



**ÖĞÜTÜLMÜŞ ARAÇ LASTİĞİ VE SASOBİT MODİFİYELİ
BİTÜM VE BİTÜMLÜ
SICAK KARIŞIM ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

İnş. Müh. Aydın GÜR

122115106

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Programı: Ulaştırma

Danışman : Doç. Dr. Baha Vural KÖK

Haziran 2016

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÖĞÜTÜLMÜŞ ARAÇ LASTİĞİ VE SASOBİT MODİFİYELİ BİTÜM VE
BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIM ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Aydın GÜR

122115106

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 06 Haziran 2016

Tezin Savunulduğu Tarih : 30 Haziran 2016

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Baha Vural KÖK (F.Ü)

Diğer Jüri Üyeleri : Doç.Dr.Taner ALATAŞ (F.Ü)

Yrd.Doç.Dr.Tacettin GEÇKİL (İ.Ü)



HAZİRAN-2016

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimini yapmamda çok büyük emeği olan gerek derslerde gerek tez hazırlığında her zaman yardımda bulunan değerli danışman hocam, Doç. Dr. Baha Vural KÖK'e şükranlarımı sunarım.

Yüksek lisansım boyunca her türlü desteğini esirgemeyen yardımları sayesinde çalışmalarımı bu noktaya getirebildiğim Arş. Gör. Mustafa AKPOLAT'a gönülden teşekkür ederim.

Eğitimim süresince desteğini esirgemeyen Doç. Dr. Mehmet YILMAZ hocama ve diğer tüm Araştırma Görevlisi arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.

Bu dönemde maddi ve manevi olarak daima yanımda olan aileme teşekkür ederim.

Aydın GÜR

ELAZIĞ - 2016

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
ŞEKİLLER LİSTESİ	VIII
TABLolar LİSTESİ	X
1.GİRİŞ.....	1
2. KARAYOLLARININ YAPISI.....	2
2.1. Karayolu Üstyapı Tipleri	3
2.1.1. Esnek Üstyapı	3
2.1.2. Rijit Üstyapı.....	5
3. ASFALT BETONU KAPLAMALAR	6
3.1. Taş Mastik Asfalt Kaplamalar	7
3.1.1. Taş Mastik Asfalt Kaplamaların Teknik Özellikleri.....	9
3.1.2. Taş Mastik Asfaltların Uygulama Alanları.....	12
3.2. Ilık Karışım Asfalt Kaplamaları	13
3.2.1. Ilık Karışım Asfaltın Avantajları	14
3.2.2. Ilık Karışım Katkıları.....	15
4. ATIK LASTİK SORUNU VE ATIK LASTİKLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ . 20	
4.1. Atık Lastikler	21
5. KAPSAM ve LİTERATÜR ÖZETİ.....	25
5.1. Özgün Değer	32
6.DENEYSEL ÇALIŞMALAR	34

6.1. Bitüm Numuneleri Üzerindeki Deneysel Çalışmalar	35
6.1.1. Malzeme Karakteristiklerinin Belirlenmesi	35
6.1.2. Modifiye Bağlayıcıların Hazırlanması.....	36
6.1.3. Bağlayıcılar Üzerinde Uygulanan Deney ve Sonuçları	38
6.1.3.1. Geleneksel Bağlayıcı Deney Sonuçları.....	38
6.1.3.2 Dinamik Kayma Reometresi Deney Sonuçları	41
6.1.3.3. Dönel Viskosimetre Deney Sonuçları.....	47
6.2. Bitümlü Sıcak Karışım Numuneleri Üzerindeki Deneysel Çalışmalar.....	50
6.2.1. Malzeme Karakteristiklerinin Belirlenmesi	50
6.2.2. Bitümlü Sıcak Karışım Numunelerinin Hazırlanması	51
6.2.3. İndirek Çekme Rijitlik Modülü Deney Sonuçları	52
6.2.4. Marshall Stabilite ve Akma Deney Sonuçları.....	55
6.2.5. İndirek Çekme Tekrarlı Yorulma Test Sonuçları	56
6.2.6. Tekerlek İzi Deney Sonuçları	58
7. SONUÇ	62
8.KAYNAKLAR.....	64
ÖZGEÇMİŞ.....	68

ÖZET

ÖĞÜTÜLMÜŞ ARAÇ LASTİĞİ VE SASOBİT MODİFİYELİ BİTÜM VE BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIM ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Bitümlü sıcak karışımlarda, her yıl daha da fazla artarak açığa çıkan atık araç lastiklerinin katkı malzemesi olarak kullanımı pek çok ülkede çevresel kaygıları azaltan adımlardan biri olmuştur. Öğütülmüş araç lastiği modifikasyonu, karışımların mekanik özelliklerini polimer modifikasyonunda olduğu kadar maliyetlerin artmasına neden olmadan iyileştirirken, artan viskoziteye neden olarak işlenebilme özelliğini düşürmektedir. Bu sebeple son zamanlarda işlenebilme özelliklerini iyileştirerek daha iyi sıkışma ve ekonomi sağlayacak ılık karışım katkıları da gündeme gelmektedir.

Bu çalışmada polimer modifikasyonu yerine daha ekonomik olacak öğütülmüş araç lastiği modifikasyonunun ve ayrıca bir ılık karışım katkısı olan FT-parafinin (Sasobit) bitümün ve taş-mastik asfalt karışımının özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Öğütülmüş araç lastiği modifikasyonu ile ekonomik bir şekilde performansın artırılması, FT-parafin modifikasyonu ile işlenebilme özelliklerini iyileştirerek bu performansa ve ekonomiye katkı sağlanması amaçlanmıştır. Çalışmada öğütülmüş araç lastiği ve FT-parafin katkılarının bitümde ve taş mastik asfalt karışımlarında hem ayrı olarak hem de aynı karışım içinde birlikte kullanılmalarının etkileri incelenmiştir. Saf ve modifiye bitümlere yumuşama noktası, penetrasyon, dönel viskozite, giriş eğme ve dinamik kesme reometresi deneyleri; modifiyeli bitümlerle imal edilmiş taş mastik asfalt karışımlarına ise Marshall stabilite ve akma, indirek çekme rijitlik modülü, indirek çekme yorulma deneyleri uygulanacaktır. Sonuçta CR ile birlikte kullanılan parafinin performansa da katkı sağladığı, mekanik özellikler bakımından CR ile uyumlu olduğu ve sitiren-butadien-stiren modifikasyonuna alternatif olacağı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Öğütülmüş araç lastiği, Sasobit, Modifikasyon, Reolojik özellikler, Mekanik özellikler.

SUMMARY

INVESTIGATION OF THE PROPERTIES OF THE CRUMB RUBBER AND SASOBIT MODIFIED BITUMEN AND BITUMINOUS HOT MIXTURES

Usage of waste vehicle tires, which increase more every year, as additive material in bituminous hot mixtures is one of the attempts, which reduce environmental concerns in several countries. While ground vehicle tire modification enhances mechanical properties of the mixtures without causing cost increases as seen in polymer modification, it reduces workability property by causing increased viscosity. Therefore, warm mixture additives, which can provide better compaction and economy by enhancing workability properties comes into question recently.

In this study, the effects of ground vehicle tire modification, which is more economical instead polymer modification and FT-wax, which is a warm mixture additive on properties of bitumen and stone-mastic-asphalt mixture were investigated. Increasing performance economically with vehicle tire modification, contributing to this performance and economy by enhancing workability properties with FT-wax modification is being aimed. In the study, the effects of using ground vehicle tire and FT-wax together and separately in bitumen and stone-mastic-asphalt mixtures were investigated. Softening point, penetration, rotational viscosity, bending beam and dynamic shear rheometer experiments were applied to pure and modified bitumen whereas Marshall Stability and flow, indirect tensile stiffness modulus, indirect tensile fatigue, experiments were applied to the stone-mastic-asphalt mixtures which have been produced by modified bitumen. In conclusion, it was determined that paraffin used with CR could contribute to performance and paraffin was in accordance with the CR in terms of mechanical properties and also it could be an alternative to styrene-butadiene-styrene (SBS) modification.

Key Words: Ground vehicle tire, Sasobit, Modification, Rheological properties, Mechanical properties.

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1	Tipik karayolu enkesiti	3
Şekil 2.2	Esnek üstyapı kesiti ve gerilme dağılışı.....	4
Şekil 2.3	Beton yol kesiti ve gerilme dağılışı	5
Şekil 3.1	Taş-mastik kaplama kesiti	8
Şekil 3.2	Çeşitli sıcak karışımların gradasyon eğrisi	11
Şekil 3.3.	Üretim sıcaklıklarına göre karışımın sınıflandırılması ve yakıt tüketimi	14
Şekil 3.4	Granül haldeki Sasobit.....	16
Şekil 3.5	Ilık karışım katkısı Evotherm	19
Şekil 3.6	Rediset WMX	19
Şekil 4.1	Araç lastiği yapısı	21
Şekil 4.2	Atık lastik depoları.....	23
Şekil 4.3	Atık lastik depo yangınları.....	24
Şekil 5.1	Tekerlik izi deformasyonu	28
Şekil 6.1	Modifiye bitüm karıştırma cihazı	36
Şekil 6.2	Penetrasyon ve yumuşama noktası deney aletleri.....	38
Şekil 6.3	Yumuşama noktası-katkı içeriği ilişkisi	39
Şekil 6.4	Bağlayıcıların yumuşama noktalarında meydana gelen değişim.....	39
Şekil 6.5	Penetrasyon indeksi – katkı içeriği ilişkisi	40
Şekil 6.6	Bağlayıcıların penetrasyon indekslerinde meydana gelen değişim	41
Şekil 6.7	DSR deney aleti	41
Şekil 6.8	64 °C’de katkı içeriği ile $G^*/\sin\delta$ ’de meydana gelen değişim	43
Şekil 6.9	70 °C’de katkı içeriği ile $G^*/\sin\delta$ ’de meydana gelen değişim	43
Şekil 6.10	76 °C’de katkı içeriği ile $G^*/\sin\delta$ ’de meydana gelen değişim	43
Şekil 6.11	82 °C’de katkı içeriği ile $G^*/\sin\delta$ ’de meydana gelen değişim	44

Şekil 6.12 CR modifikasyonunda $G^*/\sin\delta$ değerlerinin sıcaklıkla değişimi	44
Şekil 6.13 Sasobit modifikasyonunda $G^*/\sin\delta$ değerlerinin sıcaklıkla değişimi.....	45
Şekil 6.14 SBS modifikasyonunda $G^*/\sin\delta$ değerlerinin sıcaklıkla değişimi	45
Şekil 6.15 Katkıların sıcaklıktan etkilenme ilişkisi	45
Şekil 6.16 Bağlayıcıların $G^*/\sin\delta$ değerlerindeki değişim	46
Şekil 6.17 Bağlayıcıların faz açısı- $G^*/\sin\delta$ ilişkisi	47
Şekil 6.18 Dönel viskozite deney aleti.....	48
Şekil 6.19 135 °C de vizkozitelerin katkı içeriği ile değişimi	48
Şekil 6.20 165 °C de vizkozitelerin katkı içeriği ile değişimi	49
Şekil 6.21 135 ve 165 °C’de bağlayıcıların viskozitelerindeki değişim	49
Şekil 6.22 ($G^*/\sin\delta$)/Viskozite değerinin bağlayıcı tiplerine göre değişimi.....	50
Şekil 6.22 UTM test cihazı	53
Şekil 6.23 Karışım tiplerinin rijitlik modüllerindeki değişim.....	53
Şekil 6.24 400 ms içerisinde şekil değiştirme-zaman ilişkisi	54
Şekil 6.25 Karışım tiplerinin Marshall stabilite ve MQ değerleri.....	55
Şekil 6.26 Yorulma deney düzeneği	56
Şekil 6.27 Yük tekrarı – deformasyon ilişkisi.....	57
Şekil 6.28 Karışım tiplerinin 4 mm deformasyondaki yük tekrar sayıları.....	58
Şekil 6.29 Merdaneli sıkıştırıcı	59
Şekil 6.30 Tekerlek izi deney aleti.....	59
Şekil 6.31 Tekerlek geçiş sayısı – deformasyon ilişkisi	60
Şekil 6.32 10000 teker geçişi sonrası numunelerde meydana gelen deformasyonlar..	61

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3.1. TMA’da kullanılacak kaba agrega özellikleri	9
Tablo 3.2. İnce agrega özellikleri	10
Tablo 3.3. TMA aşınma ve binder için gradasyonu ve tolerans sınırları.....	11
Tablo 3.4. TMA tasarım kriterleri	12
Tablo 3.5. Tipik bir BSK üretimine göre WMA teknolojisinde emisyon azalması	15
Tablo 3.6 Sasobitin özellikleri	17
Tablo 4.1. Araç lastiği üretiminde kullanılan tipik malzemeler	22
Tablo 6.1 Bağlayıcının özellikleri.....	35
Tablo 6.2 Atık lastik kauçuğu elementel analizi.....	36
Tablo 6.3 Bağlayıcı kombinasyonları	37
Tablo 6.4 Bağlayıcıların farklı sıcaklıktaki $G^*/\sin\delta$ değerleri.....	42
Tablo 6.5 Agreganın fiziksel özellikleri	51
Tablo 6.6 Agrega gradasyonu	51
Tablo 6.7 Karışım numunelerinin fiziksel özellikleri	52

SEMBOLLER LİSTESİ

G^*	:Kompleks kayma modülü
Δ	: Faz açısı
H	: Numune yüksekliği
H	: 5 yük tekrarı sonucunda oluşan ortalama yatay deformasyon
F	: İndirekt çekme rijitlik modülü deneyinde maksimum dikey yük
R	: Poisson oranı
L	: Ortalama numune yüksekliği
E	: Şekil değiştirme
W	: Frekans
$S_{(t)}$	: Sünme rijitliği
m-değeri	: Sünme oranı
c	: Düzeltme katsayısı
S_m	: Rijitlik modülü
Σ	: Gerilme
η	: Tekerlek izi parametresinin viskoziteye oranı

KISALTMALAR

AASHTO	: American Association of State Highway and Transportation Officials (Amerikan Devlet Karayolu ve Ulaştırma Birliği)
ASTM	: American Society For Testing and Materials (Amerikan Test ve Malzemeler Derneği)
BBR	: Bending Beam Rheometer (Kiriş Eğme Reometresi)
BR	: Bütadien Kauçuğu
BSK	: Bitümlü Sıcak Karışım
CR	: Cramb Rubber (Öğütülmüş Kauçuk)
CAS	: Chemical Abstract Service (Kimyasal Ayırma Servisi)
CBR	: California Bearing Ratio (Kaliforniya Taşıma Oranı)
DSR	: Dynamic Shear Rheometer (Dinamik Kayma Reometresi)
HMA	: Hot Mix Asphalt (Sıcak Karışım Asfalt)
IBR	: İzobutilen-İzopropilen Kauçuğu
IIR	: İzobutilen-İzopren Kauçuğu
İÇYD	: İndirekt Çekme Yorulma Deneyi
ITSM	: Indirect Tensile Stiffness Modulus (İndirek Çekme Rijitlik Modülü)
KGM	: Karayolları Genel Müdürlüğü
LVDT	: Linear Variable Differential Transformer (Doğrusal Değişken Türevsel Dönüştürücü)
MQ	: Marshall Quotient (Marshall Oranı)
NBR	: Nitrol-Bütadien Kauçuğu
PG	: Performance Grade (Performans Sınıfı)
PI	: Penetrasyon İndeksi
RAP	: Recycling Asphalt Pavement (Geri Kazanılmış Asfalt Kaplama)
RMS	: Kalıcı Marshall Stabilitesi
RV	: Rotational Viscometer (Dönel Vizkozimetre)
SBS	: Stiren-Bütadien-Stiren
SBR	: Stiren-Bütadien Kauçuğu
TMA	: Taş Mastik Asfalt
TÜPRAŞ	: Türkiye Petrol Rafinerileri Anonim Şirketi
UMATTA	: Universal Material Testing Apparatus (Üniversal Malzeme Deney Aleti)
WMA	: Warm Mix Asphalt (Ilık Karışım Asfalt)
W_a	: Agregat ağırlığınca bitüm yüzdesi
V_a	: Hava boşluğu hacmi
G_{mb}	: Sıkıştırılmış karışımın hacim özgül ağırlığı
VMA	: Absorbe edilen asfalt bağlayıcı hacmi
VFA	: Asfaltla dolu mineral agregadaki boşluk yüzdesi

1.GİRİŞ

Artan trafik hacmi ve daha ağır dingil yükü altındaki bitümlü karışımların kötü performansı, katkılı bağlayıcıların artan kullanımına ve gelişimine öncülük etmiştir. Bu katkı maddelerinin başında polimer tipi katkı maddeleri gelmektedir. Gerek uygulama ve gerekse laboratuvar çalışmalarına göre polimer modifiyeli bitümlü sıcak karışımların, ısıya karşı hassasiyetlerinin azaldığı, düşük sıcaklıklardaki termal çatlamalara ve yüksek sıcaklıklarda tekerlek izi oluşumuna karşı direncin arttığı belirtilmiştir [1-3]. Polimer modifikasyonunun bu olumlu etkilerinin yanı sıra malzeme fiyatlarının yüksek olması, polimer modifiyeli karışımların daha yüksek karıştırma ve sıkıştırma sıcaklığı ve daha fazla sıkıştırma enerjisi gerektirmesi yönüyle maliyetleri artırması, çevrenin korunmasına katkı sağlamakta yetersiz kalması, karışımların mekanik özelliklerinin yanı sıra işlenebilme özelliklerini de iyileştirecek ve aynı zamanda ekolojik fayda sağlayacak katkıları gündeme getirmektedir. Bu bağlamda bitümlü sıcak karışımlarda (BSK), her yıl daha da fazla artarak açığa çıkan atık araç lastiklerinin katkı malzemesi olarak kullanımı pek çok ülkede çevresel kaygıları azaltan adımlardan biri olmuştur. Öğütülmüş araç lastiği modifikasyonu, karışımların mekanik özelliklerini polimer modifikasyonunda olduğu kadar maliyetlerin artmasına neden olmadan iyileştirirken, artan viskoziteye neden olarak işlenebilme özelliğini düşürmektedir [4,5]. Bu sebeple son zamanlarda işlenebilme özelliklerini iyileştirerek daha iyi sıkışma ve ekonomi sağlayacak ılık karışım katkıları da gündeme gelmektedir. Bu tür katkılar işlenebilme özelliğinin yanı sıra performansa da katkı sağlayabilmektedir. Son zamanlarda tekerlek izi, yorulma direnci ve durabilitesi yüksek olan ve sert bitümlerle imal edilen taş mastik asfalt (TMA) kaplamalar yaygın şekilde uygulanmaktadır. Bu karışımlarda uygulanan polimer modifikasyonu, zaten sert olan bitümün viskozitesinin daha da artmasına neden olarak işlenebilme özelliklerini olumsuz etkilemektedir.

Bu çalışmada kullanılmış araç lastiklerinin çevreye zarar vermeden ekolojik ve ekonomik bir fayda sağlayacak şekilde bitümlü karışımlarda kullanılabilirliği ve bu uygulamanın daha etkin bir şekilde yapılabilmesi amacıyla öğütülmüş atık lastik ile birlikte işlenebilme özelliklerini iyileştirecek ılık karışım katkı kullanımı, bitüm ve modifiye bitümlerle hazırlanmış karışımlar üzerine yapılacak deneylerle araştırılacaktır.

2. KARAYOLLARININ YAPISI

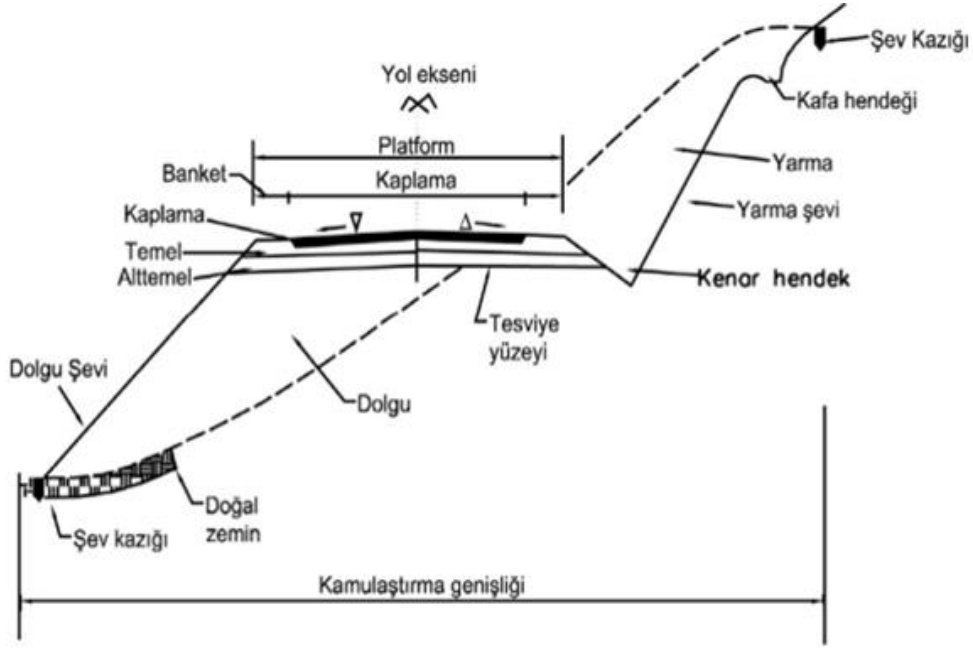
Karayolu yapısı; görevi, yapım sırası ve özellikleri açısından alt ve üstyapı olarak iki ayrı bölüme ayrılmaktadır.

Karayolu Alt yapısı: Yolun, toprak işi sonunda, daha önceden saptanan kot ve enkesit şekline getirilmiş durumuna başka bir ifade ile yapımı tamamlanmış bir karayolunda, tesviye yüzeyi ile doğal zemin çizgisi arasındaki bölgeye altyapı adı verilir. Altyapı; yolun dolgu kesimlerinde dışarıdan getirilen toprak ile oluşturulmuş bir toprak gövde, yarma kesimlerinde ise doğal zemindir. Menfez, drenaj sistemleri ve istinat duvarı gibi sanat yapıları da altyapı içine girer. Altyapı, yolun esas taşıyıcı kısmıdır. Ancak yolun taşıyıcılık görevini iyi şekilde yapabilmesi için üzerine başka tabakaların da inşa olunması zorunluluğu vardır [6-8].

Altyapının görevleri; istenilen kotta düzgün bir yüzey sağlamak, üst yapı tarafından iletilen yükleri daha geniş bir alana yaymak ve az da olsa yolu dış etkilere korumaktır. Bu görevleri yerine getirebilmesi için; trafik yüklerine, don ve su etkilerine karşı dayanıklı olması gerekir. Altyapının oluşturulmasında; bitkisel toprak ve çürük zemin kullanılmamasına özen gösterilmelidir. Bu nedenle alt yapıyı oluşturan zemin özelliklerinin çok iyi etüt edilmeleri gerekmektedir [8].

Karayolu Üst yapısı : Yolun, trafik yüklerini taşımak ve bu yükü taban zemininin taşıma gücünü aşmayacak şekilde taban yüzeyine dağıtmak üzere alt yapı üzerine inşa olunan ve temel altı (alt temel), temel, kaplama tabakalarından oluşan kısma üst yapı denir [8]. Günümüzün karayolu anlayışında her türlü oto korkuluk yapımı, düşey ve yatay işaretleme de üst yapı çalışmalarına dahil edilmektedir. Doğal zeminden meydana getirilen altyapı üzerine serilen ve genelde kırmataş, kum, çakıl, kil gibi malzemelerden oluşturulan tabakaya alt temel (temel altı) tabakası adı verilir. Kaplama ile temel altı tabakası arasına yerleştirilen ve trafiğin doğrudan temas etmediği doğal kum, çakıl, kil ve bitüm karışımları gibi malzemelerden oluşan tabaka ise temel tabakası olarak adlandırılır. Yol üst yapıları değişik hava şartlarında üzerinden geçen trafik yüklerini bozulmadan altyapıya aktarmak ve aynı zamanda sürüş emniyeti ve konforu sağlamalıdır [6].

Karayolu yapısına ait tipik bir enkesit Şekil 2.1’de verilmiştir [9].



Şekil 2.1 Tipik karayolu enkesiti [9].

2.1. Karayolu Üstyapı Tipleri

Yol üst yapıları esnek, rijit ve olmak üzere iki çeşit inşa edilirler. Bu adlandırmalar kaplama tabakasının cinsine göre yapılmaktadır.

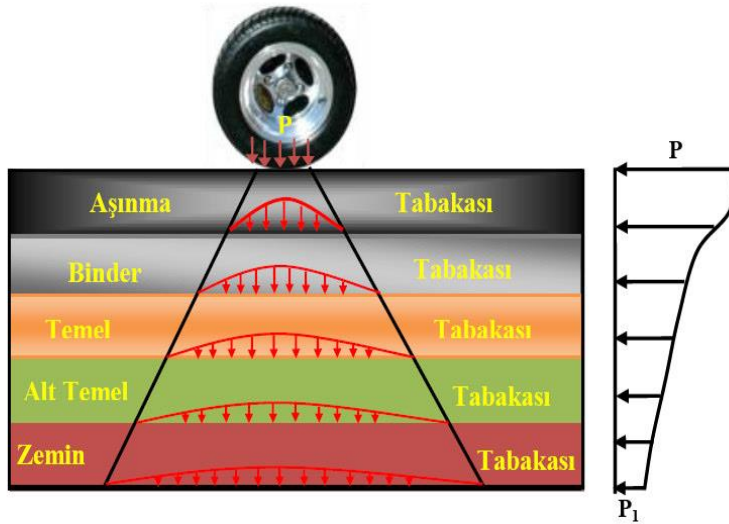
2.1.1. Esnek Üstyapı

Karayolu ve havaalanı üstyapıları birçok ülkede olduğu gibi ülkemizde de sıklıkla esnek üstyapı olarak projelendirilmekte ve uygulanmaktadır. Ülkemizde kullanılan esnek kaplama çeşitleri; bitümlü sathi kaplama, soğuk karışım asfalt kaplama ve BSK kaplama olarak üçe ayrılmaktadır. Esnek kaplamalar içerisinde en yüksek dayanımı, uygun miktarda bitüm ve uygun gradasyona sahip agreganın ısıtılıp karıştırılması sonucu elde edilen bitümlü sıcak karışımlar göstermektedir [10].

Temel altı (alt temel) tabakası tesviye yüzeyi üzerine serilen ve genellikle kum, çakıl, taş kırığı, yüksek fırın cürufu gibi taneli malzemelerden (granüler malzeme) inşa olunan tabakadır. Su ve don tesirlerine karşı tampon vazifesi görür. Temel tabakasının kalınlığını azalmasını sağlayarak maliyeti düşürür.

Kaplama tabakası altındaki temel tabakası; sıkıştırılmış, bağlayıcısız yada bir bağlayıcı madde ile işlem görmüş olan belirli granülometrideki malzemeden oluşur. Ana görevi üst yapının yük taşıma kabiliyetini arttırmaktır. Ayrıca trafik hareketlerinden doğan kayma gerilmelerine karşı koyabilecek, drenaja yardımcı olabilecek ve don olaylarına karşı da koruma sağlayabilecek nitelikte olmalıdır. Bu tip tabakalarda kullanılan agregaların yüksek stabilitesi, yoğun gradasyonlu olmalarına, drenaj için yeterince boşluklu gradasyona, yüksek CBR ve içsel sürtünme açılarına sahip olmalarına dikkat edilmelidir. Ayrıca bu tabakalardaki malzemelerin filler oranı düşük, kübik ve açısallı ve pürüzlü yüzeylere sahip fakat yassı ve ince uzun daneler ihtiva etmeyen, don duyarlılığı düşük agregalardan oluşması sağlanmalıdır [11].

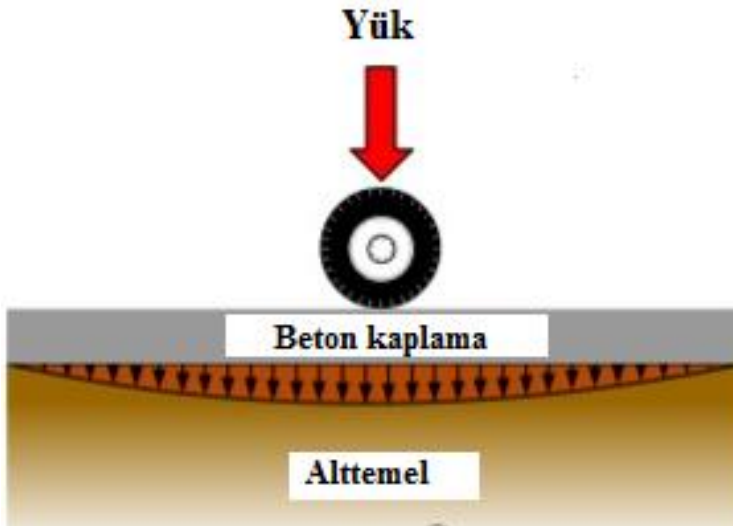
Kaplama; taşıtlara uygun bir yuvarlanma yüzeyi sağlamak, trafiğin aşındırma etkilerine karşı koymak ve yol alt yapısına sızan suya karşı geçirimsizlik sağlamak amacıyla temel tabakası üzerine inşa edilen bir tabakadır. Trafiğin ve iklim koşullarının aşındırıcı etkilerine maruz kalan kısım aşınma tabakasıdır. Trafik yoğunluğunun ve ağır taşıt trafiğinin fazla olduğu yollarda aşınma tabakasının altına binder tabakası yapılır. Şekil 2.2’de esnek üstyapı kesiti ve gerilme dağılışı verilmiştir.



Şekil 2.2 Esnek üstyapı kesiti ve gerilme dağılışı

2.1.2. Rijit Üstyapı

Oldukça yüksek eğilme direncine sahip ve Portland çimentosundan yapılmış tek tabakalı beton plak vasıtasıyla yükleri taban zeminine dağıtan üst yapı tipidir. Rijit üstyapılar, taban zemini üzerine yapılan beton plakalardan oluşur. Sürekli donatının kullanılmadığı beton yollarda enine ve boyuna genleşme derzleri konulur. Don, pompaj, şişme-büzülme olaylarına karşı ise beton kaplama ile taban zemini arasında kaplama altı tabakası yapılır. Beton plağın elastisite modülü taban zemininkinden çok büyüktür. Bu nedenle beton yol, elastik zemine oturan bir kiriş şeklinde çalışır. Trafik yüklerini esnek üstyapıya nazaran daha geniş alana yayarak, taban zeminine iletir. Rijit beton plak, taban zemini ile sürekli temas halinde olduğu sürece taşıyıcı eleman vazifesi görür. Taban zemini çeşitli nedenlerle çökerse, taban zemininin deformasyonuna uyamayan rijit beton plak, bu kısımlarda kiriş gibi çalışmaya başlar, betonun düşük olan çekme basıncının aşılması sonucunda kaplama kırılır. Tek veya iki tabaka halinde dökülen bir üstyapı tipi olup, gerektiğinde granüler bir kaplama altı tabakası da kullanılabilmektedir. Yol kaplaması olarak betonun görevi, trafikten gelen şiddetli tekil yükleri tabana iletmek ve bu sırada tabanın deforme olmamasını sağlamaktır [12]. Şekil 2.3’de tipik bir beton yol kesiti ve gerilme dağılışı verilmiştir.



Şekil 2.3 Beton yol kesiti ve gerilme dağılışı

3. ASFALT BETONU KAPLAMALAR

Bitümlü sıcak karışımlar, agregâ, bitüm ve hava olmak üzere üç fazlı bir sistemden oluşmaktadır. Agregâ katı fazı, bitüm sıvı fazı ve boşluklar gaz fazını oluştururlar. Sıvı fazı oluşturan bitüm, viskoelastik ve termoplastik bir malzemedir. Viskoelastik malzemelerde gerilme-şekil değiştirme ilişkisi yükleme zamanı ile değişmektedir. Viskoelastik malzemeler yüksek hızlı yüklemelerde elastik davranış ve yüksek mukavemet gösterirken, düşük hızlı yüklemelerde viskoz davranış ve düşük mukavemet gösterirler. Termoplastik malzemelerde ise gerilme-şekil değiştirme davranışı sıcaklıkla ilişkili olarak değişmektedir. Termoplastik malzemeler yüksek sıcaklıklarda düşük mukavemet, düşük sıcaklıklarda ise yüksek mukavemet gösterirler. Bitüm'ün bu özellikleri, BSK'lara yansiyarak karışımın mekanik özellikleri üzerinde önemli etki yapmaktadır. BSK'ların en önemli mekanik özellikleri, rijitlik, çekme dayanımı, kalıcı deformasyonlar, tekerlek izi oluşumu ve yorulma davranışdır.

Bitümlü sıcak karışımlar, bir asfalt plentinde agregâ ile asfalt bağlayıcının sıcak olarak karıştırılıp yola nakledildikten sonra sıcak olarak sıkıştırılması şeklinde imal edilirler. Bitümlü sıcak karışımlar; aşınma, binder, bitümlü temel tabakalarında kullanılır. Sıcaklık artmasıyla birlikte bitüm agregâya püskürtülerek karıştırılır. Meydana gelen karışım soğuduğunda oldukça katı ve dayanıklıdır. Trafik yüklerinin yarattığı gerilmelere ve çevresel etkilere en fazla maruz olduklarından dolayı temel ve alttemel tabakalarına göre stabil ve durabil olmalıdırlar. Bu tabakalar ayrıca taşıtlar için düzgün pürüzsüz yüzeyleri ile sürüş konforunu ve sürtünme dirençleriyle sürüş emniyetini sağlamalı, trafiğin ve çevrenin aşındırma etkilerine, deformasyonlara karşı dirençli olmalıdır. Bu tip kaplamalar teker yükleri altında elastik olarak esneme kapasitesine sahip olmalıdır. Kalıcı deformasyon yapmadan yükleri, alt tabakalara ve zemine emniyetle intikal ettirebilmelidir. Bu nedenlerden dolayı bu tip kaplamalar “esnek kaplamalar” olarak da adlandırılmaktadır [13].

Yüksek standartlı karayolları, otoyollar ve havaalanlarında yapılacak esnek kaplamalar için bitümlü sıcak karışımlar (asfalt betonu) kullanılmaktadır. Bu karışımlar bütün dünyada yol üst yapısında geniş bir şekilde uygulanmaktadır.

Sıcak karışım kaplamalar, karışımındaki agregâ gradasyonu ve kullanım amacına bağlı olarak 4 farklı şekilde sınıflandırılmaktadır.

Açık Granülometrilili Sıcak Karışımlar: Bu karışımlarda ince agrega oranı çok az, dolayısıyla boşluk oranı fazladır (%5-15). Makadam tipi kaplamalar bu sınıfa girer.

Kesikli Granülometrilili Sıcak Karışımlar: Agrega oranı belli elek aralarında fazla belli elek aralığında çok az veya hiç yoktur. Boşluk oranı %8 ila %12 arasında olan bu tür karışımlar, pürüzlü bir yüzey verirler ve tekerlek izine karşı dirençleri yüksektir. Taş mastik asfalt bu karışımlara en iyi örnektir.

Yoğun Granülometrilili Sıcak Karışımlar: Agrega granülometrisi düşük boşluk verecek şekilde süreklilik gösterir. Bunlar boşluk oranı %2-5 arasında olan bitümlü karışımlardır. Bitümlü temel ve asfalt betonu bu sınıfa girer. Yüzey pürüzlülüğü azdır.

Harç Tipi Karışımlar: İnce malzeme miktarı fazladır ve kaba agrega, ince malzeme bitüm karışımı içinde dağılmış halde bulunmaktadır. Bu tür karışımlarda boşluk oranı az olup bitüm yüzdesi çok yüksek olduğundan penetrasyonu düşük (viskozitesi yüksek) asfalt yani sert bitüm kullanılır. Yüzey pürüzlülüğü azdır. Beton ve çelik köprüler üzerinde de kullanılan mastik asfalt bu tür kaplamalara örnek olarak verilebilir [14].

3.1. Taş Mastik Asfalt Kaplamalar

Almanya’da 1960’lı yılların sonunda çivili otomobil lastiklerinin geliştirilmesiyle asfalt aşınma tabakalarında meydana gelen büyük hasarlar (bir kış mevsiminde 10 mm’lik tekerlek izi derinlikleri) yeni asfalt konseptlerinin geliştirilmesine neden olmuştur.

Yüksek tekerlek izini önlemek amacıyla ilk olarak asfalt betonundan oluşan iyileştirme tabakaları uygulanmıştır. Ancak bu yöntemle istenilen başarı elde edilememiş ve kum, filler ve yüksek bitüm oranıyla elde edilen mastik kaplama uygulamada yerini almıştır. Hasarlı kesimler üzerine dökülen sıvı karışım üzerine kaba agregalar serpilmiş ve sıcak mastiğin içine sıkıştırılmıştır. Kullanılan bitüm ve kaba agrega oranları bitümün agregadan süzülmesine neden olmuşsa da daha sonra kullanılan stabilize arttırıcı katkı malzemeleri(elyaf) ile bu sorun çözülmüştür [15].

1975 yılında çivili lastikli tekerlek kullanımı yasaklanmıştır. Sonraki yıllarda ağır trafik yükündeki karayolları aşınma tabakasında, asfalt beton ve TMA karışımlarında farklı performanslar görülmüştür. Yüksek bitüm oranlı asfalt betonda kalıcı deformasyon, düşük bitüm oranlı asfalt betonda ise yaşlanma ve çatlama gözlenmiştir. Buna karşı aynı koşullardaki TMA aşınma tabakasında söz konusu iki bozulma da gözlenmemiştir [16].

Almanya’da 1984 yılında ilk defa teknik şartnamelerde yerini alan TMA, bugüne kadar birçok değişikliğe maruz kalmıştır. Bugün Taş Mastik Asfaltlarından talep edilen nitelikler TL Asphalt-StB ve ZTV Asphalt-StB şartnameleriyle belirlenmektedir.

TMA üretimi, nakliyesi ve uygulaması asfalt betonu gibi gerçekleşmektedir. Ancak bu işlemlerde dikkat edilmesi gereken unsurlar TMA’nın kalitesini olağanüstü etkilemektedir. Kullanılan stabilize edici katkı malzemelerine, yüksek bitüm ve kaba agrega oranlarına üretim aşamasında dikkat edilmesi gerekmektedir. Nakliye ve serim aşamalarında asfalt betonları için de geçerli olan kalite standartlarının uygulanması büyük önem taşımaktadır. Asfalt betonlarına nispeten TMA’larda kullanılan yüksek bitüm oranları kayganlık problemi oluşturmaktadır. Bunu önlemek için de serimi takiben TMA tabakasının üzerine mıcır serpilip sıkıştırılması gerekmektedir.

TMA’larda ana eleman olan kırılmış agregaların mükemmel kenetlenmesi sonucu, kalıcı deformasyona karşı yüksek stabilite ve aşınmaya karşı direnç, taş iskelet yapısını saran yüksek bitüm oranı ile birlikte, boşluksuz mastik harcı elde edilmesi ile erken oluşan çatlaklara, çözülmeye karşı dayanıklılık ve daha uzun servis ömrü sunan bir karışım elde edilmektedir. Bitümün süzülmesini engelleyen ve stabiliteyi arttıran elyaf katkılar, asfalt karışımının üretimini, taşınması ve serilmesi sırasında homojenliği sağlamaktadır. TMA’nın, kalıcı deformasyona karşı yüksek stabilite, aşınmaya karşı direnç, yavaş yaşlanma ve prematüre çatlama ve kırılma karşı durabilite, yüksek bağlayıcı içeriği sayesinde düşük sıcaklık performansının iyi olması, servis ömrünün uzun olması ve bakım gereğinin daha az olması avantajları arasındadır. Şekil 3.1’de taş mastik asfalt kaplama kesiti verilmiştir.



Şekil 3.1 Taş mastik kaplama kesiti

3.1.1. Taş Mastik Asfalt Kaplamaların Teknik Özellikleri

Taş mastik asfalt karışımlarda agregalar arasında daha fazla temas olduğundan bu karışımda kullanılan agreganın, yoğun gradasyonlu geleneksel asfalt betonu kaplamada kullanılan agregadan daha üstün nitelikli olması gerekmektedir. TMA kaba agregası granit, bazalt veya diğer yüksek kaliteli magmatik kayaların kırılmasından elde edilen agregalardan oluşmaktadır. Kaba agregaya çakıldan üretildiğinde, agreganın tüm yüzleri kırılmış olmalıdır. Kaba ve ince agregaya Tablo 3.1 ve 3.2’de belirtilen özelliklere sahip olmalıdır.

Tablo 3.1. TMA’da kullanılacak kaba agregaya özellikleri [17].

Deney	Şartname Limitleri***	Deney Standardı
Parçalanma Direnci Kaybı (Los Angeles), (%)	≤ 25	TS EN 1097-2* AASHTO T 96
Aşınma Direnci Kaybı (Micro-Deval)**, (%)	≤ 20	TS EN 1097-1
Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık, (MgSO ₄ ile kayıp), (%)	≤ 14	TS EN 1367-2
Yassılık indeksi, (%)	≤ 25	BS-812
	≤ 20 (FI20)	TS EN 933-3*
Cırlanma Değeri, (%)	≥ 50 (PSV50) ≥ 40 (PSV40) binder için	TS EN 1097-8
Soyulma Mukavemeti, (%) (24 saat 60 °C suda bekletmeden sonra)	≥ 60	KTŞ Kısım 403 EK-A
Su Emme, (%)	$\leq 2,0$ (WA24 2)	TS EN 1097-6
Kil Topakları ve Ufalanabilir Daneler, maksimum, (%)	Bulunmayacak	TS-3526 (ASTM C-142)
* Referans metot.		
** Gerek görüldüğünde yapılacaktır.		
*** Parantez içindeki ifade, şartname değerinin TS EN 13043’ deki sınıfını gösterir.		

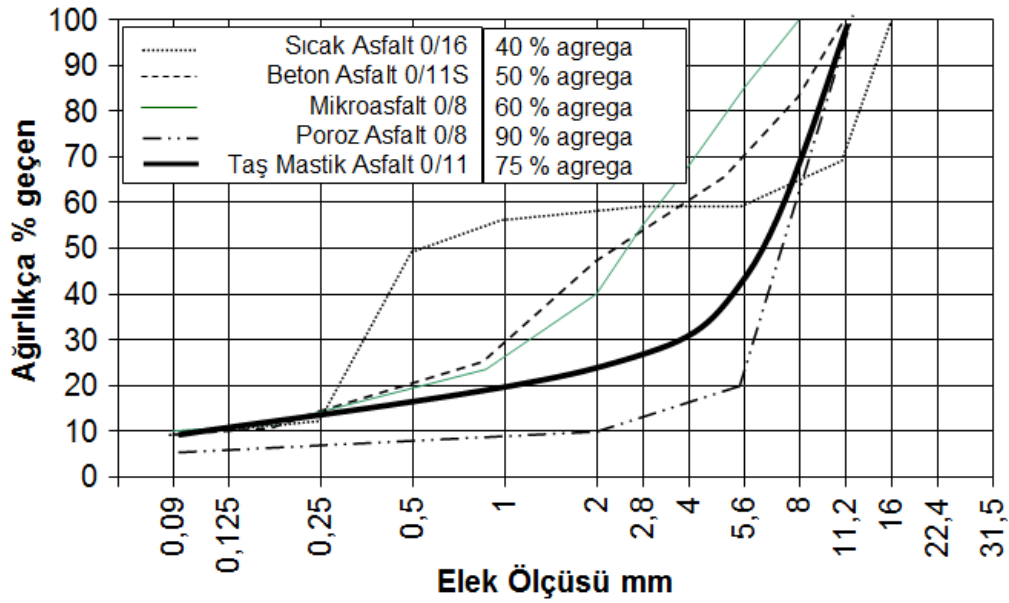
Tablo 3.2. İnce agrega özellikleri [8].

Deney		Şartname Limitleri	Deney Standardı
Plastisite İndeksi		N.P.	TS-1900-1
Organik Madde, (%)		Negatif	TS EN 1744-1 Madde 15.1
Su Emme, (%)		≤ 2,0 (WA24 2)	TS EN 1097-6
Metilen Mavisı, g/kg	İnce agreganın 0/2 mm kısmına	≤ 1,5 (MB1,5) ≤ 3,0 (MB3,0)*	TS EN 933-9
	Öğütülmüş magmatik agreganın 0/2 mm kısmına	≤ 3,0 (MB3,0)*	
* Magmatik kökenli kayaçlarda, şantiye konkasöründe üretilmiş ince agregada istenen şartname değerinin sağlanmaması durumunda bu şart aranacaktır.			

Taş mastik asfalt karışımlarda kullanılan agrega gradasyonu Tablo 3.3'te verilmiştir. Gradasyonun mineral agrega, filler dahil en az dört ayrı tane grubunun belli oranlarda karıştırılmasından oluşması gerekmektedir. Bitümlü malzemeler ile karıştırıldığı zaman agrega üniform olmalıdır. Karışım dizayn gradasyonundan sapmalar tolerans limitleri içinde kalmalıdır. Çeşitli sıcak karışım tiplerine ve TMA' ya ait gradasyon eğrileri Şekil 3.2'de verilmiştir. Taş mastik asfaltların tasarımı laboratuvarı Marshall tasarım yöntemine göre yapılabilmektedir. Tablo 3.4'te TMA'nın tasarım kriterleri verilmiştir.

Tablo 3.3. TMA aşınma ve binder için gradasyonu ve tolerans sınırları [17].

Elek Boyutu		TİP-1		TİP-2	TMA Binder	Tolerans Limitleri
		A	B			
İnç-No	mm	Geçen (%)	Geçen (%)	Geçen (%)	Geçen (%)	(%)
3/4''	19	100	100	-	92-100	±4
1/2''	12.5	90-100	90-100	100	73-83	±4
3/8''	9.5	50-75	50-67	90-100	56-66	±4
No.4	4.45	25-40	25-35	25-45	32-42	±3
No.10	2.00	20-30	20-30	20-30	25-30	±3
No.40	0.42	12-22	12-22	12-22	14-20	±3
No.80	0.177	9-17	9-17	9-17	9-15	±3
No.200	0.075	8-14	8-12	8-14	7-11	±2



Şekil 3.2 Çeşitli sıcak karışımların gradasyon eğrisi

Tablo 3.4. TMA tasarım kriterleri [17].

Özellikler		Şartname Limitleri		Deney Standartları
		Aşınma	Binder	
Briket Yapımında Uygulanacak Darbe Sayısı		50	50	TS EN 12697-30
Hava Boşlukları, (%)		2-4	3-4	TS EN 12697-8
Sıcak İklim Bölgelerinde Hava Boşlukları, (%)		3-4		
Agregalar Arası Boşluk (VMA), (%), min.	TİP –1	16	13	TS EN 12697-8
	TİP –2	17		
Bitümlü Bağlayıcı, (%) Min.	TİP –1	5,8	5,2	TS EN 12697-1
	TİP –2	6,5		
İndirekt Çekme Mukavemeti Oranı, Min. (%)		80	80	AASHTO T 283
Tekerlek İzinde Oturma (30.000 devirde, 60°C’ de), (%), Maks.		6	6	TS EN 12697-22
Elyaf Miktarı, (%)		0,3-1,0	0,2-0,8	
Schellenberger Bitüm Süzülme Deneyi, (%), Maks.		0.3	0,3	TS EN 12697-18
Not: Tabakalar arası yapışma dayanımı TS EN 12697-48’ e göre yapılabilecektir.				

3.1.2. Taş Mastik Asfaltların Uygulama Alanları

TMA her tür yüzey tabakası için uygundur ve önerilir. Fakat TMA genellikle anayol projelerinde uygulanır. TMA, asfalt betonuna göre biraz daha pahalı görünmesine karşın, ömür-maliyet yönünden daha ekonomiktir. Anayol projelerinde TMA en çok kabul gören ve uygulanan asfalt karışımıdır ve anayol üstyapılarında yoğun olarak kullanılır. TMA tipini seçerken, maksimum tane boyunu, küçük seçme eğilimi vardır. Maksimum tane boyunu 11 mm ila 8 mm veya 5 mm seçme eğiliminin yüksek olması, aşağıda sıralanan nedenlerle açıklanır:

- Kalınlık az olduğu için, birim alan maliyeti azalır
- Trafik altında daha az ses olur
- Daha iyi kayma direnci vardır

- Büyük tane boyu, daha kalın yüzey tabakası gerektirir ve bu da daha fazla birim maliyet oluşturur,
- Daha az ses gürültüsü istenmesine karşın, büyük tane boyu daha fazla trafik sesi oluşturur.

TMA karışımlarının diğer kullanım alanlarına da değinecek olursak;

TMA kaplamalarının gösterdiği yüksek performanstan dolayı havaalanlarında kullanılması giderek yaygınlaşmaktadır. Örneğin, Frankfurt'ta Fraport Havaalanına yılda 200.000' den fazla uçak kalkış-iniş yapmaktadır ve burada TMA kaplaması sasobit ile modifiye edilmiş ve başarıyla uygulanmıştır. Oslo'da Gardermon ve Güney Afrika'da Johannesburg havaalanlarında TMA kullanılmıştır [18].

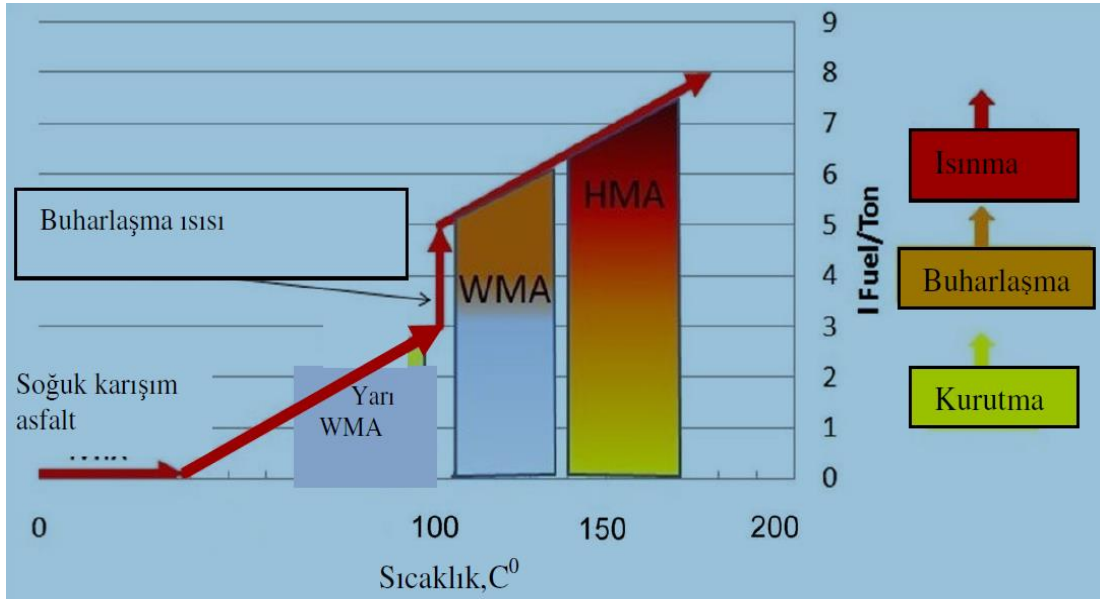
Köprülerde uygulanacak döşemeler, soğuma ve ısınma etkilerine karşı hassastır. Örneğin, kış aylarında kaynaklanan buzlanma, köprü kaplamasında toprak zemin üzerine inşa edilen asfalt kaplamadan önce hızlı ve yoğun bir şekilde kendini gösterir. Bundan dolayı köprü kaplamalarında yorulma direncine karşı yüksek dayanımlı, modifiyeli ve yüksek bağlayıcı oranına sahip mastik asfalt kullanılır. Hollanda, Danimarka ve Polonya' da ince dereceli TMA kullanılmaktadır [19].

Son zamanlarda TMA karışımları binder tabakası olarak kullanılmaya başlanmıştır. ABD ve Almanya' da denemeleri yapılmış ve yorulma performansı bakımından geleneksel karışımlara oranla üstünlük sağladığı ispatlanmıştır. 2013 yılında Karayolları Teknik Şartnamesi yenilenmiş ve bu yeniliklerden bir tanesi de TMA'nın binder tabakasında kullanabilir olmasıdır.

3.2. Ilık Karışım Asfalt Kaplamaları

Son yıllarda artan çevre ve sürdürülebilirlik kavramı bilinciyle, çevresel etkileri en az olan üretim ve uygulama tekniklerinde önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Bu çerçevede, sıcak karışım asfaltın üretimi ve uygulamasında enerji tasarrufu sağlanması ve çevreye yayılan emisyonların azalması amacıyla üretimin daha düşük sıcaklıklarda yapılabilmesi için yeni teknolojiler geliştirilmiştir. "Ilık Karışım Asfalt" - WMA (Warm-Mix.Asphalt) olarak bilinen bu teknoloji, yoğun gradasyonlu asfalt, taş mastik asfalt, poroz asfalt ve mastik asfalt karışımları dahil tüm bitümlü karışımların hazırlanmasında kullanılmaktadır [20]. Aynı zamanda ılık karışım asfalt daha yüksek oranlarda RAP kullanımına da olanak sağlamaktadır.

Bitümlü sıcak karışımlara göre 20-50 °C daha düşük sıcaklıklarda yaklaşık 100-140 °C arasında üretilen ve sıkıştırılan karışımlar ılık karışım asfalt olarak tanımlanır. Son zamanlarda geri dönüşümün artması ile birlikte ılık karışım asfaltının da kullanımı artmıştır. Asfalt karışımları Şekil 3.3’de görüldüğü gibi üretim sıcaklıklarına bağlı olarak; soğuk, yarı ılık, ılık ve sıcak asfalt olarak sınıflandırılır. Aynı grafikte kullanılan yakıt miktarı da görülmektedir.



Şekil 3.3. Üretim sıcaklıklarına göre karışımın sınıflandırılması ve yakıt tüketimi [20].

3.2.1. Ilık Karışım Asfaltın Avantajları

- Düşük sıcaklıklarda üretim ve serim,
- Daha az enerji ve yakıt tüketimi dolayısıyla düşük maliyet,
- Karıştırma ve taşıma sırasında daha az yaşlanma ve böylece daha uzun servis ömrü,
- Emisyonların azalması, (Tablo 3.5)
- Kısa zamanda ve düşük sıcaklıkta ısıtılmaya bağlı olarak duman miktarında azalma,
- İnşaat mevsiminin uzaması, (Kışın çalışmaya olanak sağlar)
- Taşıma mesafesinde artış,
- Plentte çalışan işçilerin çalışma şartlarında iyileştirme. [21].

Tablo 3.5. Tipik bir BSK üretimine göre WMA teknolojisinde emisyon azalması [20].

Emisyonlar	Tipik Bir BSK Üretimine Göre Emisyonlardaki Azalma (%)
CO ₂ ve SO ₂	30-40
Uçucu organik bileşikler	50
CO	10-30
Azot oksitler (NO _x)	60-70
Toz	20-25

Düşük sıcaklıktaki asfalt karışımlarının kullanımı yeni bir teknoloji değildir. 1956’ da Prof. Ladis Csanyi, bağlayıcının köpüklendirilerek kullanılabileceğini belirtmiştir. Günümüze kadar köpüklendirme yöntemi ile karışım sıcaklığı düşürülmüş ve birçok ülkede başarılı bir şekilde uygulanmıştır. 1994’de Maccarone ve diğerlerinin soğuk asfalt çalışmasında köpük bağlayıcı ve çok yüksek bağlayıcı içerikli emülsiyonların kullanılabilirliği araştırılmış ve dünya çapında düşük emisyonlu ve düşük enerjiyle üretilen karışım olarak kabul görmüştür [22].

1997’ de Sasol Wax firması tarafından geliştirilen Sasobit Avrupa’da sıkışmaya yardımcı ürün olarak pazarlanmaya başlanmıştır [23]. Şimdi ise bu ürün ılık karışım asfalt katkısı olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Ilık karışım asfaltlarda yoğun gradasyon kullanılarak birçok çalışma yapılmıştır. Ancak, Koenders ve diğerleri (2000), Ilık karışım asfaltlarının diğer asfalt karışım tipleri içinde (açık-gardasyon, kesikli gradasyon) uygulanabileceğini ve geleneksel asfalt karışım plentlerinin ve kaplama ekipmanları ve teknolojilerinin kullanılabileceğini belirtmişlerdir [24].

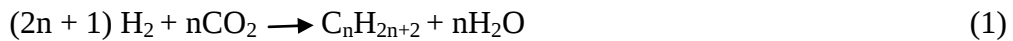
3.2.2. Ilık Karışım Katkıları

Sasobit: Sasobit, organik bir ılık karışım katkısıdır ve *Chemical Abstract Service* (CAS)’de 8002-74-2 numara ile tescil edilmiştir. Kimyasal formülü C_nH_{2n+2} ’dir. Sasobit, Güney Afrika’daki Sasol Wax tarafından üretilmektedir. Şekil 3.4’de Sasobit granüllerinin tipik bir örneği görülmektedir.



Şekil 3.4 Granül haldeki Sasobit

Sasobit kömürün gaz haline gelmesi ile elde edilen alifatik hidrokarbonların uzun bir zinciridir. Bu süreç akkor taşkömürü veya kok kömürüne Fischer-Tropsch metoduyla buhar püskürtülmesini içeren bir işlemdir [24]. Üreticinin üretim süreciyle ilgili tanımlaması aşağıdaki gibidir [25]: “Fischer-Tropsch süreci esnasında karbon monoksit, moleküler zincir uzunluklarının 1-100 karbon atomu ve daha büyük olan bir hidrokarbon karışımına dönüştürülür. Sürecin başlama noktası kömürün gazlaşmasıyla üretilmiş karbon monoksit ve hidrojen karışımı olan sentetik bir gazdır. Gaz, ticari kullanım için büyük miktarlarda üretilmektedir”. 2003 yılında Sasol Wax şirketi Sasobit üretimi için Mozambik’ten Sasolburg’a (Güney Afrika) uzanan doğal gaz boru hattına 360 milyon dolar yatırım yapmıştır. Sentetik gaz, demir veya kobalt katalizörü eşliğinde reaksiyona girer, bu şekilde ısı oluşur ve metan, sentetik gazyağı, parafin ve alkoller ortaya çıkar”. Kimyasal reaksiyon Formül 1’de verilmiştir [26]. Sıvı ürünler ayrılır ve Fischer-Tropsch parafinleri toplanır. Tablo 3.6’de Sasobitin özellikleri verilmiştir.



Tablo 3.6 Sasobitin özellikleri

Özellikler		Birimler	Teknik Özellikler
Niceliksel	Katılma Sıcaklığı	C°	Minimum 100
	25 C° deki penetrasyon	0.1 mm	1 Maksimum
	65 C° deki penetrasyon	0.1 mm	13 Maksimum
	Parlama Noktası	C°	290
	PH		Nötr
	Polydispersity Endeks	-	1.33
	Yoğunluk	Kg/m3	622-590
	135 C° de Brookfield vizkozitesi	cP	10-14
Niteliksel	Koku	Koku Yok	
	Görsel Renk	Griimsi-Sarımsı Beyaz	
	Fiziksel Durum	Tanecikli Yapı	

Sasobit 2, 5, 20 ve 600 kg torbalarda bulunabilmektedir. Sasobit'i asfalta eklemek için karıştırma sürecine birkaç modifikasyon yapmak gerekmektedir [27]. Asya, Avrupa ve Güney Afrika'da Sasobit katı top (katı tanecik) veya erimiş sıvı şeklinde (ince pul şeklinde parçacıklardan üretilerek) doğrudan karışıma eklenmektedir. Sasobit ayrıca ABD'de asfalt karışım tesislerinde karıştırma odasına taneciklerin doğrudan üflenmesi yoluyla da sıcak asfalt bağlayıcıyla karıştırılmaktadır (karıştırma gerekmemektedir) [28]. Sasobit sıcak bağlayıcıyla elle veya mekanik olarak da karıştırılabilir. Bu karıştırma metodunun Sasobit-modifiyeli asfalt bağlayıcı özellikleri üzerinde hiçbir etkisi bulunmamaktadır [29]. Sasol Wax, bağlayıcıya oranla % 0.8 - %4 Sasobit kullanılmasını önermektedir [27-30]. Fakat %4'ten daha fazla Sasobit eklenmesi, asfalt bağlayıcının düşük sıcaklık etkileri üzerinde negatif etkilere yol açabildiği belirtilmiştir [30].

Sasobit katkısının da içinde bulunduğu parafinler (petrol mumu-vaks) sıklıkla, makro kristalli, mikro kristalli ve/veya amorf (kristalsız) olarak sınıflandırılmaktadır [31]. Genel olarak asfalt vaksı mikro kristalli yapıdadır, fakat amorf da olabilir ve farklı asfalt türleri daha yüksek veya daha düşük miktarlarda vaks içerebilir. Mikro kristalli vaks asıl olarak *naften* ve *izoparafinden* oluşur. Sasobit, sentetik mikro kristalli yapıdadır ve doğal asfalt vakstan uzun zinciri ve daha iyi kristalli yapısı ile ayrılır. Sasobit'teki hidrokarbonların

predominant zincir uzunluğu 40-115 karbon atomu aralığındadır. Oysa doğal asfalt parafin vaksı 22-45 karbon atomu aralığındadır. Zincir uzunluklarının geniş aralığı plastik limiti ve asfalt bağlayıcıların erime sıcaklıklarını arttırırken uzun zincirler vaksı solüsyonda tutmaya yardımcı olur ve böylece Sasobit modifiyesi asfalt bağlayıcının viskozitesini ve karıştırma-sıkıştırma sıcaklıklarını azaltır [32]. Üretici, Sasobit'in erime noktasının yaklaşık olarak 100 °C olduğunu ve asfalt bağlayıcıda 116 °C'den daha yüksek ısılarda kolayca karışabilir olduğunu belirtmektedir. Sasobit'in erime noktasını geçince vaks sıvılaşır ve asfalt bağlayıcının viskozitesini önemli ölçüde azaltır böylece asfalt karışımın üretim sıcaklığının 20-30 °C azalmasını sağlar. Erime noktasının altındaki sıcaklıklarda Sasobit, asfalt bağlayıcıda ızgara benzeri bir yapı oluşturur ve alan araştırmalarında bildirilen raporlara göre daha iyi bir stabilite sağlar. Diğer bir deyişle, Sasobit-modifiyeli sıcak asfalt bağlayıcı, Sasobit'in erime noktasından daha yüksek olan sıcaklıklarda bir Newton akışkanı gibi ve erime noktasından daha düşük sıcaklıklarda Newton-olmayan bir akışkan gibi davranır. Sasobit'in ızgara benzeri bir yapı oluşturması modifiye bağlayıcıdaki moleküllerin hareketini engeller ve sonuç olarak düşük ve orta derecedeki ısılarda viskoziteyi artırır [33].

Asphaltan B®: Almanya'da Romonta GmbH firması tarafından üretilmektedir. Montan mumu bileşenleri ile daha yüksek moleküler ağırlıklı hidrokarbon maddelerin bir karışımıdır. Ham Montan mumu Almanya, Doğu Avrupa ve Amerika Birleşik Devletleri'nin bazı linyit kömürü alanlarında bulunmaktadır. Montan mumu, tolüen çözücüsü ve yüksek sıcaklıktaki buhar ile kömürden ayrıştırılır. Yüksek stabilitesi ve suda çözünmeme özelliği sayesinde mum uzun süre bozulmadan kalabilir. Üretici firmaya göre Asphaltan B®, karışımın ağırlığınca % 2 – 4 arası eklenmelidir. Asphaltan B®, doğrudan bitümlü bağlayıcıya eklenebileceği gibi, karışıma veya polimer modifiye bitüme de eklenebilmektedir. 98 °C'de eriyen Asphaltan B®, daha rahat bir sıkıştırma sağlarken tekerlek izi oluşumuna karşı direnci de arttırır [34].

Evotherm® : Evotherm® Amerikalı MeadWestvaco Asphalt Innovations firması tarafından üretilmektedir. Evotherm, katyonik emülsifikasyon maddeler içeren kimyasal bir teknoloji kullanır. Agregaların yüzey kaplamasını yani adezyonu artırır. Karışımın işlenebilirliğini ve sıkışabilirliğini geliştirir [35].



Şekil 3.5 Ilık karışım katkısı Evotherm

Rediset® WMX: Rediset® WMX Akzo Nobel tarafından üretilmiş kimyasal bir ılık karışım katkısıdır. Katyonik yüzey aktif maddeler(cationic surfactants) ve organik katkı kombinasyonu ile reolojik düzenleyici olarak kullanılmaktadır. Rediset WMX su içermez, yüzey aktif maddeler ıslak agrega yüzeylerinin bağlayıcı ile adezyonunu artırır. Önerilen kullanılma oranı bağlayıcı ağırlığının %1,5-2'si kadardır.

Rediset® WMX (Şekil 3.6), bitümün kohezyonunu artırır, tekerlek izi oluşumunu azaltır. Ayrıca, Rediset® WMX soyulma önleyici bir katkı olduğundan, neme karşı hassasiyeti azaltarak kaplamanın servis ömrünün uzamasına da yardımcı olur [36].



Şekil 3.6 Rediset WMX

4. ATIK LASTİK SORUNU VE ATIK LASTİKLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Üretim ve kullanım faaliyetleri sonucu ortaya çıkan, insan ve çevre sağlığına zarar verecek şekilde doğrudan veya dolaylı biçimde alıcı ortama verilmesi sakıncalı olan her türlü maddeye atık denilmektedir. Türkiye, sanayileşmenin ve doğal kaynakların bilinçsiz kullanımının yarattığı çevre kirliliğinin etkisini son yıllarda daha fazla hissetmeye başlamıştır. Gelişmiş dünya ülkeleri, daha önceleri ürettikleri atıkların bir miktarını kendi ülkelerinde kullanıp geriye kalanları az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelere göndermekteydi. Bu doğrultuda, biriken atıkların sadece ülkeler arasında hareket gördüğünü ancak, dünya kaynaklarına zarar vermeye devam ettiğini fark etmeleri sonrasında, atıkların uygun yöntemlerle ve ülkelerinde geri kazanılması ya da yok edilmesi için çalışmalara başlamışlardır [37].

Çevre üzerinde büyük bir baskı oluşturan ve gün geçtikçe artan atık sorununun tamamı ile çözümü için tek bir yaklaşım yeterli değildir. Ancak tüm yöntemlerin kombinasyonu ile etkin bir atık yönetimi sağlanabilir. Uluslararası düzeyde kabul gören bu yaklaşım, “Entegre Atık Yönetimi” anlayışının benimsenmesine yol açmıştır. Entegre atık yönetiminde, atık yönetiminin tüm unsurları bir bütün olarak değerlendirilerek hem çevresel hem de ekonomik açıdan sürdürülebilirliğin sağlanması hedeflenir. Bu çerçevede, entegre atık yönetiminin yalnızca tek bir atık türüne veya tek bir kaynağa yönelik olması beklenemez. Verimli ve entegre bir atık yönetim sistemi başlıca aşağıdaki özellikleri taşımalıdır [38].

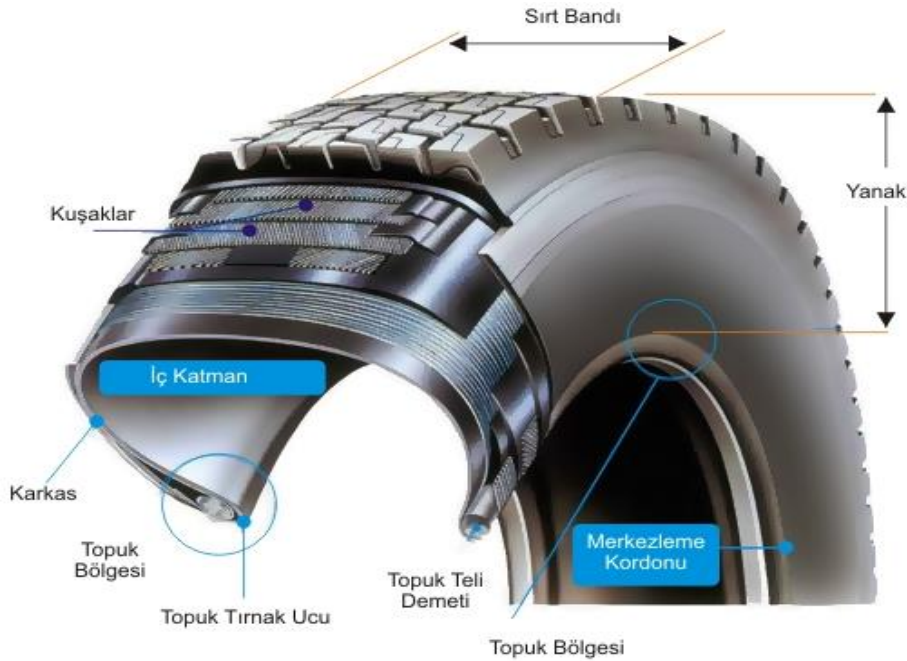
Entegre atık yönetimi bir yerleşim merkezinde oluşan atığın bileşimini oluşturan bütün maddeleri ve üretim kaynaklarını ihtiva edecek şekilde planlanmalıdır. Katı atık sisteminden sağlanabilecek ekonomik değerler, geri kazanılabilir malzeme, kompost ve elde edilebilecek biyogaz (düzenli depolama ve anaerobik kompost) ve benzeri kaynaklı girdilerdir. Bunlardan temin edilecek gelir, piyasa şartları ve yapılacak yatırımın maliyeti ile yakından ilgilidir. Bu sebeple planlama aşamasında ekonomik analizin çok iyi yapılması gereklidir. Entegre atık yönetim sistemi, çevresel, mekânsal ve atık özelliklerinde zamana bağlı olarak meydana gelebilecek çeşitli değişikliklere uyum sağlayabilecek esneklikte olmalıdır. Bölgesel planlama yapılmalıdır. Planlamanın verimli olması, toplanacak atık miktarına bağlıdır. Atık oluşum miktarı ise öncelikle nüfusa bağlıdır. Bu sebeple Büyükşehirler dışındaki yerleşim alanlarında bölgesel planlamalar

yapılmalıdır. Bazı araştırmacılar entegre bir yönetime bağlı nüfusun 500.000 kişiden az olmamasını tavsiye etmektedir.

4.1. Atık Lastikler

Çevre açısından oldukça dayanıklı yüksek molekül yapılı polimerlerden ibaret doğal ve sentetik kauçuklardan üretilen araç lastikleri, faydalı ömürlerini tamamlamaları ile, çevrede zor ortadan kalkacak “atık lastikler” sorununu oluşturmaktadır. Çevrede zor ayrışır olmaları, atık lastiklerin önemli bir çevre problemi olmalarının asıl nedeni değildir. Ne kadar zor ayrışsalar da atıklar tabiatta sonunda ortadan kaldırılabilir. Buna yakma ile destek de olunabilmektedir. Ancak, üretilen atık lastiklerin çok önemli miktarlarda olması bu atıkların giderilmesindeki en önemli yönü ortaya koymaktadır. Miktarın çokluğu nedeniyle birçok giderme, uzaklaştırma ve geri kazanarak yararlanma şekli kullanılmış ve geliştirilmiştir. [39].

Lastik yapısının (Şekil 4.1) karmaşıklığı, çok sayıda bileşenin bir arada kullanılmasından çok, lastik yapı, malzeme ve sırt deseni seçimi sırasındaki sayısız olasılıktan kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.1 Araç lastiği yapısı

Lastik üretiminde kullanılan materyaller olağanüstü kuvvetlidir (Tablo 4.1). Seyir esnasında binlerce kilometre uzunluğundaki asfalt ve asfalt olmayan yollardaki sürtünmelere dayanıklı olacak şekilde imal edilirler. Oto lastikleri; üzerine gelen darbelere dayanımlı ve titreşim ile darbeleri büyük ölçüde sönümleyip yutan, esnek ve elastiki bir yapıya sahiptir. Oto lastikleri ayrıca sesi absorplama özelliğine sahiptir [40].

Tablo 4.1. Araç lastiği üretiminde kullanılan tipik malzemeler [37].

Ürün Cinsi	Kamyon Lastikleri	Araba Lastikleri
Kauçuk	% 70	% 70
Çelik	% 27	% 15
Lif ve Diğer Atıkları	% 3	% 15

Büyük bir çoğunluğunu karayollarında kullanılan araçların oluşturduğu, atık lastiklerle ilgili problemler her geçen gün hızla artmaktadır. Ömrünü tamamlamış taşıt lastikleri, günümüzde bol olmasının yanında, değersiz bir atık konumundadırlar. Ayrıca, çevre kirliliğine sebebiyet vermekte ve insan sağlığı ile doğal dengeyi olumsuz bir şekilde etkilemektedir. Bu sorunları ortadan kaldırmanın en etkin yollarından biri atık lastiklerin yeniden işlenerek, endüstride farklı uygulamalarda kullanılması olarak gösterilmektedir. Tüm bir lastiğin, çeşitli endüstriyel işlemlerden geçirilerek, farklı boyut ve geometrilerde alternatif bir malzeme olarak kullanımı; başta ABD olmak üzere, birçok gelişmiş ülkede atık lastiklerin yönetimi ile ilgili sorunları büyük ölçüde azaltmıştır.

Ulaşımın yüzde 95'inin karayoluyla yapıldığı ülkemizde, milyonlarca araçtan elde edilen atık lastiğin büyük bir çoğunluğu yasadışı yollarla çöplük, deniz ve nehirlerle atılmaktadır. Atık lastiklerin çok az bir kısmı ise, çimento veya tuğla üretim fabrikalarında pişirme işlerinde yakıt olarak kullanılmaktadır. Ancak bu uygulamalarda da, fabrikaların baca filtrelerinde biriken tozların filtrelerin ömrünü kısalttığı yönünde bir görüş hakimdir. Bu nedenle, atık lastikler genellikle doğaya atılarak veya açık havada yakılarak çok büyük çevre sorunları oluşturmaktadır. Atık lastikler yanıcı madde oldukları için depolanmaları işleminde özel güvenlik tedbirlerinin alınması zorunluluğu ortaya çıkmakta ve bu durumda da depolama maliyetleri artmaktadır. Şekil 4.2 ve Şekil 4,3'de atık lastik depolarından ve depo yangınlarından görünüm verilmektedir.



Şekil 4.2 Atık lastik depoları



Şekil 4.3 Atık lastik depo yangınları

5. KAPSAM ve LİTERATÜR ÖZETİ

Her gün daha da artan ağır taşıt trafiği yollarımızı erken ve yapısal olarak tahrip edip bu yöndeki çabaların beton asfalt kaplamalı yol uzunluğunu artırmaktan çok, bakım onarım harcanmasına neden olmakta bu sebeple yol mühendisleri daha sağlam, uzun süre bakım onarım ihtiyacı göstermeyecek karışım tasarımları yapmak için çaba sarf etmektedirler. Kaplama tabakasında kullanılan bitümlü sıcak karışımların mühendislik özelliklerini iyileştirmek için iki temel yoldan birisi gradasyonu ve dolayısıyla asfalt çimentosu oranlarını değiştirmektir. Taş mastik asfalt (TMA) bu kategoride karışım performansının iyileştirilmesi bakımından tipik bir örnektir. Diğer bir yol ise ya bitüme ya da doğrudan karışıma ilave edilen ve genellikle polimerden oluşan katkı maddeleriyle bitümlü sıcak karışım özelliklerini iyileştirmektir. Her iki yöntemin birlikte kullanılması ise performansı yüksek kaplama inşasına büyük katkısı olmuş ve günümüzde uygulanan en yenilikçi karışımlardan biri haline gelmiştir. Bitümlü sıcak karışımların karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları, karışımda kullanılacak bağlayıcının agregayı sarabilmesi için yeterli sıcaklıklara kadar ısıtılması esasına göre belirlenmektedir.

TMA da kullanılan iri agrega grubu yüksek sıcaklıklarda kalıcı deformasyonlara karşı direncin yüksek, bu iri gradasyon arasında oluşan büyük boşlukları doldurmak için kullanılan fazla bitüm ise, karışımın durabilitesinin, düşük sıcaklık davranışının ve yorulma ömrünün fazla olmasını sağlamaktadır. Bir kaplamada düşük ve yüksek sıcaklıkta oluşabilecek olumsuzlukların üstesinden gelebilecek bu karışım tipi sert ve çoğunlukla polimer modifiyeli bağlayıcı kullanımını gerektirmektedir. Polimerler ile modifiye edilen bağlayıcıların agregayı iyi bir şekilde sarabileceği sıcaklık değerleri normal bitümlerden yüksek olmaktadır. Diğer bir ifade ile polimer modifiyeli bağlayıcılar artan viskoziteleri nedeni ile daha fazla karıştırma ve sıkıştırma sıcaklığı gerektirmektedir. Zaten polimer modifikasyonu ile maliyet artışı olurken bu tip karışımların daha yüksek sıcaklıkta imal edilmeleri ve daha fazla enerji ile sıkıştırılmak zorunda olmaları maliyetleri daha da artırmakta ve yol uygulayıcıları (belediyeler ve karayolları örgütü) tarafından çok önem arz etmeyen kesimlerde ikinci plana itilmektedir. Dolayısıyla burada çözülmesi gereken iki sorundan birisi karışımların performansını artırmak için daha ucuz bir katkı kullanmak diğeri ise viskozite artışına engel olmaktır.

Problemin birinci kısmının çözümü ile ilgili olarak maliyetleri düşük olan atık malzemelerin katkı olarak kullanımı araştırmacılar tarafından yaygın bir şekilde araştırılmakta ve gelinen noktada kullanılmış araç lastiklerinin öğütülerek bitümlü karışımlarda kullanılması etkili bir çözüm olarak sunulmuştur. Ülkemizde ve dünyada her yıl açığa çıkan milyonlarca atık araç lastiği, depolanması güvenlik tedbirlerinin alınması ve çevreye zarar vermesi yönüyle büyük bir sorun olmaktadır. Çevre üzerinde büyük bir baskı oluşturan ve gün geçtikçe artan bir sorun haline gelen atık araç lastiklerinin yol inşaatlarında kullanımı, bitümlü karışıma ve çevreye sağladığı katkılar sayesinde ekonomik ve ekolojik bir sürdürülebilirlik temin etmektedir. Atık lastiklerin bitümlü sıcak karışımlarda sağladığı fayda, içerisinde bulunan ve çok kıymetli olan kauçuk sayesinde olmaktadır. Kauçuk, bir izopren türevi olan çok sayıda yalın molekülün, hep aynı geometrik düzenle birleşmesi sonucunda oluşmuş bir makromoleküldür. Kauçuklar doğal ve sentetik olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Sentetik kauçuklar, doğal kauçuğun niteliklerine sahip olmamakla beraber çok miktarda üretilip dolgu lastiklerde kullanılmaktadır. Önemli sentetik kauçuklar, bütadien kauçuğu (BR), stiren-bütadien kauçuğu (SBR), nitrol-bütadien kauçuğu (NBR), izobutilen-izopropilen kauçuğu (IBR) ve izobutilen-izopren kauçuğu (IIR) sayılabilir [41]. Sentetik kauçuk en çok araç lastiklerinin üretiminde olmak üzere bir çok alanda kullanılmaktadır. Bir otomobil atık lastiğinin ağırlığı 9,1 kg'dır. Atık lastiğin yaklaşık olarak %35'i doğal ve %65'i sentetik olan geri kazanılabilir kauçuktan meydana gelmektedir. Bir kamyon lastiği ise 18,2 kg ağırlığında olup, bu ağırlığın %60 ile %70'i geri kazanılabilir kauçuk içermektedir [42].

Hamzah ve diğ. (2006), 80/100 penetrasyonlu saf bitümün ve parçalanmış atık lastikle modifiye edilmiş bitümün reolojik özelliklerini Dinamik Kesme Reometresi (DSR) ile incelemiş ve ayrıca bu bağlayıcılar ile hazırlanmış bitümlü sıcak karışımların rijitlik modüllerini incelemiştir. Karışım numuneleri yoğurmalı sıkıştırıcı ile hazırlanmıştır. Bu yaklaşım ile bitümün kompleks modülü ve karışımın sertliği arasındaki ilişki belirlenmeye çalışılmıştır. Sonuçta öğütülmüş araç lastiği ilavesinin orijinal bitümün $G^*/\sin\delta$ değerini artırdığını ve dolayısıyla daha uzun bir yorulma ömrü sunduğunu ve araç lastiği modifiyeli bağlayıcının yaşlanmadan daha az etkilendiği karışım numunelerinde ise öğütülmüş araç lastiği modifiyeli karışımların %24 daha yüksek Marshall stabilitesi %56 daha yüksek sünmeye rijitliği değeri verdiği ve daha düşük ısı hassasiyeti gösterdiği belirtilmiştir [43].

Navarro ve diğ.(2004), ağırlıkça %9 atık lastik kauçuğu ile modifiye edilmiş bitümün, kullanım ve işlenme (örneğin pompalama, karıştırma, sıkıştırma vb.) sıcaklıklarındaki

davranışını ele almıştır. Çalışmada, kauçuk parçacığı boyutunun bir fonksiyonu olarak, atık lastik kauçuğuyla modifiye edilmiş bitümlerin (CTRMBs) mekanik özellikleri ve depolama dayanıklılığı araştırılmıştır. Öğütülmüş araç lastiği kauçuğunun bitüme eklenmesinin, yüksek servis sıcaklıklarında hem lineer viskoelastisiteyi ve viskoziteyi artırdığı hem de düşük sıcaklıklarda depolama stabilitesini azalttığı belirtilmiştir. Netice olarak, atık lastik kauçuğuyla modifiye edilmiş bitümün, hem tekerlek izlerine, hem de yorulma çatlamlarına karşı direncini arttıran, gelişmiş mekanik özellikler sergilediği belirtilmiştir. Ayrıca çözünmeyen, küresel olmayan parçacıkların varlığı, yüksek sıcaklıklarda gözlenen akış davranışını etkilemektedir. Sağlanan deneysel sonuçlardan, üretim işlemleri sırasında 0,35 mm'den küçük kauçuk parçacıklarının ve modifiye işleminde yüksek karıştırma hızlarının kullanılması tavsiye edilmektedir [44].

Mohammad ve diğ. (2011), geleneksel bitümlü sıcak karışım, geri kazanılmış asfalt kaplamalar (RAP) ve öğütülmüş kauçuk (CR) içeren karışımların laboratuvar performansını araştırmıştır. Bu çalışmaya, Louisiana'da yaygın olarak kullanılan kalın taneli doğal kum ve silisli kalker agregalar dahil edilerek, toplam altı farklı karışımın kıyaslı laboratuvar değerlendirmeleri incelenmiştir. Öğütülmüş kauçuk hem yaş proses olarak bitüm modifikasyonunda hem de kuru proses olarak direk karışıma ilave edilmiştir. Kauçuk oranı bağlayıcı ağırlığının %10'u olarak kullanılmıştır. Bağlayıcılar üzerinde fiziksel ve reolojik testler uygulanmıştır. Bitümlü karışımların kalıcı deformasyon ve yorulma davranışlarının belirlenmesi için yarım daire eğilme, dinamik modül, dinamik sünme ve modifiye edilmiş Lottman testleri uygulanmıştır. Sonuçta %40 oranında PG 64-22 seviyesinde geri dönüştürülmüş asfalt çimentosu ve %10 öğütülmüş kauçuk karışımının PG 70-28 gibi davrandığı, öğütülmüş kauçuk ilavesinin karışımların nem hassasiyetini azalttığı, bu karışımların iyi bir kırılma direnci sergilediği, 54°C'ye kadar lineer-viskoelastik bölgede kalabildiği ve tekerlek izine (Şekil 5.1) karşı çok yüksek bir direnç gösterdiği belirtilmiştir [45].



Şekil 5.1 Tekerlik izi deformasyonu

Wayne ve Magdy (2006), bitümün öğütülmüş araç lastiği kauçuğu ile modifikasyonunda sıcaklık, karıştırma hızı, karıştırma süresi ve katkı oranının etkilerini incelemişlerdir. Sonuçta düşük sıcaklıklarda polimerizasyonun uzun sürdüğü, yüksek sıcaklıklarda ise çok kısa sürdüğü, karıştırma süresinde ise bir başlangıç periyodunun olduğu bundan sonra ise stabil bir yapı oluştuğu, bu başlangıç periyodunun ise kauçuğun kökeni ve boyutuyla ilgili olduğu, büyük dane boyutlu kauçuklarda yüksek karıştırma hızının bu parçacıkların boyutunu küçülttüğü ve böylece modifikasyon sürecine yardımcı olduğu belirtilmiştir [46].

Arabani ve diğ.(2010), lastik lifi örgüsünün, asfalt kaplamayı takviye etmedeki kullanımını incelemiştir. Çalışmada, lastik lifi örgüsüyle takviye edilmiş asfalt kaplamanın çatlama potansiyeli değerlendirilmiştir. Sonuçlar lastik lifi örgüsü takviyesinin bakım ve

rehabilitasyon maliyetlerini düşürürken, asfalt kaplamanın çatlamaya karşı direncini önemli ölçüde arttırdığını ve hizmet ömrünü yükselttiğini göstermiştir [47].

Neto ve diğ.(2005), atık lastik kauçuğunu kuru proses olarak yani mineral agrega olarak karışıma ilave ederek bu karışımların rijitlik ve yorulma ömürlerini incelemiştir. Kauçuk oranı %2-%3,6 aralığında seçilmiştir. İyi bir karşılaştırma yapabilmek için kauçuk içermeyen saf karışım ve ıslak proses ile üretilmiş karışım numuneleri de hazırlanmıştır. Sonuçta kuru proses ile modifiye edilen karışımların saf karışımlara göre önemli ölçüde mekanik özelliklerde bir artış sağladığı tespit edilmiştir [48].

Fontes ve diğ.(2006), yaptığı çalışmada, biri laboratuvarında diğeri rafineride olmak üzere iki farklı şekilde üretilmiş kauçuk modifiyeli bağlayıcı ile üretilmiş bitümlü sıcak karışımları incelemiştir. Çalışmada yoğun ve açık gradasyonlu karışımların yorulma ve kalıcı deformasyon davranışları incelenmiştir. Sonuçta rafineride hazırlanmış bağlayıcı ile üretilen karışımların tekerlek izi dirençlerinin, laboratuvarında hazırlanmış bağlayıcı ile üretilen karışımların ise yorulma ömürlerinin yüksek olduğu belirtilmiştir [49].

Cao (2007), atık lastik kirliliğini en aza indirmek ve asfalt karışımlarının özelliklerini iyileştirmek üzere laboratuvarında, kuru proses ile geri dönüştürülmüş lastik kauçuğuyla modifiye edilmiş asfalt karışımlarının özelliklerini araştırmıştır. Farklı kauçuk miktarlarına sahip (toplam karışımın ağırlığı itibarıyla %1, %2 ve %3) üç tip asfalt karışımının ve kauçuksuz bir kontrol karışımı üzerinde testler gerçekleştirilmiştir. 60°C’de tekerlek izi ve 10°C’de dolaylı çekme deney sonuçlarına göre kuru proses ile lastik kauçuğunun ilavesi, asfalt karışımlarının mühendislik özelliklerini iyileştirdiği ve yüksek sıcaklıkta kalıcı deformasyona, düşük sıcaklıkta çatlak oluşumuna karşı direnci artırdığı belirtilmiştir [50].

Neto ve diğ.(2006), atık lastik kauçuğu gradasyonunun kauçuk asfalt özelliklerini etkileyen en önemli değişkenlerden biri olduğuna dikkat çekmiş ve yaptıkları çalışmada atık lastik kauçuğu gradasyonunun penetrasyon, dönel viskozite (Brookfield viskometresi kullanılarak), sertlik ve yumuşama noktası üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Test numuneleri, 50/70 penetrasyonlu saf bir asfaltla ve temelde eski lastikleri ortam sıcaklığında yırtma ve ezmeye dayanan öğütme süreciyle elde edilmiş parça kauçukla üretilmiştir. Karıştırma süresi 60 dakika ve karıştırma sıcaklığı 170 °C olarak seçilmiştir. Sonuçlar dönel viskozite ve sertliğin, parça kauçuktan en çok etkilenen özellikler olduğunu göstermiştir. Ayrıca kauçuk parçacıklarının yüzey alanının artmasının yani küçük boyuttaki parçacıkların viskoziteyi artırdığı, iri parçacıkların ise daha çok sertliği etkilediği belirtilmiştir [51].

Atık araç lastiklerinin bitümde ve bitümlü karışımlarda katkı olarak kullanılmasının performansı önemli derecede artırdığı yapılan çalışmalarda vurgulanmakla birlikte, **problemin ikinci kısmını** oluşturan artan viskoziteye çözüm olamamaktadır. Bu bağlamda ise ılık karışımlar çözüm olarak görülmektedir. Son zamanlarda çevrenin korunması yönünde artan farkındalık ve enerji tasarrufu konusundaki sürdürülebilirlik yaklaşımları, karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları sıcak karışımlar ile soğuk karışımlar arasında olan ve en az sıcak karışımlar kadar performansa sahip ılık karışımları gündeme getirmiştir. Ilık karışımlarda bitüme ya da karışıma katılan doğal, organik, sentetik katkıları, düşük sıcaklıklarda karışıma işlenebilme özelliği kazandırarak enerjiden tasarruf sağlamakta aynı zamanda karbon salınımını azaltmakta, inşaat mevsimini uzatmakta, karışımın daha uzun mesafelere taşınabilmesini sağlamakta ve bağlayıcının üretim esnasında çok fazla ısıya maruz kalarak yaşlanmasını önlemektedir [20]. Bu katkılar çoğu zaman karışımın mekanik özelliklerini de iyileştirebilmektedir. Ilık karışım katkısı olarak son zamanlarda yaygın olarak kullanılan katkılardan biri Sasobittir®.

Sasobit®, doğal gaz yada kömürün Fischer-Tropsch sentezi ile üretilen uzun alifatik hidrokarbon zincirinden oluşan bir katkıdır [25]. Bu hidrokarbon zincirinin doğal asfalt parafinlerine göre daha geniş ve uzun bir yapısı vardır. Hidrokarbon zincirindeki karbon atomları Sasobitte 40-115 arasında iken doğal asfaltta 22-45 aralığındadır. Hidrokarbon zincirinin geniş olması plastik limit değerlerini yükseltirken, zincirin uzun olması akıcılığı temin ederek viskoziteyi düşürmektedir [52,53].

FT-parafin üzerine yapılan çalışmalarda en çok vurgulanan sonuç, FT-parafin modifikasyonunun çok önemli ölçüde viskoziteyi düşürmesidir [54-57]. Bitüm ağırlığınca %2 oranında kullanılan FT-parafin modifiyeli karışımın sıcak karışımdan 30 °C daha düşük sıcaklıkta aynı işlenebilirlik özelliklerine sahip olduğu belirtilmiştir [58].

Banerjee ve diğ. (2012), Rediset®, Sasobit®, Evoterm® gibi ılık karışım katkılarının zaman içinde bitümde meydana gelen sertleşme hızını azalttığını belirtmişlerdir [59]. Yapılan çalışmada öğütülmüş araç lastiği modifikasyonu ile birlikte kullanılan Sasobit'in, yüksek sıcaklık performans seviyesini artırarak tekerlek izine karşı direnci önemli derecede iyileştirdiği ve bu etkilerin kısa dönem yaşlandırmadan sonra söz konusu olduğu tespit edilmiştir [60]. Karışımların tekerlek izi oluşumuna karşı dirençleri hem bitümlü bağlayıcı deneyleri hem de karışım deneyleri ile değerlendirilebilmektedir.

Bağlayıcının kompleks modülünün faz açısına oranı ($G^*/\sin\delta$) olan tekerlek izi parametresinin incelendiği çalışmada FT-parafin modifikasyonunun her türlü bağlayıcıda

ve her türlü yaşlanma koşulunda $G^*/\sin\delta$ ve sıfır kesme viskozite değerlerini diğer ılık karışım katkılarına göre daha fazla artırdığı ve esnek davranışı sergileyen daha düşük faz açısı sunduğu belirtilmiştir [61, 62]

Tekerlek izinin karışım deneylerinde değerlendirildiği çalışmalarda FT-parafin modifiyeli ılık karışımların ilerleyen tekerlek geçiş sayılarında sıcak karışımlardan daha az şekil değiştirmeye uğradığı ayrıca dinamik modül deneylerinde de FT-parafin modifiyeli karışımlarının geri dönen elastik deformasyonunun daha fazla olması dolayısıyla sıcak karışımlardan daha fazla dinamik modül sunduğu, böylece kalıcı deformasyonlara karşı daha dirençli olduğu belirtilmiştir [63-65].

Öğütülmüş araç lastiği karışımların mühendislik özelliklerini iyileştirirken artan viskoziteye neden olması üretim etkinliğini ve kullanım oranını azaltmaktadır. Bu tür karışımlar içinde FT-parafin kullanımı bu dezavantajın önüne geçebilmektedir [66]. Difenderfer ve Hearon (2009), 150°C yerine 110°C’de FT-parafin modifikasyonu ile hazırlanan karışımın laboratuvar numunelerinde sıcak karışıma göre %22, karot numunelerine göre %10 daha yüksek yorulma performansı verdiğini belirtmişlerdir [67].

Jamshidi ve diğ. (2013), FT-parafin modifikasyonunun orijinal karışımların hacimsel özelliklerini ve optimum bitüm oranını etkilemediğini, düşük uygulama sıcaklığı dolayısıyla düşük yaşlanma özellikleri sunarak yüksek yorulma direnci sağladığı ve FT-parafin modifikasyonu ile daha yüksek oranda geri dönüşüm malzemesinin kullanılabilceğini belirtmişlerdir [68].

Bu çalışmada düşük ve yüksek sıcaklık davranışı geleneksel karışımlara göre çok iyi olan taş-mastik-asfalt karışımlar ve bu karışımlarda kullanılan ve modifiye edilmeleri gereken bağlayıcılar ele alınacaktır. Bağlayıcı modifikasyonunda günümüzde yaygın bir şekilde kullanılan polimer modifikasyonuna performans ve ekonomi anlamında alternatif olabilecek öğütülmüş araç lastiği modifikasyonu değerlendirilecektir. Öğütülmüş araç lastiği modifikasyonu ile artan viskoziteyi önlemek, bu sayede karışımın daha düşük sıcaklıklarda üretilmesini ve serilip sıkıştırılmasını sağlamak ayrıca öğütülmüş araç lastiği ile birlikte kullanılması durumunda oluşabilecek muhtemel faydaları belirlemek amacıyla bir ılık karışım katkısı olan FT-parafin modifikasyonunun geniş ölçekli etkileri araştırılacaktır.

5.1. Özgün Değer

Ulaştırma sistemleri başta ekonomik olmak üzere sosyal siyasal ve kültürel gelişmeyi sağlaması yönünden en önemli altyapı yatırımı olarak görülmektedir. Ülkemizde son yıllarda yapılan ulaştırma yatırımları sayesinde hem toplam yol ağı uzunluğumuz hem de beton asfalt kaplamalı yol uzunluğumuz hızla artmaktadır. Son 13 yılda devlet yolları bakımından beton asfalt kaplamalı yol uzunluğu oranı %19,4'ten %46.1'e ulaşırken bu yatırımlar sayesinde sathi kaplama uzunluğu oranı %78,8'den %52,5'e düşmüştür [69].

Bitümlü sıcak karışımların özelliklerini iyileştirmek amacıyla çeşitli katkı maddeleri kullanılmakta ve bunların başında ise polimerler gelmektedir. Bu katkılar karışımın mekanik özelliklerini iyileştirirken genellikle bağlayıcı viskozitesinde artış meydana getirmekte ve geleneksel karışımlara göre daha fazla karıştırma-sıkıştırma sıcaklığı gerektirmektedir. Bağlayıcının plentte daha fazla ısıtılması bağlayıcının erken yaşlanmasına, ısıtma maliyetlerinin ve emisyonların artmasına neden olmaktadır. Ayrıca işlenebilirliği azaltan bu katkılar nedeni ile bu karışımların daha yüksek enerji ile dolayısıyla daha fazla maliyet ile sıkıştırılmaları gerekmektedir. Bu bağlamda bağlayıcı viskozitesini düşürerek geleneksel karışımlara göre daha düşük sıcaklıklarda karıştırılabilir ve sıkıştırılabilir ılık karışım asfaltlar gündeme gelmiştir. Ilık karışım katkıları sayesinde düşürülen viskozite geleneksel karışımlara göre 30-40 °C daha düşük karıştırma-sıkıştırma sıcaklığı dolayısıyla yaklaşık %30 daha az maliyetli karışım üretme imkânı sunmaktadır. Ayrıca bu karışımların, bağlayıcının çok fazla ısıya maruz kalmamasından ötürü yorulma dirençlerinin yüksek olması, inşaat mevsiminin daha uzun olması ve daha uzun mesafelere taşınma imkânının olması ve kolay sıkıştırılabilir olması diğer önemli avantajlarındandır.

Günümüzde, içerisindeki fazla oranda kaba agreganın oluşturduğu iskelet yapı ile kalıcı deformasyonlara karşı direnci ve ayrıca yine içerdiği fazla bitüm miktarı ile durabilitesi yüksek TMA kaplamalar yollarımızın daha uzun süre ve daha ağır yüklere bozulmadan hizmet verebilmesi için yaygın şekilde uygulanmaya başlamıştır. Ancak zaten sert bağlayıcı ile imal edilmeleri gereken bu karışım tipinde ayrıca polimer kullanılması gerekliliği işlenebilirliği azaltmakta ve maliyetleri artırmaktadır. Dolayısıyla bu tip karışımları ılık karışım olarak üretmek ve polimer katkıları yerine daha ekonomik olacak bir katkı kullanmak yukarıda söz edilen olumsuzlukların üstesinden gelebilecektir.

Mekanik özellikleri iyileştirmek amacıyla, çevre açısından oldukça dayanıklı yüksek molekül yapıları polimerlerden ibaret doğal ve sentetik kauçuklardan üretilen araç lastikleri,

bir çözüm olarak görülmüştür. Ayrıca faydalı ömürlerini tamamlamış araç lastiklerinin yollarımızda katkı malzemesi olarak kullanılması, çevrede zor ayrışır olmaları, yanıcı bir madde olmaları, yakılarak enerji amaçlı kullanılması durumunda çevre kirliliğine ve tesislerin bacalarının ömürlerinin azalmasına neden olmaları, depolanabilmeleri için geniş alanlara ve özel güvenlik tedbirlerine ihtiyaç olması gibi “atık lastikler” sorununun çözümüne de büyük katkı sağlamaktadır. Ortalama bir atık lastiğin petrokimyasal eşdeğeri yaklaşık 9.5 litre yağ olduğundan ortaya çıkacak bir depo yangınına söndürmek çok güç olmakta çok yüksek ısı ve zehirli gazlar açığa çıkmakta, havanın, toprağın yer altı ve yerüstü su kaynaklarının kirlenmesine neden olmaktadır. Ülkemizde de her yıl onlarca atık lastik yangınları çıkmaktadır. 26357 sayılı resmi gazetede yayımlanan, ömrünü tamamlamış lastiklerin kontrol yönetmeliğinde il çevre ve orman müdürlüklerine, belediyelere, lastik üreticilerine, kaplamacılara, geri kazanım tesisi işletmecilerine, taşıyıcılara ve geçici depo işletmecilerine büyük yükümlülükler bulunmaktadır. Atık lastiklerin doğrudan bitümlü karışımlarda kullanılmamaları durumunda uygulanması ve işlenmesi gereken hususlar tehlikelere engel olmayı garanti etmemekle birlikte beraberinde önemli maliyetlerde getirmektedir. Ülkemizde her yıl yaklaşık olarak 180-200.000 ton ömrünü tamamlamış lastik açığa çıkmaktadır [70]. 2012 yılında toplam 38.3 milyon ton bitümlü sıcak karışım üretimi yapılmıştır [71]. BSK da ortalama %5 bitüm ve bitüm ağırlığınca %10 atık lastik kullanılması göz önüne alındığında her yıl açığa çıkan ortalama 190.000 ton atık lastiğin tamamının BSK üretiminde kullanılarak bertaraf edilebileceği görülmektedir. Alternatif katkı malzemesi olarak içinde öğütülmüş araç lastiklerinin de bulunduğu çeşitli atık malzemeler araştırmacılar tarafından incelenmiş ve incelenmektedir. Öğütülmüş araç lastiğinin TMA kaplamalarda kullanımı ve ılık karışım olarak özelliklerinin incelendiği sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışma, karışım tipi olarak TMA kaplama, katkı olarak polimer yerine atık araç lastiklerinin kullanımı, üretim tekniği olarak ise ılık karışım tekniğinin kullanılması yönüyle özgün bir değer içermektedir. Literatürde bitümlü sıcak karışımların modifikasyonu ile ilgili olarak çok büyük ölçüde karışım içinde tek bir tip katkının etkinliği incelenmiştir. Bu çalışmalarda yine büyük çoğunlukla ya bitüm özellikleri ya da karışım özellikleri ele alınmıştır. Önerilen proje, aynı karışım içinde birbirinden farklı nitelikte ve karışımın farklı özelliklerini etkileyen iki katkının bir arada kullanılması ayrıca hem bitüm hem de karışım özelliklerinin detaylı olarak incelenmesi yönü ile mevcut çalışmalara bir yenilik getirmektedir.

6.DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada atık lastik kauçuğunu ve bir ılık karışım katkısı olan Sasobit'in hem bitüm hem de sıcak karışım modifikasyonundaki etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla ilk önce çalışmada kullanılacak malzemelerin karakteristikleri ve şartnamelere uygunluğu tespit edilmiştir. Çalışma temel olarak iki bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde değişik oranlarda atık lastik kauçuğu ve Sasobit içeren bitümler üzerinde geleneksel deneyler olan penetrasyon, yumuşama noktası deneyleri ve reolojik deneyler olan dinamik kesme reometresi, dönel viskozimetre deneyleri uygulanmış elde edilen sonuçlar saf bitümün ve SBS modifiyeli bitümün aynı özellikleri ile karşılaştırılmıştır. Katkılar hem ayrı olarak hem de aynı karışım içinde birlikte kullanılmıştır. İkinci bölümde ise atık lastik kauçuğu ve Sasobit modifiyeli bağlayıcılar ile hazırlanmış bitümlü sıcak karışım numuneleri ve modifiyesiz bağlayıcı ile hazırlanmış numuneler üzerinde Marshall stabilite ve akma, indirek çekme rijitlik modülü, indirek çekme tekrarlı yorulma ve tekerlek izi deneyleri uygulanmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

6.1. Bitüm Numuneleri Üzerindeki Deneysel Çalışmalar

6.1.1. Malzeme Karakteristiklerinin Belirlenmesi

Çalışmada bağlayıcı olarak TÜPRAŞ rafinerisinden temin edilen B 50/70 sınıfı asfalt çimentosu kullanılmıştır. Bağlayıcıya ait özellikler Tablo 6.1’de verilmiştir.

Tablo 6.1 Bağlayıcının özellikleri

Özellikler	Standart	B 50/70
Penetrasyon (0,1 mm), 100 g, 5 s	ASTM D5	51,2
Yumuşama noktası (°C)	ASTM D36	52,2
Penetrasyon indeksi (PI)		-0,6
Özgül ağırlık		1,013
Viskozite (cP, 135°C)	ASTM D4402	175
Viskozite (cP, 165°C)	ASTM D4402	600
Karıştırma sıcaklığı (°C)		165,8
Sıkıştırma sıcaklığı (°C)		152,8

Bitüm modifikasyonunda kullanılan atık lastik kauçuğu Samsun Akın Kauçuk firmasından temin edilmiştir. Atık lastik kauçuğunun elementel analizi Tablo 6.2’de verilmiştir. Atık lastik kauçuğu mekanik parçalama yöntemi ile elde edilmiştir. Parçalama işlemi öncesinde topuk teli denen kalın tel, çekme yöntemi ile lastikten ayrılmakta daha sonra döner bıçaklı sistemle çalışan 4 makinede küçültmek suretiyle parçalama işlemi gerçekleştirilmektedir. İlk aşamada lastik 4’e bölünüp Snider denilen makine ile el büyüklüğünde parçalara ayrılmaktadır. Daha sonraki aşamalarda sırasıyla 20, 12 ve 6mm’lik eleklerden geçecek şekilde parçalara ayrılmaktadır. Parçalama işlemi gerçekleştirildikten sonra mıknatıs yardımı ile diğer tel parçacıkları, öğütülmüş lastik parçacıkları içinden ayıklanmaktadır. Daha sonra yine değirmenler vasıtasıyla çok küçük boyutlara parçalanmaktadır. Çalışmada No.40’ tan geçen CR kullanılmıştır.

Tablo 6.2 Atık lastik kauçuğu elementel analizi

C (%)	N(%)	H(%)	S(%)	O(%)	Nem(%)	Kül(%)
68,3	-	7,1	1,7	22,9	-	3

Bitüm modifikasyonunda kullanılan bir diğer katkı maddesi olan FT-parafin (Sasobit) Sasolwax firmasından temin edilmiştir. CR ve Sasobit modifikasyonunun hem ayrı hem de birlikte kullanılmaları durumunda sergiledikleri performans, günümüzde yaygın olarak kullanılan SBS modifikasyonunun performansı ile de karşılaştırılmıştır. Çalışmada kullanılan SBS Kraton firmasından temin edilen D 1101'dir.

6.1.2. Modifiye Bağlayıcıların Hazırlanması

Atık lastik kauçuğu ve Sasobit katkılı modifiye bitümler, saf bitüm akışkan hale gelip karıştırma kabına aktarıldıktan sonra katkının belirlenen içerikte yavaş yavaş ilave edilip, 1000 devir/dakika hıza sahip karıştırıcıda 175°C sabit sıcaklıkta 1 saat süre ile karıştırılarak hazırlanmıştır (Şekil 6.1). Hazırlanan modifiye bitümler küçük kaplara boşaltılmış, kaplar alüminyum folyo ile kaplanmış ve deneylerde kullanılmak üzere saklanmıştır.



Şekil 6.1 Modifiye bitüm karıştırma cihazı

Katkı maddeleri saf bağlayıcıya hem ayrı ayrı olarak hem de aynı bağlayıcı içerisine birlikte ilave edilmiştir. Çalışmada saf bağlayıcı da dahil olmak üzere Tablo 6.3’de gösterilen toplam 19 farklı bağlayıcı üretilmiştir. Bu şekilde çok farklı oranlarda öğütülmüş araç lastiği ve Sasobit katkılarının hem ayrı olarak hem de aynı bağlayıcı içerisinde birlikte kullanılmalarının etkileri değerlendirilerek üç farklı CR ve Sasobit içeriği ile oluşabilecek bütün kombinasyonların geniş ölçekte birbiri ile kıyas edilebilmesi sağlanmıştır. Ayrıca CR ve Sasobit modifikasyonlarının performansı günümüzde yaygın şekilde kullanılan SBS modifikasyonu ile karşılaştırılmıştır.

Tablo 6.3 Bağlayıcı kombinasyonları

Katkı tipi	CR	Sasobit	Gösterimi
Katkı oranı (%)	0	0	0--0
	0	2	0--2
	0	3	0--3
	0	4	0--4
	6	0	6--0
	8	0	8--0
	10	0	10--0
	6	2	6--2
	8	2	8--2
	10	2	10--2
	6	3	6--3
	8	3	8--3
	10	3	10--3
	6	4	6--4
	8	4	8--4
	10	4	10--4

NOT:3-0 : %3 SBS modifiyeli bağlayıcı; 4-0 : %4 SBS modifiyeli bağlayıcı; 5-0 : %5 SBS modifiyeli bağlayıcı

6.1.3. Bağlayıcılar Üzerinde Uygulanan Deney ve Sonuçları

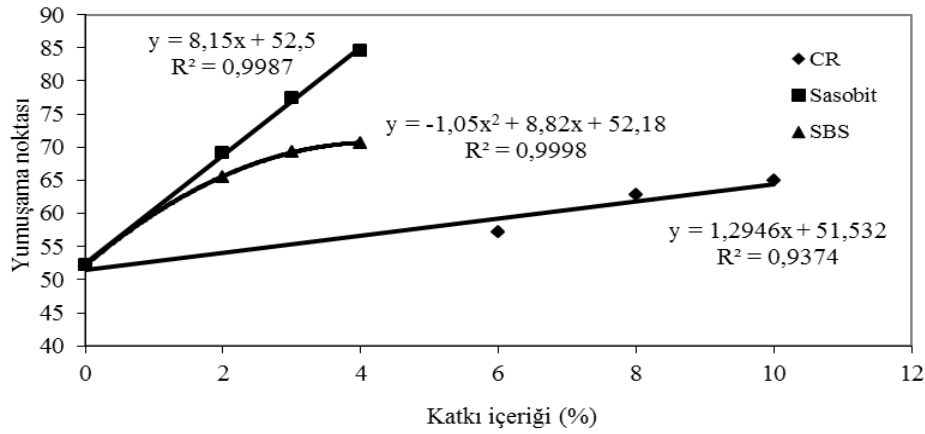
6.1.3.1. Geleneksel Bağlayıcı Deney Sonuçları

Saf ve modifiyeli bağlayıcılar üzerinde penetrasyon ve yumuşama noktası deneyleri yapılmıştır (Şekil 6.2). Bu iki değerden faydalanılarak ayrıca bağlayıcıların ısıya karşı hassasiyetinin bir ölçüsü olan Penetrasyon İndeksi (PI) değerleri de hesaplanmıştır.

Şekil 6.3' te katkı içeriği ile yumuşama noktalarında meydana gelen değişim verilmiştir. Sasobit ve CR içeriğinin artması ile yumuşama noktasında sürekli bir artış meydana gelirken SBS modifikasyonunda %3 oranından sonra artış eğiliminin azaldığı tespit edilmiştir. Yumuşama noktası üzerinde en fazla etkiyi Sasobit göstermektedir. %2, %3 ve %4 Sasobit modifikasyonu saf bağlayıcının yumuşama noktasını sırasıyla %32, %48 ve %62 artırmaktadır. Sasobit ve SBS modifikasyonunda düşük katkı oranları yumuşama noktasını önemli derecede artırırken aynı etkinin elde edilebilmesi için CR oranının çok yüksek olması gerekmektedir. %10 CR saf bağlayıcının yumuşama noktasını %24 oranında artırmaktadır.

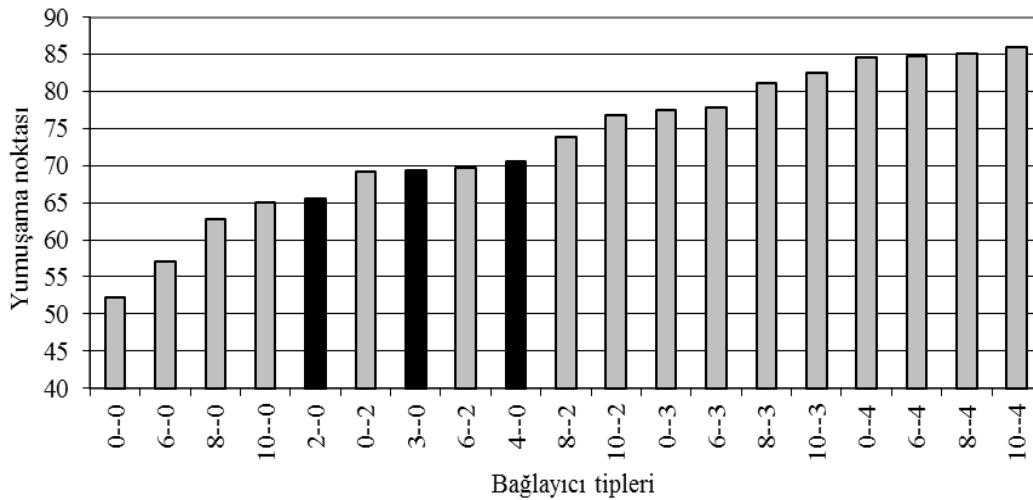


Şekil 6.2 Penetrasyon ve yumuşama noktası deney aletleri



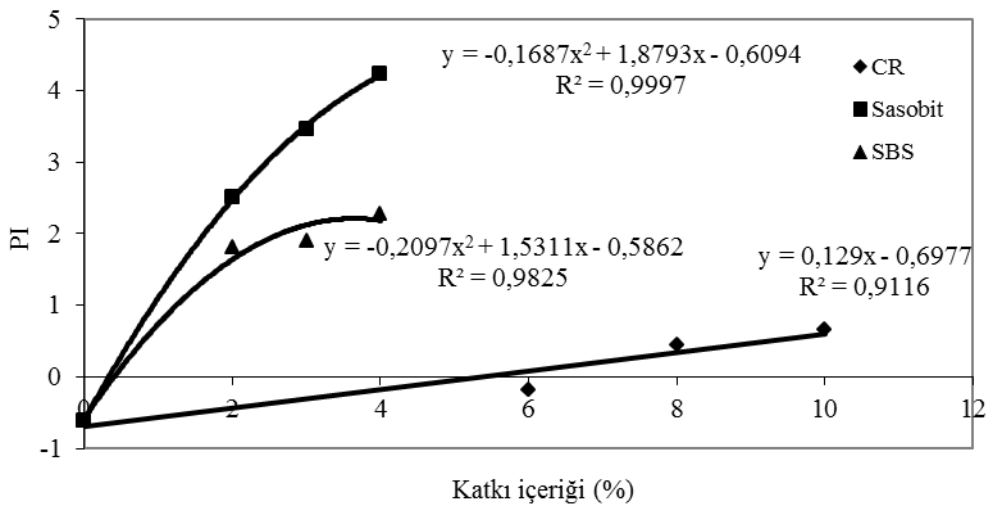
Şekil 6.3 Yumuşama noktası-katkı içeriği ilişkisi

Şekil 6.4' te bütün bağlayıcıların yumuşama noktaları küçükten büyüğe doğru sıralı olarak verilmiştir. %2 SBS modifiyeli bağlayıcının yumuşama noktası değerine %10 CR modifikasyonu ile; %3 SBS modifiyeli bağlayıcının yumuşama noktası değerine %2 Sasobit ile; %4 SBS modifiyeli bağlayıcının yumuşama noktası değerine ise %6 CR + %2 Sasobit modifikasyonu ile ulaşılabilir. CR ve Sasobit katkıların birlikte kullanıldığı bir çok bağlayıcı SBS modifikasyonundan daha yüksek yumuşama noktası değerleri verebilmektedir. Örneğin 8-3 (%8 CR + %3 Sasobit) bağlayıcısı %4 SBS değerinden %15 daha yüksek yumuşama noktası vermektedir. Bu bağlayıcının yumuşama noktası saf bağlayıcıya göre ise %55 daha fazladır.

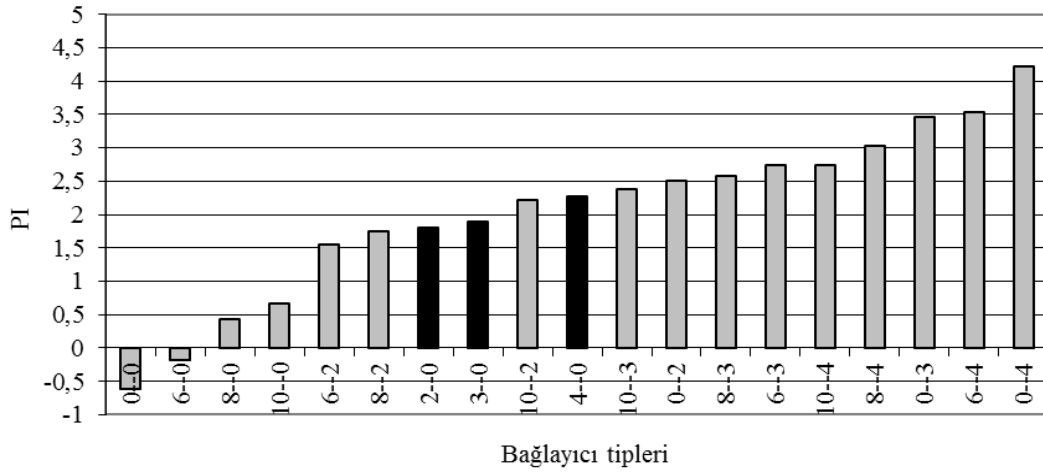


Şekil 6.4 Bağlayıcıların yumuşama noktalarında meydana gelen değişim

Şekil 6.5’de katkı içeriği ile penetrasyon indekslerinde meydana gelen değişim verilmiştir. Katkı içeriğinin artması ile CR modifikasyonunda sürekli bir artış söz konusu iken SBS ve Sasobit modifikasyonunda %3 katkı oranından sonra PI üzerindeki etki azalmaktadır. Sasobit PI üzerinde en fazla artışa neden olmaktadır. %4 sasobit modifikasyonu -0.615 olan saf bağlayıcının PI değerini 4.22 değerine çıkarmaktadır. Buna karşılık %10 CR modifiyeli bağlayıcı 0.66 değerinde kalmaktadır. CR katkısı PI üzerinde en az etkili katkı olmuştur. Şekil 6.6’da bütün bağlayıcıların PI değerleri küçükten büyüğe doğru sıralı olarak verilmiştir. 8-2 (%8 CR + %2 sasobit), 10-2 (%10 CR + %2 sasobit), 10-3 (%10 CR + %3 sasobit) bağlayıcıları sırasıyla %2, %3 ve %4 SBS ile benzer PI değeri vermektedir. CR tek başına ve %2 Sasobit ile birlikte kullanılması durumunda katkı içeriğinin artması ile PI değerleri artmaktadır ancak CR, %3 ve %4 Sasobit ile birlikte kullanıldığında CR içeriğinin artması ile PI değerleri azalmaktadır. Yüksek orandaki CR’nin yüksek orandaki Sasobit ile PI açısından iyi bir uyum sergilemediği, yüksek bir PI elde edebilmek için Sasobit oranı arttıkça CR oranının düşürülmesi gerektiği tespit edilmiştir. Katkıların birlikte kullanılmaları durumunda en yüksek PI değerini 6-4 (%6 CR+ %4 Sasobit) bağlayıcısı vermektedir. Bu bağlayıcı %4 SBS modifiyeli bağlayıcıya göre %56 daha yüksek PI değeri vermektedir. %10 ve %8 CR’nin %3 ve %4 Sasobit ile birlikte kullanımı +2’den ve %4 SBS’in PI değerinden daha yüksek PI vererek ısıya karşı duyarlılık açısından üstün performans sergilemektedir.



Şekil 6.5 Penetrasyon indeksi – katkı içeriği ilişkisi



Şekil 6.6 Bağlayıcıların penetrasyon indekslerinde meydana gelen değişim

6.1.3.2 Dinamik Kayma Reometresi (DSR) Deney Sonuçları

Superpave sistemine göre, arazi şartlarına uygun sıcaklıklarda 1,59 devir/saniye (Hz) hızla numuneler DSR deneyine tabi tutulmaktadır. Bu çalışmada ise 1,59 Hz frekans ve 64 °C ile 82 °C sıcaklık aralığında saf ve modifiye bitümler üzerinde DSR deneyi uygulanarak katkıların bağlayıcının reolojik davranışı üzerindeki etkisi daha geniş bir aralıkta değerlendirilmeye çalışılmıştır. Şekil 6.7’ de DSR deney aleti görülmektedir.

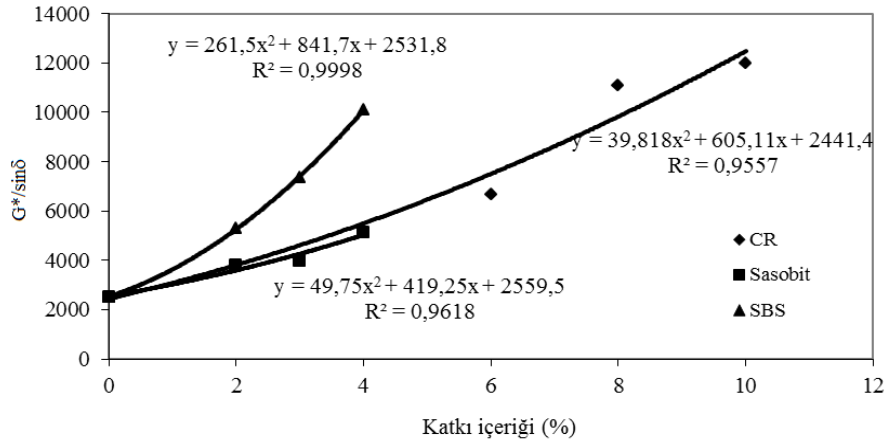


Şekil 6.7 DSR deney aleti

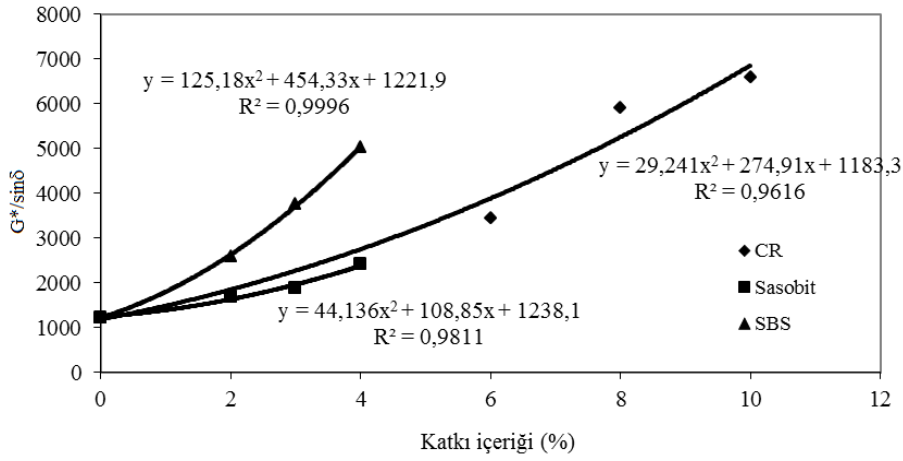
Farklı sıcaklıklarda 10 rad/s frekansta elde edilen sonuçlar Tablo 6.4’de verilmiştir. Her 6 derecelik artışta $G^*/\sin\delta$ değerleri bütün bağlayıcılar için yarı yarıya azaldığı görülmektedir. Şekil 6.8-6.11’de 64-76 °C’deki $G^*/\sin\delta$ değerlerinin katkı içeriği ile değişimi verilmiştir.

Tablo 6.4 Bağlayıcıların farklı sıcaklıktaki $G^*/\sin\delta$ değerleri

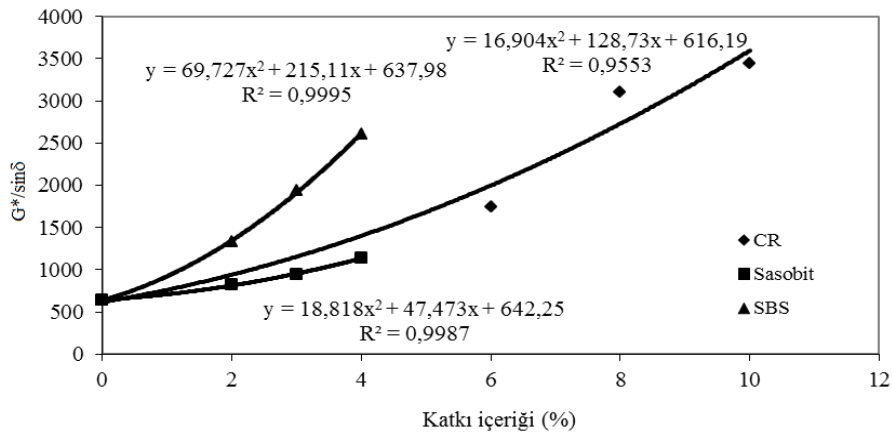
Bağlayıcı tipleri	Sıcaklık °C			
	64	70	76	82
0--0	2525	1227	641	338
6--0	6670	3448	1749	896
8--0	11252	6000	3183	1614
10--0	11973	6594	3445	1943
6--2	9835	4962	2436	1238
6--3	10572	5450	2720	1364
6--4	12885	6635	3033	1486
8--2	13498	7077	3453	1799
8--3	15048	7861	3965	2034
8--4	16881	8163	3961	2054
10--2	15486	8038	4191	2235
10--3	18058	9350	4833	2563
10--4	19031	9791	5089	2679
0--2	3989	1873	944	432
0--3	3804	1699	820	485
0--4	5136	2413	1137	564
2--0	5302	2601	1329	681
3--0	7356	3752	1935	1048
4--0	10103	5027	2605	1399



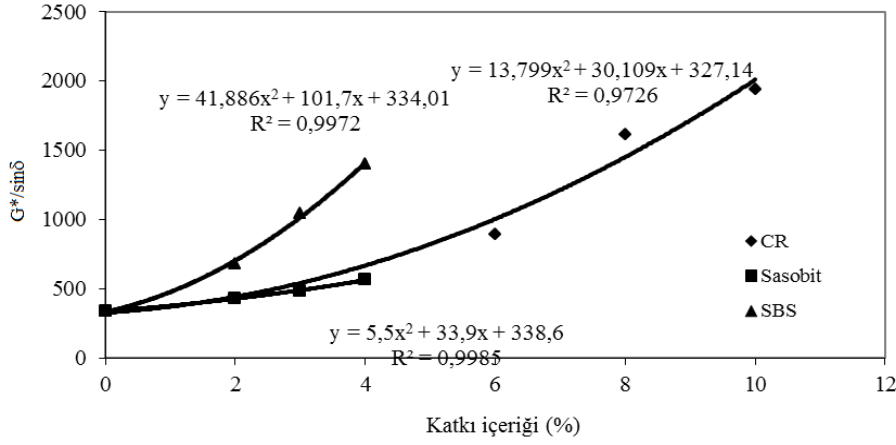
Şekil 6.8 64 °C’de katkı içeriği ile $G^*/\sin\delta$ ’de meydana gelen değişim



Şekil 6.9 70 °C’de katkı içeriği ile $G^*/\sin\delta$ ’de meydana gelen değişim

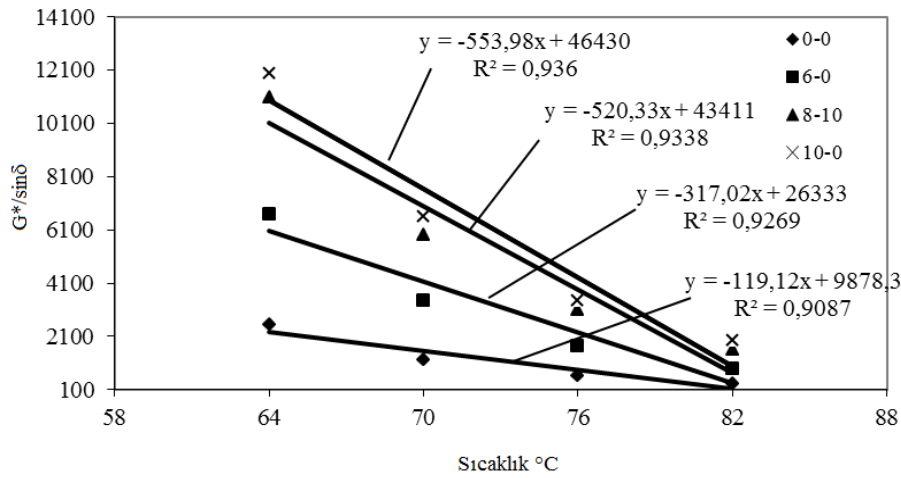


Şekil 6.10 76 °C’de katkı içeriği ile $G^*/\sin\delta$ ’de meydana gelen değişim

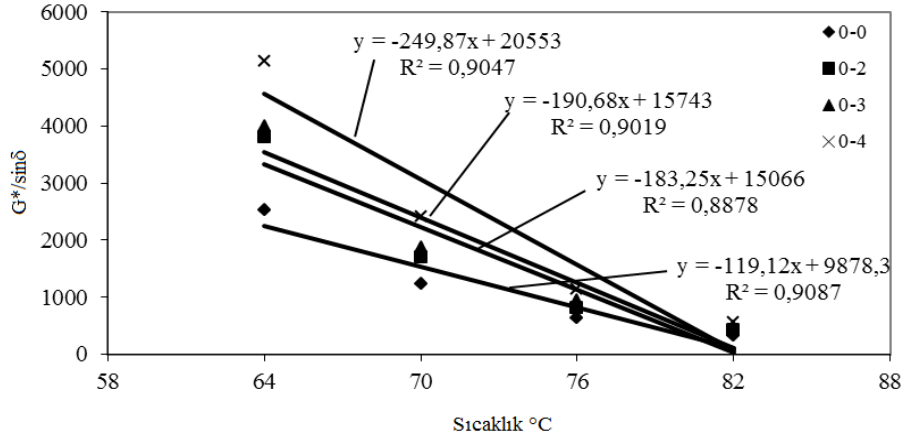


Şekil 6.11 82 °C'de katkı içeriği ile $G^*/\sin\delta$ 'de meydana gelen değişim

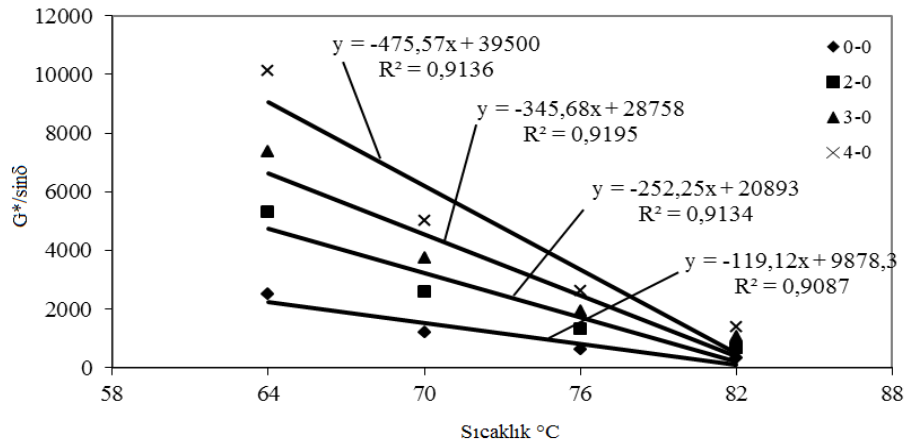
Şekillerden SBS modifikasyonunun CR ve Sasobit'e göre $G^*/\sin\delta$ üzerinde bütün sıcaklıklarda üstün performans gösterdiği görülmektedir. CR ise Sasobit modifikasyonundan daha iyi performans göstermektedir. 76 °C'deki sonuçlara göre 1000 $G^*/\sin\delta$ değerine %1.2 SBS, %2.3 CR ya da %3.6 Sasobit ile ulaşılabilmektedir. SBS ile aynı performansa ulaşabilmek için CR yaklaşık 2 kat; Sasobit ise 3 kat kullanılması gerekmektedir. Bağlayıcıların $G^*/\sin\delta$ değerlerinin sıcaklıkla değişimi Şekil 6.12-6.14'de verilmiştir. Katkıların sıcaklıktan ne oranda etkilendiklerini tespit edebilmek için şekillerdeki verilere doğrusal eğriler uydurulmuş ve eğrilerin eğimleri belirlenmiştir. CR katkı oranı SBS ve Sasobit'ten farklı olduğu için katkıların sıcaklıktan etkilene oranı Şekil 6.15'de verilen katkı oranına karşılık eğimlerden tespit edilmiştir.



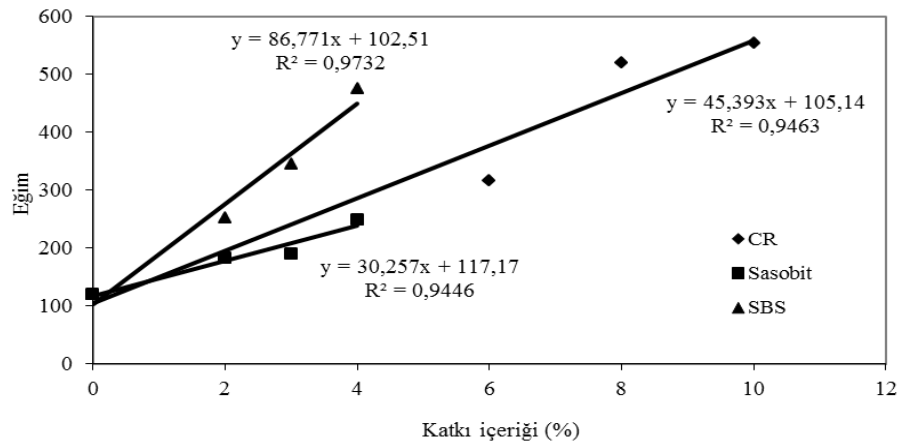
Şekil 6.12 CR modifikasyonunda $G^*/\sin\delta$ değerlerinin sıcaklıkla değişimi



Şekil 6.13 Sasobit modifikasyonunda $G^*/\sin\delta$ değerlerinin sıcaklıkla değişimi



Şekil 6.14 SBS modifikasyonunda $G^*/\sin\delta$ değerlerinin sıcaklıkla değişimi

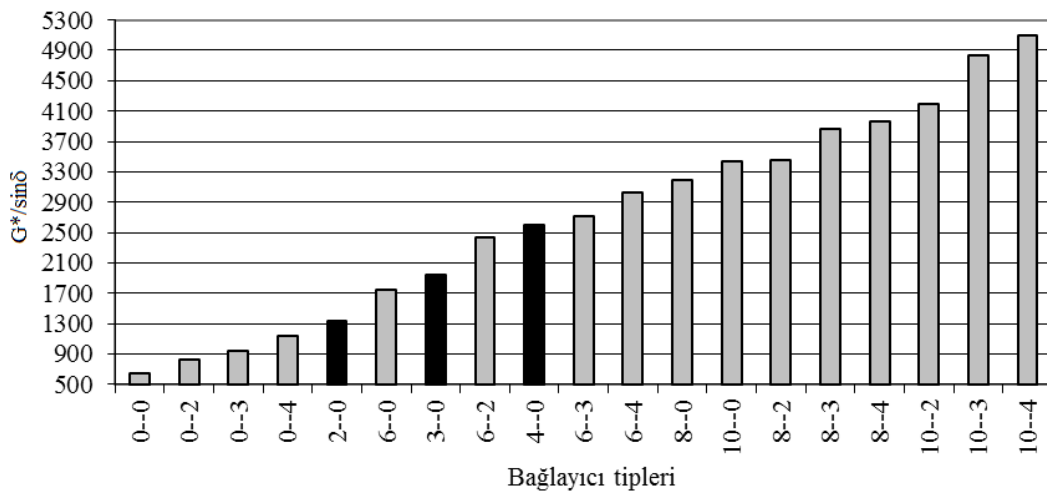


Şekil 6.15 Katkıların sıcaklıktan etkilenme ilişkisi

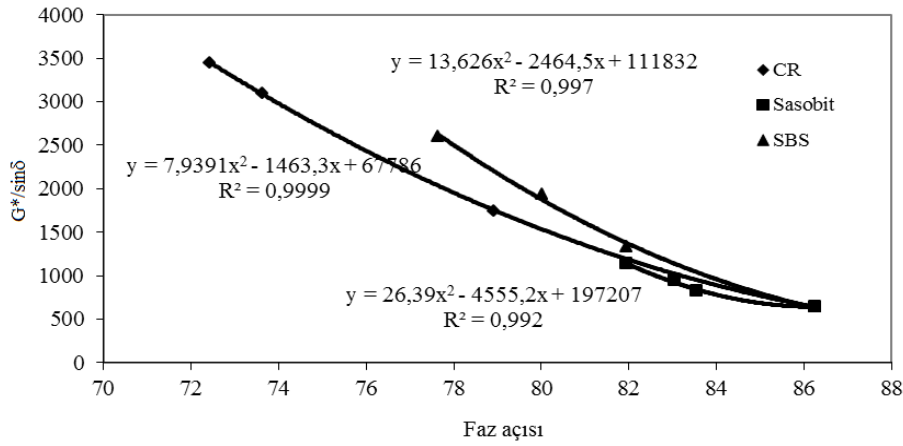
CR katkı oranı SBS ve Sasobit'ten farklı olduğu için katkıların sıcaklıktan etkilenme oranı Şekil 6.14' te verilen katkı oranına karşılık eğimlerden tespit edilmiştir. Burada düşey eksen her bir katkı içeriğinde sıcaklığın 64 °C'den 82 °C'ye çıkması durumunda $G^*/\sin\delta$ değerinin sıcaklıktan etkilenme oranını göstermektedir. Şekil 6.14' ten görüldüğü üzere sıcaklığın en fazla SBS en az ise Sasobit modifikasyonunun $G^*/\sin\delta$ değerleri üzerinde etkisi vardır. Sasobit modifikasyonunda sıcaklık arttıkça $G^*/\sin\delta$ değerleri diğer katkılara göre daha az oranda azalmaktadır.

Şekil 6.16' da bütün bağlayıcıların 76 °C için $G^*/\sin\delta$ değerleri küçükten büyüğe doğru sıralı olarak verilmiştir. En düşük değerleri sadece Sasobit modifiyeli bağlayıcılar verirken en yüksek değerler CR ve Sasobitin birlikte kullanılması durumunda oluşmaktadır. %4 Sasobit CR modifikasyonunun etkisini %25-%75 arasında artırabilmektedir. 10-4 bağlayıcısı saf bağlayıcıdan yaklaşık 8 kat, %4 SBS modifiyeli bağlayıcıdan ise 2 kat daha yüksek $G^*/\sin\delta$ değeri vermektedir. %6 CR' nin %3 ve %4 Sasobit ile birlikte %8 ve %10 CR' nin ise %2, %3 ve %4 Sasobit ile birlikte kullanımında %4 SBS modifikasyonunun $G^*/\sin\delta$ değerlerinden daha yüksek değerler elde edilebilmektedir.

Şekil 6.17' de 76 °C için bağlayıcıların $G^*/\sin\delta$ değerlerine karşılık faz açılarında meydana gelen değişim verilmiştir. Aynı $G^*/\sin\delta$ değeri için CR modifikasyonu diğer katkılara göre önemli derecede daha düşük faz açısı değerleri vererek daha esnek davranış sergilemektedir. Aynı $G^*/\sin\delta$ değerine karşılık en yüksek faz açısı değerlerin dolayısıyla en az esnek davranışı SBS modifikasyonu vermiştir. Katkı oranı artarken $G^*/\sin\delta$ değerleri artmakta ve CR ile SBS modifikasyonunun esnekleri arasındaki fark da artmaktadır.



Şekil 6.16 Bağlayıcıların $G^*/\sin\delta$ değerlerindeki değişim



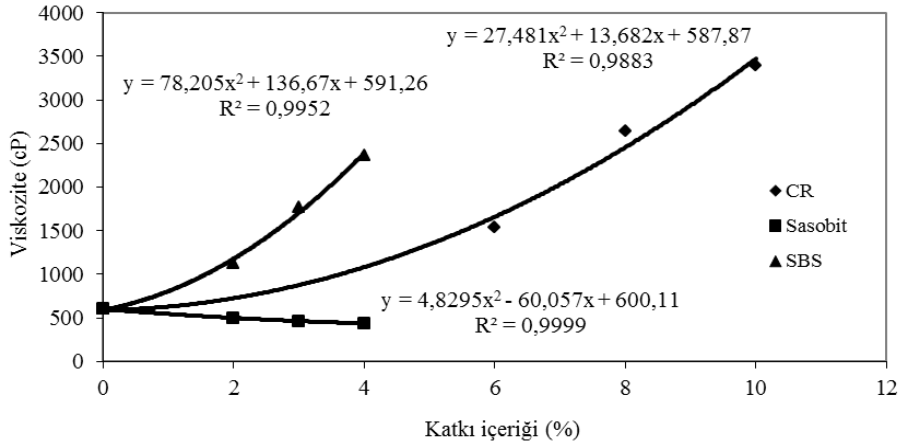
Şekil 6.17 Bağlayıcıların faz açısı- $G'/\sin\delta$ ilişkisi

6.1.3.3. Dönel Viskozimetre (RV) Deney Sonuçları

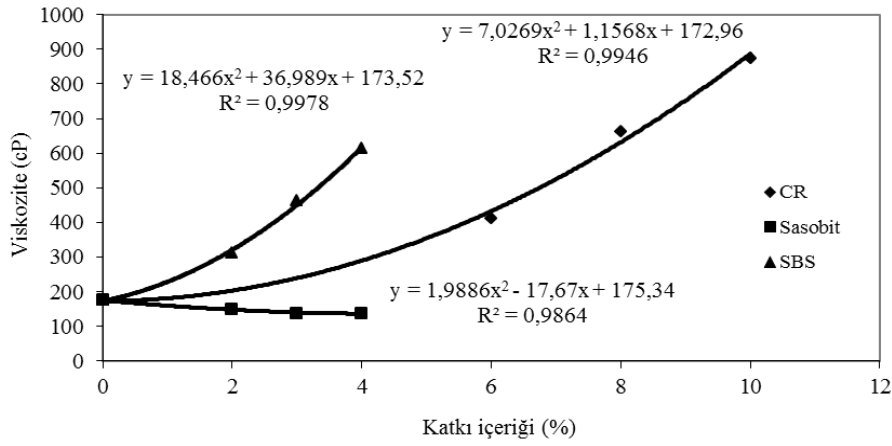
Çalışmada viskozitelerin belirlenmesinde Brookfield DV-III deney aleti kullanılmıştır (Şekil 6.18) Katkıların ayrı kullanılmaları durumunda viskozite üzerindeki etkileri Şekil 6.19 ve 6.20’de verilmiştir. SBS ve CR modifikasyonunda katkı içeriği ile birlikte viskozite artarken Sasobit modifikasyonunda azalmaktadır. Viskozite artışı SBS modifikasyonunda daha fazla olmaktadır. 135 °C’de %10 CR’nin tek başına kullanılması durumunda 3400 olan viskozite değeri işlenebilme açısından limit değer olan 3000 cP değerini aşmaktadır.



Şekil 6.18 Dönel viskozite deney aleti

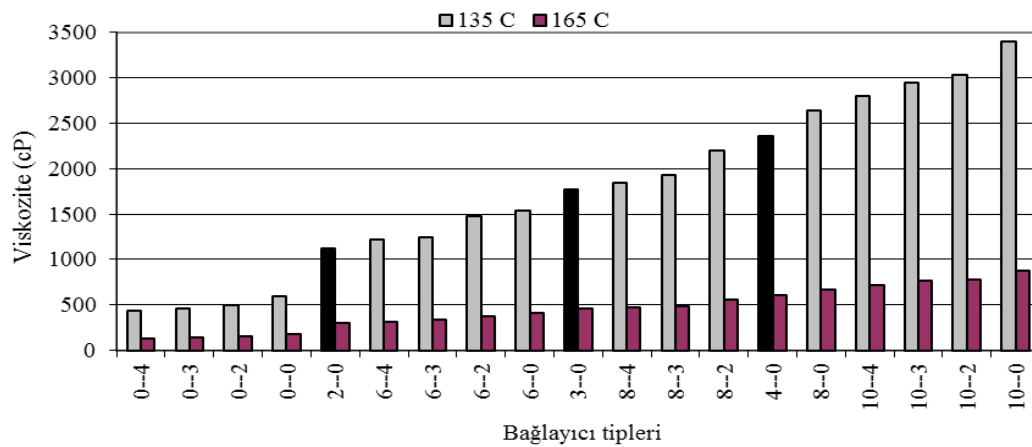


Şekil 6.19 135 °C de viskozitelerin katkı içeriği ile değişimi

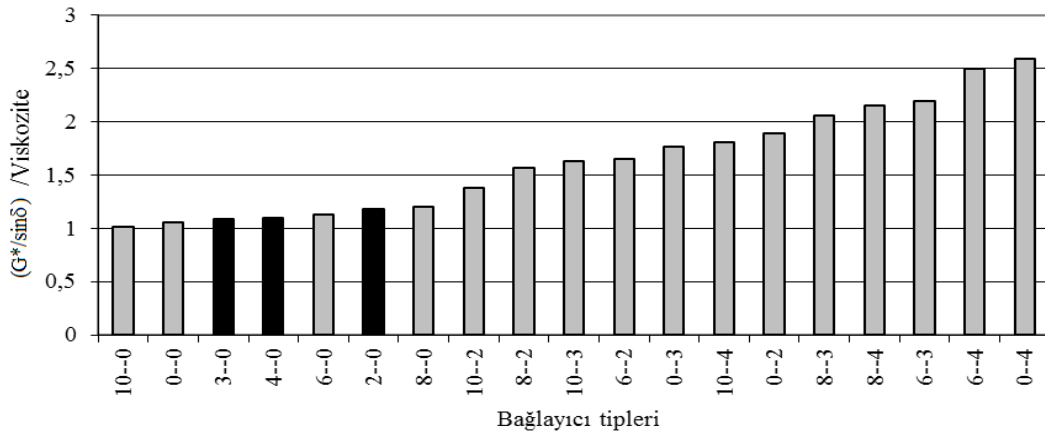


Şekil 6.20 165 °C'de viskozitelerin katkı içeriği ile değişimi

Şekil 6.21'de bütün bağlayıcı tiplerinin 135 ve 165 °C'deki viskozite değerleri küçükten büyüğe doğru sıralı olarak verilmiştir. En yüksek değeri %10 CR modifikasyonu vermektedir. %10 CR ile %3 Sasobit kullanılması durumunda viskozite değeri 3000 cP'nin altına inebilmektedir. %10 CR' nin %4 Sasobit ile birlikte kullanılması durumunda bile %4 SBS'den daha düşük viskozite verememektedir. Buna karşın %8 CR'nin Sasobit ile birlikte kullanımı %4 SBS'den daha düşük viskozite vermektedir. Viskozitelerin düşük olması işlenebilirlik açısından arzu edilen bir durumdur. Ancak düşük viskozite kalıcı deformasyonlara karşı direnç gösteremeyecek kaplamalara neden olmaktadır. Bu bağlamda tekerlek izi parametresi yüksek ancak viskozitesi düşük bağlayıcılar, işlenebilme sorunu olmayan kalıcı deformasyonlara karşı dirençli bağlayıcılar anlamına gelmektedir. Şekil 6.22'de $G^*/\sin\delta$ değerlerinin 135 °C'deki viskozite değerlerine oranı (η) verilmiştir.



Şekil 6.21 135 ve 165 °C'de bağlayıcıların viskozitelerindeki değişim



Şekil 6.22 (G*/sinδ)/Viskozite değerinin bağlayıcı tiplerine göre değişimi

Şekil 6.22’den görüldüğü üzere saf bağlayıcı, sadece SBS ve sadece CR modifiyeli bağlayıcılar benzer performans sergilerken CR+Sasobit modifiyeli bağlayıcılar üstün performans sergilemektedir. Katkıların birlikte kullanılmaları durumunda en yüksek değeri 6-4 bağlayıcısı vermektedir. Burada sadece Sasobit modifiyeli bağlayıcıların da yüksek değerler aldığı görülmektedir. 0-4 bağlayıcısı en düşük viskoziteye sahip olduğundan en yüksek η değerini vermiştir ancak bu bağlayıcının G*/sinδ değeri de %4 SBS’ten çok düşüktür. Bu sebeple belirli bir G*/sinδ eşik değerinin üzerindeki bağlayıcıları viskoziteleri ile birlikte değerlendirmek daha mantıklı sonuçlar verecektir. Burada eşik değeri olarak %4 SBS bağlayıcısının G*/sinδ değeri seçilmiştir. Buna göre 6-3; 6-4; 8-0; 10-0; 8-2; 8-3; 8-4; 10-2; 10-3 ve 10-4 bağlayıcıları %4 SBS den daha yüksek G*/sinδ değeri vermektedir. Bu bağlayıcılar içerisinde viskozitesi %4 SBS’den daha düşük olanlar ise sadece 6-3;6-4;8-2;8-3 ve 8-4 bağlayıcılarıdır. Bu bağlayıcıların η değerlerine bakıldığı zaman sırasıyla %4 SBS’e göre yaklaşık 2 kat daha iyi sonuç verdiği görülmektedir.

6.2. Bitümlü Sıcak Karışım Numuneleri Üzerindeki Deneysel Çalışmalar

6.2.1. Malzeme Karakteristiklerinin Belirlenmesi

Bitümlü sıcak karışım numunelerinin üretiminde daha önce özellikleri tespit edilen saf bağlayıcı (B 50/70), atık lastik kauçuğu, Sasobit ve SBS modifiyeli B 50/70 bağlayıcıları kullanılmıştır. Agrega olarak Elazığ Karayazı bölgesinden temin edilen kırmataş kalker

kullanılmıştır. Agregaya ait fiziksel özellikler ve karışımlarda kullanılan agregada gradasyonu sırasıyla Tablo 6.4 ve Tablo 6.5’de verilmiştir.

Tablo 6.5 Agreganın fiziksel özellikleri

Özellikler		Kaba	İnce	Filler
Aşınma Kaybı, % (Los Angeles)	ASTM D131	25		
Yassı, uzun dane, %	ASTM D4791	2		
Donma kaybı, % (Na ₂ SO ₄)	ASTM C 88	2,5		
Özgül Ağırlık, gr / cm ³	ASTM C127	2,533		
Özgül Ağırlık, gr / cm ³	ASTM C128		2,619	
Özgül Ağırlık, gr / cm ³	ASTM D854			2,732

Tablo 6.6 Agregada gradasyonu

Elek (mm)	19.1	12.7	9.52	4.76	2.00	0.42	0.17	0.075
Geçen %	100	95.0	65.0	37.5	25.0	17.0	13.0	10.0

6.2.2. Bitümlü Sıcak Karışım Numunelerinin Hazırlanması

Çalışmada kullanılan bitümlü sıcak karışım numuneleri Marshall metoduna göre hazırlanmıştır. İlk etapta hiçbir katkı içermeyen kontrol numuneleri için gerekli optimum bağlayıcı oranı tespit edilmiştir. Bu amaçla farklı bitüm muhtevalarında üçer adet Marshall numuneleri, 101,6 mm çapındaki kalıplarda her iki yüzüne 50 darbe uygulanarak hazırlanmıştır. Numunelerin, havadaki kuru ağırlıkları (W_{kuru}), sudaki ağırlıkları (W_{suda}), havadaki doymuş ağırlıkları ($W_{doymuş}$) ve sıkıştırılmamış gevşek karışımın ASTM D 2041 standardına göre teorik özgül ağırlıkları ölçülerek, numunelerin pratik özgül ağırlıkları (G_{mb}), asfaltla dolu boşluk oranları (V_{FA}), hava boşluğu oranları (V_a) ve agregalar arasındaki boşluk oranları (V_{MA}) tespit edilmiştir. Daha sonra numuneler Marshall deney aletinde kırılarak Marshall stabilite ve akma değerleri tespit edilmiştir. Kontrol numunesi için optimum bitüm içeriği %6 olarak tespit edilmiştir. Bu oran, bağlayıcı oranının

değişiminden meydana gelecek etkileri dikkate almamak amacıyla atık lastik kauçuğu ve Sasobit modifiyeli karışım numuneleri için de kullanılmıştır. Karışım numunelerinin hazırlanmasında bağlayıcıların viskozite değerlerinden elde edilen karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarına dikkat edilmiştir. Karıştırma sıcaklıkları için şartname kriteri olan 170 cP ve sıkıştırma sıcaklığı için 280 cP viskozite değerleri tespit edilmiştir. Kontrol ve modifiyeli bağlayıcıların fiziksel özellikleri Tablo 6.7’de verilmiştir.

Tablo 6.7 Karışım numunelerinin fiziksel özellikleri

Karışım tipi	W _a (%)	V _a (%)	V _{MA} (%)	V _{FA} (%)	G _{mb}
0-0	6.0	2.91	14.28	79.61	2.351
0-3	6.0	2.88	14.25	79.78	2.352
6-3	6.0	3.01	14.37	79.04	2.348
8-3	6.0	3.12	14.47	78.42	2.346
10-3	6.0	3.18	14.52	78.11	2.344

6.2.3. İndirek Çekme Rijitlik Modülü (ITSM) Deney Sonuçları

Bitümlü tabakaların yük dağıtma kabiliyetinin bir ölçüsü olan rijitlik modülü, bitümlü sıcak karışımların en önemli performans karakteristiklerinden biridir. Bu deney ASTM D4123 standardı ile tanımlanmış hasarsız bir deney olup rijitlik modülü (S_m, MPa) Formül 1 ile hesaplanmaktadır.

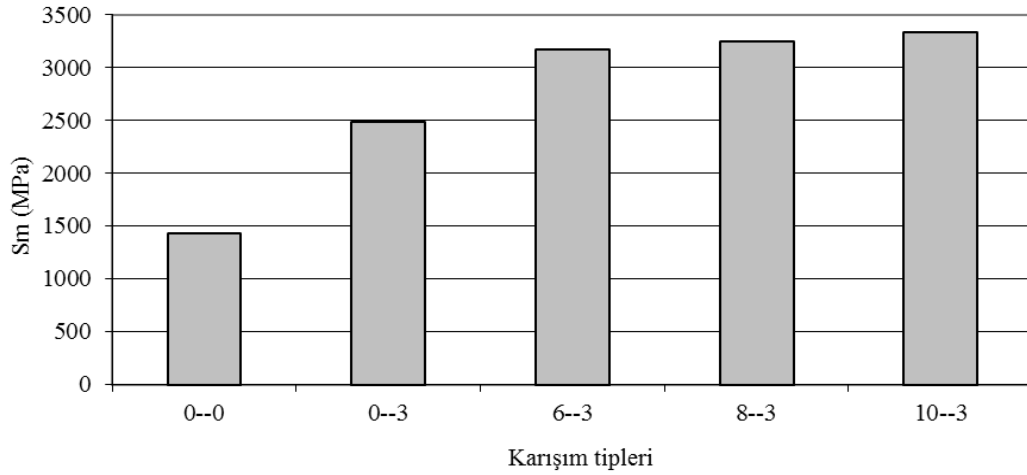
$$S_m = F(R+0,27) / LH \quad (1)$$

Burada F, maksimum dikey yük (N); H, 5 yük tekrarı sonucunda oluşan ortalama yatay deformasyon (μm); L, ortalama numune kalınlığı (mm); R ise poisson oranıdır (0,35). Deney, 25°C sıcaklıkta deformasyon kontrollü olarak yapılmıştır. Maksimum deformasyon 6 μm, yükleme periyodu 3 sn, yük artış süresi (rise time) 0,124 sn. olarak alınmıştır. Yükleme başlığı pnömatik olarak çalışan cihaz, ilk önce numunede 6 μm deformasyon oluşturacak yük değerini ayarlamak için 5 adet deneme yüklemesi yapmaktadır. Deneme yüklemesinden sonra gerekli olan yükü ayarlayan cihaz, gerçek yüklemeleri yapmakta ve her darbeye 6 μm deformasyon oluşması için gerekli yük değerini kaydetmektedir. Sonuçta 5 yüklemenin ortalama değerini ve standart sapmaları vermektedir. Deneylerde standart

sapması %10'dan fazla olan numuneler iptal edilmiştir. Deney UTM-5P test cihazında 25 °C'de yapılmıştır (Şekil 6.22). Şekil 6.23'de ortalama sonuçların grafiksel gösterimi verilmiştir.



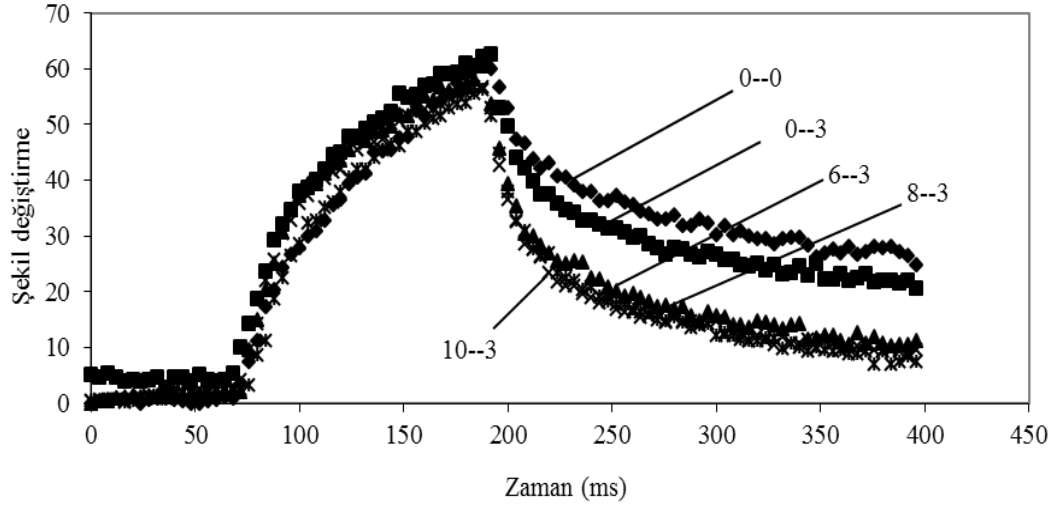
Şekil 6.22 UTM test cihazı



Şekil 6.23 Karışım tiplerinin rijitlik modüllerindeki değişim

Sadece %3 parafin kullanımının ile rijitlik değeri saf karışıma göre %67 artış gösterirken %6, %8 ve %10 CR kullanımı ile beraber bu artış değerleri sırası ile 1,2, 1,27 ve 1,33 kat

olmaktadır. CR oranının %6'dan %10'a çıkması durumunda rijitlikte çok fazla bir değişme olmamaktadır. 25 °C'de yapılan bu deneyde belirlenen rijitlik artışları, karışımların orta ve yüksek sıcaklıkta kalıcı deformasyonlara karşı direnç gösterebileceğine işaret etmektedir. Şekil 6.24'de karışımların ortalama rijitlik değerine en yakın ölçümü veren numunelerin 400 ms içerisinde anlık yükleme sonucu meydana gelen deformasyonları verilmiştir.

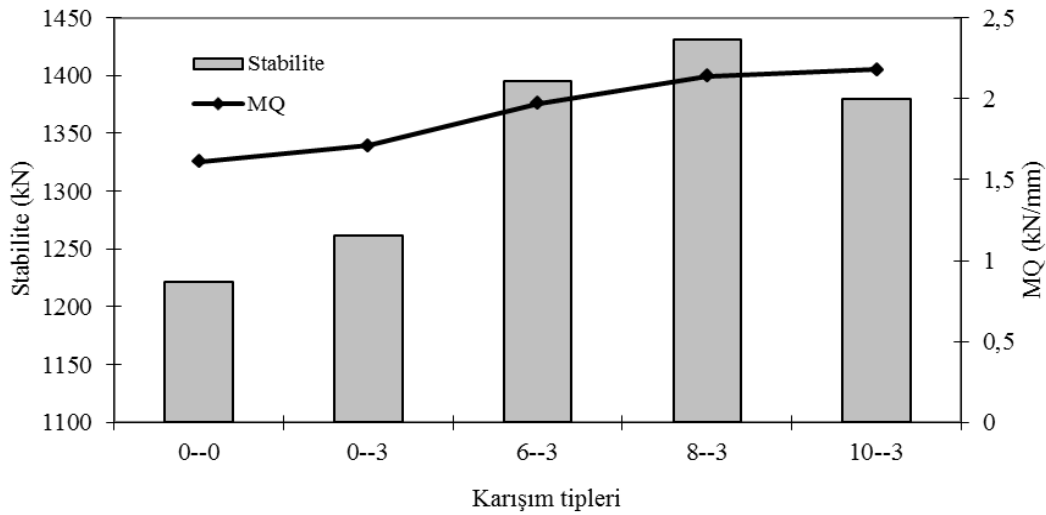


Şekil 6.24 400 ms içerisinde şekil değiştirme-zaman ilişkisi

Deney deformasyon kontrollü yapıldığından ve 6 mikron deformasyon seviyesi seçildiğinden, yükleme sonucunda numunelerde elastik bir deformasyon (6 mikron) meydana gelmekte yük kalktıktan sonra ise bu deformasyonlar geri gelmektedir. 3000 ms seviyesinde bütün deformasyonlar 0 değerine geri gelmektedir. Ancak karışımların esneklikleri hakkında bir fikir sahibi olabilmek için burada 400. ms deki deformasyonlar değerlendirilmiştir. Şekil 6.24'de görüldüğü üzere 10-3 karışımında deformasyonların büyük bir kısmı geri dönmüştür. Saf karışım (0-0) 400.ms'de en yüksek deformasyon seviyesine sahip olarak en az esnek davranışı göstermiştir. Saf karışımdan sonra sırasıyla 0-3, 6-3 ve 8-3 karışımları daha esnek davranış sergilemiştir. CR modifiyeli karışımlar rijitlik modülünde olduğu gibi benzer performans göstermiştir.

6.2.4. Marshall Stabilite ve Akma Deney Sonuçları

Stabilite; deformasyona karşı maksimum dayanım olarak, akma ise maksimum yüke ulaşıldığı anda numunede meydana gelen deformasyon olarak tanımlanmaktadır. Deneyde, TS EN 12697-34 standardına uygun olarak $60 \pm 1^\circ\text{C}$ sıcaklığa sahip su banyosunda 40 dakika bekletilen numuneler Marshall stabilite aletine yerleştirilmekte ve numuneye 50 ± 2 mm/dakika hızla yükleme yapılmaktadır. Deneyde, maksimum yük ve maksimum yük sırasındaki deformasyon değerleri kaydedilmektedir. Deney sonuçları yoldaki performansla direk ilişkilendirilmemekle birlikte karışımların birbirleri ile karşılaştırılması bakımından yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Şekil 6.25’de deneyden elde edilen stabilite ve rijitliğin bir göstergesi olan stabilite/akma (MQ) değerleri verilmiştir.



Şekil 6.25 Karışım tiplerinin Marshall stabilite ve MQ değerleri

Stabilite deneyinde rijitlik deneyinde olduğu gibi katkı içeriğinin artması ile sürekli bir artış gözlenmemiştir. En yüksek stabilite değerini %8 CR ve %3 parafinin (8-3) birlikte kullanıldığı karışım vermiştir. 10-3 karışımı 6-3 karışımından daha düşük stabilite değeri vermiştir. Bunun nedeninin artan CR içeriği ile adezyon özelliklerinin olumsuz etkilenmesi olarak düşünülmektedir. Sadece %3 parafinin kullanıldığı karışım saf karışımdan sadece %4 daha yüksek değer vermiştir. Parafinin tek başına kullanılması durumunda rijitlik üzerinde etkili iken stabilite üzerinde çok etkili olmadığı tespit edilmiştir. 6-3, 8-3 ve 10-3 karışımları saf karışıma göre sırasıyla %14, %17 ve %13 daha yüksek stabilite değerleri

vermiştir. Stabilitenin akmaya oranı olan MQ değerleri incelendiğinde burada rijitlik modülü deneyinde olduğu gibi katkı kullanımı ile sürekli bir artışın olduğu görülmektedir. MQ değerlerinin yük dağıtma kabiliyetinin bir göstergesi olduğu düşünüldüğünde rijitlik sonuçları ile benzer trende sahip olması mantıklı sonuçlar vermektedir. 0-3, 6-3, 8-3 ve 10-3 karışımları saf karışıma göre sırasıyla %6, %18, %33 ve %35 daha yüksek MQ değerleri vermektedir.

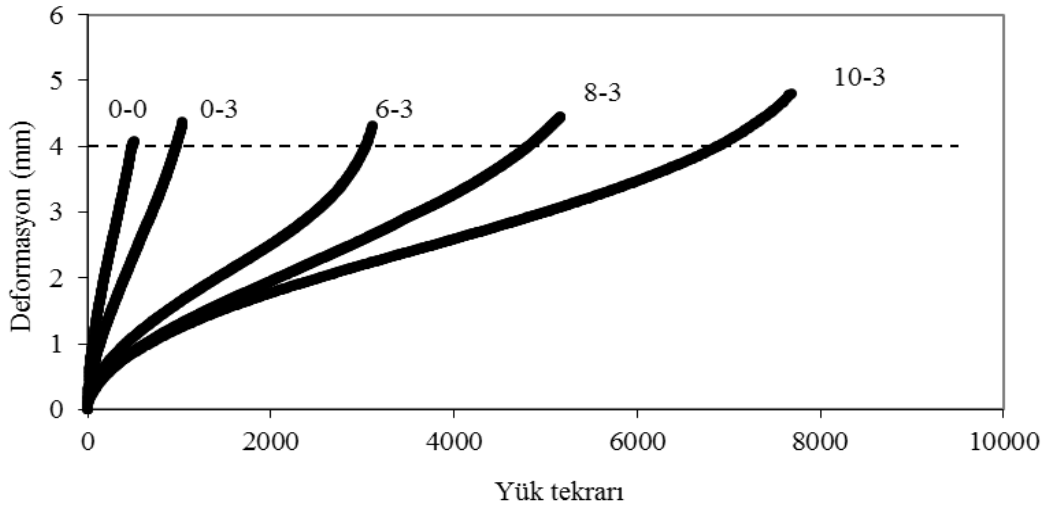
6.2.5. İndirek Çekme Tekrarlı Yorulma Test Sonuçları

Yorulma, trafik yükleri ile ilişkili olarak esnek üstyapılarda en önemli bozulma türlerinden biri olarak görülmektedir. Trafik yüklerinden dolayı oluşan yorulma çatlakları kaplamanın kullanılamaz hale gelmesinde birinci derecede önemli faktördür. Yorulma çatlakları aşırı yük tekrarı ile oluşmaktadır. Ağır yükler ve sıcaklık farklılıkları yorulma çatlakları oluşum hızını artırmaktadır. Bu çalışmada 300 kPa değerindeki sabit gerilme 0,1 saniye yük etki süresi ve 1,4 saniye dinlenme süresi olacak şekilde numunelere çap doğrultusunda uygulanmıştır. Deney UTM-5P test cihazında 25°C sıcaklıkta yapılmıştır (Şekil 6.26). Deney esnasında tekrarlı yükler uygulanırken numunenin üstündeki iki adet deformasyon ölçer (linear variable-differential transducers, LVDTs) ile düşey deformasyonlar ölçülmüştür.

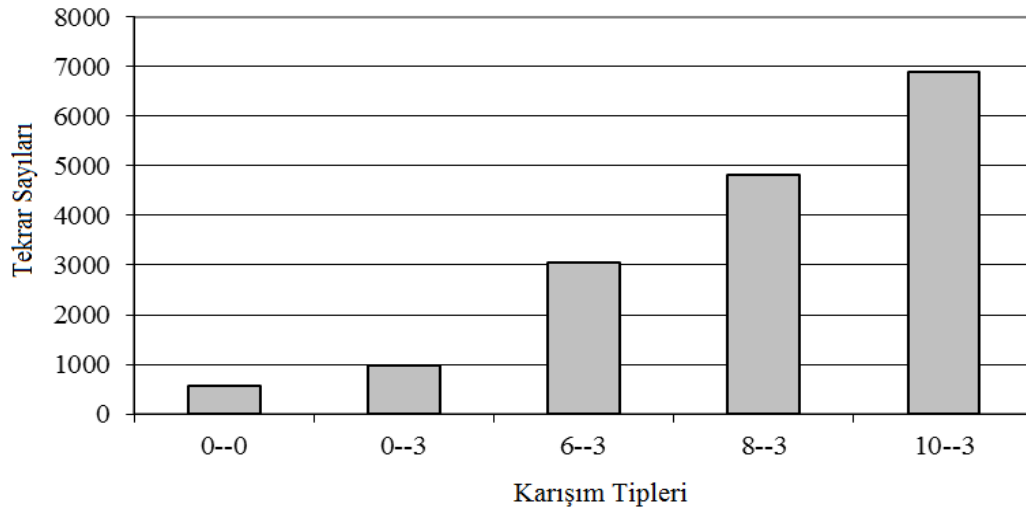


Şekil 6.26 Yorulma deney düzeneği

Yük tekrarı ve deformasyonlar arasındaki ilişki Şekil 6.27’ de verilmiştir. Numuneler yükleme ile birlikte başlangıçta hızlı bir şekilde deformasyon yapmış daha sonra deformasyonlar lineer olarak artmış çatlak başlangıcından sonra ise deformasyon hızı tekrar artış göstermiştir. Çalışmada yük tekrarı numuneler kırılincaya kadar devam etmiş dolayısıyla numuneler farklı deformasyon seviyelerinde kırılmışlardır. Şekilden görüldüğü üzere katkı oranındaki değişiklik yük tekrar sayısında önemli değişikliklere neden olmaktadır. Daha önceki deneylerde modifiyeli karışımlar arasındaki farklılıklar az iken bu deney yönteminde modifiyeli karışımlar arasında önemli farklılıkların olduğu görülmektedir. Şekil 6.28’de numunelerin 4 mm deformasyon seviyesindeki yük tekrar sayıları verilmiştir. 0-3, 6-3, 8-3 ve 10-3 karışımları kontrol karışımına göre sırasıyla 1.72, 5.39, 8.55 ve 12.23 kat daha fazla yük tekrar sayısı vermiştir. Karışımlarda %10 CR kullanımı yük tekrarı bakımından sadece %3 parafin etkisini 2 katdan daha fazla artırmıştır.



Şekil 6.27 Yük tekrarı – deformasyon ilişkisi



Şekil 6.28 Karışım tiplerinin 4 mm deformasyondaki yük tekrar sayıları

6.2.6. Tekerlek İzi Deney Sonuçları

Deney EN 12697-22 standardının B prosedürüne uygun olarak yapılmıştır. Test numuneleri titreşimli merdaneli sıkıştırıcı (Şekil 6.29) ile 30,5x30,5x5 cm boyutlarında hazırlanmıştır. İklimlendirme kabini 60 °C'ye ayarlanmış, deney hedef sıcaklığa ulaşıldıktan 3 saat sonra başlatılmıştır. 26.5 devir/dakika hızda çalışan cihazda 200 mm çapa ve 5 mm genişliğe sahip kauçuk tekerlek numuneye 700 N yük uygulamaktadır. Cihaz (Şekil 6.30) otomatik olarak numune üzerinde belirli aralıklarla tekerlek iz ölçümünü yapmakta ve ortalama değer olarak da vermektedir. B prosedürüne uygun olarak her bir karışım tipi için 2 numune test edilmiştir. Deney 10000 tekerlek geçişine kadar devam etmiştir.

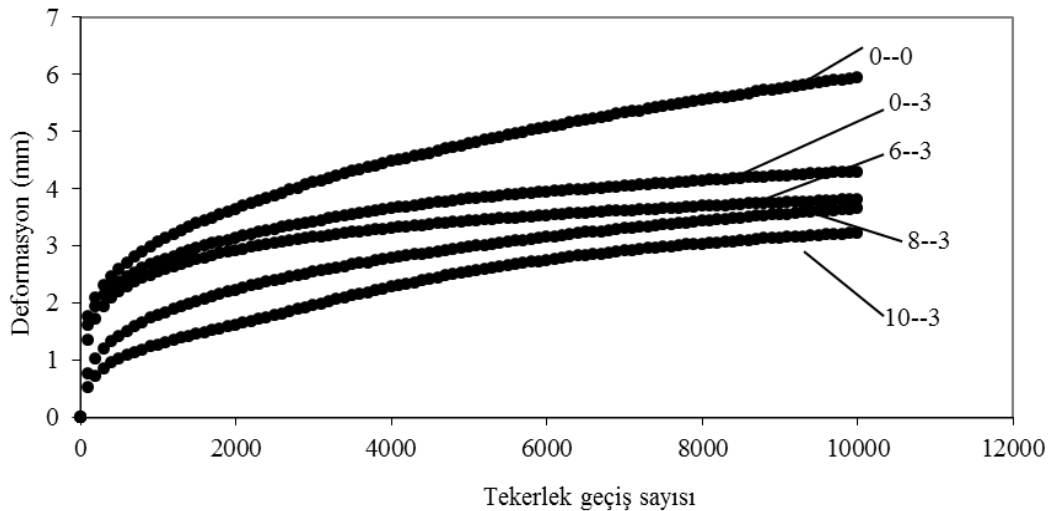


Şekil 6.29 Merdaneli sıkıştırıcı

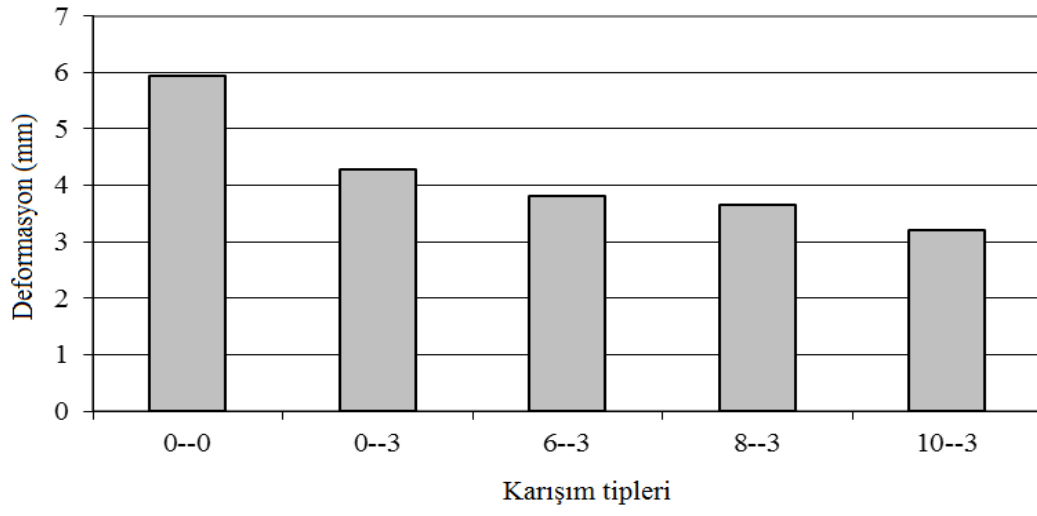


Şekil 6.30 Tekerlek izi deney aleti

Tekerlek geçiş sayısı ile deformasyonlar arasındaki ilişki şekil 6.31’de verilmiştir. Bütün numunelerde başlangıçta hızlı bir deformasyon olduğu daha sonra ise deformasyon artış hızının azalarak arttığı görülmektedir. Kontrol karışımında bu artışların daha fazla olduğu, kontrol karışımı ile modifiyeli karışımlar arasındaki deformasyon farklarının teker geçiş sayısının artması ile arttığı tespit edilmiştir. CR+Parafin modifiyeli karışımlar arasındaki deformasyon farkının ise başlangıçta fazla olduğu teker geçişi ile bu farkın azaldığı, deformasyon değerlerinin birbirine yaklaştığı belirlenmiştir. Karışımların deformasyonlarının son 1000 teker geçişindeki artış oranlarına bakıldığında, kontrol karışımının deformasyonlarının modifiyeli karışımlara göre önemli derecede artış eğilimi içinde olduğu tespit edilmiştir. Kontrol karışımının son 1000 teker geçişindeki deformasyonları %0.019 oranında artarken bu oran 0-3, 6-3, 8-3 ve 10-3 karışımları için sırasıyla %0.0084, %0.0050, %0.0114 ve %0.0073 olmaktadır. Modifiyeli karışımların deformasyon artış oranlarını kontrol karışımına göre önemli derecede azalmaktadır. Bu da CR+Parafin modifiyeli TMA karışımlarda yüksek sıcaklık ve aşırı yük tekrarı nedeni ile oluşacak tekerlek izinin yapısal bozulma oluşturacak seviyeye (20 mm) uzun süre geçmeyeceği kaplamanın bozulmasının başka sebeplere bağlı olacağı öngörülmektedir. şekil 6.32’de numunelerin 10000 teker geçişi sonundaki toplam deformasyon miktarları verilmiştir. 0-3, 6-3, 8-3 ve 10-3 karışımlarında kontrol karışımına göre sırasıyla %28, %36, %39, ve %45 daha az kalıcı deformasyon oluşmuştur.



şekil 6.31 Tekerlek geçiş sayısı – deformasyon ilişkisi



şekil 6.32 10000 teker geçişi sonrası numunelerde meydana gelen deformasyonlar

7. SONUÇ

Bu çalışmanın ilk aşamasında değişik oranlarda CR ve Sasobit ile birlikte modifiye edilen bağlayıcıların, reolojik özellikler bakımından SBS modifikasyonuna göre performansı değerlendirilmiştir. İkinci aşamasında ise CR ve Sasobit modifiyeli bağlayıcılarla hazırlanan taş mastik asfalt kaplamanın mekanik özellikleri incelenmiştir.

Yumuşama noktası deneyinden, Sasobitin yumuşama noktasını artırma üzerinde çok etkili olduğu, %6 CR ve %2 Sasobit oranlarından daha fazla oranların birlikte kullanılmasının %4 SBS modifiyeli bağlayıcıdan daha yüksek yumuşama noktası değerleri verdiği tespit edilmiştir.

Isıya karşı duyarlılık açısından katkıların ayrı kullanılmaları durumunda yumuşama noktasındaki trende benzer bir durum söz konusudur. Ancak CR'nin ayrı kullanılması durumunda katkı içeriği ile PI artarken CR'nin Sasobit ile birlikte kullanılması durumunda sabit Sasobit içeriğine karşılık artan CR içeriği ile PI değerleri azalmaktadır. %6-%8 CR'nin %3 ve %4 Sasobit ile birlikte kullanılması durumunda %4 SBS'ten ve +2.5 değerinden daha yüksek PI değerleri elde edilebilmektedir.

DSR sonuçlarına göre tekerlek izi parametresi üzerinde en fazla SBS; en az ise Sasobit modifikasyonunun etkili olduğu tespit edilmiştir. SBS ile aynı performansa ulaşabilmek için CR yaklaşık 2 kat Sasobit ise 3 kat kullanılması gerekmektedir. Buna karşılık SBS modifikasyonunun tekerlek izi parametresinin, sıcaklık değişiminden en fazla, Sasobitin ise en az etkilendiği belirlenmiştir. %6-%8 CR'nin %3 ve %4 Sasobit ile birlikte kullanılması tekerlek izi parametresini %4 SBS modifikasyonunun sahip olduğu değerlerden daha fazla olacak şekilde önemli derecede artırmaktadır.

CR ve SBS modifikasyonu viskoziteyi artırırken Sasobit modifikasyonu azaltmaktadır. Sasobitin CR ile birlikte kullanılması CR'nin viskozite artış hızını azaltarak işlenebilirlik özelliklerini iyileştirmektedir. %8 CR'nin %2 Sasobit ile birlikte kullanımı %2 SBS'den daha düşük viskozite vermektedir. Çalışmada tekerlek izi parametresinin viskoziteye oranı bir performans kriteri olarak ele alınmıştır. Yüksek tekerlek izi parametresine karşılık düşük viskozite arzu edilen bir durumdur. Bu bağlamda %6, %8 CR'nin %3 ve %4 Sasobit ile birlikte kullanılması %4 SBS modifikasyonuna göre 2 kat daha fazla performans sergilemektedir.

Bağlayıcı deneyleri birlikte değerlendirildiğinde %6 CR ile %3 ve %4 Sasobitin, 8% CR ile %3 Sasobitin birlikte kullanımının %4 SBS modifikasyonundan her zaman daha iyi performans sergilediği tespit edilmiştir.

Karışımları rijitliklerinin katkı kullanımı ile arttığı ancak %6 CR ile %10 arasında çok fazla bir farkın olmadığı, CR modifiyeli karışımların saf karışıma göre orta sıcaklıkta önemli derecede daha fazla esnek davranış sergilediği tespit edilmiştir. Stabilité açısından en yüksek değeri %8 CR ve %3 parafinin birlikte kullanıldığı karışımın verdiği belirlenmiştir. Gerek rijitlik modülü ve gerekse MQ değerleri göz önüne alındığında CR modifikasyonunun karışımların yük dağıtma kabiliyetini önemli derecede artırdığı böylece orta ve yüksek sıcaklıkta ağır taşıtların ve aşırı yük tekrarlarının neden olacağı kalıcı deformasyonlara direnç göstererek kaplama ömrünü uzatacağı tespit edilmiştir.

Tekerlek izi deneyinde %3 parafin ile birlikte CR oranının artması ile tekerlek izleri önemli derecede azalmıştır. Kontrol karışımında sürekli artma eğiliminde olan deformasyonların tekerlek geçişi ile Modifiyeli karışımlarda azaldığı belirlenmiştir.

Uygulanan deneyler arasında yorulma deneyinin katkı kullanımına karşı en hassas deney olduğu belirlenmiştir. Sadece %3 parafin kullanımı yük tekrar sayısını kontrol karışımına göre 1.72 kat artırırken %3 parafin ile birlikte %10 CR kullanımı yük tekrar sayısını kontrol karışımına göre 12.23 kat artırarak süper bir performans sergilemiştir.

CR ile birlikte parafinin kullanılmasının işlenebilirlik açısından olumlu olduğu bu sayede yüksek oranda CR kullanımını mümkün kıldığı, önceki çalışmalarda belirtilen bir sonuç olmakla birlikte bu çalışmada CR ile birlikte kullanılan parafinin performansa da katkı sağladığı, mekanik özellikler bakımından CR ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

8.KAYNAKLAR

1. **Airey, G.D.**, 2002. Rheological Properties of Styrene Butadiene Styrene Polymer Modified Road Bitumens, *Fuel*, **82(14)**, 1709-1719.
2. **Aglan, H., Othman, A., Figueroa, L. and Rollings, R.**, 1993. Effect of Styrene-Butadiene-Styrene Block Copolymer on Fatigue Crack Propagation Behavior of Asphalt Concrete Mixtures, *Transportation Research Record*, **1417**, 178-186.
3. **Khattak, M.J. and Baladi, G.Y.**, 1998. Engineering Properties of Polymer – Modified Asphalt Mixtures, *Transportation Research Record*, **1638**, 12-22.
4. **Çelik, O.N., Atis, C.D.**, 2008. Compactibility of hot bituminous mixtures made with crumb rubber-modified binders, *Constr Build Mater* **2**, 1143–47.
5. **Huang, S.C.**, 2006. Rheological characteristics of crumb rubber-modified asphalts with long term aging, *Road Materials and Pavement Design*, **7(1)**, 37-56.
6. **Kuloğlu, N.**, Esnek Yol Kaplamaları Ders Notları, Elazığ, 2012.
7. **Umar, F., Yayla, N.**, 1994. Yol İnşaatı, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
8. **Kök, V.B.**, 2007. Bitümlü sıcak karışımların üretiminde yeni bir karıştırma yönteminin araştırılması. *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
9. Karayolları Genel Müdürlüğü, Türkiye Karayolları 1950-2001, KGM Matbaası, Ankara, 2001.
10. **Kök, B.V., Yılmaz, M., Kuloğlu, N.**, 2012. Asfaltit İlavesinin Bitüm ve Bitümlü Sıcak Karışımların Mekanik Özelliklerine Etkisi, *Teknik Dergi*, **23(1)**, 5813-5826.
11. **Tunç, A.**, 2001. Yol Malzemeleri ve Uygulamaları, Atlas Yayın Evi, ISBN:975-6574-003 Temmuz, İstanbul.
12. **Ağar, E., Sütaş, İ., Öztaş, G.**, 1998. Beton Yollar, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
13. **Gürer, C.**, 2005. Atık mermer parçalarının yol kaplamasında değerlendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
14. **Orhan, F.**, 2012. Bitümlü karışımlar laboratuvarı çalışmaları, Ar-Ge Dairesi Başkanlığı Üstyapı Geliştirme Şube Müdürlüğü, KGM, Ankara.
15. **Çetinkaya, R.**, 2013. Almanya da asfalt yol yapımında kalite kontrol sistemleri, *6.Ulusal Asfalt Sempozyumu ve Sergisi*, Ankara, 27-28 Kasım.
16. **Han, S., Graf, K. and Kohl, A.**, 2009. Taş mastik asfalt/uzun ömürlü yapılar, *5. Asfalt Sempozyumu*, s. 40-49.
17. **Karayolları Teknik Şartnamesi.**, 2013.
18. **Blazejowski, K.**, 2010. Stone Matrix Asphalt-Theory and Practice, CRC Press, Taylor & Francis Group, U.S.
19. **Yardım, M.S., ve Arslan, F.**, 2013. Türkiye’de taş mastik asfalt kaplama kullanımı ve literatür üzerine bir değerlendirme, *6. Ulusal Asfalt Sempozyumu*, Ankara, 27-28 Kasım, s. 61-72.
20. **Temren, Z.**, 2009. Ilık karışım asfalt uygulamaları ve performansı, *5.Ulusal Asfalt Sempozyumu*, Ankara, s. 50-60.
21. **Chowdhury, A. and Button, J.W.**, 2008. Review of warm mix asphalt in the US, *Texas Transportation Institute Report*, 473700-00080-1, *Project*, 473700-00080, Southwest region University Transportation Center, Texas, USA.

22. **Maccarone, S., Holleran, G. and Ky, A.,** 1994. Cold asphalt systems as an alternative to hot mix, *Proceedings, 9th International AAPA Conference*, Surfers Paradise, Queensland, Australia. (<http://asphalt.csir.co.za/FArefs/>).
23. **Damm K.W.,** 2003. Asphalt flow improvers-a new technology for reducing mixing temperature of asphalt concrete mixes with high resistance against permanent deformation. In: 6th international RILEM Symposium. Zurich, Switzerland, pp. 521–6.
24. **Koenders, B.G., Stoker, D.A., Bowen, C., De Groot, P., Larsen, O., Hardy, D. and Wilms, K.P.,** 2000. Innovative processes in asphalt production and application to obtain lower operating temperatures, *2nd Eurasphalt & Eurobitume Congress*, Barcelona, Spain.
25. <http://www.solwax.com>.
26. **Sampath A.,** 2010. Comprehensive evaluation of four warm asphalt mixture regarding viscosity, tensile strength, moisture sensitivity, dynamic modulus and flow number. Iowa University.
27. **Kristjansdottir, O., Muench, S.T., Michael, L., Burke, G.,** 2007. Assessing potential for warm-mix asphalt technology adoption, *Transport Res Rec: J Transport Res Board*, **2040(1)**, 91–9. <http://dx.doi.org/10.3141/2040-1>.
28. **Hurley, G.C.,** 2006, Evaluation of new technologies for use in warm mix asphalt, Ms.c thesis, University of Auburn.
29. **Ji, J., Xu, S.,** 2010. Study on the impact of Sasobit, on asphalt properties and microstructures, *Pavements and Materials*, *Proceedings*, pp. 182-1984.
30. **Edwards, Y., Isacsson, U.,** 2005. Wax in bitumen-State of the art, Part2-Characterization and effects, *Road Mater Pavement Des*, **6(4)**, 1–30.
31. **Edwards, Y., Isacsson, U.,** 2005. Wax in bitumen-State of the art, Part1-Classifications and general aspects, *Road Mater Pavement Des*, **6(3)**, 281–309.
32. **Wasiuddin, N., Saltibus, N., Mohammad, L.,** 2011. Effects of wax-based warm mix additives on cohesive strength of asphalt binders. In: *T & DI congress: ASCE; USA*. 528–37.
33. **Jamshidi, A., Hamzah, M.O., You, Z.,** 2013. Performance of Warm Mix Asphalt containing Sasobit, *State-of-the-art Construction and Building Materials*, **38**, 530–553.
34. **Corrigan, M.,** 2006. Warm mix asphalt technologies and research, *Federal Highway Administration Office of Pavement Technology*, Accessed December, Washington, D.C., USA. (<http://www.fhwa.dot.gov/pavement/asphalt/wma.cfm>)
35. **Chowdhury, A. and Button, J.W.,** 2008. Review of warm mix asphalt in the US, *Texas Transportation Institute, Report*, 473700-00080-1, *Project*, 473700-00080, Southwest region University Transportation Center, Texas, USA.
36. **Brown D.C.,** 2008. Warm Mix Asphalt: Proving its benefits, *Magazine of Asphalt Institute*, Lexington, KY.
37. Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin geri Dönüşümü. www.Turkorecycling.com/omrunu-tamamlamis-lastiklerin-geri-donusumukarbonkredisi-turko-karbon-siyahi-proje.asp, 21.05.2015.
38. T.C. çevre ve orman bakanlığı çevre yönetimi genel müdürlüğü, Atık Yönetimi Eylem Planı (2008-2012). <http://www.atikyonetimi.cevreorman.gov.tr>, 21.05.2015.
39. **Gönüllü, M. T.,** 2004. Atık Lastiklerin Yönetimi, Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği, İstanbul, Mayıs.
40. **Yeşilata, B., Bulut, H., Turgut, P., Demir, F.,** 2007. “Atık taşıt lastiklerinin Depolanmasına Yönelik Çevresel Sorunların İrdelenmesi”, *MMO tesisat mühendisliği dergisi*, Temmuz.

41. **Özden, B., Türer, A.,** 2005. Ucuz Araba Lastiği Yastığı (ALY) Kullanarak Sismik İzolasyon, Yığma Yapıların Deprem Güvenliğinin Arttırılması Çalıştayı Bildirileri (YDGA), ODTÜ Kültür Kongre Merkezi, Ankara, s. 1-8.
42. **Sugözü, İ., Mutlu, İ.,** 2009. Atık Taşıt Lastikleri ve Değerlendirme Yöntemleri, Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi, **1 (1)**, 35-46.
43. **Hamzah, M.O., Mohamed, A.A. and Ismail, H.,** 2006. Laboratory Investigation of the Properties of a Newly Developed Crumb Rubber Modified (Cr1) Asphalt Mixtures, Emirates Journal for Engineering Research, **11(2)**, 67-72.
44. **Navarro, F. J., Partal, P., Martí'nez-Boza, F. and Gallegos, C.,** 2004. Thermo-Rheological Behaviour and Storage Stability of Ground Tire Rubber-Modified Bitumens, Fuel, **83**, 2041–2049.
45. **Mohammad, L., Cooper, S.Jr., and Elseifi, M.,** 2011. Characterization of HMA Mixtures Containing High Reclaimed Asphalt Pavement Content with Crumb Rubber Additives, Journal of Material in Civil Engineering, **23(11)**, 1560-1568.
46. **Wayne, J. and Magdy, A.,** 2006. “Crumb Rubber in Performance-Graded Asphalt Binder”, Report No; SPR-01 (05) P585, University of Nebraska – Lincoln, North Dakota State University.
47. **Arabani, M., Mirabdolazimi, S. M. and Sasani, A.R.,** 2010. The Effect of Waste Tire Thread Mesh on the Dynamic Behaviour of Asphalt Mixture, Construction and Building Materials, **24(6)**, 1060-1068.
48. **Neto, S.A.D., Farias, M.M., Mello, L.G.R., Pereira, P. and Pais, J.C.,** 2005. The Use of Crumb Rubber in Asphalt Mixtures Using the Dry Process, International Symposium on Pavement Recycling, Sao Paulo, Brasil, 54-01.
49. **Fontes, P.T.L.L., Pereira, A.A.P., Pais, C.J. and Triches, G.,** 2006. Performance Of Wet Process Method Alternatives: Terminal or Continuous Blend, Asphalt Rubber Conference, Palm Springs, California, USA, p. 545-562.
50. **Cao, W.,** 2007. Study on Properties of Recycled Tire Rubber Modified Asphalt Mixtures Using Dry Process, Construction and Building Materials, **21(5)**, 1011–1015.
51. **Neto, S.A.D., Farias, M.M., Pais, J.C. and Pereira, P.,** 2006. Influence of Crumb Rubber Gradation on Asphalt-Rubber Properties, Asphalt Rubber Conference, Palm Springs, California, USA, p. 679-692.
52. **Syroezhko, A.M., Baranov, M.A., Ivanov S.N. and Maidanova, N.V.,** 2011. Influence of Natural Additives and Those Synthesized by the Fischer-Tropsch Method on the Properties of Petroleum Bitumen and Quality of Floated Asphalt, Coke and Chemistry, **54(1)**, 26–31.
53. **Wasiuddin, N.M., Saha, R. and King, W.Jr.,** 2011. Effects of a Wax-Based Warm Mix Additive on Lower Compaction Temperatures, Advances in Geotechnical Engineering Proceedings of the Geo-Frontiers, ASCE, USA, 4614–4623.
54. **Xiao, F., Punith, V.S., Amirkhanian, S.N.,** 2012. Effects of Non-Foaming WMA Additives on Asphalt Binders at High Performance Temperatures, Fuel, **94**, 144–155.
55. **Akisetty, C. K., Lee, S. J., Amirkhanian, S. N.,** 2009. High Temperature Properties of Rubberized Binders Containing Warm Asphalt Additive, Construction and Building Materials, **23(1)**, 565–73.
56. **Hurley, G. C., Prowell, B. D.,** 2005. Evaluation of Sasobit for Use in Warm Mix Asphalt, National Center for Asphalt Technology, NCAT Report 05–06.
57. **Hamzah, M.O., Jamshidi, A., Shahadan, Z.,** 2010. Evaluation of the Potential of Sasobit to Reduce Required Heat Energy and CO₂ Emission in the Asphalt Industry, Journal of Cleaner Production, **18(18)**, 1859-1865.

58. **Zhao, G. J., Guo, P.**, 2012. Workability of Sasobit Warm Mixture Asphalt, *Energy Procedia*, **16**, 1230-1236.
59. **Banerjee, A., Smit, A.F., Prozzi, J.A.**, 2012. The Effect of Long-Term Aging on the Rheology of Warm Mix Asphalt Binder, *Fuel*, **97**, 603–611.
60. **Wang, H., Dang, Z., You, Z., Cao, D.**, 2012. Effect of Warm Mixture Asphalt (WMA) Additives on High Failure Temperature Properties for Crumb Rubber Modified (CRM) Binders, *Construction and Building Materials*, **35**, 281–288.
61. **Biro, S., Gandhi, T. and Amirkhanian, S.N.**, 2009. Midrange Temperature Rheological Properties of Warm Asphalt Binders, *Journal of Materials in Civil Engineering*, **21(7)**, 316–323.
62. **Liu, J., Saboundjian, S., Li, P., Connor, B. and Brunette, B.**, 2011. Laboratory Evaluation of Sasobit-Modified Warm-Mix Asphalt for Alaskan Conditions, *Journal of Materials in Civil Engineering*, **23(11)**, 1498–1505.
63. **Petit, C., Millien, A., Canestrari, F., Pannunzio, V., Virdili, A.**, 2012. Experimental Study on Shear Fatigue Behaviour and Stiffness Performance of Warm Mix Asphalt by Adding Synthetic Wax, *Construction and Building Materials*, **34**, 537-544.
64. **Witczak, M. W.**, 2008. “Specification Criteria for Simple Performance Tests for Rutting Volume I: Dynamic Modulus (E/*) and Volume II: Flow Number and Flow Time”, NCHRP, Report No: 580.
65. **Silva, H., Oliveira, J., Peralta, J., Zoorob, S.**, 2010. Optimization of Warm Mix Asphalts Using Different Blends of Binders and Synthetic Paraffin Wax Contents, *Construction and Building Materials*, **24(9)**, 1621–1631.
66. **Akisetty, C., Xiao, F., Gandhi, T., Amirkhanian, S.N.**, 2011. Estimating Correlations Between Rheological and Engineering Properties of Rubberized Asphalt Concrete Mixtures Containing Warm Mix Asphalt Additive, *Construction and Building Materials*, **25(2)**, 950–956.
67. **Diefenderfer, S. and Hearon, A.**, 2009. Laboratory Evaluation of a Warm Asphalt Technology for Use in Virginia, FHWA/VTRC 09-R11, Virginia Transportation Research Council, Charlottesville, VA.
68. **Jamshidi, A., Hamzah, M. O., You, Z.**, 2013. Performance of Warm Mix Asphalt Containing Sasobit State-of-the-art, *Construction and Building Materials*, **38**, 530–553.
69. <http://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Istatistikler/DevletveIIYolEnvanteri.aspx> 15.05.2016.
70. <http://www.lasder.org.tr/anasayfa.aspx?MenuID=29>, 21.05.2015.
71. <http://www.asnud.org.tr/asfalt.php?sayfa=25>, 21.05.2015.

ÖZGEÇMİŞ

Aydın GÜR, 1991 yılında Elazığ'da doğmuştur. İlk ve orta öğretimini Tuncay Küçüközer İlköğretim Okulunda, liseyi Hulusi Sayın Lisesinde tamamlamıştır. 2008 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümüne girmiş ve 2012 yılında mezun olmuştur. 2013 Yılında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Ulaştırma Bilim Dalında yüksek lisans programını kazanmıştır. 2015 yılında Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Bingöl İl Müdürlüğünde İnşaat Mühendisi olarak göreve başlamış ve devam etmektedir.

