı çözeltinin kolondan aşağıya doğru

ilerledikçe sürekli olarak yeni bileşenlere maruz kaldığı ve farklı denge koşullarının bulunduğu kontrol kromatografisi kadar etkili değildir. Moleküler damıtma uzun bir işlem olup bitümün tip ayırımı ve ağır moleküler bileşenlerinin ne derece etkilenebileceği hususlarında kısıtlamalar bulundurmaktadır [12].

Kromatografik teknikler bundan dolayı bitüm bileşenlerinin tespitinde en çok kullanılan yöntemdir. Bu yöntemin temeli, başlangıçta n-heptan kullanarak asfaltlenleri çöktürmek ve bundan sonra kalan malzemenin kromatografik ayırımını gerçekleştirmektir. Bu teknik kullanılarak bitüm asfaltlenler, reçineler, aromatikler ve doymuş hidrokarbonlar olarak dört gruba ayrılmaktadır [12].


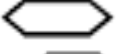




## 2.2 Bitümün Yapısı

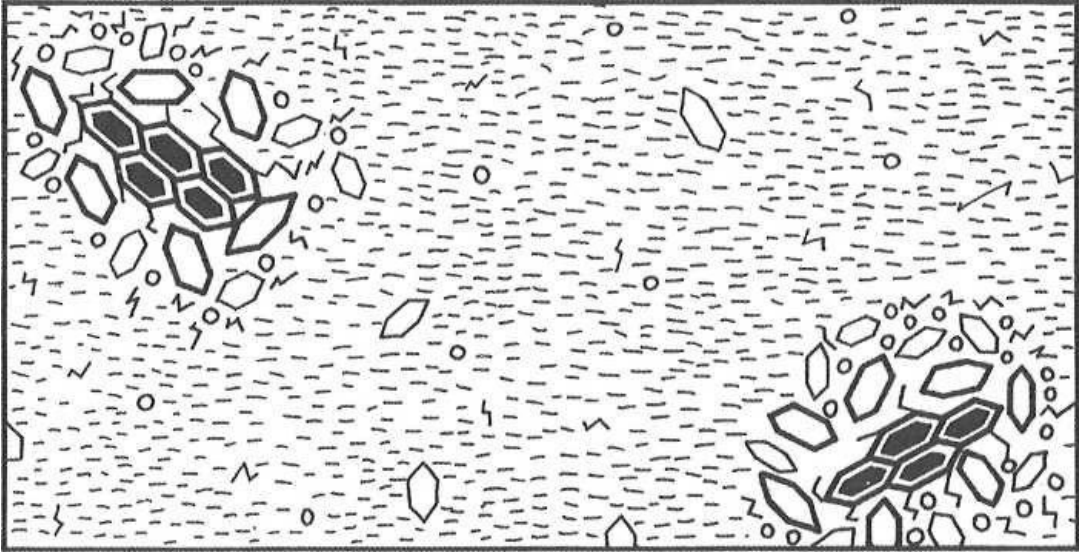
Bitüm, asfaltlenlerin maltenler içerisinde çözülmüş veya dağılmış bir süspansiyon sistemi olarak tanımlanmaktadır. Asfaltlen damlacıkları, asfaltlenlerin etrafını bir kılıf gibi çeviren yüksek molekül ağırlıklı aromatik reçinelerdir. Damlacıkların merkezinden uzaklaştıkça, daha düşük elektriksel yüklere sahip aromatik reçineler bulunmaktadır [10].

Çizelge 2.2 100 penetrasyonlu bitümün 4 yapı grubunun elementsel analizi [13]

Bitümün yapı grupları	Bitümdeki yapı grupları (%)’si	Karbon % ağırlığı	Hidrojen % ağırlığı	Azot % ağırlığı	Sülfür % ağırlığı	Oksijen % ağırlığı	Molekül ağırlığı (g/mol)
Asfaltlenler (n-heptan)	5,7	82,0	7,3	1,0	7,8	0,8	11300
Reçineler	19,8	81,0	9,1	1,0	5,2	-	1270
Aromatikler	62,4	83,3	10,4	0,1	5,6	-	870
Doymuşlar	9,6	85,6	13,2	0,05	0,3	-	835







Yeterli miktarda aromatikler ve reçineler bulunduğu asfaltlenler tamamen dağılır ve oluşan damlaların bitüm içerisindeki hareketliliği oldukça iyi olur. Bunlar çözelti ya da SOL tipi bitümler olarak adlandırılır [10].

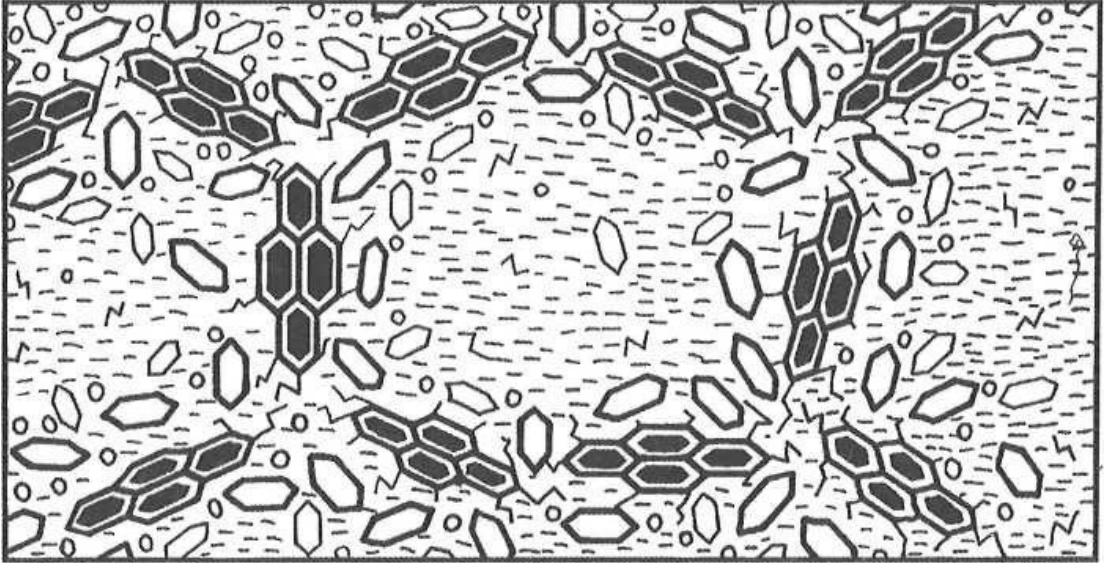
	Asfaltener
	Yüksek molekül ağırlıklı aromatik hidrokarbonlar
	Düşük molekül ağırlıklı aromatik hidrokarbonlar
	Aromatik/neft hidrokarbonlar
	Neft/alifatik hidrokarbonlar
	Doymuş hidrokarbonlar



Şekil 2.2 SOL tipi bitümler [14]

Yeterli miktarda aromatik ve reçine bileşenleri mevcut değilse ya da bu bileşenler yeterli çözücü güce sahip değilse asfaltener birbirleriyle daha da ilişkili olabilmektedir. Bunun sonucunda damlaların birbirleriyle bağlantılı olduğu ve içlerindeki boşluklarında diğer maddelerden (doymuş hidrokarbonlar vs.) oluşan sıvıyla dolmuş bir yapı meydana gelir. Bu bitümler ise jelatinli veya JEL tipi bitümler olarak adlandırılmaktadır. Bunlara en iyi örnek, çatı kaplamalarında kullanılan oksitlendirilmiş bitümler verilebilir. Uygulamada bitümlerin büyük kısmı orta karakterdedir [10].

	Asfaltener
	Yüksek molekül ağırlıklı aromatik hidrokarbonlar
	Düşük molekül ağırlıklı aromatik hidrokarbonlar
	Aromatik/neft hidrokarbonlar
	Neft/alifatik hidrokarbonlar
	Doymuş hidrokarbonlar



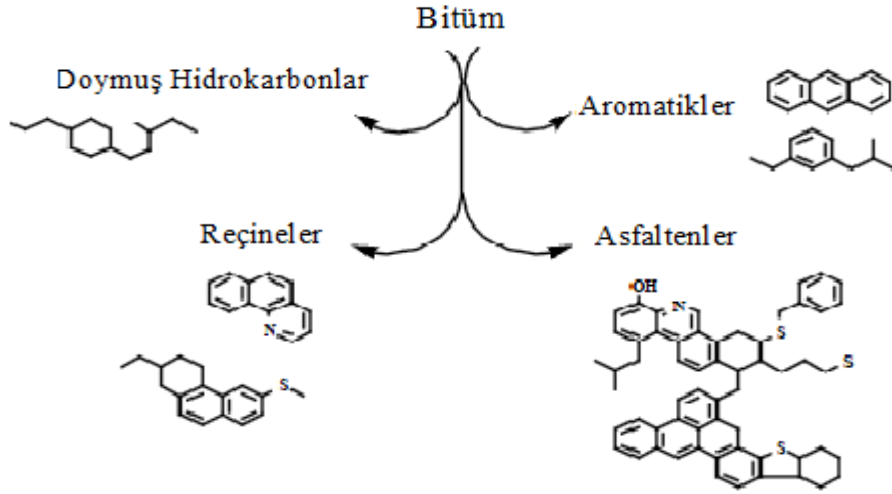
Şekil 2.3 JEL tipi bitümler [14]

Asfaltlenlerin kolloidal davranışı, bitüm içindeki kümeleşme veya petekleşmeye bağlı olarak değişir. Bunların sistem içerisindeki yayılma dereceleri malzemenin viskozitesini belirgin derecede etkilemektedir [14]. Bu tür etkiler sıcaklıkla azalma göstermekte ve belirli bitümlerin jel karakterleri yüksek sıcaklıklara dek ısıtıldığında kaybolabilmektedir.

Doymuşların, aromatiklerin ve reçinelerin viskoziteleri moleküler ağırlık dağılımlarına bağlı olup, moleküler ağırlık arttıkça viskozite de artmaktadır. Maltenlerin viskozitesi, bitüme dağılmış fraksiyonun yani asfaltlenlerin varlığı sayesinde artmış, doğal bir viskozite, yapışkanlık kazandırmıştır. Doymuş kısımlar asfaltlenlerin belirli derecede kümelenmelerine yol açtığından, maltenlerin asfaltlenleri çözme yeteneklerini azaltmaktadır. Bu nedenle, bitümlerin jel özelliğindeki artış ve sıcaklık bağımlılıklarının düşmesi sadece asfaltlen içeriğinden değil aynı zamanda doymuş içeriğinden de kaynaklanmaktadır [10].



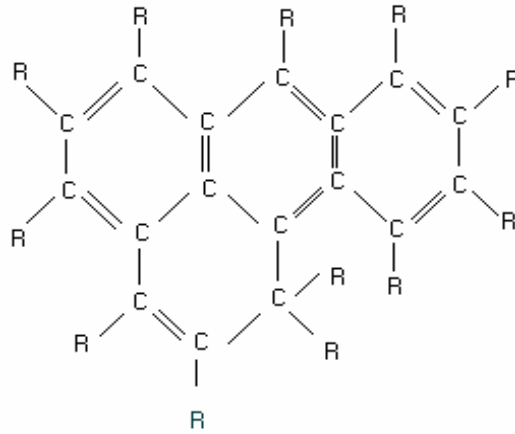
Bitümün yapısında bulunan 4 ana farksiyon Şekil 2.4’de gösterilmiştir.



Şekil 2.4 Asfaltenerler, reçineler, aromatikler ve doymuş hidrokarbonlar içeren bitümün öngörülen yapıları [15]

### 2.2.1 Asfaltenerler

Asfaltenerler, karbon ve hidrojenden oluşan ve bir miktar azot, kükürt ve oksijen içeren, n-heptan içerisinde çözünmeyen oldukça yüksek molekül ağırlığına sahip, polar (elektriksel yüklere sahip) siyah veya kahverengi amorf katılardır [9].



Şekil 2.5 Asfaltenerlerin kimyasal yapısı [9]

Asfaltenerler bitümün %5 ile %25’ini oluşturmakta ve miktarı bitümün reolojik özellikleri üzerinde önemli etkilere sahiptir. Asfaltener miktarının artırılması ile daha düşük penetrasyon ve daha yüksek yumuşama noktasına sahip, daha sert ve sonuç olarak daha yüksek viskoziteli bir bitüm elde edilmektedir [10]. Ancak asfaltener içeriğinin sınırları

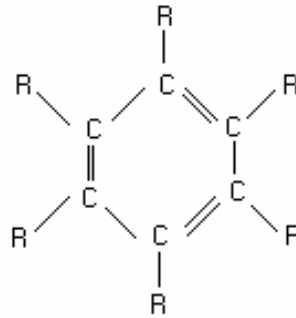
aşması durumunda, yaslanma sırasında reçinelerin yavaş yavaş asfaltlere dönüşmesine ve bitümün istenmeyen sonuçlarının ortaya çıkmasına neden olur [9].

### 2.2.2 Reçineler

Reçineler, n-heptan içerisinde çözünen, asfaltler gibi geniş oranda hidrojen ve karbondan oluşmuş ve az miktarda oksijen, kükürt ve azot içeren maddeler olup, koyu kahverengi renkte katı ya da yarı katılardır. Reçinelerin elektriksel olarak oldukça yüklü olmaları, reçinelerin güçlü bir yapışkan olmalarını sağlamaktadır. Reçineler asfaltleri ayıran ya da yayılmalarını sağlayan katılar olup, reçinelerin asfaltlere oranı, bir dereceye kadar bitümün jelatin (JEL) tipi ya da çözelti (SOL) tipi olma özelliğini kontrol etmektedir [14].

### 2.2.3 Aromatikler

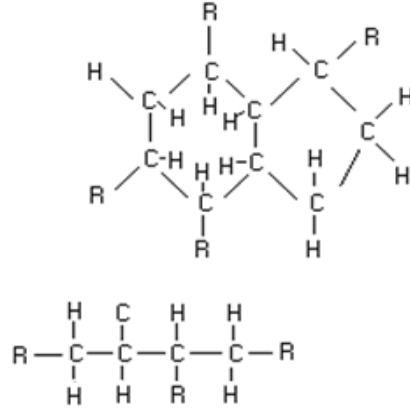
Bitüm içerisindeki en düşük molekül ağırlıklı naftanik aromatik bileşenlerden oluşan ve bitüm içerisine dağılmış asfaltlerin yayılımları için gereken ortamın büyük kısmını teşkil eden aromatiklerdir. Aromatikler, toplam bitümün %40 ile %65'ini oluşturan koyu kahverengi, viskoz sıvılar olup, doymamış halka sistemlerin hakim olduğu polar olmayan karbon zincirlerinden oluşmakta ve diğer yüksek moleküler ağırlıklı hidrokarbonlar için yüksek çözünme yeteneğine sahiptirler [10].



Şekil 2.6 Aromatiklerin kimyasal yapısı [9]

### 2.2.4 Doymuş Hidrokarbonlar

Doymuş hidrokarbonlar, alkil-naftenler ve bazı alkil-aromatikler ile birlikte düz ve zincir şeklinde alifatik hidrokarbonlardır. Bunlar saman veya beyaz renkteki polar olmayan viskoz yağlar olup, hem parafinik hem de naftanik yağ halkalarını içerir. Doymuş hidrokarbonlar bitümün %5 ile %20'sini oluşturmaktadır [9].



Şekil 2.7 Doymuş hidrokarbonların kimyasal yapısı [9]

### 2.3 Bitümün Reolojisi

Belirli bir sıcaklıkta bitüm reolojisi, malzemedeki hakim hidrokarbonun moleküllerinin hem kimyasal bileşimi hem de fiziksel yapısı ile belirlenmektedir. Bileşim ve yapıda ya da her ikisinde gerçekleşecek değişiklikler reolojide bir değişiklik oluşması sonucunu doğuracaktır. Dolayısıyla, bitüm reolojisinde değişiklikleri anlamak için, bir bitüm bileşim ve yapısının reolojiyi etkileyecek ne tür bir etkileşim içerisinde olduğunu bilmek önem taşımaktadır [16].

### 2.4 Bitümün Bileşimi ve Reolojisi Arasındaki İlişki

Bitümden ayrılan doymuşların, aromatiklerin, reçinelerin ve asfaltenlerin yeniden ancak sistematik karışımı, reolojinin bünyeye bağlı olduğunu göstermiştir. Asfalten içeriğini sabit tutmak ve diğer üç bileşenin konsantrasyonunu değiştirmek suretiyle aşağıdaki sonuçlar gözlemlenmiştir [16].

1. Doymuşların reçinelere oranı sabit tutulup aromatik bileşen oranının arttırılmasının reoloji üzerindeki etkisi azdır, kayma (kesme kuvveti) üzerinde ise önemsiz bir azalma gözlenmektedir.
2. Reçinelerin aromatlara oranını sabit tutarak, doymuş içeriğin arttırılması bitümü yumuşatmaktadır.
3. Reçine eklenmesi durumunda bitüm sertleşmekte penetrasyon indeksi ile kayma hassasiyeti düşmekte fakat viskozite artmaktadır.

Bitümün reolojik özelliklerinin bünyesindeki asfaltın oranına, güçlü bir şekilde bağlı olduğu görülmüştür. Sabit sıcaklıkta, maltenlerin içerisine karıştırılan asfaltın konsantrasyonu artırıldığında, bitümün viskozitesi yükselmektedir. Bununla birlikte, viskozitedeki artış, asfaltın çözünmeyen elemanlar olması sebebiyle beklenen değerden çok daha yüksektir. Bu durum, asfaltın birbirleriyle veya çözücü ortam ile etkileşebildiğini göstermektedir. Asfaltın oranı artırıldığında seyreltik toluen çözeltisi içerisinde bile viskozite artışı gözlenmiş olup, bu duruma kullanılan asfaltın miktarından beş kat daha yüksek değerlere ulaşan çözünmeyen kürelerin neden olduğu düşünülmektedir. Bitümde bulunan asfaltın, aromatik/naftanik halka şeklinde yapılardan oluşmuş, levhaya benzer tabaka yığınları şeklinde oldukları düşünülmektedir. Özellikle, seyreltik olan bir çözeltinin viskozitesi asfaltın parçacıklarının şekline bağlıdır. Ancak boyut arttıkça şekil önemli ölçüde değişiyorsa parçacıkların boyutu önem taşımaktadır. Yüksek sıcaklıklarda, tabaka/yığınları bir arada tutan hidrojen bağları kopmakta ve bunun sonucu olarak asfaltın hem şekil hem de boyutları değişmektedir. Asfaltın elemanlarının ayrılması, sınırlı kısma yani yoğunlaşmış aromatik ve naftanik halkalarının birim tabakasına ulaşılana dek sürmektedir. Sonuç olarak, sıcaklık arttıkça viskozite düşmektedir. Bununla birlikte, sıcak bir bitüm soğurken, asfaltın arasında, ilave tabakalar meydana getirmek üzere birleşmeler oluşmaktadır. Bunlar, sırası geldiğinde diğer bitüm bileşenleri (aromatikler ve reçineler) ile etkileşmekte ve bağımsız asfaltın parçacıkları oluşturmak üzere beraber dizilmektedirler [16].

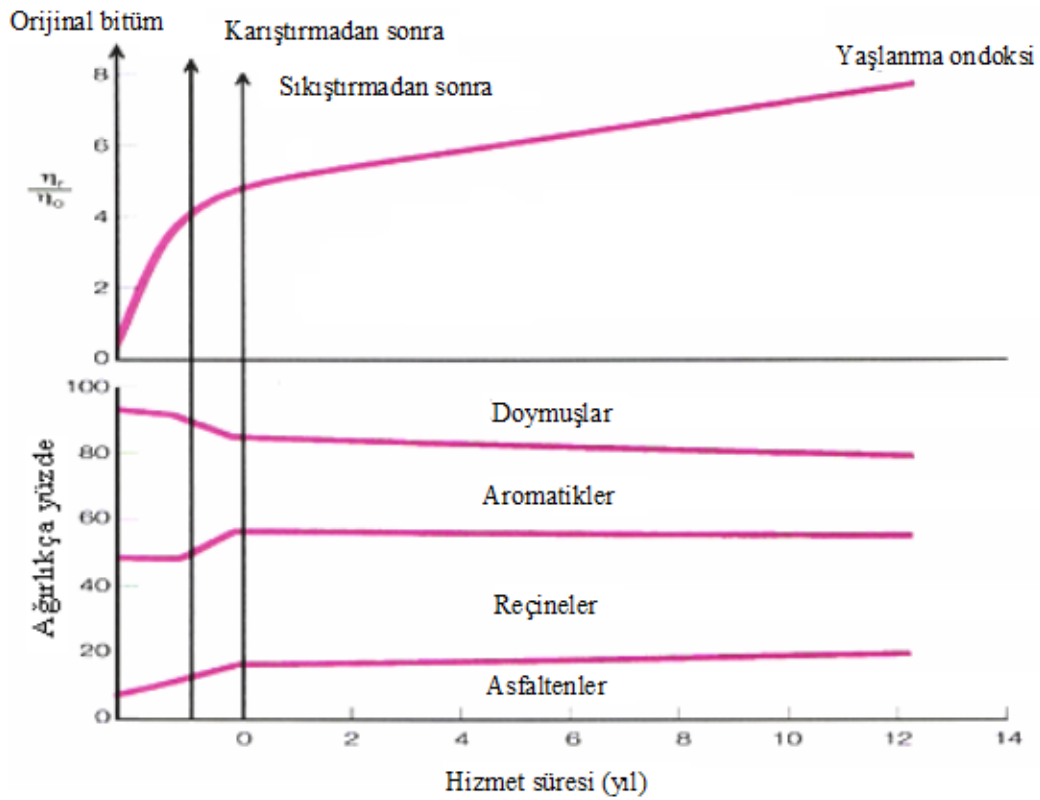
Bitüm soğurken gözlenen, Newton Kuralları'na uymayan davranıştaki artış, asfaltın ve diğer maddelerin arasındaki, moleküller içi ve arası çekim kuvvetlerinin bir sonucudur. Kayma gerilmesi altında, bu ilave birleşimler klasik Newton kavramlarına uymayan bir şekilde deformasyona uğrayacak ve hatta çözülecektir. Sonuç olarak ortam sıcaklıklarında bitüm reolojisinin asfaltın parçacıklarının birbirleriyle olan bağ ve bu bağ kararlı kılmak üzere sistemde mevcut diğer bileşenlerin göreceli miktarları ile yakından ilgilidir [16].

## 2.5 Bitümün Kimyasal Bileşimi ile Fiziksel Özellikleri Arasındaki İlişki

Atmosferik ve vakum altında damıtma, bitüm hammaddesinden hafif bileşenleri çıkarır. Damıtma kaybı, doymuşların ve asfalten konsantrasyonlarının tercihe bağlı olarak ayrılmasını sağlar. Herhangi bir bitümden (damıtma işleminden geçen) hava geçirilmesi ise asfalten miktarını belirgin derecede arttırmakta ve aromatik içeriğini de azaltmaktadır. Doymuş ve reçine oranı, hava üfleme işlemine başlamadan önceki aynı düzeyde kalır [17].

Bitümün kimyasal bileşiminin zamanla değişip değişmediğinin saptanması amacıyla, farklı karışım tipleri, farklı agrega ve bitüm oranları kullanılarak uzun süreli ve tam ölçekli yol deneyleri yapılmıştır. Bu araştırmaların sonuçları yaşlanma endeksi ( $25^{\circ}\text{C}$  de, geri kazanılmış bitümün viskozitesinin  $\eta_r$ , orijinal bitümün viskozitesine  $\eta_0$  oranı) kimyasal bileşenler bazında Şekil 2.8’de gösterilmektedir [18].

Viskozitedeki başlıca değişiklikler karıştırma ve serme işlemi esnasında olmaktadır. Bağlayıcı viskozitesinin hizmet süresi boyunca değişimi azdır. Malzemedeki asfalten, karıştırma işlemi ile artış gösterip, zamanla miktarını arttırmıştır [18].



Şekil 2.8 Karıştırma, serme ve hizmet aşamalarında bitüm kompozisyonundaki değişimler [18]

Reçine ve aromatik içeriği ise zamanla azalmıştır. Doymuş oranında küçük bir değişim beklenmiş olmasına rağmen, muhtemelen yoldaki araçlardan yağ dökülmesi sebebiyle bazı kesimlerde artışlar kaydedilmiştir. Karıştırma sonrası elde edilen toplam değişiklikler, araştırılan karışımların başlangıçtaki boşluk oranlarının oldukça yüksek (%5 ile %8), olmasına rağmen küçük değerlerde kalmıştır [18].

Bitümlerin kimyasal bileşimleri ile fiziksel özellikleri arasında ilişki kurulurken, farklı kimyasal bileşimlere sahip bitümlerin benzer fiziksel özellikler taşıyabildikleri unutulmamalıdır. Dolayısıyla, bitümleri kimyasal bileşenlerinin dağılımı, bünyesindeki maddelerin yüzdesi ile tanımlamak mümkün olmayıp, minimum asfaltten içeriği gibi, bağımsız bileşen özelliklerini belirtmekte pek anlam ifade etmemektedir [19].

### BITÜMÜN ÖZELLİKLERİ

Penetrasyon cinsi, bitümlerin laboratuvarında belirlenen özellikleri ile yol üst yapılarında kullanılan karışımlarındaki performans ilişkisi uzun yıllardır araştırılmaktadır. Bitüm, karışımda hacimce küçük bir yer tutmasına rağmen dayanıklılık ve bitümlü karışıma viskoelastik özellik kazandırması sebebiyle karışımlarda çok önemli bir role sahiptir. Bitümün yol üzerinde tatmin edici bir performans göstermesi aşağıda sıralanan dört özelliğin kontrol edilmesi ile sağlanabilir [10].

1. Reoloji
2. Kohezyon (faz içerisinde yapışkanlık)
3. Adezyon (fazlar arasında yapışkanlık)
4. Dayanıklılık

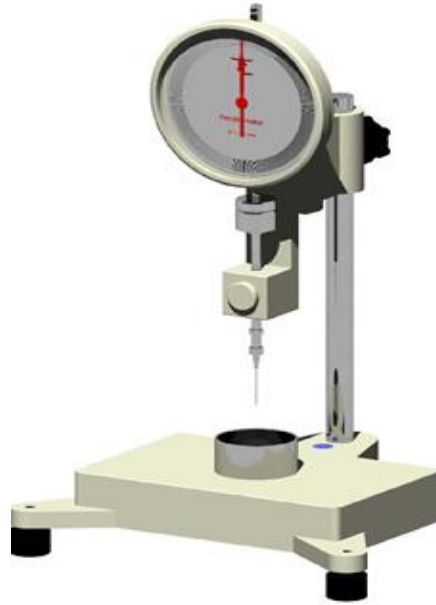
Reoloji, bir maddenin akma ve deformasyonunun basınç ve zaman içerisinde incelenmesidir. Bitüm reolojisi ise belirli bir sıcaklıkta hem kimyasal bileşenlerinin hem de malzemedeki baskın hidrokarbon yapıların saptanması; bileşimindeki, yapısındaki veya her ikisinde birden olan değişikliklerin etkisinin incelenmesidir. Bitüm reolojisindeki değişimler, o bitümün yapı ve bileşenlerinin etkisi ile oluşmaktadır [10].

#### 3.1 Bitüm Özelliklerinin Belirlenmesi

Bitümün deneylerle ölçülen özelliklerinin, yol kaplamasının durumuna ve dayanıklılığına önemli bir etkisi olduğu kabul edilmektedir. Bitümlü bağlayıcının cinsine göre şartnamelerde çeşitli deneylerden söz edilmektedir. Genel olarak bitümlü bağlayıcılara uygulanan bazı deneyler aşağıda belirtilmiştir [20].

1. Penetrasyon (TS 118 EN 1426)
2. Viskozite (ASTM D 4402-87)
3. Yumuşama noktası (TS 120 EN 1427)
4. Düktilite (TS EN 13598)
5. Elâstiklik geri dönme (TS EN 13398)
6. Trikloretilede çözünürlük (TS 1090 EN 12592)
7. İnce film halinde ısıtma (TS EN 12607-2)
8. Parlama noktası (TS 1080, TS EN ISO 2592, TS 1171)

### 3.1.1 Penetrasyon Deneyi



Şekil 3.1 Penetrasyon ölçüm cihazı [21]

Penetrasyon, bitümün sertlik ve kıvamının bir ölçüsüdür. Penetrasyon deneyi standart bir iğnenin belirli ısı, yük ve zaman koşulları altında, numuneye düşey olarak battığı derinliğin ölçülmesinden ibarettir. Bitümlü malzeme, 25°C’ de 100 g yükü ve 5 saniye süreyle penetrasyona uğrattılır [22]. Bu koşullar altında yapılan deneyin sonucuna normal penetrasyon denilmektedir.

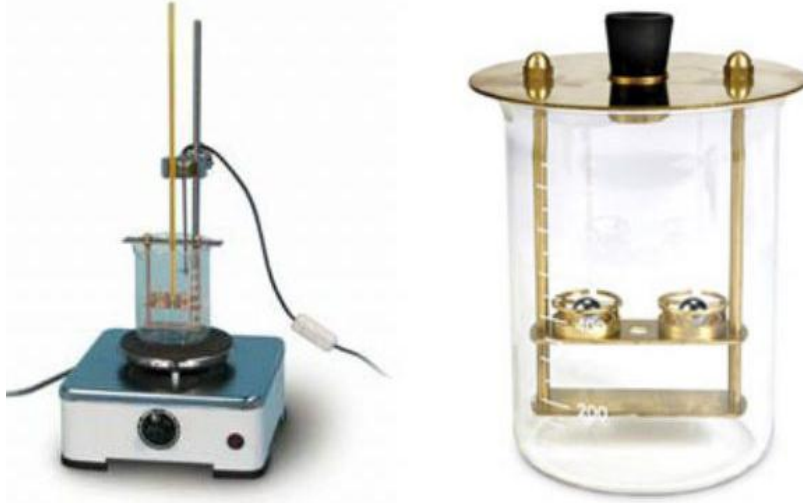
Penetrasyon birimi santimetrenin yüzde biridir ve aletin göstergesindeki her bir birim 0,1 mm’yi göstermektedir. Penetrasyon deneyi sonunda okunan değer 100 ise, deneye



tabi tutulmuş olan bitümlü bağlayıcının penetrasyonu 100 demektir. Yani iğne bu bitümlü bağlayıcının içerisine 1 cm girmiştir [23].

Penetrasyonun değeri kıvamlılıkla ters orantılı olup, penetrasyon değeri yükseldikçe deneye tabi tutulan bitümlü bağlayıcı daha yumuşak bir kıvama sahip olur [23].

### 3.1.2 Yumuşama Noktası Deneyi



Şekil 3.2 Yumuşama noktası tayin cihazı [24]

Bitümün sıcaklık değişimlerine karşı duyarlılıklarını ve hangi sıcaklıkta akmaya başladığını ölçmek için uygulanan deneydir [25].

Yumuşama noktası genel olarak, bir su banyosu içine yerleştirilmiş ve üzerinde bir bilye bulunan standart bir kalıp içerisindeki bitümlü malzemenin, belirli bir hızla ısıtılması sonucunda yumuşayan malzemenin tabana değdiği anda termometreden okunan sıcaklıktır [25].

Bitümlü karışımların sıcak havalarda deformasyona uğraması bitümlü bağlayıcının yumuşama noktasına bağlıdır. 25<sup>0</sup>C'daki penetrasyonları aynı olan iki bağlayıcıdan yumuşama noktası yüksek olan sıcaklık değişimlerine daha dayanıklıdır. Dolayısıyla kaplamada kullanılan bitümlü bağlayıcının yumuşama noktası düşükse viskoz davranış ve kalıcı deformasyon erken başlar [26].

Bitümlü kaplamanın kalıcı deformasyonlarında etkili faktörlerden biri yumuşama noktasıdır. Yumuşama noktası yüksek bağlayıcının kullanıldığı karışımlarda tekerlek etkisiyle oluşan deformasyonların daha az olduğu görülmektedir. Tekerlek izine hassas karışımlar için yumuşama noktası sıcaklığı tekerlek iziyle iyi bir korelasyon sağladığı

ve yumuşama noktasındaki 5-6<sup>0</sup>C'lik bir azalmanın %20 daha fazla tekerlek izine yol açtığı belirtilmektedir [26].

### 3.1.3 Düktilite Deneyi



Şekil 3.3 Düktilite cihazı [27]



Şekil 3.4 Düktilite cihazı mekanizması [28]

Düktilite bitümün, uzama veya çekilebilme özelliğini ifade etmektedir. Tanım olarak, asfalt çimentosundan yapılmış standart bir briketin, belirli sıcaklık ve hızda kopmadan çekilebildiği uzunluğun cm cinsinden ifadesidir [20].

Bitümün bağlama yeteneği düktilitesine bağlı olup, düktilite değeri yüksek olan bitümlerin bağlayıcılık özellikleri de yüksek olmaktadır. Ancak, çok yüksek düktilite değerine sahip bitümlerin ısıya karşı fazla duyarlılık gösterdiği belirtilmektedir [29].

Bitümlü bağlayıcıların düktiliteleri, düktilite deneyi ile tespit edilmektedir. Düktilite cihazı, içi 25<sup>0</sup>C'de su ile dolu olan ve numuneyi belirli bir hızda (5 cm/dk hız ile) yatay

olarak çeken özel bir gerilme makinesidir. Numune briket kopuncaya kadar çekme işlemine devam edilir. Briket koptuğu anda düktilite cihazının kenarındaki cetvelden uzama miktarı cm cinsinden okunur. Düktilite cihazında aynı anda 3 numune test edilebilmektedir. Deneye tabi tutulan bitümlü bağlayıcının düktilitesi, bu üç numunenin düktilite sonuçlarının ortalaması olarak kabul edilir [30].

#### **3.1.4 Elâstik Geri Dönme Tayini**

Elâstiklik, bitüm numunesinin, boyu 200 mm olacak şekilde çekilip, ortadan kesilip 30 dakika beklendikten sonra, yarım iplikler arasında ölçülen ve çekilen mesafenin (200 mm) yüzdesi olarak ifade edilen değer olarak tanımlanır .

Bitümlü bağlayıcıların elastikliğinin tayini belirli bir sıcaklıkta düktilometre ile sağlanır. Bu yöntem, özellikle termoplâstik elastomerlerle işlem görmüş bitümlere uygulanır, bununla birlikte, elâstikliği düşük olan diğer bitümlü bağlayıcılar için de kullanılabilir [31].

Taban plâkası ve yan parçaların iç duvarları, kalıba yapışmayı önleyici madde(eşit miktarlarda gliserin ve dekstrin karışımı) ile ince bir şekilde kaplanan kalıplar ısıtılmış bitüm ile doldurulur. Doldurulmuş kalıplar deney sıcaklığında 90 dk süreyle tutulduktan sonra, kalıpların yan parçaları çıkartılır ve bitüm numuneleri çekme plâkalarına aktarılır. Daha sonra, numuneler  $25^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ 'luk deney sıcaklığında ve  $50 \text{ mm/dk} \pm 2,5 \text{ mm/dk}$ 'lık hızda,  $200 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ 'lik uzama elde edilinceye kadar çekilir. Çekme cihazının durmasından 10 saniye sonra, bitüm iplikleri makas yardımıyla ortasından kesilerek her iplik için iki adet yarım iplik elde edilir.

Bitüm ipliklerinin kesilmesinden 30 dakika sonra, yarım ipliklerin uçları arasındaki mesafe bir cetvel yardımıyla ölçülür ve milimetre olarak kaydedilir [31].

#### **3.2 Bitümlü Karışımlardan Beklenen Özellikler**

Hazırlanan ve yol üzerine serilen bitümlü karışımın bazı özellikleri sağlaması istenmektedir. Bunlar,

- Stabilite
- Durabilite (dayanıklılık)
- Geçirimsizlik

- İşlenebilirlik
- Esneklik
- Yorulma mukavemeti
- Kayma direnci

olarak belirtilebilir [32].

### **3.2.1 Stabilite**

Bitümlü sıcak karışımın stabilitesi, kaplamanın trafik yükleri altında oluşacak deformasyonlara karşı gösterdiği direnç olarak adlandırılır. Yani karışımın stabilitesi trafik yüklerini karşılayabilecek kadar yüksek olmalıdır [33].

Stabilite ne kadar düşük olur ise trafik altında oluşabilecek deformasyonlar da o kadar fazla olacaktır. Stabil bir kaplama, tekrarlı trafik yükleri altında orjinal şeklini ve düzgünlüğünü sürdürebilmektedir. Stabil olmayan bir kaplamada ise tekerlek izleri, ve sökülmeler oluşmaktadır [33]. Ancak çok düşük stabilite ne kadar istenmez ise çok yüksek stabilite de istenilmemektedir. Çünkü çok yüksek stabilitede esneklik kaybolacağından gerilmeler sonucu çatlaklar oluşmaktadır.

Karışımın stabilitesi, agregalar arasındaki içsel sürtünmeye ve bağlayıcının kohezyonuna bağlıdır. Agregalar arasındaki içsel sürtünme agregaların şekilleri ve yüzey yapısı ile ilgili olup, bağlayıcının kohezyonu ise, yükleme hızı arttıkça, bitümlü bağlayıcının viskozitesi arttıkça ya da kaplamanın sıcaklığı düştükçe artar [34].

Stabilite, karışımdaki bitüm miktarı belli bir seviyeye kadar arttırıldıkça artar ve bu seviyenin üstüne çıkıldığında bitüm agregalar üzerinde çok kalın bir film oluşturur ve malzemeler arasındaki içsel etkileşimin düşmesine neden olur [34].

### **3.2.2 Durabilite (Dayanıklılık)**

Bir karışımın durabilitesi, karışımın orjinal özelliklerini koruyabilme özelliğidir. Yani, yük ve çevre şartlarına karşı direnç gösterme kabiliyetidir. Asfalt, sert ve kırılğan hale geldiği zaman üzerine gelen gerilmelere çatlama karşı koyamadığında ve agrega yüzeyinden bitümün ayrılması sonucunda karışımın dayanımının düşmesiyle yük taşıma özellikleri azalır [35].

Durabilite genel olarak 3 yöntemle sağlanabilir. Bunlar; karışımda sağlam agrega kullanmak, maksimum bağlayıcı miktarı ve karışımı maksimum geçirimsizlik sağlayacak şekilde sıkıştırılmasıdır [32].

Karışımdaki bağlayıcı miktarı arttıkça durabilite artmaktadır çünkü agregaları saran bitüm film kalınlığı ne kadar yüksek olursa, geçirimsizlik o kadar artacaktır ve dolayısıyla yaşlanma direnci artacaktır. Ancak, yapılan bir çalışmada, bitüm film kalınlığının belli bir değerin altında yaşlanmanın etkisinin arttığı, bu değerin üzerindeki değerlerde ise yaşlanmanın etkisinin değişmediği belirtilmiştir [36].

Karışımın yüzeyde tekerlerin sıkıştırdığı suyun etkisinde oluşan aşınma ise, karışımdaki boşluklar su ve hava girişine izin verecek kadar büyükse ve giren havadan dolayı karışım sertleşiyorsa, karışımda kullanılan bitüm ve agrega kimyasal olarak uyumlu değil ise ve bitüm film kalınlığı, karışımı tekerleklerin ve suyun aşındırıcı etkisinden koruyacak miktarda değil ise yüzeydeki aşınma olayı artmaktadır [35].

Karışımda ince agrega miktarı fazla olduğunda bitüm, bu ince agregaları emmektedir. Kaba agregalar ise yeterince bitüm ile sarılamamaktadır ve bu da durabilite sorununu yaratmaktadır. Bitüm film kalınlığı arttıkça durabilite artmaktadır. Ancak, bitümlü karışımın kusmasına neden olmadan, yeterli bir bitüm film kalınlığına ulaşmak için uygun seviyede mineral agregalar arasında boşluk değeri (VMA) temin edilmesi gerekmektedir [35].

### **3.2.3 Geçirimsizlik**

Geçirimsizlik, karışımın içine hava ve su girişine karşı koyma direncidir ve karışımın içindeki hava boşluklarının oranı ile ilişkili olup, boşluk oranı ve bu boşlukların birbiri ile irtibatı geçirimsizlik için önemlidir. Burada boşlukların boyutu, boşlukların birbiri ile bağlantı seviyeleri ve bunların kaplama yüzeyine ulaşıp ulaşmadıkları su ve hava girişini etkiler. Geçirimsizlik arttıkça hava ve suyun etkisi ile bitümün yaşlanması hızlanır ve soyulma mukavemeti azalır [14].

### **3.2.4 İşlenebilirlik**

İşlenebilirlik, karışımın karıştırılması ve sıkıştırılması sırasında karşılaşılan kolaylığın ölçüsü olarak ifade edilebilir ve karışımda kullanılan agrega granülometresi, agrega

cinsi, bağlayıcı oranı, bağlayıcı sertliği, karıştırma ve sıkıştırma sıcaklığı, karıştırma ve sıkıştırma sırasındaki bağlayıcı viskozitesi gibi birçok etkene bağlıdır [37].

İşlenebilirlik, karışım dizayn parametrelerinde, agregaların özellikleri ve bitümün viskozitesinde yapılacak değişikliklerle yükseltilebilir. Genelde her bitümlü sıcak karışımda, bitüm oranı arttıkça karışımın işlenebilirlik özelliğinin de arttığı ve bitüm viskozitesinin karışımın işlenebilirliğine oldukça etkisi olduğu bilinmektedir [37].

Yapılan bazı araştırmalarda, bitümlü karışımlar ne kadar çok işlenebilir ise o kadar kolay sıkıştırılabilmekte, kolay sıkışan karışımların da trafik altında o kadar çabuk oluklanmakta olduğu tespit edilmiştir [38].

### **3.2.5 Esneklik**

Esneklik, karışımının çatlamadan, eğilebilme ve temel ile alt temel tabakalarının uzun dönemli oturmalarına uyum sağlayabilme yeteneğini ifade etmektedir. Farklı oturmalar veya aşırı oturmalar kaplamaya yansıtacağından çatlamalar meydana gelecektir [14].

Genel olarak, bir kaplama karışımının esnekliği, yüksek bitüm içeriği ve nispeten açık boşluklu (gradasyonlu) agregalar ile geliştirilebilmektedir. Ancak, kaplamanın esnekliği artarsa stabilitesinin azalacağı, düşük esnekliğinde aşırı çatlamalar ile parçalanmalara neden olacağı göz önünde bulundurulmalıdır [14].

### **3.2.6 Yorulma Mukavemeti**

Bir karışımın yorulma mukavemeti, trafik yüklerinden kaynaklanan tekrarlı eğilmelere çatlamadan karşı koyabilme direnci olarak ifade edilebilir [39].

Farklı yüklerden dolayı oluşacak farklı gerilmelerin yaratacağı farklı deformasyonlar karşısındaki yorulmanın tespiti stabil gerilme veya sabit deformasyon altında yapılmalıdır [39].

Kaplamanın yeterli sıkışması yorulma mukavemetini artıran önemli bir unsurdur. Çünkü bitümlü kaplamanın rijitliği arttıkça yorulma mukavemeti de artmaktadır. Yetersiz sıkıştırma veya dizayn hatalarından dolayı yüksek hava boşluğuna sahip kaplamaların yorulma ömürleri düşüktür. Kaplamanın, yaşlanması sonucu sertleşmesi de, yorulmaya mukavemetini azaltmaktadır [39].

Kaplamada meydana gelen yorulma çatlağı yavaş yavaş ve çok sayıda tekerrür eden trafik yükleri altında oluşmaktadır. Kaplama kalınlığının yetersiz olması ve zayıf alt tabakalar olması halinde ağır yük altında aşırı deformasyon kaplama altındaki yanal çekme gerilmelerine neden olacağından yorulma çatlakları oluşacaktır. Bu nedenle, kalın ve iyi destek alan kaplamalar ve çekme mukavemeti yüksek malzeme kullanmak yorulma çatlaklarını önleyecektir. Dolayısıyla yumuşak bitüm sert bitüme nazaran daha iyi yorulma özelliğine sahiptir [14].

Karışımın rijitliği, yoğunluğu, kohezyonu, filler ve bitüm miktarı arttıkça yorulma mukavemeti önemli ölçüde artmakta ve yorulma çatlakları azalabilmektedir [14].

### **3.2.7 Kayma Direnci**

Kayma direnci, kaplama ile teker arasında gerekli sürtünme kuvvetini ifade etmektedir. Agregalar arası içsel sürtünme ve bitümün kohezyonu ve viskozluğu kayma mukavemetini belirler. Uygun bitüm içerikleri ve pürüzlü yüzey dokusuna sahip agregalar, yüksek kayma direncine katkıda bulunan faktörlerdir [40].

Sıkıştırılmış kaplama içindeki boşlukları dolduracak derecede bitümce zengin olan karışımlar, kasmaya yatkındırlar. Kasma olayı ise bitümlü malzemenin trafik etkisi, iklim şartları ve uygulama hatalarından dolayı kaplamanın yüzeyine çıkması ve burada tamamen bitümden oluşan bir film tabakasının oluşmasıdır [40]. Kasma olayı kaplama yüzeyini ıslatmasından dolayı kayma direncinin aşırı düşmesine neden olurlar.

### BITÜMÜN MODİFİKASYONU

Modifikasyon, yol üstyapılarında kullanılan bağlayıcının veya karışımın performansını arttırmak amacı ile bağlayıcının içine çeşitli katkı maddelerinin belirli oranlarda ve şartlarda karıştırılması olarak tanımlanmaktadır [41].

Bitüm, viskoelastik bir malzemedir ve reolojik davranış göstermektedir. Bitüm aynı zamanda termoplastik bir malzemedir ve ısıtılınca kıvamı değişmektedir. Bitümün bağlayıcı olarak kullanılmasını sağlayan özelliklerinden biri de budur [42].

Bitümün viskoelastik karakteri aynen bitümlü sıcak karışıma yansımaktadır. Viskoelastik malzemeler yüksek yükleme hızlarında (hızlı taşıtlar) daha ziyade elastik davranış ve yüksek mukavemet göstermektedirler. Buna karşın düşük yükleme hızlarında (yavaş veya duran taşıtlar) viskoz davranış ve düşük mukavemet göstermektedirler. Orta hızlarda ise ortak elastik ve viskoz davranış sergilemektedirler [42].

Bitüm aynı zamanda termoplastik özelliklerinden dolayı yüksek sıcaklarda düşük mekanik mukavemet, düşük sıcaklarda ise yüksek mukavemet gösterirler. Bitümlü tabakalarda oluşan deformasyonlar büyük ölçüde bitümün ve karışımın bu özelliklerine bağlıdır [42].

Son yıllarda yapılan araştırmalar bitüme, bitümle uyumlu bazı polimer ve katkıların eklenmesinin bitümün reolojik davranışını etkilediğini, özelliklerini iyileştirdiğini ve bitüme üstün özellikler kazandırdığını ortaya koymuştur. Bu nedenle, bitüme polimer ilavesinin ana amacı, bitümün viskoelastik davranışını değiştirmek ve özellikle düşük

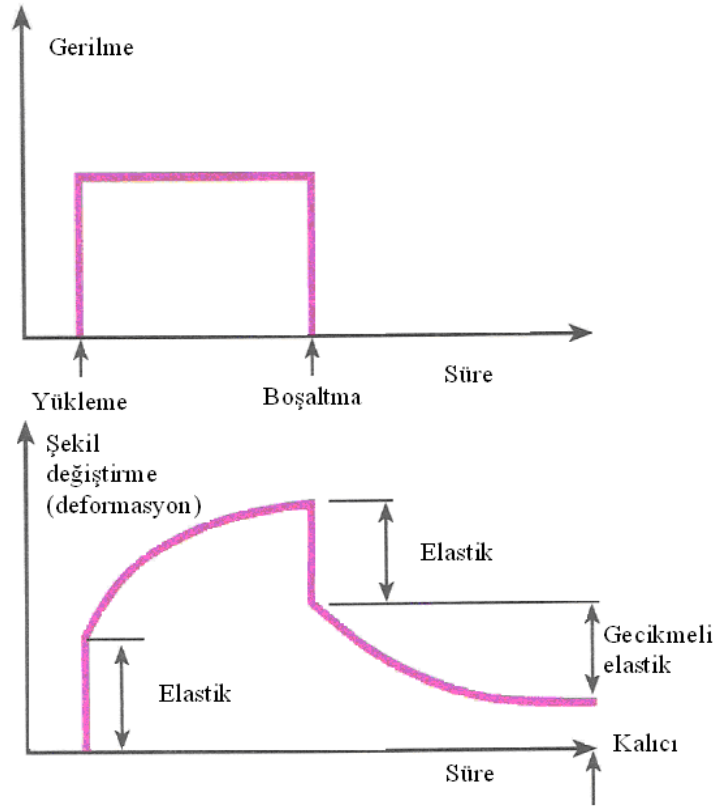


sıcaklıklardaki davranışına zarar vermeden, sıcaklığa karşı duyarlılığını azaltmaktır [43].

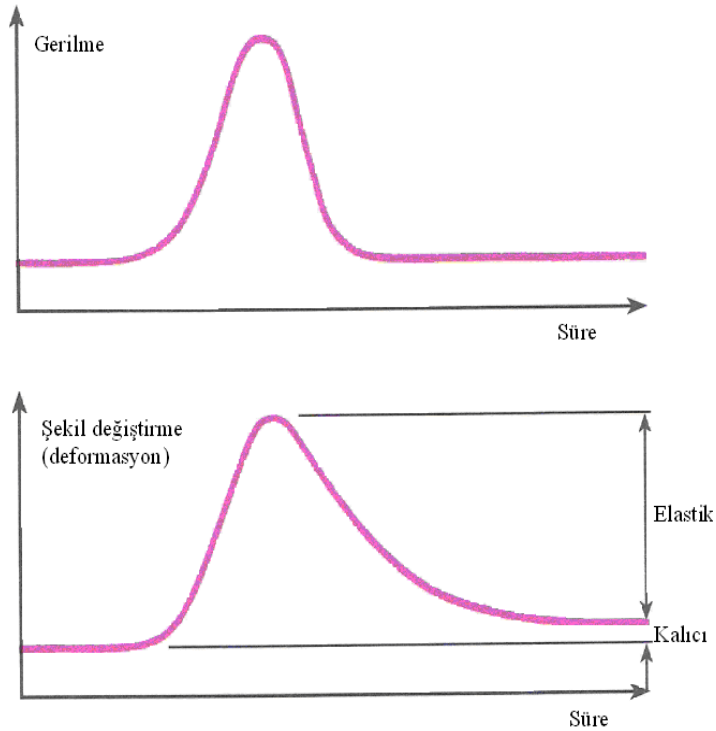
#### **4.1 Katkı Maddelerinin Bitümlü Karışımlardaki Rolü**

Bitüm, tüm bitümlü karışımların viskoelastik karakteristiklerinden sorumlu olduğu için, üst yapının performansı üzerinde önemli bir rolü vardır. Kalıcı deformasyona ve çatlamaya karşı direnç tipik örneklerdir. Genel olarak, bitümlü bir malzemede viskoz akışa atfedilen geri dönmeyen deformasyon (şekil değiştirme), hem sıcaklık hem de yükleme zamanı ile birlikte artar. Bunun etkisi Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de gösterilmektedir. Şekil 4.1 bitümlü bir malzemenin basit sünme deneyine karşı tepkisini göstermektedir. [44]. Uygulanan yüklemekten kaynaklanan şekil değiştirme, anlık bir elastik tepki şeklinde olmakta ve ardından yük ortadan kaldırılana dek kademeli bir artış gözlenmektedir. Deformasyonun zamanla değişimi malzemenin viskoz davranışına bağlıdır. Yük kaldırıldığında, elastik deformasyon anında geriye çekilmekte, zaman geçtikçe de bir miktar daha toparlanma meydana gelmektedir. Bu durum, "gecikmiş elastisite" olarak adlandırılmaktadır. Sonunda, geri kazanılamayan kalıcı bir deformasyon kalmakta olup, bu doğrudan viskoz davranışın bir özelliğidir [12].

Bitümlü bir malzemenin elemanında araç tekerleklerinden oluşan bir yüklemeye karşı gösterdiği tepki Şekil 4.2'de verilmiştir. Burada, elastik tepkinin iki bileşenini birbirlerinden ayırt edebilmek imkânsız olmakla birlikte, küçük miktarda kalıcı şekil değiştirme ile daha büyük oranda elastik şekil değiştirme belirtilmektedir. Şekil 4.2'de tek bir yük darbesi için gösterilen kalıcı şekil değiştirme aslında çok küçüktür. Ancak kaplamaya buna benzer milyonlarca dingil yükü uygulanması sonucunda kalıcı şekil değiştirmelerin toplamı büyük bir miktara ulaşacak ve kaplama yüzeyinde kalıcı deformasyon oluşacaktır [44]. Yukarıda açıklananlardan, yüksek ortam sıcaklığında ve trafiğin yavaş hareket ettiği veya hareketsiz olduğunda neden daha fazla deformasyon olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 4.1 Statik yüklemeye viskoelastik tepki [44]



Şekil 4.2 Hareketli tekerlek yüküne viskoelastik tepki [44]

Bir bitüm modifiye edicisinin en önemli etkilerinden birisi de karışımın yüksek sıcaklıklar altında kalıcı deformasyona karşı direncini, başka sıcaklıklardaki bitüm veya

karışım özelliklerini olumsuz etkilemeksizin artırmaktır. Bu işlem, karışımın toplam viskoelastik tepkisini azaltmak bununla birlikte kalıcı şekil değiştirmede azalma yaratmak amacıyla, bitümün elastik bileşenini artırarak viskoz bileşeni azaltmak yoluyla gerçekleştirilmektedir. Bitümün rijitliğinin artırılması aynı zamanda büyük olasılıkla karışımın dinamik rijitliğini yükseltecek ve dolayısıyla malzemenin yük yayma yeteneği ile kaplamanın yapısal mukavemetini ve beklenen tasarım ömrünü iyileştirecektir. Buna seçenek olarak, daha ince bir tabaka oluşturarak da aynı yapısal mukavemeti elde etmek mümkündür. Bitümün elastik bileşeninin artırılması, yüksek çekme deformasyonlarının bulunduğu ortamlarda büyük önem taşıyan asfalt esnekliğini de geliştirecektir [44].

#### **4.2 Bitümlü Bağlayıcıların Modifiye Edilme Nedenleri**

Bitümlü bağlayıcılar ve bitümlü karışımların modifiye edilmeleri ile en genel anlamda; yol üst yapılarının yüksek yol sıcaklıklarında yeterli rijitliğe sahip olarak, oluklanma ve ötelenme gibi deformasyonlara karşı dirençli olması, düşük yol sıcaklıklarında da yeterli esnekliğe sahip olarak çatlamalara ve kırılmalara karşı dirençli olmaları amaçlanmaktadır. Ayrıca kaplamanın trafik yükleri altında yorulma nedeniyle meydana gelen çatlaklar ile su etkisiyle meydana gelen soyulmalara karşı dirençli olması ve kaplama yüzeyinde istenilen seviyede kayma direncinin elde edilerek sürüş emniyetinin sağlanması da yine amaçlanan hedeflerdendir [45].

Genel anlamda bu şekilde ifade edilebilen bitümün modifiye edilme sebepleri maddeler halinde aşağıdaki gibi sıralanabilir [45]:

1. Karışımların yorulma direncini arttırmak.
2. Çatlakları geciktirmek.
3. Kayma direnci yüksek kaplama yüzeyleri elde etmek.
4. Karışımların stabilitesini ve mukavemetini arttırmak.
5. Düşük servis sıcaklıklarında daha esnek karışımlar elde etmek ve böylece çatlakları azaltmak.
6. Yaşlanmış (oksidasyona uğramış) asfalt bağlayıcıları gençleştirmek.
7. Uygulama alanlarını arttırmak.
8. Agregaların üzerinde daha kalın bağlayıcı filmleri oluşturarak, bağlayıcı ve agregaların birbirine yapışma özelliğini iyileştirip, soyulmayı azaltmak.

9. Akmayı ya da kusmayı azaltmak.
10. Yakıt dökülmelerine karşı dayanım sağlamak.
11. Kaplamaların uzun ömürlü ve ekonomik olmasını sağlamak.
12. Kaplama tabakalarının yapısal kalınlıklarını azaltmak ve daha ince aşınma tabakalarının kullanımını mümkün kılmak.
13. Yüksek servis sıcaklıklarında daha sert karışımlar elde etmek ve böylece tekerlek izlerini (oluklanmayı) azaltmak.
14. Düşük kaliteli agregaları kullanılabilir hale getirmek.
15. Absorpsiyonu minimize etmek.
16. Kaplamaların her bakımdan performansını yükseltmek.
17. Yaşlanmaya ya da oksidasyona karşı dayanımı arttırmak.

Üstyapı kaplamasından beklenen, ancak klasik bağlayıcılar ile sağlanamayan bu özellikler, bağlayıcının ya da karışımın çeşitli katkı maddeleriyle modifiye edilmesi sonucunda sağlanabilmektedir.

### **4.3 Bitümün Modifikasyon Yöntemleri**

Modifikasyon işlemi genel olarak katkı maddesi önceden bitüme katılması ile modifiye bitüm elde edilmesi veya katkı maddesinin asfalt plentinde doğrudan doğruya karışıma katılması ile modifiye karışım elde edilmesi şeklinde yapılabilmektedir [9].

Bitümlü bağlayıcıların özelliklerinin belirlenmesinde uygulanan test yöntemleri, daha kısa sürelerde yapılabilmektedir. Karışıma yönelik testler ise bitümlü bağlayıcılara uygulanan test yöntemlerine göre daha uzun süre, daha fazla işlem ve daha kapsamlı test ekipmanlarını gerektirmektedir. Ayrıca hizmet aşamasının performansını belirlemede daha temsili olmaktadır [9].

Modifiye edilmiş bitüme, çeşitli standart test yöntemleri uygulanmak suretiyle, katkılı bitümün katkısız bitüme göre özelliklerindeki değişimlerin tespit edilebilmesi mümkün olabilmektedir. Böylece modifiye bitümün özelliklerinin belirlenmesine ve değerlendirilmesine imkan sağlanabilmektedir [9].

#### **4.4 Bitüm Katkı Maddelerinde Aranılan Özellikler**

Bitümlü bağlayıcıların modifikasyonunda kullanılacak olan katkı maddelerinin uygulamada etkili, pratik ve ekonomik olması bakımından bazı koşulları sağlaması istenilmektedir [9];

1. Kolay elde edilebilmelidir,
2. Uygun maliyette olmalıdır,
3. Bitüm karışım sıcaklığında özelliğini kaybetmemelidir,
4. Düşük sıcaklıklarda ise kaplamanın çok kırılmalı veya sert olmasını önlemelidir,
5. Bitümün yüksek karıştırma ve serme sıcaklıklarında, çok fazla viskoz hale gelmeden akışkanlığa karşı direncinin artmasını sağlamalıdır,
6. Bitüm ile homojen olarak karışabilmelidir,

#### **3.2 Modifiye Bitümlerde Aranılan Genel Özellikler**

Modifikasyonda kullanılacak katkı maddelerinin bitüm ile karıştırılmasından sonra, elde edilen modifiye bitümden beklenen özellikler ise şunlardır [9];

1. Depolama, uygulama ve hizmet sırasında sahip olduğu özelliklerini kaybetmemelidir,
2. İşlenebilirlik özelliğine sahip olmalıdır,
3. Depolama, uygulama ve hizmet sırasında fiziksel ve kimyasal olarak stabil olmalıdır,
4. Uygulama sıcaklıklarında püskürtülebilme ve agregayı sarabilme akışkanlığını sağlayabilmelidir.

#### **4.6 Modifiye Bitümlerde Aranılan Teknik Özellikler**

Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de kaplama performansını artırıp yapım ve bakım masraflarını azaltmak amacıyla modifiye bitümler kullanılmaktadır. Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM), bitümlü sıcak karışım kaplama tabakalarında yaygın olarak görülen tekerlek izi ve çatlak şeklindeki bozulmaları geciktirmek ve kaymaya karşı direnci artırarak trafik güvenliğini sağlamak amacıyla, 'Modifiye Bitüm Teknik Şartnamesi'ni

hazırlamıştır. KGM tarafından belirtilen Modifiye Bitüm Teknik Şartname Limitleri Çizelge 4.1’de verilmiştir [46].

Çizelge 4.1 KGM modifiye bitüm şartname limitleri [46]

Sıra No	Deney Adı	Standard	Şartname Limitleri			
			Tip-1	Tip-2	Tip-3	Tip-4
1	Penetrasyon(25 <sup>0</sup> C), 0,1mm dk	EN 1426	20	20	40	60
2	Düktilite(25 <sup>0</sup> C), cm dk	ASTMD113	10	60	80	100
3	Yumuşama Noktası(R/B), <sup>0</sup> C	EN 1427	65-75	65-75	60-70	50-60
4	Frass Kırılma Noktası, <sup>0</sup> C dk	EN 12593	-8	-12	-15	-20
5	Elastik Geri Dönme(25 <sup>0</sup> C), % dk	PrEN 13398	25	50	50	50
6	Parlama Noktası, <sup>0</sup> C dk	EN 22592	200	200	200	200
7	Özgül Ağırlık	ASTMD70	1,0-1,1	1,0-1,1	1,0-1,1	1,0-1,1
8	Depolama Stabilitesi					
8.1	-Yumuşama Noktası Farkı, <sup>0</sup> C maks.	PrEN 13399	4	4	4	4
8.2	-Penetrasyon Farkı, <sup>0</sup> C maks.		5	5	8	8
9	Sertleşmeye Karşı Direnç					
9.1	-Kütle Kaybı, % maks.	EN 12607-2	1	1	1	1
9.2	-Yumuşama Noktasındaki Artma, <sup>0</sup> C maks. -Yumuşama Noktasındaki Azalma, <sup>0</sup> C maks.	EN 1427	7 2	7 2	7 2	7 2
9.3	-Penetrasyondaki Azalma,% maks. -Penetrasyondaki Artma,% maks.	EN 1426	40 10	40 10	40 10	40 10
9.4	-Düktilite (25 <sup>0</sup> C), cm dk	ASTMD111	5	30	50	80
9.5	-Elastik Geri Dönme(25 <sup>0</sup> C),% dk	PrEN 13398	25	50	50	50

Tip-1 ve Tip-2 : Akdeniz ikliminin hüküm sürdüğü bölgelerde ve Güney Doğu Anadolu'nun güney kesimlerinde

Tip-3 : Karadeniz, Marmara, iç Anadolu, iç Batı Anadolu, Güney Doğu Anadolu'nun kuzey kesimlerinde ve Doğu Anadolu'nun batı kesimlerinde

Tip-4 : Doğu Anadolu'nun diğer kesimlerinde

#### 4.7 Bitümlü Bağlayıcıların Modifikasyonu İçin Kullanılan Katkılar

Bitümlü bağlayıcıların modifikasyonunda pek çok katkı kullanılabilir. Bitüm katkısı olarak kullanılabilme özelliğine sahip olan bu katkıların genel sınıflandırması Çizelge 4.2'de görülmektedir.

Çizelge 4.2 Bitüm katkı maddelerinin genel sınıflandırması [9] [47]

Tip	Modifiyer	Modifiyerlerin Asfalt Çimentosu Kıvamına Genel Etkileri
1. Filler	<ul style="list-style-type: none"><li>• Mineral Filler: Taş tozu Kireç Portland çimentosu Uçucu kül</li><li>• Karbon siyahı</li><li>• Sülfür</li></ul>	Sertleştirme
2. Extender	<ul style="list-style-type: none"><li>• Sülfür</li><li>• Lignin (Odun özü)</li></ul>	Sertleştirme
3.Elastomerler	<b>POLİMERLER</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Doğal kauçuk (Kauçuk ağacı özsuyu)</li><li>• Yapay Kauçuk</li><li>• Stiren butadien veya SBR</li><li>• Stiren-butadien-Stiren veya SBS</li><li>• Dönüştürülmüş kauçuk</li><li>• EPDM</li><li>• SEBS</li></ul>	Sertleştirme, Elastikiyet

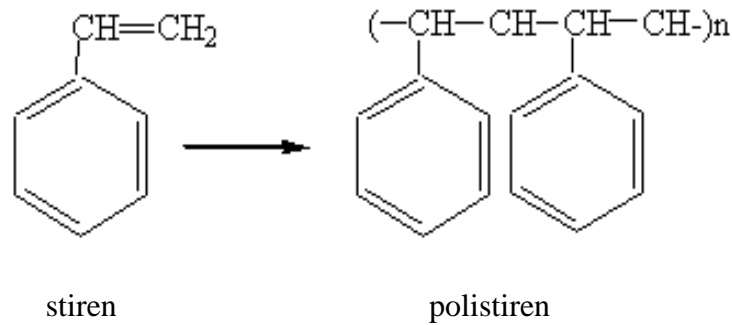
4. Termoplastik	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Polietilen</li> <li>• Polipropilen</li> <li>• Etilen vinil asetat, EVA</li> <li>• Polvinil klorür, PVC</li> <li>• Asetaller</li> <li>• Akrilikler</li> <li>• Floroplastikler</li> <li>• Poliamidler</li> <li>• Polistiren</li> <li>• Polikarbonat</li> <li>• Polifenilen eter</li> <li>• Polisülfid</li> <li>• Poliimidler</li> <li>• Polisülfon</li> <li>• Poliüretan</li> </ul>	Sertleştirme
5. Termoset	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alkitler</li> <li>• Alil</li> <li>• Kazein</li> <li>• Aminoplastlar</li> <li>• Fenolikler</li> <li>• Epoksiler</li> <li>• Dialilftalat</li> <li>• Poliester</li> <li>• Melamin</li> </ul>	Sertleştirme
6.Reaktifler Terpolimerler	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elvaloy RET</li> </ul>	Kalıcı Sertleştirme, Elastikiyet
7. Fiber	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Doğal: Asbest Taş yünü</li> <li>• Yapay: Polipropilen Polyester Fiberglas</li> </ul>	Sertleştirme Sertleştirme
8. Oksidan	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marganez tuzu</li> </ul>	Sertleştirme
9. Antioksidan	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kurşun karışımları</li> <li>• Karbon</li> <li>• Kalsiyum tuzu</li> </ul>	Yumuşatma
10. Hidrokarbon	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yeniden kullanma ve gençleştirme yağları</li> <li>• Sertleştirme ve doğal asfaltlar</li> </ul>	Yumuşatma veya Sertleştirme
11. Soyulma Önleyici	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aminler</li> <li>• Kireç</li> </ul>	Yumuşatma



### POLİMERLER VE GENEL ÖZELLİKLERİ

Polimerler, uygun fonksiyonel grup içeren ve monomer olarak adlandırılan küçük ve basit moleküllerin birbirleri ile kimyasal olarak bağlanması ile oluşan büyük moleküllü maddelerdir [48].

“Poli” latince bir sözcük olup, çok sayıda anlamına gelmektedir. Basit bir örnek olarak polistirenin birçok stiren monomerinin bir araya gelmesi ile oluşması verilebilir [48].



Şekil 5.1 Stiren monomerinden polistirenin oluşumunun şematik gösterimi [48]

Yukarıda görüldüğü gibi stiren monomerinin polimerizasyonu ile bu monomeri çok sayıda içeren polistiren elde edilmektedir.

#### 5.1 Polimerlerin Sınıflandırılması

Polimerler çok çeşitli şekillerde sınıflandırılabilir. En genel olarak polimerleri doğal ve yapay olmak üzere iki gruba ayırabilmek mümkündür. Endüstride kullanılan polimerler yapay polimerlerdir. Yapay polimerler çoğunlukla çok sayıda tekrarlanan monomer veya kısaca mer denilen basit ünitelerden oluşur [47].

Doğal polimerler ise canlı ve cansız bünyelerde doğal olarak kendiliğinden oluşan polimerlerdir. Bir kısmı yapay polimerler gibi tekrarlanan birimlerden oluşmaktadır. Selüloz, nişasta ve doğal kauçuk, yapay polimerlerle aynı yapıda olan doğal polimerlere, proteinler, nükleik asitler ise farklı yapıdaki doğal polimerlere örnektir [47].

Polimerler çeşitli şekillerde sınıflandırılabilir. Genel olarak bunlar [47]:

1. Kimyasal bileşimine göre: Organik, inorganik
2. Yapılarına göre: Homopolimerler, kopolimerler, terpolimer
3. İşleme esasına göre: Termoplastik, termoset, elastomer
4. Kullanım alanına göre: Plastikler, fiberler, kaplamalar
5. Fiziksel yapılarına göre: Amorf, kristalin, yarı kristalin

Polimerler, kimyasal kompozisyonlarına göre organik ve inorganik olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Birçok organik polimerlerde ana zincirde karbon olmak üzere, hidrojen, oksijen, azot ve halojen atomları bulunmaktadır. İnorganik polimerlerde ise ana zincirdeki karbonun yerine silisyum, germanyum, bor ve fosfor gibi elementler bulunmaktadır [47].

Yapılarına göre polimerler homopolimerler, kopolimerler ve terpolimer olmak üzere üç grupta incelenebilirler. Homopolimerler; molekül içinde tek bir monomerin tekrarı ile oluşan polimerlerdir. Kopolimerler ise iki ya da daha fazla monomerin polimerizasyonundan oluşan polimerlerdir. Üç farklı cins monomerden oluşan polimerlere ise terpolimer denir. Bitüm modifikasyonunda sıkça kullanılan EVA ve SBS kopolimerlere, polietilen homopolimere, akrilonitril bütadien stiren (ABS) ise terpolimere örnek olarak verilebilir [47].

Polimerlerin, kimyasal yapılarında yer alan moleküllerin oluşturduğu zincirin, düzenlenme biçimine göre de polimerler üç gruba ayrılabilir. Bunlar; amorf yapıdaki, kristalin yapıdaki ve yarı kristalin yapıdaki polimerlerdir [48].

Amorf yapı, molekül zincirlerinin gelişi güzel konumda olduğu yani karmaşık olduğu bir yapıdır. Yapı içinde polimer molekülleri sürekli hareket halindedir ve zincirler bir biçimden ötekine gelişi güzel dönme ve bükülme hareketi yaparlar. Zikzak hareketleri çok önemlidir ve camsı geçiş sıcaklığında başlar ve sıcaklık arttıkça artış gösterir.

Polimerlerin çoğu tamamıyla amorfudur. Kristalin yapıda ise molekül zincirleri belirli ve hareketsiz bir düzen içerisinde. Polimerler katı halde iken genellikle tamamıyla kristalin yapı yerine amorf ve kristalin karışımı bir yapı göstermektedirler [48].

## 5.2 Polimerlerin Genel Özellikleri

Polimerlerin genel özelliklerinden bazıları aşağıdaki gibi sıralanmıştır [47]:

1. Kimyasal etkilere dayanıklılıkları yüksektir.
2. Yoğunlukları düşüktür. Enerji yutma özellikleri vardır.
3. Makaslamaya duyarlı, kayma dirençleri düşük olup, çekme ve basınç dayanımları yüksektir.
4. Asitlere ve bazlara karşı dirençlidirler. Bu direnç türlerine göre az çok değişir. PE, PP, PTPE, epoksi, silikon, poliester kuvvetli asitlere ve bazlara dirençli tipik örneklerdir. Akrilik, fenolik, poliasetal ve termoplast poliester ise kuvvetli asit ve bazlara karşı direnç göstermeyen ürünlerdir.
5. Kolay biçimlendirilebilirler ve hafiftirler: Yapıda oksijen ve halojen bulunması halinde özgül ağırlıkları artar. Birçok plastik türünün kesin erime noktaları yoktur ve ergime büyük bir yavaşlıkla katı halden yüksek akışkanlı sıvı haline geçiş şeklindedir. Plastiklerin bu özelliğinden yararlanılarak kalıplanması, çekilmesi, şişirilmesi ve sıkıştırılması mümkün olmuştur.
6. Suya karşı dayanıklılıkları iyidir. Bazıları su buharına karşı duyarlı olup, bozulabilirler.
7. Yüksek sıcaklığa karşı termoset polimerler daha dayanıklıdır.
8. Polimer malzemeler ısı ve elektriğe karşı iyi yalıtıcıdır.
9. Polimerlerin deformasyonu da metallerinki gibi zamanla bağlantılıdır
10. Çözünürlük bakımından fenolik, melamin, poliester, epoksi, PA, PE, PP gibi polimerler dirençlidirler. Selüloz, akrilik, vinil plastikleri ile polistiren dirençsiz polimerlerdir.
11. Plastiklerin birçoğu açık hava şartlarından etkilenirler. Akrilik, sülfon, silikon, vinil, florokarbon plastikleri ile PP, PC, poliasetal ve epoksi plastikleri açık hava şartlarına oldukça dirençlidir.

### **5.3 Polimer Modifiye Bitümlerde Kullanılan Polimerlerin Sınıflandırılması**

Son yıllarda geliştirilen teknikler ile plastiklerin işlenmesi ve şekillendirilmesi kolaylaşmış ve bu gelişme ile mühendislik malzemesi olarak kullanılmasına yol açmıştır. Kullanım açısından polimerleri termoplastikler, termosetler ve elastomerler olarak üç gruba ayırmak mümkündür [47].

#### **5.3.1 Termoplastikler**

Mühendislikte en çok kullanılanları, polietilen, polipropilen ve polivinil klorürdür. Bu termoplastikler genellikle elektriksel ve kimyasal özellikleri iyi, sürtünme katsayıları düşük, su absorpsiyonları çok az olan ve kolay işlenebilen reçinelerdir [47].

Termoplastiklerin bitüme ilavesi ile bitüm sert hale getirilir ve bitümlü karışımlar fazla esnemenen büyük yüklere dayanabilmesi sağlanabilmektedir. Bitüm modifikasyonunda kullanılan bazı termoplastikler polietilen (PE), polipropilen (PP), polivinil klorür (PVC), polistiren (PS) ve etilen vinil asetat (EVA) olarak verilebilir. Bunlar bitümlerle karıştırıldıklarında, normal servis sıcaklıklarında bitümün viskozitesini ve sertliğini artırmaktadır [4].

#### **5.3.2 Termosetler**

Yüksek oranda çapraz bağ içeren polimerler ısıtıldıkların zaman termoplastikler gibi yumuşamazlar ve erimezler, hatta tersine sertleşirler. Sıcaklık daha da artırılırsa doğrudan ısıl bozunmaya uğrarlar yani kimyasal olarak parçalanırlar. Bu nedenle, ısıtılınca sertleşen polimerlere ısı ile sertleşen anlamına gelen termoset polimerler denir. Yüksek oranda çapraz bağ içeren termoset polimerlerde ana zincirler birbirlerine sağlam bağlar ile bağlanmış oldukları için zincirlerin birbirlerinden bağımsız olarak hareket etmeleri yani akışkan hale geçmeleri mümkün değildir. Bu nedenle termoset polimerler, yüksek sıcaklıkta yumuşamazlar hep sert kalırlar, ancak belli bir yüksek sıcaklıkta gaz ürünler vererek bozunurlar. En önemli termosetler, alkidler, fenolikler, termoset poliesterler, epoksiler ve poliüretanlardır [48].

### **5.3.3 Elastomerler**

Elastomerler, Şekil ve boyutları az bir kuvvet uygulaması ile önemli ölçüde değişen ve kuvvetin kaldırılması ile kısa sürede ilk Şekil ve boyutlarını kazanabilen büyük molekülle maddelerdir [47]. Bitüm modifikasyonunda kullanılan başlıca elastomerler, doğal kauçuk (NR), polibütadien (BR), isobütadien isopren kauçuk (IIR), etilen propilen di-monomer (EPDM), stiren etilen bütilen stiren (SEBS), stiren-bütadien kauçuk (SBR) ve stiren bütadien stiren blok kopolimer (SBS) olarak verilebilir [4].

## BÖLÜM 6

---

### DENEYSEL ÇALIŞMA

Yapılan deneysel çalışmanın amacı kent içi karayollarında uygulanmakta olan asfalttaki bitümün modifiye edilerek özelliklerinin geliştirilmesidir. Elvaloy RET'in bitümle kimyasal reaksiyonu ve SBS ve EVA'nın bitümle fiziksel olarak karıştırılmasıyla bitüm modifiye edilmiştir. Sonuçların değerlendirilmesi amacıyla modifiye edilen bitüme penetrasyon, elastik geri dönüşüm, duktilite ve yumuşama noktası testleri uygulanmış ve bitümün FT-IR ve TG/DTA'sı çekilmiştir.

#### 6.1 Polimer Modifiye Bitümlerde Kullandığımız Polimerler

##### 6.1.1 Elvaloy RET



Şekil 6.1 Elvaloy RET'in fiziksel görünüşü [49]

Elvaloy RET kimyasal içeriği EGA (etilen/glisid/akrilat) olarak tanımlanan reaktif elastomerik terpolimerdir, ilk DuPont polimeri özellikle asfaltın modifiyesi için tasarlanmıştır. Asfalt ham maddesine Elvaloy RET katı topçuklar halinde asfalt sıcak bir karışıma geçirilmeye hazırlanırken eklenir. Topçuklar yüksek sıcaklık altında erir ve

homojen, kararlı bir bağlayıcı malzeme oluşturur. Oluşan malzeme polimerle modifiye edilmiş bitüm (PMB) olarak bilinir [49].

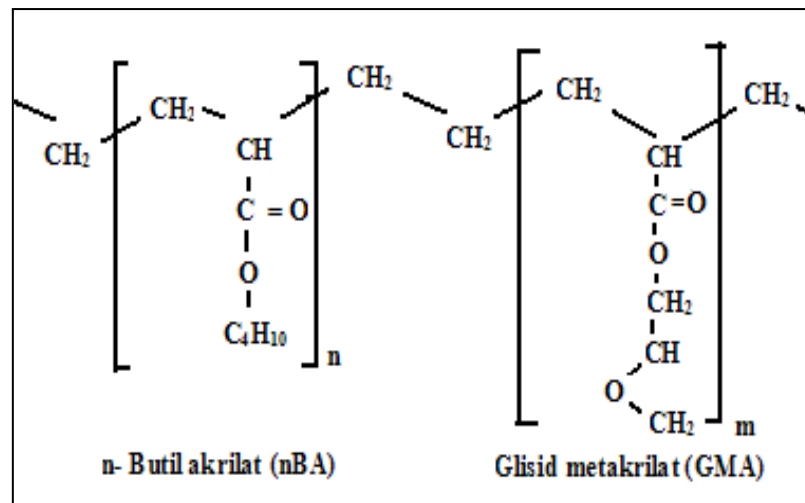
İyi tasarlanmış PMB'nin Elvaloy RET ile birleşmesi yola uzun servis yılları katar ve yol bakım ihtiyaçlarının önemli ölçüde azaltır. Bunlar test sonuçlarıyla kanıtlanmıştır ve saha tecrübesi DuPont EGA terpolimeriyle yapılan asfaltın modifiye edilmemiş ya da stiren bütadien stiren (SBS) blok kopolimeri gibi geleneksel modifiye edicilerle modifiye edilen asfaltın tersine soyulma, kızışma, çatlama ve yorulmaya karşı üstün direnç gösterdiği anlaşılmıştır [49].

### 6.1.1.1 Elvaloy RET'in Kimyasal Bileşimi

Elvaloy RET'in kimyasal bileşimi ve yapısı Çizelge 6.1 ve Şekil 6.2'de gösterildiği gibidir. Elvaloy RET kimyasal olarak etilen, glisid ve akrilattan oluşmuştur.

Çizelge 6.1 Elvaloy RET'in kimyasal bileşimi [50]

Malzeme	Kütlece %'si
Etilen akrilat kopolimer	>99
Düzenlenmemiş katkılar	<1
n-bütül akrilat	<0.4
Glisid metaakrilat	<0.4



Şekil 6.2 Reaktif elastomerik terpolimerin (Elvaloy RET) yapısı [51]

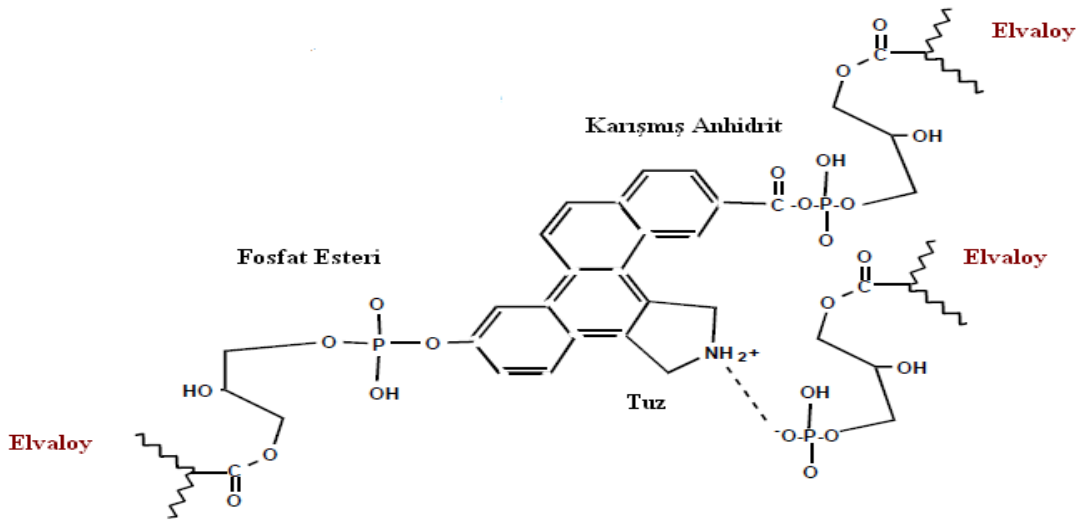
### 6.1.1.2 Elvaloy RET'in Yaşlanma ve Oksidasyona Direnci

Elvaloy RET içindeki akrilat fonksiyonel grupları PMB bağlayıcı maddesine esneklik ve elastomerik özellikler katar. Etilen temelinin doymuş olmasıyla bağıntılı olarak, bütadien temelli malzemelerin aksine, oksidasyona ve yaşlanmaya direnç vardır. Elvaloy RET çok fazla asfalt çeşidi ile uyumludur [51].

### 6.1.1.3 Elvaloy RET'in Asfaltla Kimyasal Reaksiyonu

Elvaloy RET etilen, normal bütül akrilat ve glisid metakrilatı (GMA) gelişi güzel içeren bir terpolimerdir. Moleküler ağırlık ve komonomer basamaklar polimerin üretimi esnasında farklılıklar gösterebilir. Elvaloy RET asfaltla karıştırıldığında ve ısıtıldığında reaksiyondan sorumlu kısım GMA kısmıdır [51].

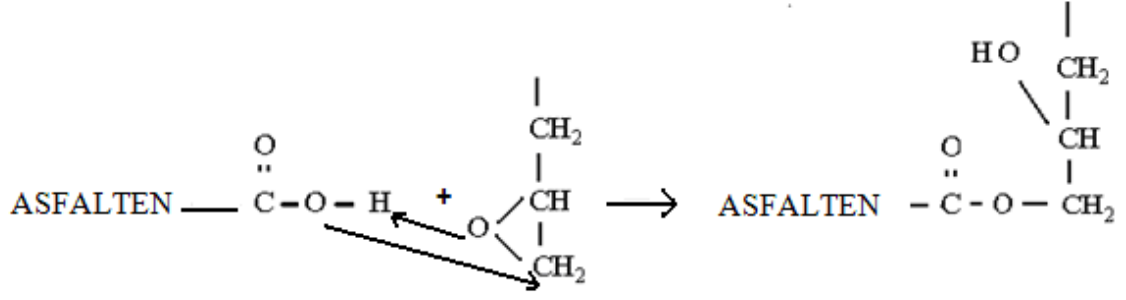
Reaksiyondan sonra Elvaloy RET terpolimerleri asfalt molekülüyle kovalent bağ yapar ve ayrılmaz [51].



Şekil 6.3 Asfaltın Elvaloy RET ile reaksiyonu [51]

Bitümün içersindeki asfaltın gruplarıyla Elvaloy RET'in reaksiyonu Şekil 6.4'de gösterildiği gibidir.





Şekil 6.4 EGA (etilen/glisid/akrilat) polimerinin karboksilli asit grubu içeren asfaltan molekülüyle öngörülen reaksiyonu [52]

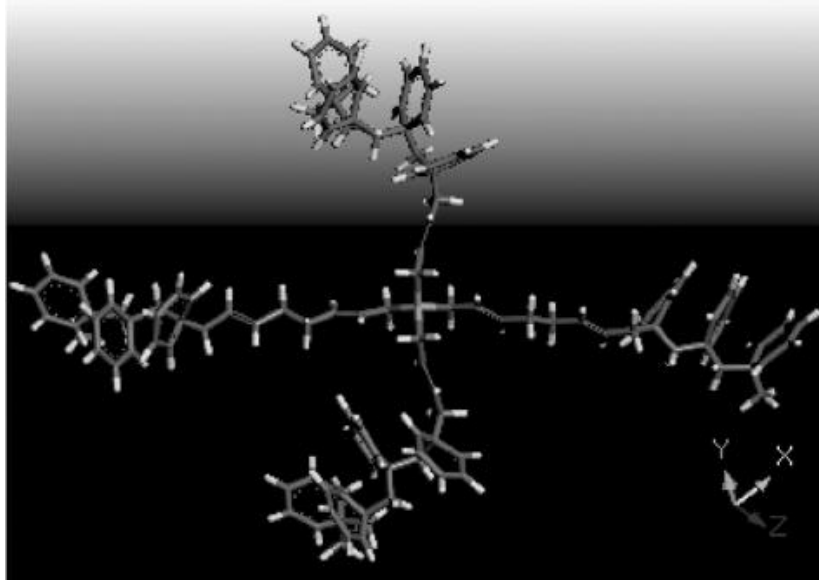
### 6.1.2 Stiren Bütadien Stiren (SBS)



Şekil 6.5 Stiren bütadien stirenin fiziksel görünüşü [53]

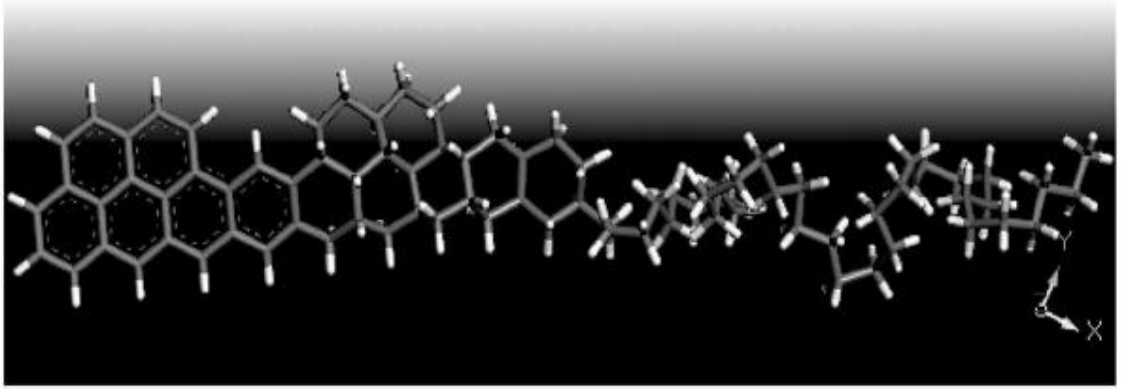
Günümüzde bitümün modifikasyonu amacıyla en çok kullanılan polimer SBS'dir. SBS'yi stiren bütadien kauçuğu (SBR), etilen vinil asetat (EVA) ve polietilen gibi diğer polimerler izler [54].

SBS blok kopolimerleri bitümün elastikiyetini arttıran elastomer olarak sınıflandırılır ve bunlar bitümün modifikasyonu için en uygun polimerlerdir. Düşük sıcaklık elastikiyeti arttırsa da bazı otoriteler yüksek sıcaklıklarda penetrasyona dirençte düşme gözlemlendiğini iddia etmektedir. SBS kopolimerlerinin direnç ve elastikiyeti fiziksel ve üç boyutlu ağda molekül içi bağların çapraz bağlı olmasından kaynaklanmaktadır [54].

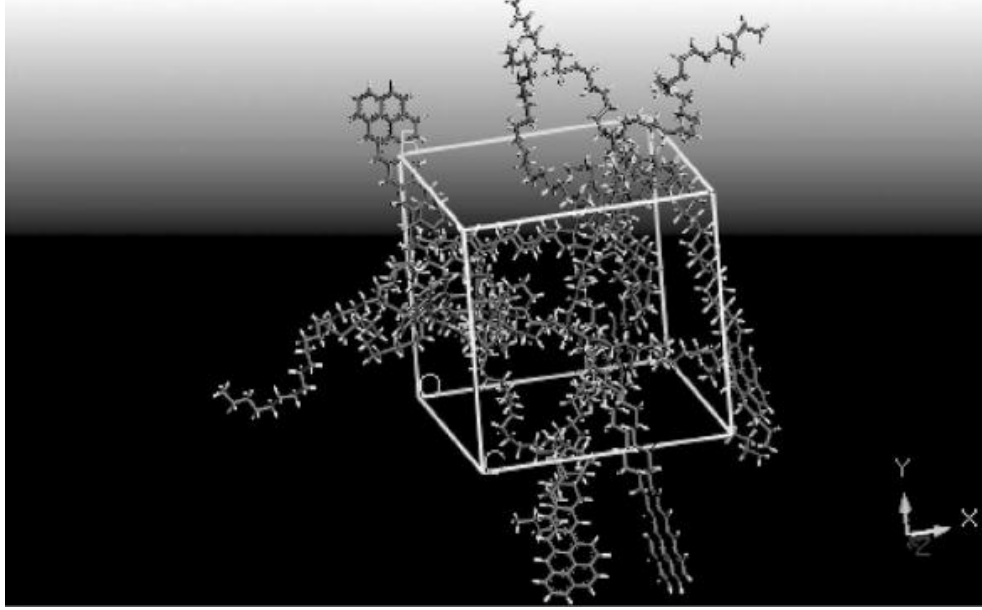


Şekil 6.6 SBS'nin molekül yapısı [55]

Polibutadien kauçuk matris blokları malzemeye olağanüstü viskozitesini verirken polistiren son blokları polimere direnç kazandırır. SBS bitümle karıştırıldığında SBS kopolimerinin elastomerik fazı bitümün yağ kısmını absorplar ve başlangıç hacminden 9 kat fazla şişer. Uygun SBS konsantrasyonunda, polimerle modifiye edilmiş bitümden (PMB) sürekli polimer fazı elde edilir ve belirgin bir şekilde saf bitümün özellikleri modifiye olur [54].



Şekil 6.7 Saf bitümün molekül yapısı [55]



Şekil 6.8 SBS ile modifiye edilmiş asfaltın molekül yapısı [55]

#### 6.1.2.1 Stiren Bütadien Stirenin Bitümle Karıştırılması

SBS'in bitümle karışımı temel olarak bir çözünme olayıdır. Bu çözünme olayı 180-190<sup>0</sup>C'de yapılır. Polimer, sıcak bitümle temas eder etmez bitümün belirli bir kısmını absorbe ederek çözeltinin içine karışır. Çözünme zamanı, polimerin partikül büyüklüğüne ve kullanılan ekipmana göre değişiklik gösterir. SBS'in fiziksel şekli sert granül halindedir. Düşük devirli bir karıştırıcıda bu çözünme olayı 5-8 saat gibi bir zaman alır. Bu nedenle hızlı PMB üretimi için 50 dakikada 10 ton PMB üretecek tesislerde bu üretim gerçekleştirilmektedir [9].

#### 6.1.2.2 Elvaloy RET'in Stiren Bütadien Stiren Kopolimerleriyle Karşılaştırılması

SBS kopolimerleri stiren monomer birimlerinin blok parçaları ve butadien kauçuk monomer birimlerinden oluşur. Her blok parça birçok monomer biriminden oluşur. Asfalt modifikasyonunda en çok kullanılan çeşidi ise lineer stiren-butadien-stiren yapısıdır ayrıca radyal tiplerde kullanıma uygundur [51].

SBS fiziksel olarak asfaltın içinde dağılır ancak kimyasal olarak reaksiyon vermez. Kalıcı dağılım genellikle ekstra dikkat ve özen gerektirir ancak malzemenin kullanımında projede bir gecikme olursa bu oldukça zor olacaktır [51].

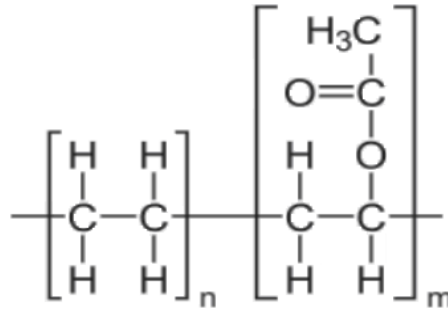
Ayrıca, SBS'nin orta bloğu bütadien doymamıştır, bu kaplamanın oksidasyona uğrayacağını gösterir. Bu başlangıçta asfaltın yaşlanmaya karşı olan direncine katkıda

bulunacaktır, ama polimer bir kez oksidasyona uğradığında, polimer modifikasyonunun viskoelastik özellik avantajları yok olacaktır [51].

Elvaloy RET ise oldukça farklıdır. Etilen terpolimer iki farklı tip fonksiyonel grupla modifiye edilmiş etilen temeli taşır. Bir glisid grubu polimere epoksi reaktifi gibi özellik verir. Asfaltla reaksiyon projede gecikme dahi olsa kalıcı ve zamanla ayrılamayacak homojen dağılımı kesinleştirir. Elvaloy RET asfalta basitçe karıştırılır. SBS gibi özel tesisler gerektirmez. Bir tenekte içinde bile karışımı hazırlanabilir [51].

### 6.1.3 Etilen Vinil Asetat (EVA)

EVA kopolimeri, etilen ve vinil asetatın ortak polimerizasyonu ile üretilen düzensiz yapıli termoplastik malzemelerdir. Vinil asetat miktarı arttıkça, kopolimer özellikleri de değişiklik göstermektedir. EVA kopolimerlerinin özellikleri genel olarak, moleküler ağırlığı ve vinil asetat oranı ile kontrol edilmektedir [56]. EVA 'nın molekül yapısı Şekil 6.9'da gösterilmektedir.



Şekil 6.9 Etilen vinil asetatın yapısı [57]

Pek çok polimerin moleküler ağırlığı, alternatif bir özellik ölçülerek tanımlanır, EVA'lar için, moleküler ağırlıkla ters orantılı bir viskozite deneyi olan erime akış endeksi (MFI) bu amaçla kullanılır. MFI değeri yükseldikçe, moleküler ağırlık ile viskozite azalmaktadır. Bu durum, penetrasyonun yükselmesiyle, bitümün ortalama moleküler ağırlık ile viskozitesinin azaldığı penetrasyon deneyine benzemektedir [56].

Vinil asetatın, modifiye bağlayıcı üzerindeki üzerindeki etkilerini anlayabilmek için, yapısına dikkat edilmelidir [58]. Vinil asetatın yapısındaki zincirin düzenli polietilen kesimleri, birbirleri ile yakın ve düzenli bir şekilde kristalize bölgeler oluşturur. Aynı zamanda, büyük hacimdeki vinil asetat gruplarının, kristal olmayan bölgeler yaratmak amacıyla bu düzeni bozdukları da bilinmektedir. Kristalize bölgeler, diğerlerine göre

daha rijit özellikte olup belirgin derecede serttir; diğer yandan, kristal olmayan bölgeler yumuşak özelliğe sahiptir. Vinil asetat grubu sayısı arttıkça (vinil asetat oranı arttıkça) yumuşak bölge oranı artmakta ve tersine kristalize bölge oranında ise azalma gerçekleşmektedir.

Vinil asetat ve MFI ile belirtilen geniş bir EVA kopolimeri yelpazesi vardır. Örneğin; 150 MFI değeri ve 19 vinil asetat içerikli bir EVA, 150/19 cinsi olarak belirtilir [59].

EVA kopolimerleri bitüm içerisinde kolayca dağılabilmekte ve iyi bir uyum sağlamaktadır. Depolama süresince, bir miktar ayrışma ortaya çıkabilir. Bu nedenle modifiye ürünün kullanımdan önce iyice karıştırılması gerekir [58].

Bitümü karışımlara EVA ilavesi, sadece kaplamanın performansını iyileştirmek için kullanılmamakta, ayrıca soğuk havada yapılan uygulamalarda da önemli miktarlarda EVA kullanılmaktadır. EVA, kesme kuvvetine karşı duyarlılığından ve daha yumuşak bitümle kullanıldığından ötürü karışımın işlenebilirliğini arttırmaktadır. Ancak bu tür karışımlar, soğuk ve özellikle rüzgarlı havalarda serilirken dikkat edilmelidir. Çünkü polimer kristalleştikçe, modifiye olmuş bitüm de hızlı bir biçimde rijitleşir. Yani kaplamanın işlenebilirliği eşit hızda azalır. Sođuđa ve rüzgara maruz kalan kaplama yüzeyinde sert bir kabuk oluşur [58].

## 6.2 Deneysel Çalışmada Kullanılan Kimyasalların Özellikleri

### 6.2.1 Bitüm

50/70 penetrasyonlu bitümün özellikleri Çizelge 6.2’de verilmiştir

Çizelge 6.2 50/70 penetrasyonlu bitümün özellikleri [60]

Özellik	Birim	Değer	Sınır	Deney Yöntemi
Penetrasyon 25 <sup>0</sup> C’ta, 100 g, 5 saniye	0.1 mm	50/70		TS EN 1426
Yumuşama Noktası (yüzük ve top metodu)	<sup>0</sup> C	46-54		TS EN 1427
Sertleşmeye karşı direnç (a) 163 <sup>0</sup> C’ta				TS EN 12607-1 veya TS EN 12607-2
Kütle değişimi (Isıtmadaki kayıp)	%	0.5	En çok	TS 121 veya TS EN 12607-1 veya TS EN 12607-2
	%	50	En az	TS EN 1426
- Kalıcı penetrasyon				
- Sertleştirmeden sonra yumuşama noktası	<sup>0</sup> C	48	En az	TS EN 1427
Parlama Noktası	<sup>0</sup> C	230	En az	TS EN ISO 2592
Çözünürlük	% ağırlık	99	En az	TS EN 12592
Yumuşama noktası yükselmesi	<sup>0</sup> C	9	En çok	TS EN 1427

(a) Referans olarak sadece RTFOT (Rolling Thin Film Oven Test) metodu kullanılmalıdır.

### 6.2.2 Elvaloy RET

Elvaloy RET'in fiziksel ve termal özellikleri Çizelge 6.3'de verilmiştir.

Çizelge 6.3 Elvaloy RET'in özellikleri [61]

<b>Fiziksel özellikler</b>	<b>Değerler</b>	<b>Test metotları</b>
Yoğunluk	0,94 g/cm <sup>3</sup>	
Eriyik akış hızı (190°C/2,16 kg)	8 g/10 dk	ASTM D1238 ISO 1133
<b>Termal özellikler</b>	<b>Değerler</b>	<b>Test metotları</b>
Erime noktası	72°C	
Maksimum proses sıcaklığı	310°C	

### 6.2.3 Stiren Bütadien Stiren (SBS)

SBS'in özellikleri Çizelge 6.4'te verilmiştir.

Çizelge 6.4 SBS'nin özellikleri [62]

<b>Özellik</b>	<b>Test metodu</b>	<b>Birim</b>	<b>Tipik değer</b>
Eriyik akış hızı 200°C/5 kg	ISO 1133	g / 10 dk	< 1
Özgül ağırlık	ISO 2781		0,94
Yığın yoğunluğu	ASTM D1895 B metodu	kg/dm <sup>3</sup>	0,4
Sertlik	ISO 868	Shore A (30s)	72
Gerilme direnci (b)	ISO 37	MPa	33
Kopma anında uzama (b)	ISO 37	%	880
%300 modül (b)	ISO 37	MPa	2,9

(b) Toluene çözeltisinde şekillendirilmiş filmler üzerinde ölçülmüştür.

#### 6.2.4 Etilen Vinil Asetat (EVA)

Etilen vinil asetat (EVA)'ın özellikleri Çizelge 6.5'de verilmiştir.

Çizelge 6.5 EVA'nın özellikleri [63]

Özellik	Değer	Birim	Test Yöntemi
Vinil asetat içeriği	27-29	%	FTIR
Eriyik akış hızı (190 <sup>0</sup> C/2,16kg)	5-8	g/10 dk	ISO 1133 / ASTM D1238
Yoğunluk (23 <sup>0</sup> C)	0,95	g/cm <sup>3</sup>	ISO 1183
Erime noktası	72	<sup>0</sup> C	ISO 11357-3
Kopma anındaki uzama	700-1000	%	ISO 527 / ASTM D638
Kopma anında gerilme direnci	24	MPa	ISO 527 / ASTM D638
Sertlik	80	Shore A (30s)	ISO 868 / ASTN D2240

#### 6.2.5 Süper Polifosforik Asit (SPFA)

Süper polifosforik asidin genel formülü n>1 için H<sub>n+2</sub>P<sub>n</sub>O<sub>3n+1</sub>'dir.

Çizelge 6.6 Süper polifosforik asidin özellikleri [64]

Fiziksel durum	Sıvı
Form	Viskoz
Renk	Renksiz-soluk yeşil
PH	<2
Erime noktası	16-30°C
Kaynama noktası	310°C
Spesifik yoğunluğu (25 °C)	1920 kg/m <sup>3</sup>
Suda çözünürlüğü	Çözünür, reaktiftir
Organik çözücülerdeki çözünürlüğü	Alkollerde çözünür, reaktiftir
Dinamik viskozitesi	25°C'de 840 mPa 100°C'de 35 mPa.s



### **6.3 Deneyin Yapılışı**

TÜPRAŞ üretimi 50/70 penetrasyonlu bitüm tartılıp ve 200<sup>0</sup>C'ye kadar ısıtıldıktan sonra 120 devir/dk hızla karıştırıldı. 200<sup>0</sup>C'deki 50/70 bitüme ağırlıkça yüzdesi belli SBS ilave edilerek 2 saat karıştırılmaya devam edildi ve karışımdan örnek alındı (A). 200<sup>0</sup>C'deki karıştırılmaya devam edilen bitüme yüzdesi belli EVA ilave edildi ve 1 saat sonra karışımdan örnek alındı (B). 200<sup>0</sup>C'deki karıştırılmaya devam edilen bitüme yüzdesi belli Elvaloy RET ilave edilerek 1.saat ve 2.saat sonunda karışımdan birer örnek alındı (C ve D) ve karıştırılmaya devam edilen bitüme ağırlıkça %0,2 oranında süper polifosforik asit (SPFA) ilave edilerek 1.saat ve 2.saat sonunda birer örnek alındı (E ve F).

Örneklere; penetrasyon, yumuşama noktası, duktilite ve elastik geri dönme testleri yapıldı.

### **6.4 Kullanılan Cihazlar**

Penetrasyon deneyinde Testform marka TF-B056 model penetrasyon ölçme cihazı, yumuşama noktası deneyinde Testform marka TF-B072 model yumuşama noktası tayin cihazı, duktilite ve elastik geri dönme deneylerinde ise Testform marka TF-B054 model duktilite cihazı kullanıldı.

Perkin Elmer marka TG/DTA 6300 model TGA/DTA cihazı 30-600<sup>0</sup>C aralığında kullanıldı.

FT-IR spektrumu Mattson marka 1000 model Fourier Transform IR Spektrometre ile incelendi.

## BÖLÜM 7

---

### SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Yapılan çalışmalar üç başlık altında toplanabilir.

- a) Ağırlıkça %1 EVA ve %1 Elvaloy RET sabit oranında, %0,5-2,5 değişen SBS oranında,
- b) Ağırlıkça %1 SBS ve %1 Elvaloy RET sabit oranında, %0,5-2,5 değişen EVA oranında,
- c) Ağırlıkça %1 EVA ve %1 SBS sabit oranında, %0,5-2,5 değişen Elvaloy RET oranında,

çalışıldı.

- a) Penetrasyon,
- b) Yumuşama noktası tayini,
- c) Düktilite,
- d) Elastik geri dönme

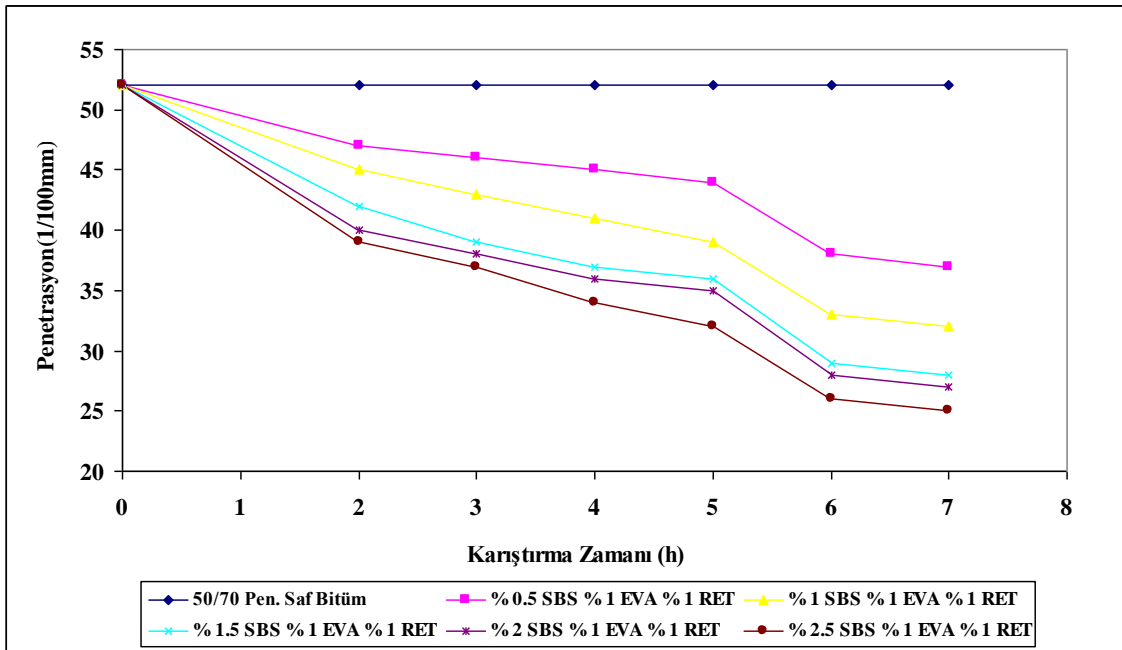
testleri yapılarak hazırlanan bitüm örnekleri incelendi. Elde edilen sonuçlar karşılaştırıldı.

## 7.1 Değişen SBS Oranının Etkisi

### 7.1.1 Penetrasyon Sonuçları

Çizelge 7.1 Farklı SBS oranlarıyla hazırlanan bitümlere ait penetrasyon sonuçları

Değişen SBS %'si	Penetrasyon (1/100mm)					
	1.Örnek A	2.Örnek B	3.Örnek C	4.Örnek D	5.Örnek E	6.Örnek F
0,5	47	46	45	44	38	37
1	45	43	41	39	33	32
1,5	42	39	37	36	29	28
2	40	38	36	35	28	27
2,5	39	37	34	32	26	25



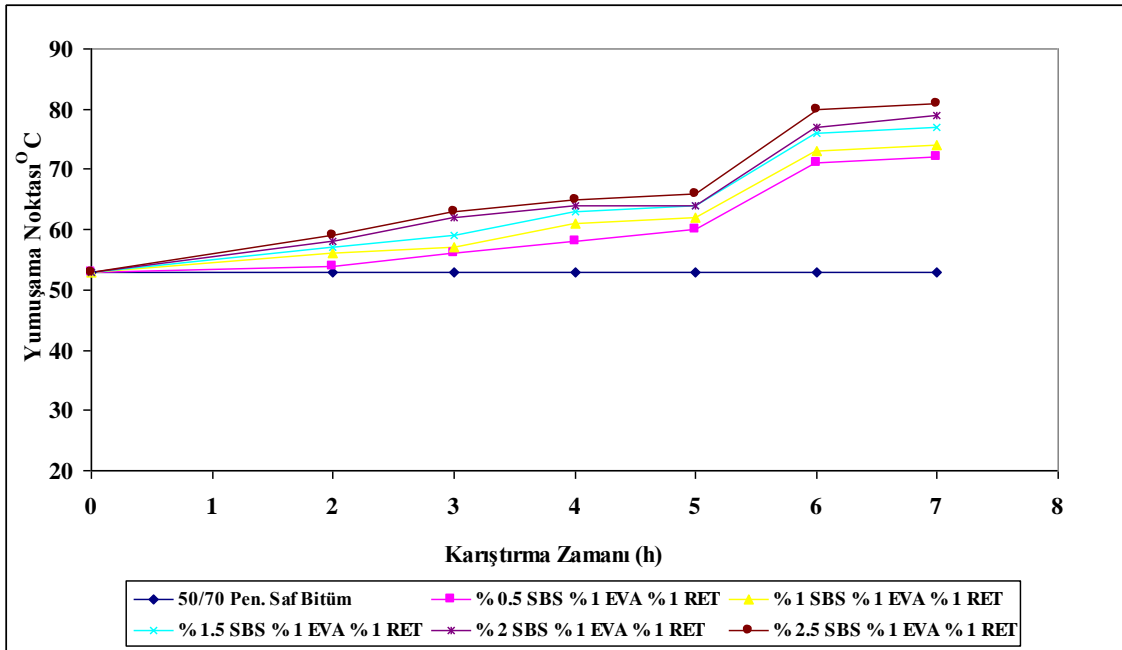
Şekil 7.1 Farklı SBS oranlarıyla hazırlanan bitümlere ait penetrasyon sonuçları

Şekil 7.1 incelendiğinde ilave edilen SBS oranı arttıkça penetrasyon değerinde azalma olduğu görüldü. Bu azalma SBS'in bitüme sertleştirme özelliği vermesinden kaynaklandı.

## 7.1.2 Yumuşama Noktası Sonuçları

Çizelge 7.2 Farklı SBS oranlarıyla hazırlanan bitümlere ait yumuşama noktası sonuçları

Değişen SBS %'si	Yumuşama Noktası (°C)					
	1.Örnek A	2.Örnek B	3.Örnek C	4.Örnek D	5.Örnek E	6.Örnek F
0,5	54	56	58	60	71	72
1	56	57	61	62	73	74
1,5	57	59	63	64	76	77
2	58	62	64	64	77	79
2,5	59	63	65	66	80	81



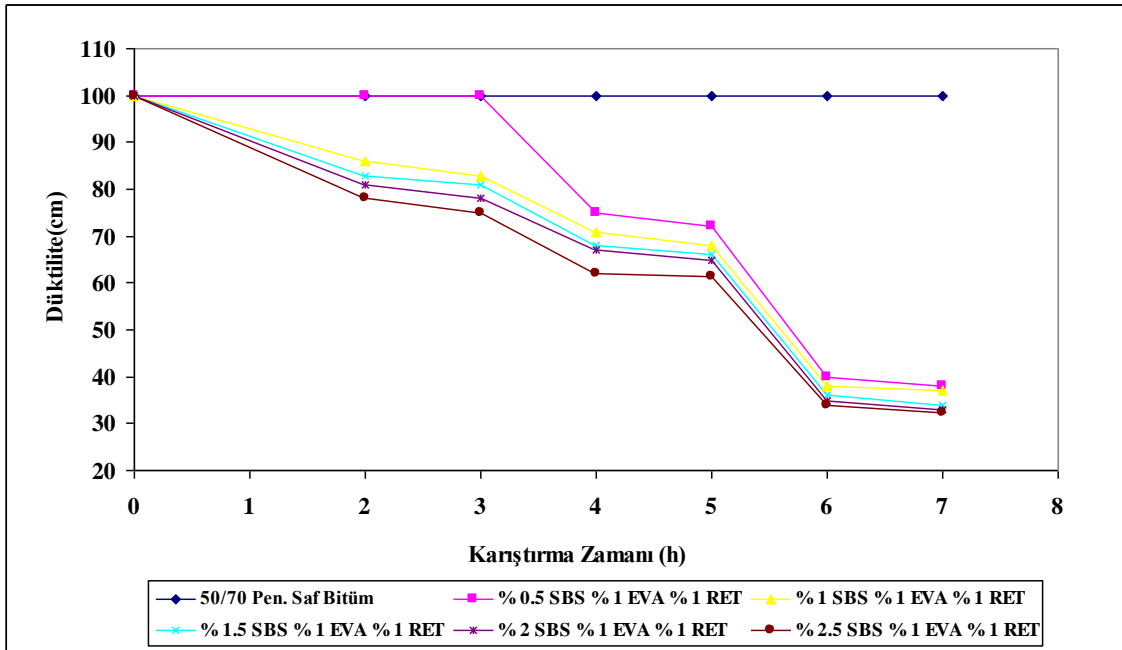
Şekil 7.2 Farklı SBS oranlarıyla hazırlanan bitümlere ait yumuşama noktası sonuçları

Şekil 7.2 incelendiğinde ilave edilen SBS oranı arttıkça yumuşama noktası değerinde artma olduğu görüldü. Bu da bitümümüzün daha yüksek sıcaklıklarda kullanılabilirliğini gösterdi.

### 7.1.3 Düktilite Sonuçları

Çizelge 7.3 Farklı SBS oranlarıyla hazırlanan bitümlere ait düktilite sonuçları

Değişen SBS %'si	Düktilite (cm)					
	1.Örnek A	2.Örnek B	3.Örnek C	4.Örnek D	5.Örnek E	6.Örnek F
0,5	100	100	75	72	40	38
1	86	83	71	68	38	37
1,5	83	81	68	66	36	34
2	81	78	67	65	35	33
2,5	78	75	62	61,5	34	32,4



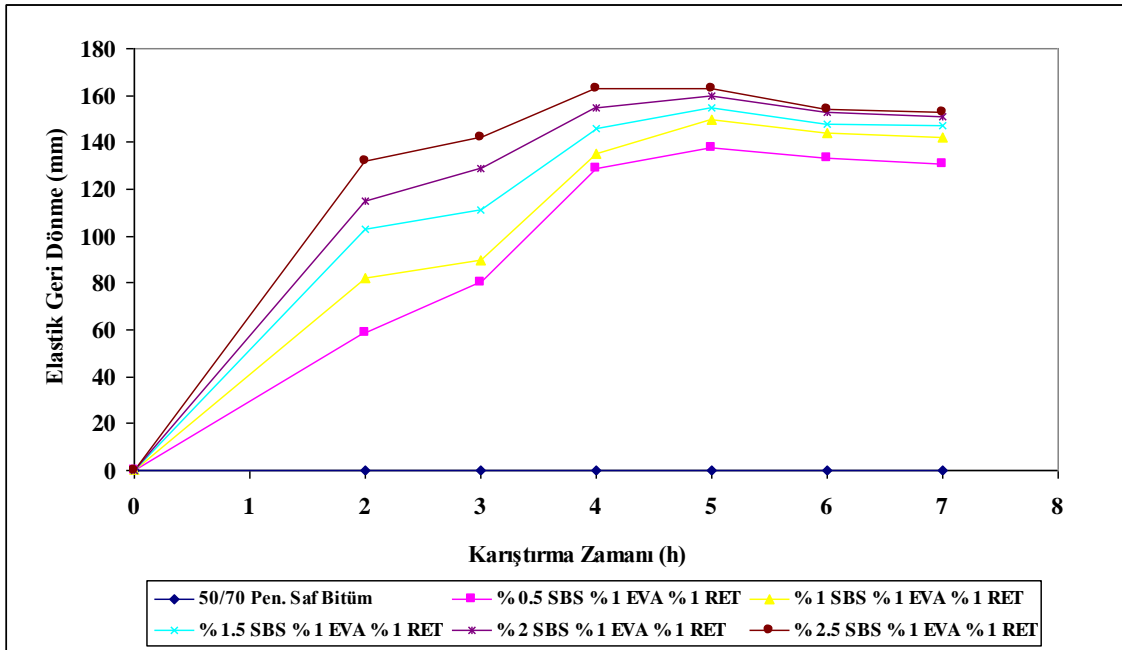
Şekil 7.3 Farklı SBS oranlarıyla hazırlanan bitümlere ait düktilite sonuçları

Şekil 7.3 incelendiğinde ilave edilen SBS oranı arttıkça düktilite değerinde azalma olduğu görüldü. Ağırlıkça %0,5 SBS içeren bitümde ilk 3 saat azalmanın olmamasının nedeni yüzde oranının çok düşük olmasıdır.

#### 7.1.4 Elastik Geri Dönme Sonuçları

Çizelge 7.4 Farklı SBS oranlarıyla hazırlanan bitümlere ait elastik geri dönme sonuçları

Değişen SBS %'si	Elastik Geri Dönme (mm)					
	1.Örnek A	2.Örnek B	3.Örnek C	4.Örnek D	5.Örnek E	6.Örnek F
0,5	59	80	129	138	133	131
1	82	90	135	150	144	142
1,5	103	111	146	155	148	147
2	115	129	155	160	153	151
2,5	132	142	163	163	154	153



Şekil 7.4 Farklı SBS oranlarıyla hazırlanan bitümlere ait elastik geri dönme sonuçları

Şekil 7.4 incelendiğinde ilave edilen SBS oranı arttıkça elastik geri dönmede 5. saate kadar artma 5. saatten sonrada azalma olduğu görüldü. Bu azalma ilave edilen Elvaloy RET'in SPFA etkisiyle reaksiyona girmesinden kaynaklandı. Elastik geri dönme değerinin artması SBS'in bitüme elastikleştirme özelliği vermesinden kaynaklandı.

Ağırlıkça %1 EVA ve %1 Elvaloy RET, %0,5-2,5 değişen oranında SBS içeren bitümün penetrasyon değerlerinin 47-25, yumuşama noktası değerlerinin 54-81<sup>0</sup>C, duktilite değerlerinin 100-32,4 cm ve elastik geri dönme değerlerinin 59-153 mm arasında değiştiği belirlendi.

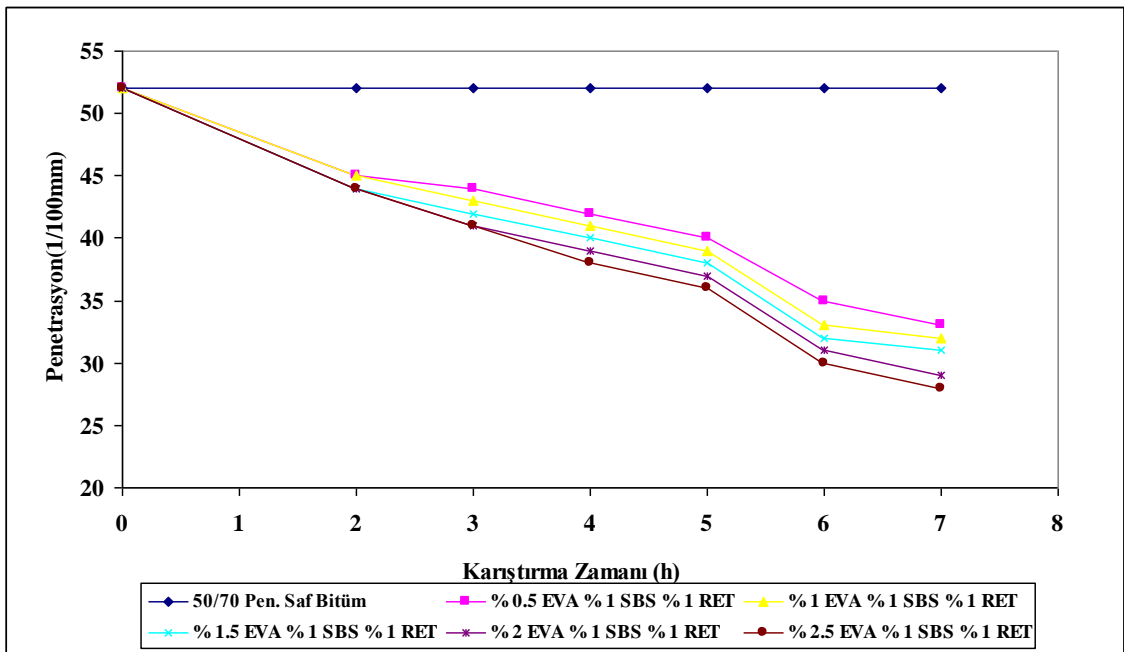
Bitüme ilave edilen SBS oranının artması ile penetrasyon ve düktilite değerlerinde azalma, yumuşama noktası ve elastik geri dönme değerlerinde ise artma olması SBS'in bitümün performansında oldukça etkili olduğunu gösterdi.

## 7.2 Değişen EVA Oranının Etkisi

### 7.2.1 Penetrasyon Sonuçları

Çizelge 7.5 Farklı EVA oranlarıyla hazırlanan bitümlere ait penetrasyon sonuçları

Değişen EVA %'si	Penetrasyon (1/100mm)					
	1.Örnek A	2.Örnek B	3.Örnek C	4.Örnek D	5.Örnek E	6.Örnek F
0,5	45	44	42	40	35	33
1	45	43	41	39	33	32
1,5	44	42	40	38	32	31
2	44	41	39	37	31	29
2,5	44	41	38	36	30	28



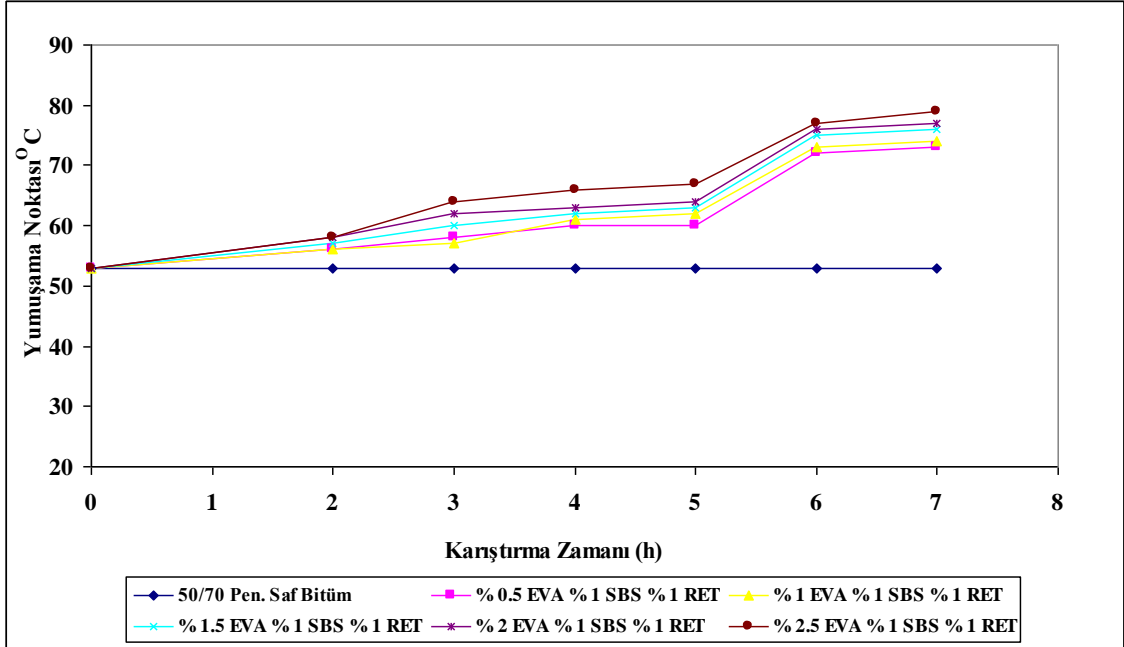
Şekil 7.5 Farklı EVA oranlarıyla hazırlanan bitümlere ait penetrasyon sonuçları

Şekil 7.5 incelendiğinde ilave edilen EVA oranı arttıkça penetrasyon değerinde azalma olduğu görüldü. Bu azalma EVA'nın bitüme sertleştirme özelliği vermesinden kaynaklandı.

## 7.2.2 Yumuşama Noktası Sonuçları

Çizelge 7.6 Farklı EVA oranlarıyla hazırlanan bitümlere ait yumuşama noktası sonuçları

Değişen EVA %'si	Yumuşama Noktası (°C)					
	1.Örnek A	2.Örnek B	3.Örnek C	4.Örnek D	5.Örnek E	6.Örnek F
0,5	56	58	60	60	72	73
1	56	57	61	62	73	74
1,5	57	60	62	63	75	76
2	58	62	63	64	76	77
2,5	58	64	66	67	77	79



Şekil 7.6 Farklı EVA oranlarıyla hazırlanan bitümlere ait yumuşama noktası sonuçları

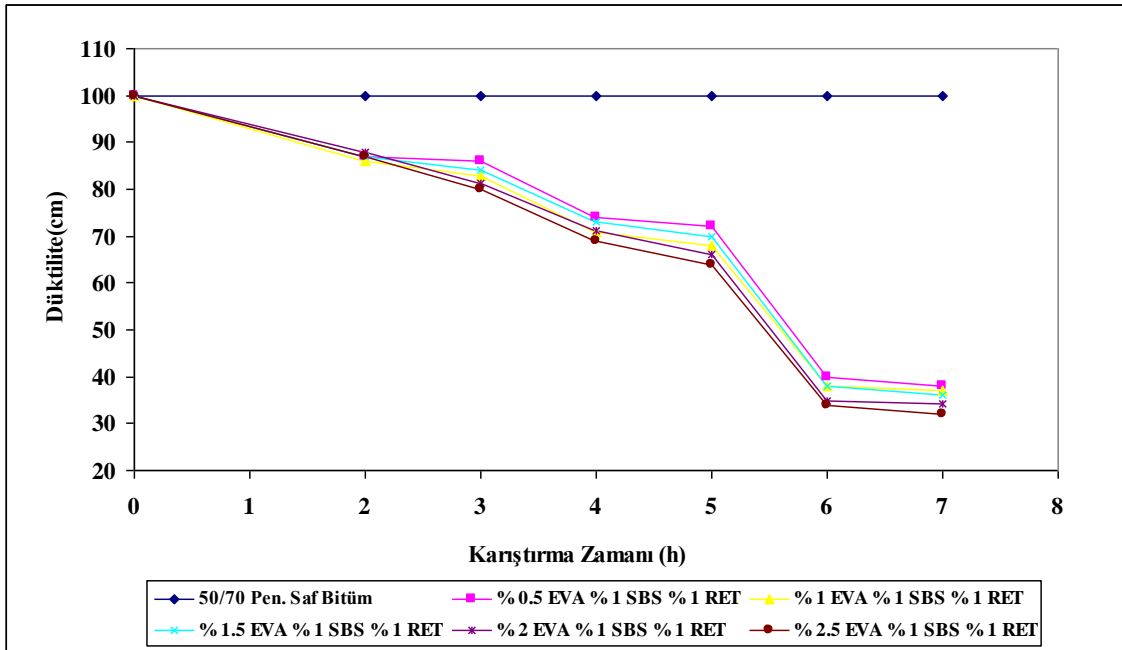
Şekil 7.6 incelendiğinde ilave edilen EVA oranı arttıkça yumuşama noktası değerinde artma olduğu görüldü. Bu da bitümümüzün daha yüksek sıcaklıklarda kullanılabileceğini gösterdi.



### 7.2.3 Düktilite Sonuçları

Çizelge 7.7 Farklı EVA oranlarıyla hazırlanan bitümlere ait düktilite sonuçları

Değişen EVA %'si	Düktilite (cm)					
	1.Örnek A	2.Örnek B	3.Örnek C	4.Örnek D	5.Örnek E	6.Örnek F
0,5	87	86	74	72	40	38
1	86	83	71	68	38	37
1,5	87	84	73	70	38	36
2	88	81,3	71,2	66	35	34,3
2,5	87	80	69	64	34	32



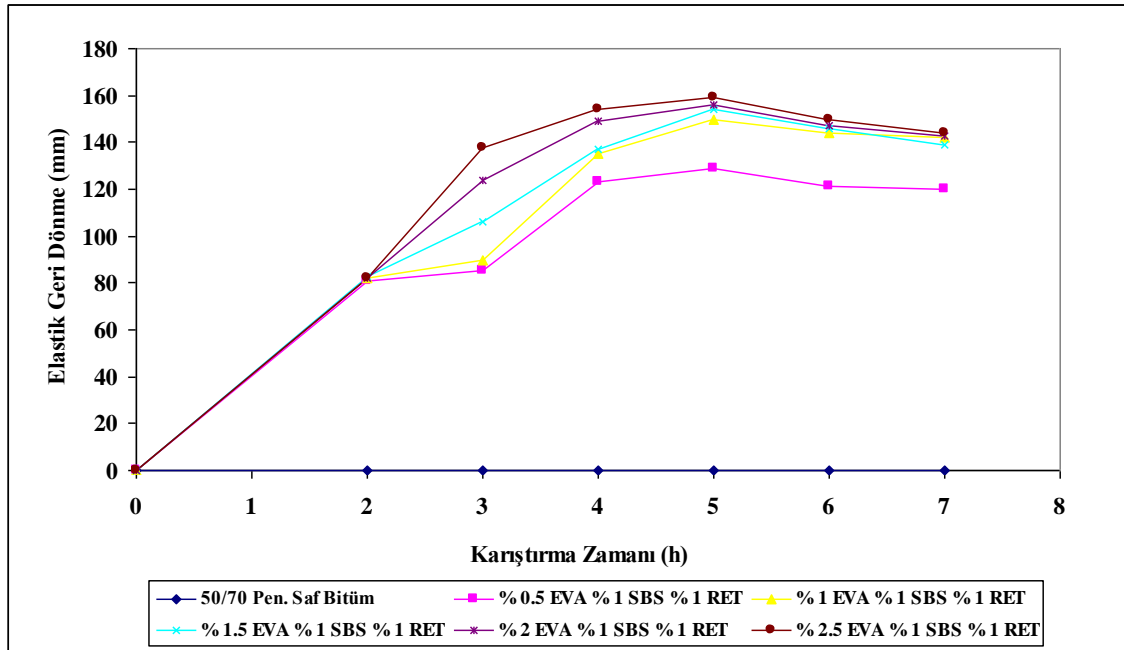
Şekil 7.7 Farklı EVA oranlarıyla hazırlanan bitümlere ait düktilite sonuçları

Şekil 7.7 incelendiğinde ilave edilen EVA oranı arttıkça düktilite değerinde azalma olduğu görüldü.

## 7.2.4 Elastik Geri Dönme Sonuçları

Çizelge 7.8 Farklı EVA oranlarıyla hazırlanan bitümlere ait elastik geri dönme sonuçları

Değişen EVA %'si	Elastik Geri Dönme (mm)					
	1.Örnek A	2.Örnek B	3.Örnek C	4.Örnek D	5.Örnek E	6.Örnek F
0,5	81	85	123	129	121	120
1	82	90	135	150	144	142
1,5	83	106	137	154	146	139
2	82	124	149	156	147	143
2,5	82	138	154	159	150	144



Şekil 7.8 Farklı EVA oranlarıyla hazırlanan bitümlere ait elastik geri dönme sonuçları

Şekil 7.8 incelendiğinde ilave edilen EVA oranı arttıkça elastik geri dönmede 5. saate kadar artma 5. saatten sonrada azalma olduğu görüldü. Bu azalma ilave edilen Elvaloy RET'in SPFA etkisiyle reaksiyona girmesinden kaynaklandı. Elastik geri dönme değerinin artması EVA'ın bitüme elastikleştirme özelliği vermesinden kaynaklandı.

Ağırlıkça %1 SBS ve %1 Elvaloy RET, %0,5-2,5 değişen oranında EVA içeren bitümün penetrasyon değerlerinin 45-28, yumuşama noktası değerlerinin 56-79<sup>0</sup>C, duktilite değerlerinin 87-32 cm ve elastik geri dönme değerlerinin 81-144 mm arasında değiştiği belirlendi.

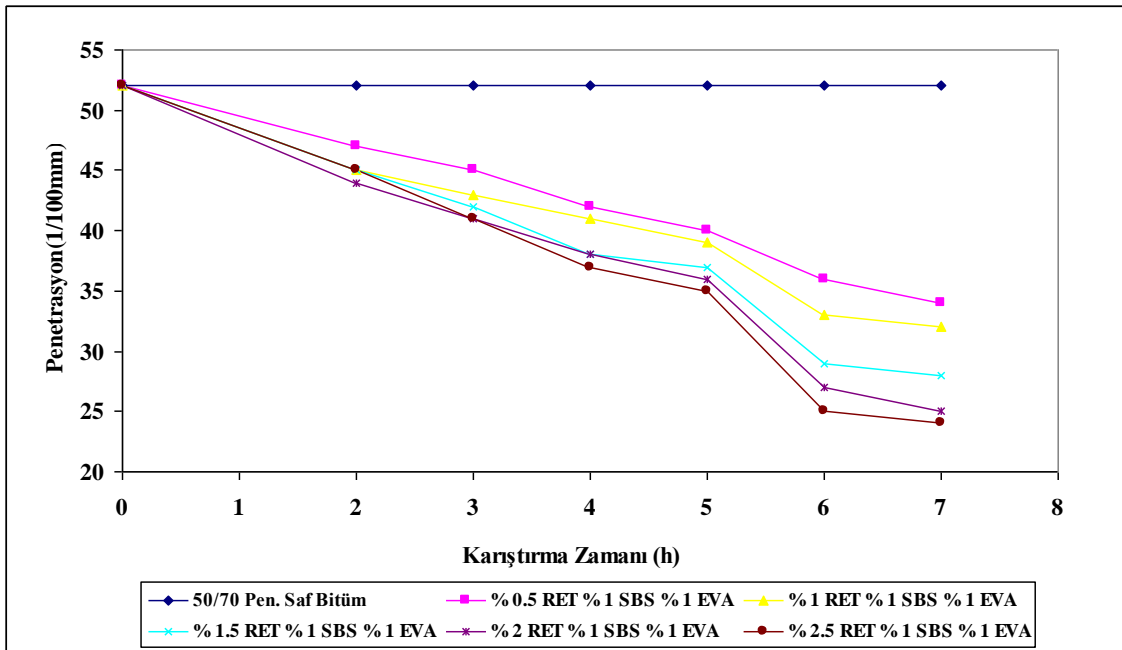
Bitüme ilave edilen EVA oranının artması ile penetrasyon ve düktilite değerlerinde azalma, yumuşama noktası ve elastik geri dönme değerlerinde ise artma olması EVA'nın bitümün performansında etkili olduğunu gösterdi.

### 7.3 Değişen Elvaloy RET Oranının Etkisi

#### 7.3.1 Penetrasyon Sonuçları

Çizelge 7.9 Farklı Elvaloy RET oranlarıyla hazırlanan bitümlere ait penetrasyon sonuçları

Değişen Elvaloy RET %'si	Penetrasyon (1/100mm)					
	1.Örnek A	2.Örnek B	3.Örnek C	4.Örnek D	5.Örnek E	6.Örnek F
0,5	47	45	42	40	36	34
1	45	43	41	39	33	32
1,5	45	42	38	37	29	28
2	44	41	38	36	27	25
2,5	45	41	37	35	25	24



Şekil 7.9 Farklı Elvaloy RET oranlarıyla hazırlanan bitümlere ait penetrasyon sonuçları

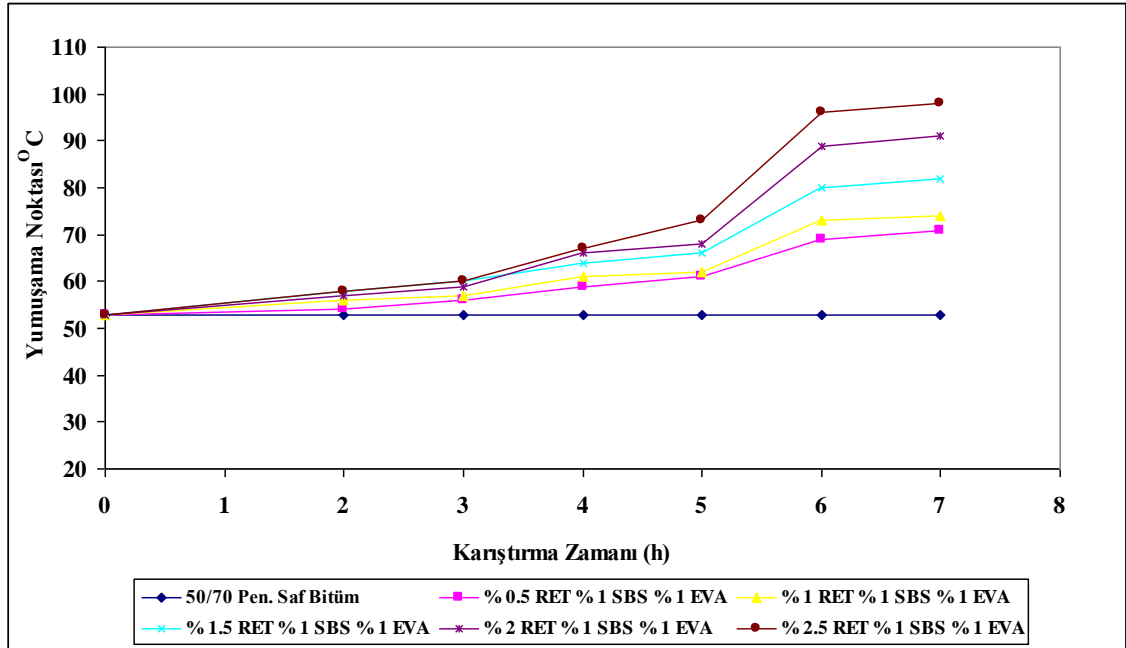
Şekil 7.9 incelendiğinde ilave edilen Elvaloy RET oranı arttıkça penetrasyon değerinde azalma olduğu görüldü. Bu azalma Elvaloy RET'in bitüme sertleştirme özelliği

vermesinden kaynaklandı. Elvaloy RET'in bitümün karboksilli asit grubu içeren asfaltın molekülüyle reaksiyona girmesinden dolayı bitüme kalıcı sertlik vermektedir.

### 7.3.2 Yumuşama Noktası Sonuçları

Çizelge 7.10 Farklı Elvaloy RET oranlarıyla hazırlanan bitümlere ait yumuşama noktası sonuçları

Değişen Elvaloy RET %'si	Yumuşama Noktası (°C)					
	1.Örnek A	2.Örnek B	3.Örnek C	4.Örnek D	5.Örnek E	6.Örnek F
0,5	54	56	59	61	69	71
1	56	57	61	62	73	74
1,5	58	60	64	66	80	82
2	57	59	66	68	89	91
2,5	58	60	67	73	96	98



Şekil 7.10 Farklı Elvaloy RET oranlarıyla hazırlanan bitümlere ait yumuşama noktası sonuçları

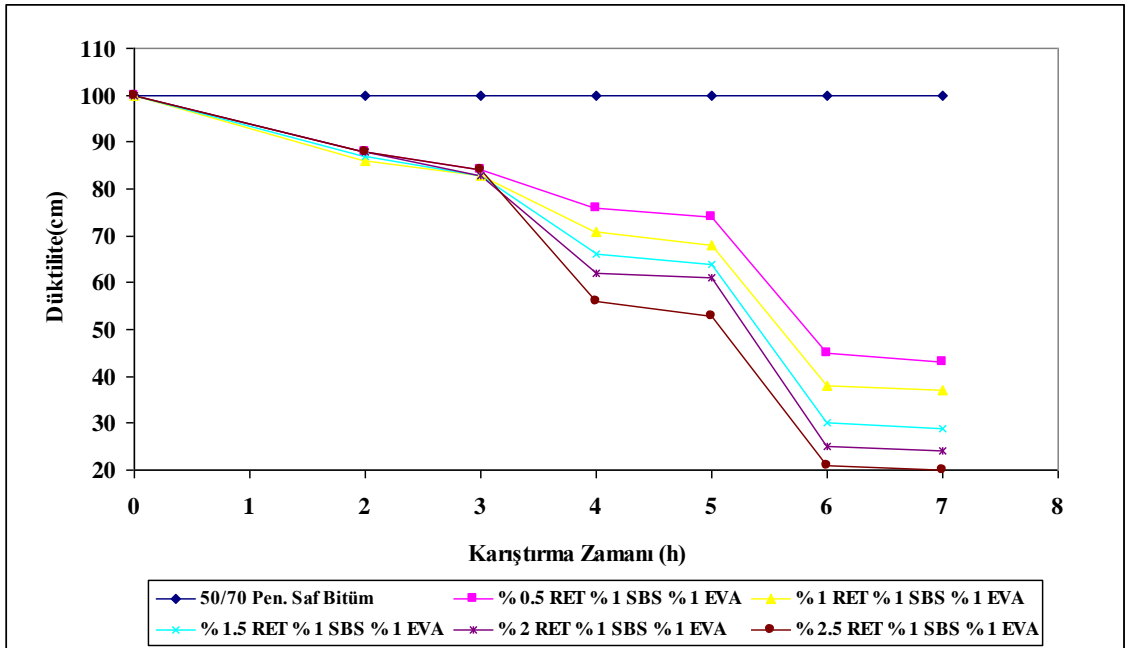
Şekil 7.10 incelendiğinde ilave edilen Elvaloy RET oranı arttıkça yumuşama noktası değerinde yüksek oranda artma olduğu görüldü. Uygulanan yumuşama noktası deneylerinde elde edilen en yüksek değerler ağırlıkça %2,5 Elvaloy RET içeren

bitümden elde edildi. Bu da bitümümüzün daha yüksek sıcaklıklarda kullanılabilceğini gösterdi.

### 7.3.3 Düktilite Sonuçları

Çizelge 7.11 Farklı Elvaloy RET oranlarıyla hazırlanan bitümlere ait düktilite sonuçları

Değişen Elvaloy RET %'si	Düktilite (cm)					
	1.Örnek A	2.Örnek B	3.Örnek C	4.Örnek D	5.Örnek E	6.Örnek F
0,5	88	84	76	74	45	43
1	86	83	71	68	38	37
1,5	87	83	66	64	30	29
2	88	83	62	61	25	24
2,5	88	84	56	53	21	20



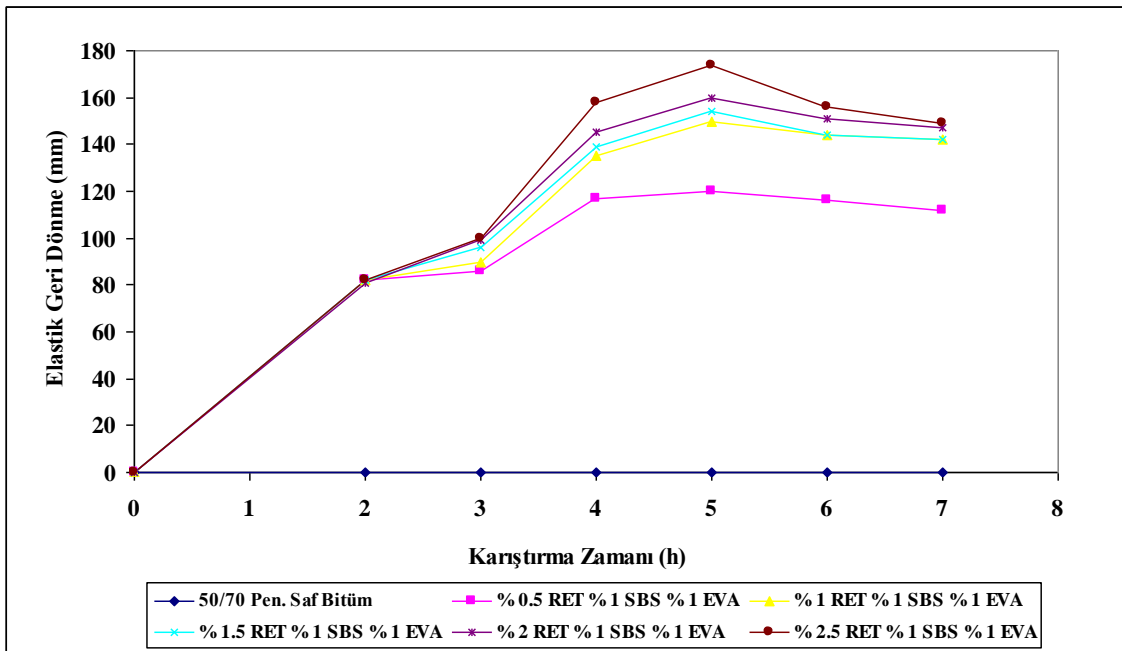
Şekil 7.11 Farklı Elvaloy RET oranlarıyla hazırlanan bitümlere ait düktilite sonuçları

Şekil 7.11 incelendiğinde ilave edilen Elvaloy RET oranı arttıkça düktilite değerinde azalma olduğu görüldü. Ağırlıkça %2 Elvaloy RET içeren bitümde azalmanın oldukça fazla olduğu görüldü.

### 7.3.4 Elastik Geri Dönme Sonuçları

Çizelge 7.12 Farklı Elvaloy RET oranlarıyla hazırlanan bitümlere ait elastik geri dönme sonuçları

Değişen Elvaloy RET %'si	Elastik Geri Dönme (mm)					
	1.Örnek A	2.Örnek B	3.Örnek C	4.Örnek D	5.Örnek E	6.Örnek F
0,5	82	86	117	120	116	112
1	82	90	135	150	144	142
1,5	82	96	139	154	144	142
2	81	99	145	160	151	147
2,5	82	100	158	174	156	149



Şekil 7.12 Farklı Elvaloy RET oranlarıyla hazırlanan bitümlere ait elastik geri dönme sonuçları

Şekil 7.12 incelendiğinde ilave edilen Elvaloy RET oranı arttıkça elastik geri dönmede 5. saate kadar artma 5. saatten sonrada azalma olduğu görüldü. Bu azalma ilave edilen Elvaloy RET'in SPFA etkisiyle reaksiyona girmesinden kaynaklandı.

Ağırlıkça %1 SBS ve %1 EVA, %0,5-2,5 değişen oranında Elvaloy RET içeren bitümün penetrasyon değerlerinin 47-24, yumuşama noktası değerlerinin 54-98<sup>0</sup>C,

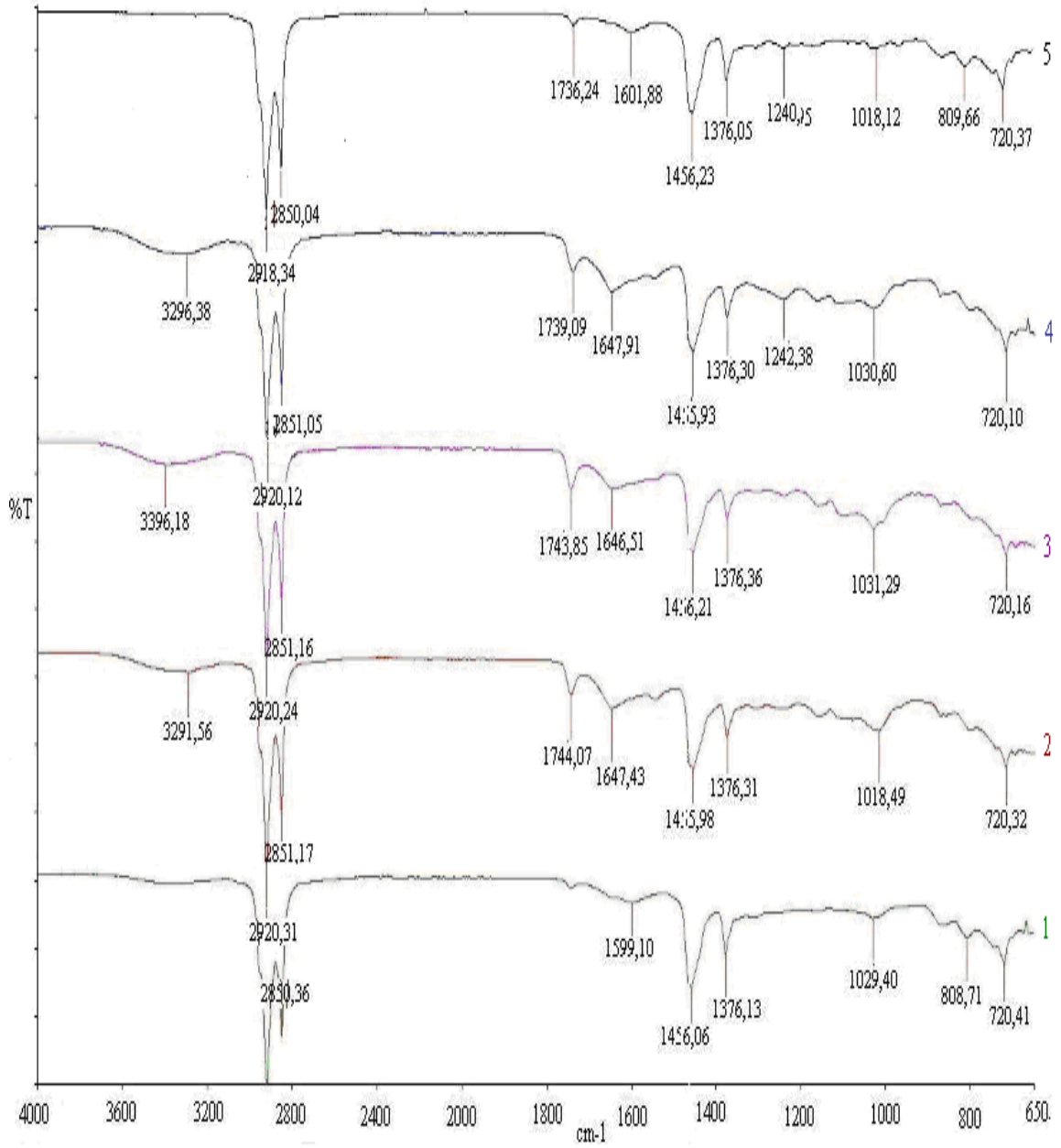
düktilite değerlerinin 88-20 cm ve elastik geri dönme değerlerinin 82-149 mm arasında değiştiği belirlendi.

Bitüme ilave edilen Elvaloy RET oranının artması ile penetrasyon ve düktilite değerlerinde azalma, yumuşama noktası ve elastik geri dönme değerlerinde ise artma olması Elvaloy RET'in bitümün performansında oldukça etkili olduğunu gösterdi.

#### **7.4 FT-IR Sonuçları**

Bitümdeki fonksiyonel gruplar Mattson 1000 Fourier Transform IR Spektrometre ile incelendi. Şekil 7.13 incelendiğinde IR spektrumunda kuvvetli pikler 3500-3150  $\text{cm}^{-1}$  aralığında polimerik yapıdaki OH gruplarını göstermektedir. 1744  $\text{cm}^{-1}$  bandı ise karboksilik asit gruplarının pikini göstermektedir. 1744  $\text{cm}^{-1}$ 'deki C=O bandının 1736 ve 1647  $\text{cm}^{-1}$ 'in 1601  $\text{cm}^{-1}$  e kayması, asfaltonik asit gruplarının Elvaloy RET içindeki glisid metakrilat fonksiyonel grupları ile reaksiyona girmesi sonucu oluşan karboksilat esterinin piki olduğu düşünülmektedir [65]. SBS'in FT-IR'daki öncelikli pikleri 966 ve 911  $\text{cm}^{-1}$  polibütadien gruplarını, 699  $\text{cm}^{-1}$  pikinin polistiren gruplarını gösterir [15]. SBS'in FT-IR'daki bu piklerinin göstermemesinin sebebi bitüm içindeki SBS'in miktarını azlığıdır.

1744  $\text{cm}^{-1}$  pikinin etilen vinil asetatın C=O (karbonil) bandını ayrıca göstermesi kuvvetli ihtimal dahilindedir. SBS, EVA ve Elvaloy RET'in C-H bağının 1456  $\text{cm}^{-1}$ 'de görülmesi olasıdır.



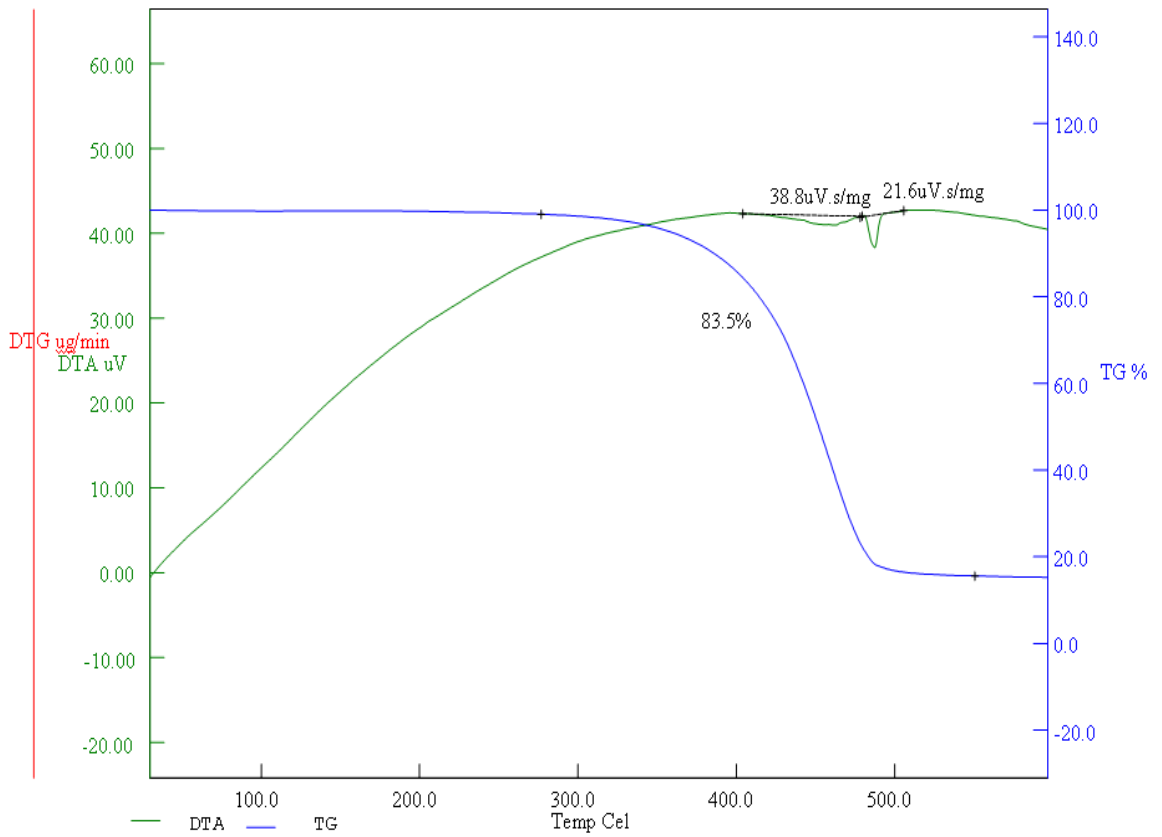
Şekil 7.13 Hazırlanan bitümlerin karşılaştırmalı FTIR'ları

1: 50/70 Bitüm; 2: 50/70 Bitüm+SBS; 3: 50/70 Bitüm+SBS+EVA; 4: 50/70 Bitüm+SBS+EVA+ Elvaloy RET; 5: 50/70 Bitüm+SBS+EVA+Elvaloy RET (SPFA katalizörüyle asfaltenik asitle reaksiyona girmiş hali)



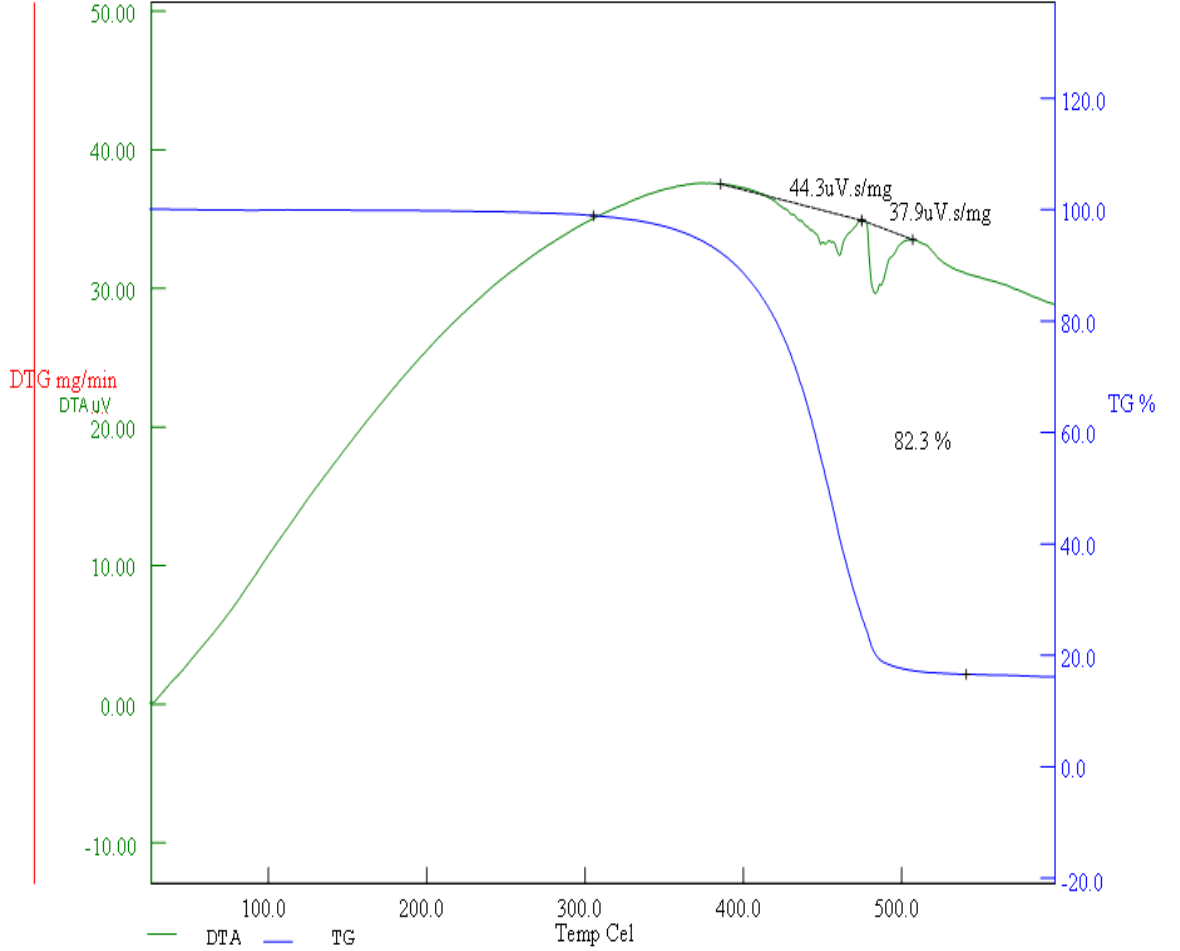
## 7.5 TGA ve DTA Sonuçları

50/70 bitüm örneğine ait 600°C a kadar azot atmosferinde 10°C/dk ısıtma hızında elde edilen TG eğrisi incelendi. Şekil 7.14 incelendiğinde toplam %83,5'lik bir kütle azalması meydana geldiği belirlenmiştir. Bitüm numunesindeki gaz çıkışının yaklaşık olarak 300°C'de başladığı ve 550°C'de bittiği görülmektedir. DTA eğrisi incelendiğinde kütle azalışını temsil eden 2 adet endotermik pikin sırasıyla 461 ve 487°C maksimum pik tepesiyle oluştuğu belirlenmiştir. Ayrıca TG eğrisinden gazlaştırma sonunda 50/70 bitüm örneğinde %16,5 katı madde kaldığı belirlenmiştir. 550°C sonrasında 50/70 bitüm örneğinde herhangi bir kütle azalışı meydana gelmemiştir.



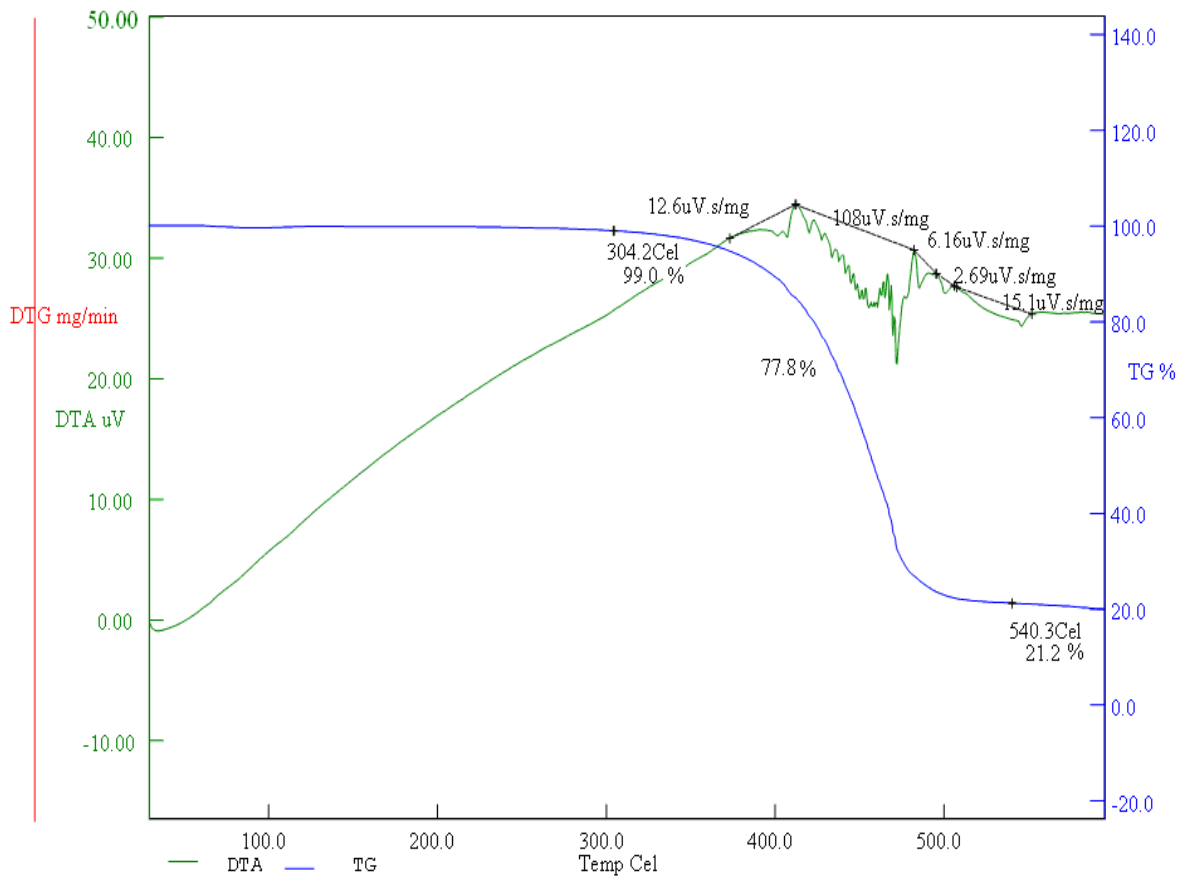
Şekil 7.14 50/70 bitümün DTA ve TG termogramları

50/70 bitüm ve ağırlıkça %1 SBS içeren örneğin azot atmosferinde 30-600°C sıcaklık aralığında gerçekleştirilen TG eğrisi incelendi. Şekil 7.15 incelendiğinde toplam %82,3'lük bir kütle azalışının meydana geldiği belirlenmiştir. Kütle azalışı 300-490°C aralığında gerçekleşmiş olup gaz çıkışını temsil eden 2 adet endotermik pikin sırasıyla 455 ve 479°C pik tepesiyle oluştuğu DTA eğrisi incelenerek belirlenmiştir. Ayrıca TG eğrisinden gazlaştırma sonunda örnekte %17,7 katı madde kaldığı belirlenmiştir. 500°C sonrasında herhangi bir kütle azalışı meydana gelmemiştir.



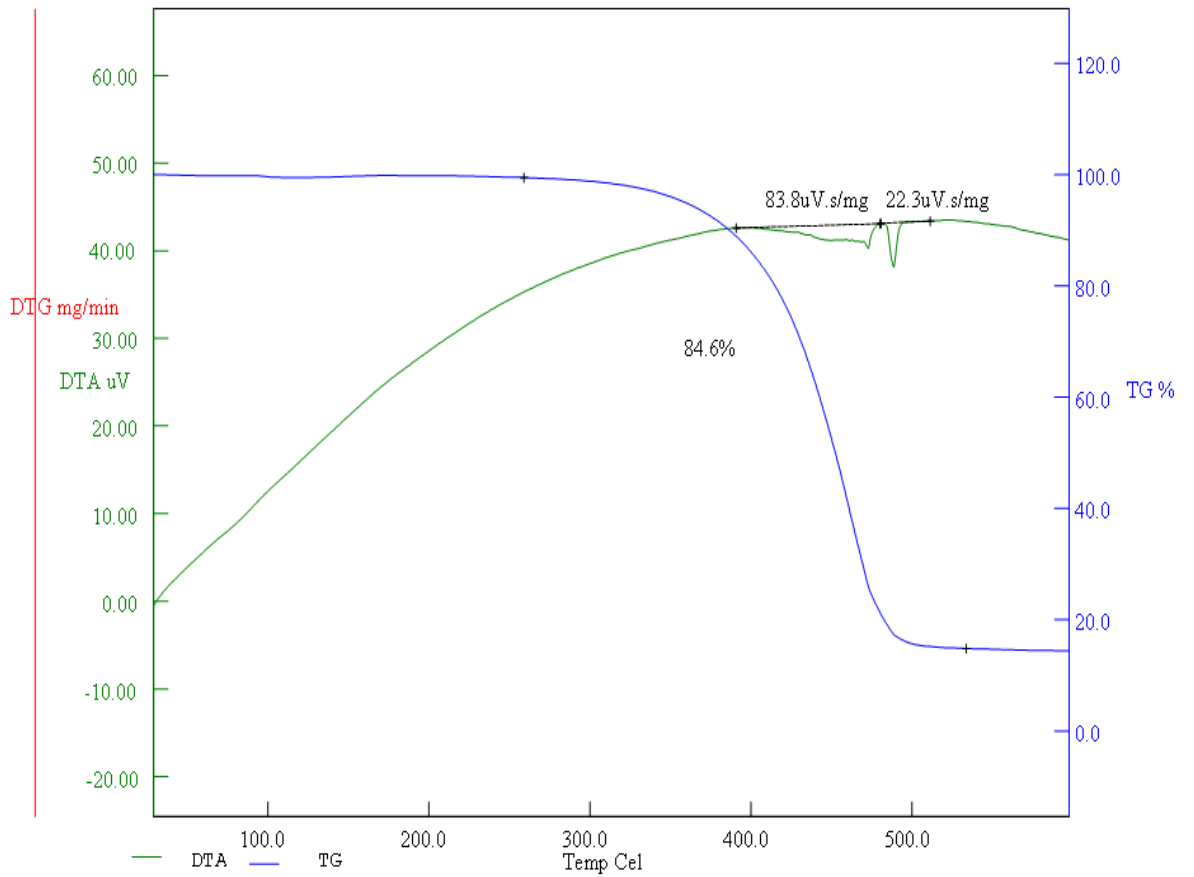
Şekil 7.15 %2 Elvaloy RET 1 numaralı örneğin DTA ve TG termogramları

50/70 bitüm, ağırlıkça %1 SBS ve %1 EVA içeren örneğin azot atmosferinde 30-600°C sıcaklık aralığında gerçekleştirilen TG eğrileri incelendi. Şekil 7.16 incelendiğinde toplam %77,8'lik bir kütle azalışının meydana geldiği belirlenmiştir. Kütle azalışı 304-550°C aralığında gerçekleşmiş olup gaz çıkışını temsil eden 5 adet endotermik pikin olduğu belirlenmiştir. DTA eğrisi incelendiğinde birbirini takip eden endotermik reaksiyonların maksimum pik tepe noktaları sırasıyla 405, 477, 483, 499 ve 543°C olduğu belirlenmiştir. Ayrıca TG eğrisinden gazlaştırma sonunda örnekte %22,2 katı madde kaldığı belirlenmiştir. 550°C sonrasında herhangi bir kütle azalışı meydana gelmemiştir.



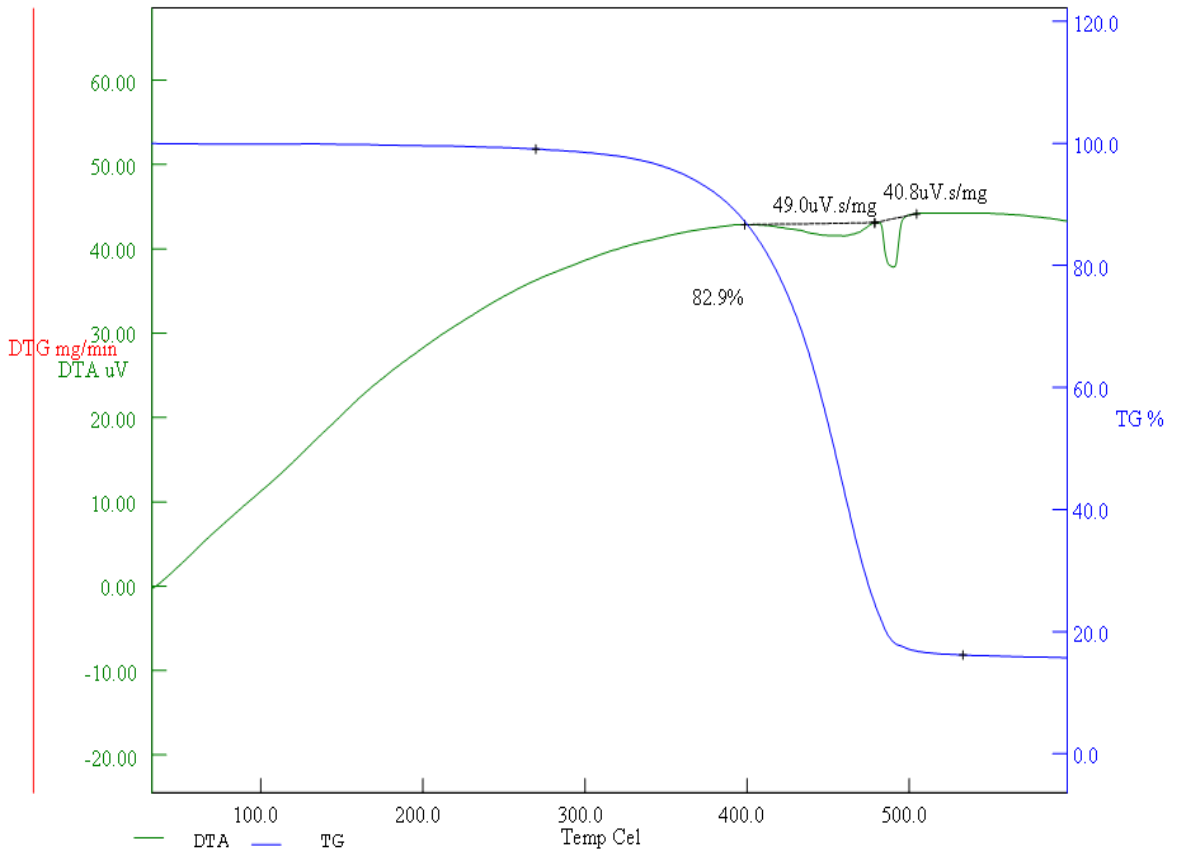
Şekil 7.16 %2 Elvaloy RET 2 numaralı örneğin DTA ve TG termogramları

50/70 bitüm, ağırlıkça %1 SBS, %1 EVA ve %2 Elvaloy RET içeren örneğin azot atmosferinde 30-600°C sıcaklık aralığında gerçekleştirilen TG eğrileri incelendi. Şekil 7.17 incelendiğinde toplam %84,6'lık bir kütle azalışının meydana geldiği belirlenmiştir. Kütle azalışı 253-533°C aralığında gerçekleşmiş olup gaz çıkışını temsil eden 2 adet endotermik pikin olduğu belirlenmiştir. DTA eğrisi incelendiğinde birbirini takip eden endotermik reaksiyonların maksimum pik tepe noktaları sırasıyla 471 ve 485°C olduğu belirlenmiştir. Ayrıca TG eğrisinden gazlaştırma sonunda örnekte %15,4 katı madde kaldığı belirlenmiştir. 533°C sonrasında herhangi bir kütle kaybı meydana gelmemiştir.



Şekil 7.17 %2 Elvaloy RET 4 numaralı örneğin DTA ve TG termogramları

50/70 bitüm, ağırlıkça %1 SBS, %1 EVA ve %2 Elvaloy RET (SPFA katalizörüyle asfaltenik asitle reaksiyona girmiş) içeren örneğin azot atmosferinde 30-600°C sıcaklık aralığında gerçekleştirilen TG eğrileri incelendi. Şekil 7.18 incelendiğinde toplam %77,8'lik bir kütle azalışının meydana geldiği belirlenmiştir. Kütle azalışı 270-533°C aralığında gerçekleşmiş olup gaz çıkışını temsil eden 2 adet endotermik pikin oluştuğu belirlenmiştir. DTA eğrisi incelendiğinde birbirini takip eden endotermik reaksiyonların maksimum pik tepe noktaları sırasıyla 453 ve 488°C oluştuğu belirlenmiştir. Ayrıca TG eğrisinden gazlaştırma sonunda örnekte %17,1 katı madde kaldığı belirlenmiştir. 533°C sonrasında herhangi bir kütle kaybı meydana gelmemiştir.



Şekil 7.18 %2 Elvaloy RET 6 numaralı örneğin DTA ve TG termogramları

50/70 bitüm; 50/70 bitüm ve ağırlıkça %1 SBS içeren; 50/70 bitüm, ağırlıkça %1 SBS ve %1 EVA içeren; 50/70 bitüm, ağırlıkça %1 SBS, %1 EVA ve %1 Elvaloy RET içeren ve 50/70 bitüm, ağırlıkça %1 SBS, %1 EVA ve %1 Elvaloy RET (SPFA katalizörüyle asfaltenik asitle reaksiyona girmiş hali) içeren örneklerin TG/DTA analiz sonuçları incelendiğinde; TG eğrisinden genel olarak 500-550<sup>0</sup>C aralığında katı madde tamamen karbon (kok) hale geldiği, kütle azalışı olmadığı belirlendi ve DTA eğrisinde örneklerin hepsinde yakın sıcaklıklarda endotermik gazlaşmadan pikler görüldü.

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada bitümün modifiyesinde stiren bütadien stiren (SBS), etilen vinil asetat (EVA) ve reaktif elastomerik terpolimer (Elvaloy RET) kullanıldı. Bitümün içerisindeki asfaltın gruplarının reaktif elastomerik terpolimer ile oluşturduğu ester reaksiyonu FT-IR grafiğinde, 1736'deki piklerdeki değişimden belirlendi. Bitümün SBS, EVA ve Elvaloy RET ile modifiye edilen numuneleri penetrasyon, yumuşama noktası, duktilite ve elastik geri dönme testlerine tabi tutularak çıkan sonuçlar değerlendirildi.

Saf bitüme bitüme reaksiyona giren Elvaloy RET ve bitüme fiziksel karışan SBS (Kraton D1101), EVA ilave edilmesiyle son üründe saf bitümlü bağlayıcıya göre penetrasyon ve duktilite değerlerinin azaldığı, yumuşama noktası ve elastik geri dönme değerlerinin arttığı belirlendi. Penetrasyon, duktilite değerlerindeki azalmanın ve yumuşama noktası, elastik geri dönme değerlerindeki artmanın katılan SBS, EVA'dan ve özellikle oksijenden dolayı bitümün yaşlanmasını geciktirmede etkili olan reaktif elastomerik terpolimer (Elvaloy RET)'den kaynaklandığı bilinmektedir.

Penetrasyon, duktilite azalışı ve yumuşama noktası, elastik geri dönme artması ile TG/DTA analiziyle birlikte yorumlanırsa; Elvaloy RET'in reaksiyon öncesi ve sonrası bitümün özellikleri üzerinde oldukça etkili olduğu sonucu çıkarılabilir.

Bu çalışmada SBS, EVA ve Elvaloy RET ile modifiye edilen bitümün sıcaklığa karşı dayanımı, mekanik çekme ve baskı darbelerine karşı dayanımının arttığını ve elastikiyetlik kazandığını belirlendi. Havanın oksijenine karşı dayanımının ve zamanla oluşacak çatlaklara karşı direncinin artacağı, uzun kullanım ömrüne sahip olacağı öngörüldü.

SBS, EVA ve Elvaloy RET içeren bitüm modifiyesi için elde edilen penetrasyon, duktilite, yumuşama noktası ve elastik geri dönme sonuçları ile yaşlandırma testi yapılmış modifiye bitüme yapılan penetrasyon, duktilite, yumuşama noktası ve elastik geri dönme testleriyle karşılaştırılmasının faydalı olacağını düşünmekteyiz. Saf bitümün yaşlandırılmasıyla, yaşlandırılmış modifiye bitüm karşılaştırılarak, modifiye edilen bitümün zamanla değişen performanslarını değerlendirerek modifiye bitümü kullanımını arttırmak mümkün olacaktır.



## KAYNAKLAR

---

- [1] Luo, W. ve Chen, J., (2011). "Preparation and Properties of Bitumen Modified by EVA Graft Copolymer", *Construction and Building Materials*, 25:1830-1835.
- [2] Airey, G.D., (2004). "Styrene Butadiene Styrene Polymer Modification of Road Bitumens", *Journal of Materials Science*, 39:951-959.
- [3] Gonzalez, O., Munoz, M.E., Santamaria, A., Garcia-Morales, M., Navarro, F.J. ve Partal, P., (2004). "Rheology and Stability of Bitumen/EVA Blends", *European Polymer Journal*, 40:2365-2372.
- [4] Lu, X. ve Isacsson, U., (2001). "Modification of Road Bitumens with Thermoplastic Polymers", 20:77-86.
- [5] Doğan, M., (2006). Effect of Polymer Additives on The Physical Properties of Bitumen Based Composites, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [6] Metli, M., (2007). The Effect of SBS Based Polymer Modified Bitumen and Bituminous Mixtures on The Performance of Pavements, Yüksek Lisans Tezi, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [7] Çubuk, M., (2007). Katkı Maddeleri ile Bitümün Reolojik Özelliklerinin Geliştirilmesi ve Esnek Kaplama Malzeme Oluşumunda Problemlerin Giderilmesi, Doktora Tezi, GÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [8] Selvavathi, V., Sekar, V.A., Sriram, V. ve Sairam, B., (2002). "Modifications of Bitumen By Elastomer And Reactive Polymer-A Comparative Study", *Petroleum Science and Technology*, 20:535-547.
- [9] Ilıcalı, M., Tayfur, S., Özen, H., Sönmez, İ. ve Eren, K., (2001). Asfalt ve Uygulamaları, İSFALT Bilimsel Yayınları, Yayın No:1, İstanbul.
- [10] Lav, A.H. ve Lav, M.A., (2004). Shell Bitüm El Kitabı, İSFALT Bilimsel Yayınları, Yayın No:3, İstanbul.
- [11] Kuleli Ö., (1981). Yağlama Yağı, Vaks ve Asfalt-Petrol Arıtım Teknolojisi, Çağlayan Kitapevi, İstanbul.
- [12] Read, J. ve Whiteoak, D., (2003). The Shell Bitumen Handbook, Fifth Edition, Thomas Terford, London.

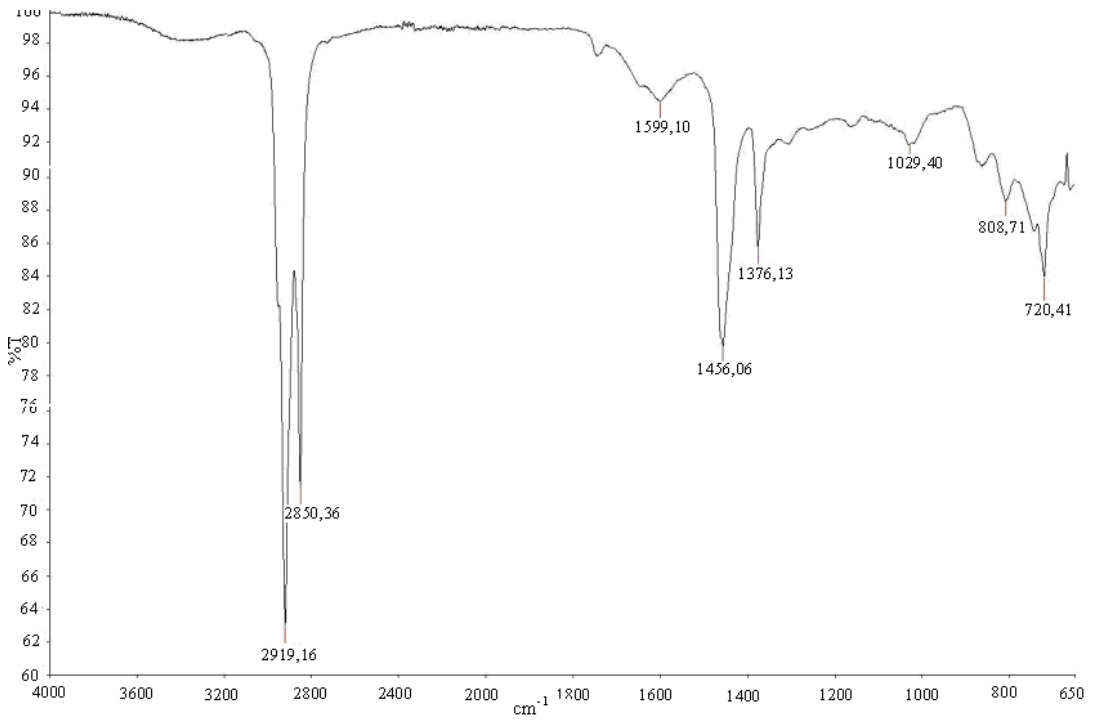
- [13] Malkoç, G., (2000). “Asfalt Çimentosunun Kimyasal Yapısı, Modifikasyona Olan Etkisi ve Bu Kapsamda Ülkemiz Ürünlerinin Değerlendirilmesi”, 3. Ulusal Asfalt Sempozyumu, 16-17 Kasım 2000, Ankara.
- [14] Tunç, A., (2004). Esnek Kaplama Malzemeleri Elkitabı, Asil Yayın Dağıtım Ltd. Şti, Ankara.
- [15] Masson, J.F., Pelletier, L. ve Collins, P., (2001). “A Rapid FTIR Method for the Quantification of SB-Type Copolymers in Bitumen”, Journal of Applied Polymer Science, 79-5:1034-1041.
- [16] McKay, J. R., (2001). “Petroleum Asphaltenes: Chemistry and Composition”, ACS Advances in Chemistry Series, 170:9.
- [17] Chippertield, E.H., (1984). “Bitumen Production, Properties and Uses in Relation to Occupational Exposures”, IARC Review on Bitumen Carcinogenicity Institute of Petroluem, Report IP, 84:6.
- [18] Chippertield, E.H., Duthie, J.L., ve Girdler, R.B., (1970). “Asphalt Characteristics in Relation to Road Performance. Proceeding of The Association of Asphalt Paving Technologists”, Association Asphalt Paving Technologies, 39: 557-613.
- [19] Chippertield, E. H., Duthie, J.L., ve Girdler, R. B., (1968), “Research on Road Bitumen”, Journal of The Institute of Municipal Engineers, 7:216-222.
- [20] Orhan, F., (2005). Bitümlü Karışımlar Laboratuvarı Çalışmaları, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara.
- [21] TESTFORM, Penetrometreler, <http://www.testform.com.tr/content/view/330/196/>, 15 Nisan 2011.
- [22] TS 118 EN 1426, (2002). Bitümler ve Bitümlü Bağlayıcılar – İğne Batma Derinliği Tayini, TSE, 1. Baskı, Ankara.
- [23] Keçeciler, A.F., Akkol, G., Gümrükçüoğlu, A. ve Gökçe, A.F., (1990). Bitümlü Malzemeler Laboratuvar El Kitabı, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara.
- [24] Limit Laboratuvar, Asfalt-Bitüm, <http://limitlab.com/images/urun/100.jpg>, 15 Nisan 2011.
- [25] TS 120 EN 1427, (2002). Bitümler ve Bitümlü Bağlayıcılar-Yumuşama Noktası Tayini- Halka ve Bilya Metodu, TSE, 1. Baskı, Ankara.
- [26] Kutluhan, S. ve Açar, E., (2004). “Bitümlü Sıcak Karışımlarda Tekerlek İzi Oluşumunun İncelenmesi”, 4. Ulusal Asfalt Sempozyumu, 25-26 Kasım 2004, Ankara.
- [27] İTÜ Laboratuvarları, Cihaz Listesi, Düktilite Ölçüm Cihazı, <http://itulabs.itu.edu.tr/Cihaz.aspx?CihazId=fff2c81d-b1a7-4212-ade305f92f156c67>, 15 Nisan 2011.
- [28] KULOĞLU, M., (2006). Bitümlü Sıcak Karışımlarda Bitüm Film Kalınlığının Stabilitate ve Rijitliğe Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [29] Özgan, E. ve Kap, T., (2005). “Asfalt Çimentolarında Bekleme Süresi ve Ortam Sıcaklığının Düktiliteye Etkisi”, SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 9(1): 43-47.

- [30] TS EN 13589, (2005). Bitümlü Maddelerin Düktilite Deneyi İçin Metod, TSE, 1. Baskı, Ankara.
- [31] TS EN 13398, (2005). Bitümler ve Bitümlü Bağlayıcılar-İşlem Görmüş Bitümlerin Elastikliğinin Tayini, TSE, 1. Baskı, Ankara.
- [32] Önal, M.A. ve Kahramangil, M., (1993). Bitümlü Karışımlar Laboratuvar El Kitabı, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara.
- [33] Kurtis, K., (2003). ‘‘Asphalt and Asphalt Concrete’’, School of Civil Engineering Georgia Institute of Technology Atlanta, 2:14-18.
- [34] Asphalt Institute, (1996). Mix Design Methods For Asphalt Concrete and Other Hot Mix Types, Yayın No:2, Kentucky.
- [35] Skok, E. A., Chadbourn, B.A., Crow, B. L. ve Spindler, S., (2000). ‘‘The Effect of Voids in Mineral Aggregate (VMA) on Hot-Mix Asphalt Pavements’’, Minnesota Department of Transportation Research Service, 1:13.
- [36] Şengöz, B. ve Açar, E., (2005). ‘‘Asfalt Film Kalınlığının Bitümlü Karışımların Yaşlanmasına Etkisi’’, İTÜ Dergisi, 4 (1): 71-82.
- [37] Çelik, O. N., (2004). ‘‘Bitümlü Sıcak Karışımların İşlenebilirliği’’, 4. Ulusal Asfalt Sempozyumu, 25-26 Kasım 2004, Ankara.
- [38] Uluçaylı, M., (1998). ‘‘Modifiye Bitüm ve Modifikasyon Katkıların Kullanımı’’, 2. Ulusal Asfalt Sempozyumu, 10-11 Aralık 1998, Ankara.
- [39] Harold, R., Paul, P.E. ve Chris, P.E., (1995). ‘‘Pavement Distress’’, Technical Assistance Report, Louisiana Transportation Research Center, 1:12-16.
- [40] Kuloğlu, N., Kök, B.V. ve Öndaş, M., (2004). ‘‘Sathi Kaplamalarda Kusma Olayına Etki Eden Faktörler’’, 4. Ulusal Asfalt Sempozyumu, 25-26 Kasım 2004, Ankara.
- [41] Malkoç, G. (2002). Yol Üst Yapılarında Kullanılan Modifiye Asfaltlar ve Modifiye Bitüm Şartnamesi , Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara.
- [42] Hunter F.M., (1994). Bituminous Mixtures in Road Construction, Thomas Telford, London.
- [43] Choquet, F., (1994). ‘‘Polymers and Modified Binders’’, Technical Note Presented at Belgian Road Research Center, 1:25-26.
- [44] Brown S.F., Rowlett R.D. ve Boucher J.L., (1990). Asphalt Modification, Thomas Telford, London.
- [45] Ertekin, S.B., (2003). Polyefin Katkıların Asfaltın Kıvamı ve Yumuşama Noktasına Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [46] KGM, (2002). Modifiye Bitüm Teknik Şartnamesi, Yayın No:11, Ankara.
- [47] Yalçın, H. ve Gürü, M., (2002). Malzeme Bilgisi, 1. Baskı, Palme Yayıncılık, Ankara.
- [48] Basan, S., (2001)., Polimer Kimyası, 1. Baskı, Cumhuriyet Üniversitesi Yayınları, Sivas.

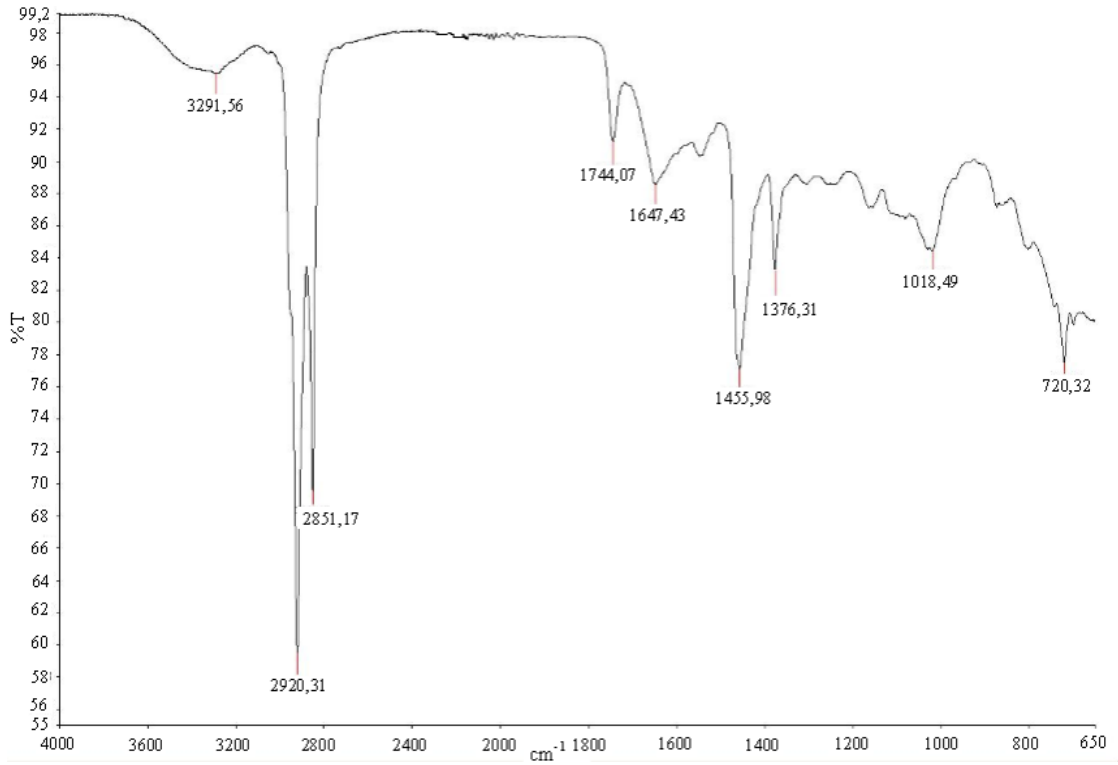
- [49] DuPont, Elvaloy RET, [http://www2.dupont.com/Elvaloy/en\\_US/index.html](http://www2.dupont.com/Elvaloy/en_US/index.html), 25 Kasım 2010.
- [50] DuPont, Elvaloy RET, [http://msds.dupont.com/msds/pdfs/EN/PEN\\_09004a2f800061ae.pdf](http://msds.dupont.com/msds/pdfs/EN/PEN_09004a2f800061ae.pdf), 25 Kasım 2010.
- [51] Keyf, S., (2010) “SBS ve Reaktif Terpolimer ile Modifiye Edilmiş Bitümde Penetrasyon ve Penetrasyon İndeksinin İncelenmesi”, YTÜ SİGMA, 28 (1): 26-34.
- [52] DuPont, Mechanism for Reaction of RET with Asphaltene Molecule, [www.asphalt.dupont.com/react.html](http://www.asphalt.dupont.com/react.html), 24 Aralık 2010.
- [53] Kraton Polymers, Kraton D (SBS), [http://www.kraton.com/Products/Kraton\\_D\\_SBS/](http://www.kraton.com/Products/Kraton_D_SBS/), 25 Kasım 2010.
- [54] Şengöz, B. ve Işıkyakar, G., (2008). “Evaluation of The Properties and Microstructure of SBS and EVA Polymer Modified Bitumen”, Construction and Building Materials, 22:1897-1905.
- [55] Cong, Y., Huang, W. ve Liao, K., (2008). “Compatibility Between SBS and Asphalt”, Petroleum Science and Technology, 26:346-352.
- [56] Gitoy, G.W., (1985). “Ethylene- Vinyl Acetate (EVA) Copolymers as Modifiers for Bitumen Binders”, Asphalt Technology, 36: 37-41.
- [57] Ethylene-Vinyl Acetate, Wikipedia, The Free Encyclopedia, [http://en.wikipedia.org/wiki/Ethylene-vinyl\\_acetate](http://en.wikipedia.org/wiki/Ethylene-vinyl_acetate), 24 Aralık 2010.
- [58] Woolley, K.G., (1986). “Polymer Modified Bitumen for Extra Value Asphalt”, Asphalt Technology, 38:45-51.
- [59] Choyce, P.W. ve Woolley, K.G., (1986). “EVA Modified Binders”, Highways, 56:18-34.
- [60] Türkiye Petrol Rafinerileri A.Ş. , Ürün Bilgileri, <http://www.tupras.com.tr/detailpage.tr.php?strProductKey=750&lRedirectPageID=145>, 13 Kasım 2010.
- [61] DuPont, Asphalt Modifiers (RET), [http://www2.dupont.com/Elvaloy/en\\_US/assets/downloads/elvaloy\\_4170.pdf](http://www2.dupont.com/Elvaloy/en_US/assets/downloads/elvaloy_4170.pdf), 27 Ocak 2011.
- [62] Kraton Polymers, Kraton D (SBS), D Selector, <http://docs.kraton.com/pdfDocuments/2009100306563910965128.PDF>, 27 Ocak 2011.
- [63] Arkema, Product, Evatane, ([http://www.evatane.com/pdf/EN/products/technical\\_polymers/evatane/28\\_05.pdf](http://www.evatane.com/pdf/EN/products/technical_polymers/evatane/28_05.pdf)), 27 Ocak 2011.
- [64] Thermphos, Polyphosphoric acids, <http://www.thermphos.com/Products%20Quick%20Search/Polyphosphoric%20acids.aspx>, 27 Ocak 2011.
- [65] Keyf, S., Ismail, O., Çorbacıoğlu, B.D. ve Ozen, H. (2007). “The Modification of Bitumen with Synthetic Reactive Ethylene Terpolymer and Ethylene Terpolymer”, Petroleum Science and Technology, 25(5):561-568.

## FT-IR SONUÇLARI

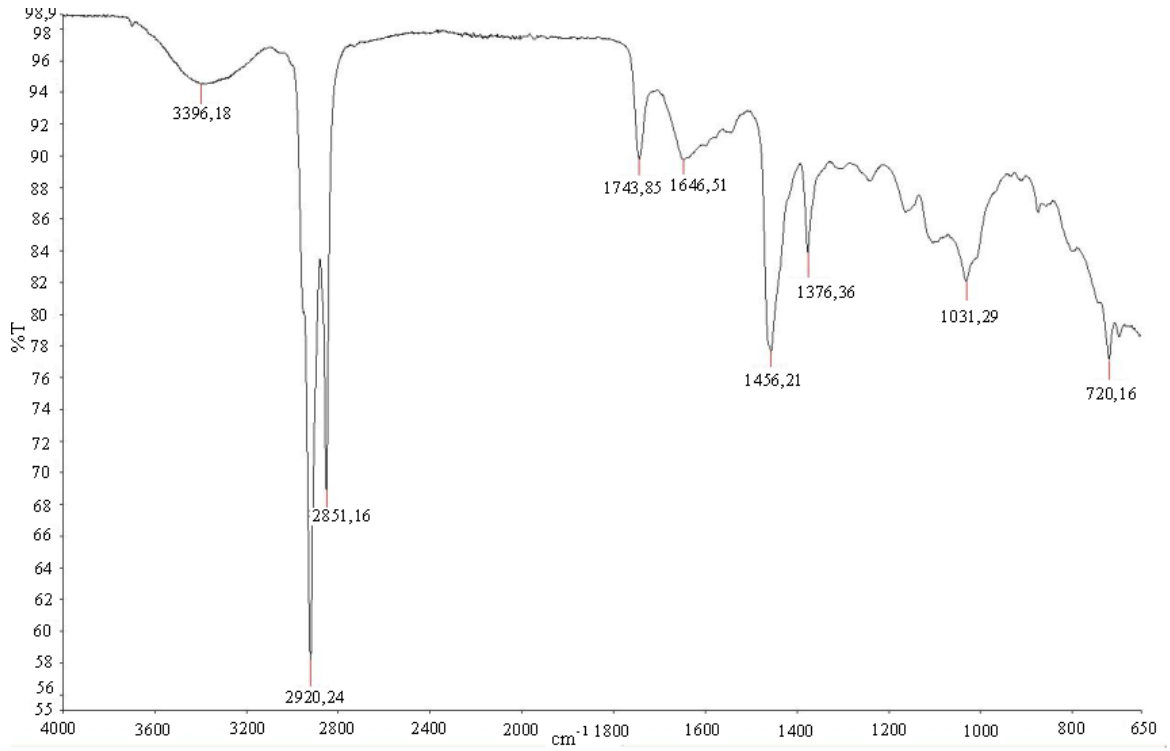
50/70 bitüm, %2 Elvaloy RET 1 numaralı, %2 Elvaloy RET 2 numaralı, %2 Elvaloy RET 4 numaralı ve %2 Elvaloy RET 6 numaralı örneklerin FTIR'ları Şekil A.1, Şekil A.2, Şekil A.3, Şekil A.4 ve Şekil A.5'de gösterilmektedir.



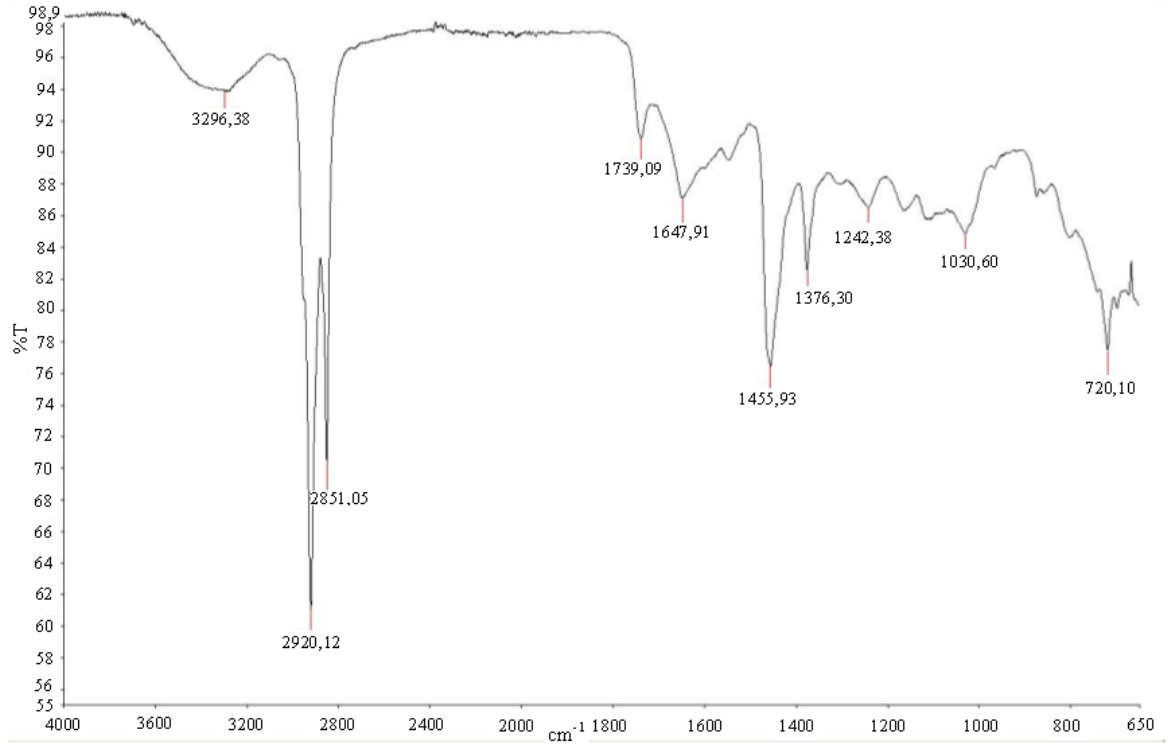
Şekil A.1 50/70 bitümün FTIR'ı



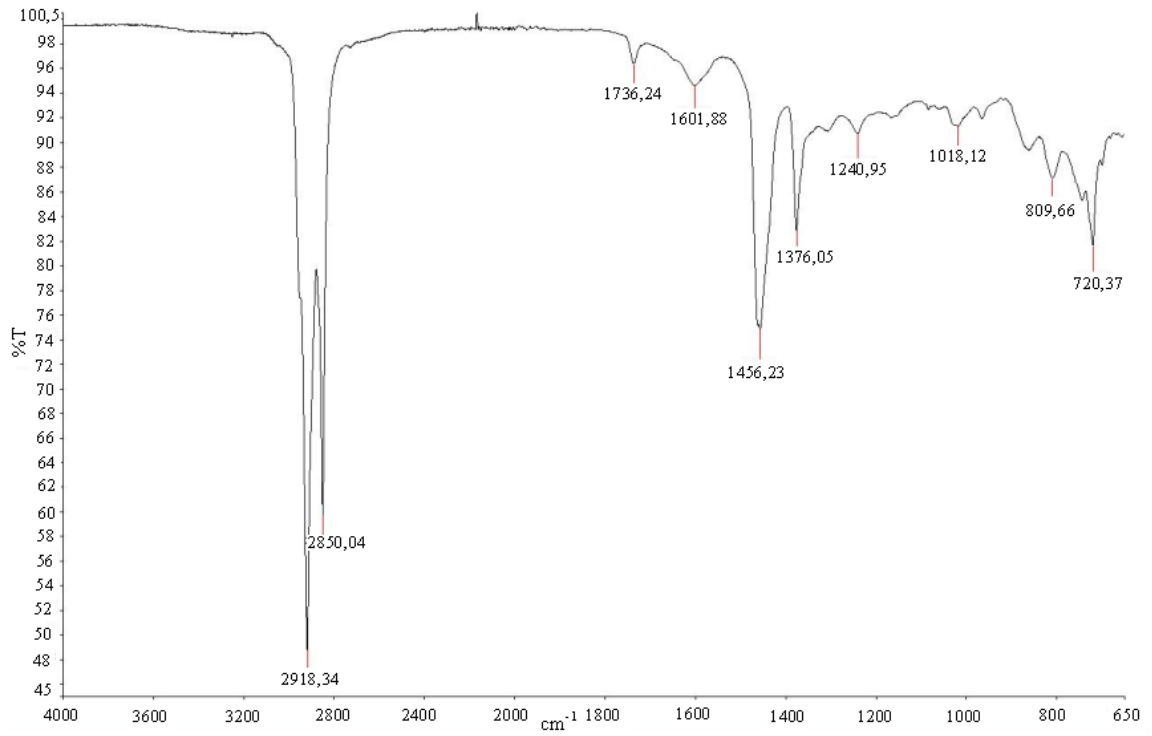
Şekil A.2 %2 Elvaloy RET 1 numaralı örneğin FTIR'ı



Şekil A.3 %2 Elvaloy RET 2 numaralı örneğin FTIR'ı



Şekil A.4 %2 Elvaloy RET 4 numaralı örneğin FTIR'ı



Şekil A.5 %2 Elvaloy RET 6 numaralı örneğin FTIR'ı

## ÖZGEÇMİŞ

---

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Mine DEMİR  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 05 Ocak 1985 - Bursa  
**Yabancı Dili** : İngilizce  
**E-posta** : minedemir\_16@hotmail.com

### ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Kimya Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2011
Lisans	Kimya Mühendisliği	Gazi Üniversitesi	2008
Lise	Fen Bilimleri	Şükrü Şankaya Anadolu	2003