

**T.C.
BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Yüksek Lisans Tezi

**BITÜMLÜ İLİK KARIŞIMLARIN NEME KARŞI
HASSASİYETLERİNİN BELİRLENMESİ**

Mehmet BAYAZİT

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Yüksel TAŞDEMİR**

YOZGAT 2012

**T.C.
BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Yüksek Lisans Tezi

**BITÜMLÜ İLİK KARIŞIMLARIN NEME KARŞI
HASSASİYETLERİNİN BELİRLENMESİ**

Mehmet BAYAZİT

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Yüksel TAŞDEMİR**

YOZGAT 2012

T.C.
BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEZ ONAYI

Enstitümüzün İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı 70110710005 numaralı öğrencisi Mehmet BAYAZIT'in hazırladığı "**Bitümlü Ilık Karışımların Neme Karşı Hassasiyetlerinin Belirlenmesi**" başlıklı YÜKSEK LİSANS tezi ile ilgili TEZ SAVUNMA SINAVI, Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği uyarınca 01/10/2012 Pazartesi günü saat 11:00' de yapılmış, tezin onayına OY BİRLİĞİYLE karar verilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Fikret KOCABAŞ



Üye : Doç. Dr. Yüksel TAŞDEMİR (Danışman)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Mustafa VEKLİ



ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulu'nun 08/11/2012 tarih ve 14. sayılı kararı ile onaylanmıştır.



Enstitü Müdürü
Doç. Dr. Hidayet ÇETİN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
TEŞEKKÜR	viii
TABLolar LİSTESİ	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
KISALTMALAR LİSTESİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. BİTÜMLÜ KARIŞIMLAR	3
2.1. Bitümün Yapısı ve Özellikleri	3
2.1.1. Bitümün Reolojik Özellikleri	4
2.1.1.1. Sıcaklık Hassasiyeti ve Penetrasyon İndeksi (PI)	4
2.1.2. Bitümün Sertliği	5
2.1.3. Bitümün Durabilitesi ve Yaşlanması	6
2.1.3.1. Oksidasyon	7
2.1.3.2 Uçarlılık	8
2.1.3.3. Tikotropi	8
2.1.3.4. Polimerizasyon	8
2.1.3.5. Sineris	8
2.2. Bitüm Üzerine Uygulanan Deneyler	8
2.2.1 Bitüme Uygulanan Geleneksel Deneyler	9
2.2.1.1. Penetrasyon Deneyi	9
2.2.1.2 Yumuşama Noktası Deneyi.....	9
2.2.1.3. Fraas Kırılma Noktası Deneyi.....	9
2.2.2. Bitüme Uygulanan Performansa Dayalı Deneyler	10

2.2.2.1. Döner İnce Film Etüvü Deneyi (RTFO)	10
2.2.2.2. Basınçlı Yaşlandırma Kabı Deneyi (PAV)	11
2.2.2.3. Dinamik Kesme Reometresi Deneyi (DSR)	11
2.2.2.4. Dönel Viskozimetre Deneyi (RV)	13
2.2.2.5. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC).....	14
2.2.2.6. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR)	15
2.3. Agreganın Özellikleri.....	15
2.4. Bitümlü Karışımlarda Aranılan Özellikler	15
2.4.1 Stabilite	15
2.4.2 Sertlik	16
2.4.3 Dayanıklılık.....	17
2.4.4 Fleksibilite.....	17
2.4.5. Kayma Direnci.....	18
2.4.6. Geçirimsizlik	18
2.4.7. İşlenebilirlik.....	19
2.5. Dünyadaki ve Ülkemizdeki Bitümlü Sıcak Karışım Üretimi.....	19
3. VAKSLAR.....	23
3.1. Vaksların Kullanım Alanları	23
3.2. Vaksların Tanımlamaları ve Sınıflandırılmaları.....	24
3.2.1. Doğal Vakslar	25
3.2.1.1. Petrol Vaksları.....	25
3.2.1.2. Montan Vakslar	26
3.2.2. Sentetik Vakslar.....	27
3.2.2.1. Fischer Tropsch Vakslar	27
3.2.2.2. Yağ Asidi Aminleri.....	28
3.3. Bitümdeki Vaks Bileşeni ve Etkileri.....	28
4. BİTÜMLÜ İLİK KARIŞIMLAR	32

4.1. Bitümlü Ilık Karışımların Tarihi.....	33
4.2. Bitümlü Ilık Karışımların Üstün Yönleri	34
4.2.1. Viskozitenin Azalması.....	34
4.2.2. Ekonomik ve Çevresel Faydalar.....	35
4.2.3. Kaplama ve Kullanım Faydaları.....	36
4.3. Bitümlü Ilık Karışımların Olumsuz Yönleri	37
4.4. Bitümlü Ilık Karışım Üretim Teknikleri	37
4.4.1 Köpürtme Tekniği.....	39
4.4.1.1 Mineraller Kullanılan Köpürtme Tekniği	39
4.4.1.2 Enjeksiyon İle Köpürtme Teknikleri	39
4.4.2. Organik Katkıların Eklenmesi.....	40
4.4.3. Kimyasal Katkıların Eklenmesi.....	41
4.4.4. Yapılan Çalışmalarda Organik Katkıların (Vaksların) Bitüm ve Bitümlü Karışımların Özellikleri Üzerine Etkileri	41
5. BİTÜMLÜ KARIŞIMLARA NEMİN ETKİSİ.....	46
5.1. Bitümlü Karışımlarda Ayrışma Hasarları	48
5.1.1. Sökülme	48
5.1.2. Yer Değiştirme	48
5.1.3. Kendiliğinden Emilsüyonlaşma.....	48
5.1.4. Gözenek Basıncı.....	49
5.1.5. Hidrolik Yıkanma	49
5.1.6. pH Kararsızlığı	49
5.2. Bitümlü Karışımların Nem Hasarlarının Tespitindeki Deneyler.....	50
5.2.1. Sıkıştırılmamış Karışımlar Üzerine Yapılan Deneyler.....	50
5.2.1.1. Nicholson Soyulma Deneyi (Statik Daldırma Deneyi).....	50
5.2.1.2. Film Soyulma Deneyi	51
5.2.1.3. Dinamik Daldırma Deneyi.....	51

5.2.1.4. Kimyasal Daldırma Deneyi.....	51
5.2.1.5. Net Adsorbsiyon Deneyi.....	52
5.2.1.6. Yüzey Reaksiyon Deneyi.....	52
5.2.2. Sıkıştırılmış Karışımlar Üzerinde Yapılan Testler	53
5.2.2.1. Daldırma Batırma Deneyi (ASTM 1075-AASHTO T-165).....	53
5.2.2.2. Modifiye Lottman Deneyi (AASHTO T-283)	53
5.2.2.2.1. Deney Numunelerinin Hazırlanması	54
5.2.2.2.2. Şartlandırılacak Deney Numunelerinin Hazırlanması	54
5.2.2.2.3. Deney Numunelerine Dolaylı Çekme Gerilmesi Testinin Uygulanması.....	55
5.2.2.3. Teksas Donma-Çözünme Deneyi	56
5.2.2.4. Hamburg Tekerlek İzi Deneyi.....	56
5.2.2.5. Çevresel Koşullandırma Sistemi (ECS).....	57
5.3. Nem Hasarı Tespiti İçin Tamamlanan Önceki Çalışmalar.....	58
6. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	64
6.1. Bitüm ve Bitüme Uygulanan Deneyler	65
6.1.1. Modifiye Bitümlerin Elde Edilmesi.....	65
6.1.2. Dönel Viskozimetre Deney Sonucu.....	65
6.1.3. Penetrasyon ve Yumuşama Noktası Deneyleri	66
6.2. Agreganın Tipi Ve Özellikleri.....	67
6.3. Marshall Deneyi için Karışımların Hazırlanması	68
6.3.1. Sıkıştırılmış Bitümlü Karışımların Hacim Özgül Ağırlığı Hesapları (AASHTO T 166).....	69
6.3.2. Marshall Numunelerinin Maksimum Teorik Özgül Ağırlık Hesaplamaları	70
6.4. Marshall Stabilitesi ve Akma Deneyi	73
6.5. Nicholson Soyulma Deneyi (Statik Daldırma Deneyi).....	75

6.6. Organik Katkı ile Üretilen Bitümlü Ilık Karışımların Neme Karşı Hassasiyetinin Belirlenmesi (AASHTO T-283 Deneyi)	76
6.6.1. AASHTO T-283 Deneyi İçin Numunelerin Hava Boşluğunun Ayarlanması	77
6.6.2. AASHTO T-283 Deney Numunelerinin Hazırlanması	77
6.6.3. Şartlandırılacak AASHTO T-283 Deney Numunelerinin Doygun Hale Getirilmesi	79
6.6.4 Şartlandırılacak Numunelere Donma-Çözünme Döngüsünün Uygulanması	81
6.6.5. AASHTO T-283 Deney Numuneleri Üzerinde Dolaylı Çekme Testinin Uygulanması	82
7. SONUÇ	85
KAYNAKLAR	87
ÖZGEÇMİŞ	96

BITÜMLÜ İLİK KARIŞIMLARIN NEME KARŞI HASSASİYETLERİNİN BELİRLENMESİ

Mehmet BAYAZIT

**Bozok Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

2012; Sayfa: 96

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Yüksel TAŞDEMİR

ÖZET

Avrupa ve ABD’de sera gazı salınımı ve enerji tüketimini azaltmak, çevreye ve ekonomiye katkı sağlamak amacıyla araştırmalar yapılmakta olup, bitümlü karışım endüstrisi özellikle Bitümlü Ilık Karışım (Warm Mix Asphalt - WMA) teknolojisi üzerinde yoğunlaşmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda, bitümlü ılık karışım katkı maddeleri ile modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcıların viskoziteleri, katkısız bitümlü bağlayıcılara göre daha düşük olmaktadır. Bu nedenle bitümlü karışımın, karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları daha düşük olabilmekte dolayısıyla da enerji tüketimini ve çevreye salınan emisyon miktarını azaltmaktadır.

Bu tez kapsamında yapılan çalışmada, 50/70 penetrasyona sahip bitüme, üç farklı vaks (Fischer Tropsch Vaks, Montan Vaks ve Polietilen Vaks) %6 oranında katılarak Bitümlü Ilık Karışımlar hazırlanmış ve bu karışımların farklı sıkıştırma (50 ve 75 darbe) altındaki Marshall stabilite belirlenmiştir. Ayrıca karışımların neme ve soyulmaya karşı hassasiyetlerini belirlemek için, AASHTO T-283 deneyi ve Nicholson soyulma deneyi yapılmıştır.

Yapılan deneyler sonucunda vaks katılarak hazırlanan karışımların Marshall Stabilite belirleniminin, farklı sıkıştırma sayıları altında önemli ölçüde değişmediği gözlemlenmiştir. Katkısız bitümlü karışımlarda ise sıkıştırma sayısının artmasıyla stabilite artmıştır. Sıkıştırma sayılarının değişmesiyle akmalarda önemli değişikliklerin olmadığı gözlemlenmiştir. Nicholson soyulma deneyi sonucunda ise karışımların soyulmaya karşı dirençli oldukları gözlemlenmiştir. AASHTO T-283 deneyi sonucunda ise katkıların eklenmesiyle karışımların neme karşı hassasiyetleri artmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bitümlü Ilık Karışımlar, Marshall Stabilitesi, Nem Hassasiyeti, Vakslar

DETERMINATION OF THE MOISTURE SUSCEPTIBILITY CHARACTERISTICS OF WARM MIX ASPHALT

Mehmet BAYAZIT

**Bozok University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering
Science Seminar**

2012; Page: 96

Thesis Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Yuksel TASDEMIR

ABSTRACT

Researches are done to decrease greenhouse gases and energy consumption in Europe and USA. The bitumen mixture industry is getting more aware of the warm mix asphalt (WMA) technology. The viscosity of the bitumen which contain WMA additive is lower than normal bitumen at high temperatures. Therefore the mixing and compaction temperatures of the WMA mixtures may be lower, reduced mixing temperature leads to a reduction in emission and energy consumption.

In this study, 50/70 penetration bitumen was modified with three different waxes additive. Warm mix asphalt mixtures were prepared with the modified bitumen and determined Marshall stability with different blows (50 and 75blows). Moreover AASHTO T-283 and Nicholson stripping tests were conducted to determine of moisture susceptibility of the mixtures.

The test results indicated that Marshall stability of wax modified bitumen mixtures no changed significantly with different blows. However, stability of unmodified bitumen increased with higher blows. Nicholson stripping test showed that the mixtures resistance to stripping. The moisture susceptibility of mixtures increased by the additive of wax additives.

Keywords: Marshall Stability, Moisture Susceptibility, Warm Mix Asphalt, Waxes

TEŞEKKÜR

Bu araŐtırmanın planlanması ve yürütülmesinde benden destek ve ilgisini esirgemeyen, bilgi ve önerilerinden yararlandığım değerli hocam sayın Doç. Dr. Yüksel TAŞDEMİR'e en içten dileklerle teşekkür ederim.

Ekim, 2012

Mehmet BAYAZİT

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1	: Bitümün Agregayı Sarma Özelliğini Etkileyen Faktörler.....	6
Tablo 2.2	: Bitüme Uygulanan Performansa Dayalı Deneyler.....	10
Tablo 4.1	: Bitümlü İlık Karışımlardaki Emisyonların Azalması.....	36
Tablo 4.2	: Dünyada Kullanılan Bitümlü İlık Karışım Teknikleri.....	38
Tablo 5.1	: Bitümlü Karışımlara Nemin Etkileri.....	47
Tablo 6.1	: Bitümlerin Dönel Viskozimetre Test Sonuçları.....	66
Tablo 6.2	: Karışımların Karıştırma Sıkıştırma Sıcaklıkları.....	66
Tablo 6.3	: Penetrasyon ve Yumuşama Noktası Deney Sonuçları.....	67
Tablo 6.4	: Deneyde Kullanılacak Agreganın Özellikleri.....	67
Tablo 6.5	: Marshall Deneyi Tasarım Özellikleri.....	68
Tablo 6.6	: 50 Darbe ile Sıkıştırılan Marshall Numunelerinin Fiziksel Özellikleri.....	72
Tablo 6.7	: 75 Darbe ile Sıkıştırılan Marshall Numunelerinin Fiziksel Özellikleri.....	72
Tablo 6.8	: 50 Darbe ile Üretilen Marshall Mumunelerinin Stabiliteleri ve Akma Değerleri.....	73
Tablo 6.9	: 75 Darbe ile Üretilen Marshall Mumunelerinin Stabiliteleri ve Akma Değerleri.....	74
Tablo 6.10	: AASHTO T-283 Deney Numunelerinin Fiziksel Özellikleri....	79
Tablo 6.11	: Vakum İşleminden Sonra Doygun Hale Getirilen Numunelerin Doygunluk Yüzdeleri.....	81
Tablo 6.12	: AASHTO T-283 Deneyi Dolaylı Çekme Testi Sonuçları.....	83

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1	: DSR Deneyinde Numunelere Uygulanan Deformasyon Yönleri.....	11
Şekil 2.2	: Bitümün Visko-Elastik Özelliği.....	12
Şekil 2.3	: Visko-Elastik Malzemelerin Gerilme-Deformasyon İlişkisi.....	12
Şekil 2.4	: Dönel Viskozimetre Deney Şeması.....	13
Şekil 2.5	: DSC Analizi Sonucunda Oluşan Termogram Grafiği.....	14
Şekil 2.6	: Karayolları 2006-2010 Maliyet Grafiği.....	20
Şekil 2.7	: 1998-2010 Yılları Arasındaki Türkiye Ve Almanya'nın BSK Üretim Miktarları.....	21
Şekil 2.8	: 1998-2010 Yılları Arasında Avrupa ve Amerika'daki Üretilen Yıllık BSK Miktarı.....	21
Şekil 3.1	: Vaksların Sınıflandırılması.....	24
Şekil 3.2	: Bitümdeki Vaks Yapısı Ve Bileşenleri.....	30
Şekil 4.1	: Bitümlü Karışımlarındaki Üretim Sıcaklığı, Yakıt Tüketimi ve Emisyonların Üretimindeki Farklılıkların Sınıflandırılması.....	32
Şekil 5.1	: Nemin Kaplamaya Verdiği Hasar.....	46
Şekil 5.2	: Film Soyulma Deney Aleti.....	51
Şekil 5.3	: Hamburg Tekerlek İzi Deney Aleti ve Deney Sonuç Grafiği...	57
Şekil 6.1	: Bitümlü Ilık Karışım Elde Etmek İçin Kullanılan Katkılar.....	65
Şekil 6.2	: Seçilen Agrega Gradasyonu ve Şartname Limiti.....	68
Şekil 6.3	: Maksimum Teorik Özgül Ağırlık Hesabında Kullanılan Bitümlü Karışım.....	70
Şekil 6.4	: Sıkıştırılmamış Numuneler Üzerinde Vakum Uygulanması.....	71
Şekil 6.5	: 50 ve75 Darbe ile Üretilen Marshall Numunelerinin Stabiliteleleri.....	74
Şekil 6.6	: Sıkıştırılmamış Karışımlar Üzerine Yapılan Nicholson Soyulma Deneyi Sonucu.....	76
Şekil 6.7	: Deneysel Çalışmada Hazırlanan Sıkıştırılmış Numuneler.....	78
Şekil 6.8	: Şartlandırılacak Numunelere Vakum Uygulanması.....	80
Şekil 6.9	: AASHTO T 283 Dolaylı Çekme Testi Sonuçları.....	84

KISALTMALAR LİSTESİ

AASHTO	: Amerikan Eyalet Karayolu-Ulaşım Delegeleri Birliği
AC	: Asfalt Çimentosu
APA	: Asfalt Kaplama Analiz Testi
ASTM	: Amerikan Test ve Malzemeler Derneği
BIK	: Bitümlü Ilık Karışımlar
BSK	: Bitümlü Sıcak Karışımlar
BSOK	: Bitümlü Soğuk Karışımlar
BYIK	: Bitümlü Yarı Ilık Karışımlar
DMA	: Dinamik Mekanik Analiz
DSC	: Diferansiyel Taramalı Kalorimetre
DSR	: Dinamik Kesme Reometresi Deneyi
EAPA	: Avrupa Asfalt Kaplama Birliği
ECS	: Çevresel Koşullandırma Deneyi
FT parafin	: Fischer Tropsch parafin
FTIR	: Foruer Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi
LEA	: Düşük Enerjili Bitümlü Karışımlar
mp	: Damlama Noktası
Pa-s	: Pascal saniye
PAV	: Basınçlı Yaşlandırma Kabı Deneyi
PG	: Performans Sınıfı
pH	: Çözeltinin asitlik va bazlık derecesi
PI	: Penetrasyon İndeksi
RAP	: Geri Kazanılan Asfalt Kaplama
RTFO	: Döner İnce Film Etüvü Deneyi
RV	: Dönel Viskozimetre Deneyi
SATS	: Donma-Yaşlanma Çekme Mukavemeti
SMA	: Taş Mastik Asfalt
TSR	: Çekme Gerilmesi Oranı
TSRST	: Tensile Stres Restrained Specimen Test

1. GİRİŞ

Dünyada sanayinin gelişmesi ve nüfusun çoğalmasıyla birlikte insanların talepleri artmaktadır. Artan nüfusun ihtiyaçlarını karşılayabilmek için de ulaşım çok önemli bir yer tutmaktadır. Her türlü yük ve yolcu taşımacılığının yapıldığı karayolu, denizyolu, demiryolu ve havayolu taşımacılıkları arasında karayolu taşımacılığı özellikle ülkemizde büyük oranda tercih edilmektedir.

Ülkemizde, karayolları verilerine göre 1990 yılında yük taşımacılığının % 89'u, yolcu taşımacılığının % 95'i; 2010 yılında ise yük taşımacılığının %89, yolcu taşımacılığının ise % 92' si karayolu ile yapılmıştır [1]. 20 yıllık periyotta olduğu gibi günümüzde de karayolu taşımacılığı tercih edilmekte ve önemini korumaktadır. Ayrıca, nüfusun artmasına ve teknolojinin gelişmesine paralel olarak ulaşımda kullanılan taşıtların sayısı da önemli ölçüde artmıştır. Ülkemizde 1990 yılından 2010 yılına taşıt sayılarındaki artış oranlarına bakıldığında; otomobil %357, kamyon %182 ve otobüs sayısı %227 artmıştır. Araç sayılarındaki toplam artış ise %302 kadar olmuştur. Taşıt sayılarına ek olarak trafikte seyir halindeki toplam taşıt sayısı ise %196 oranında artmıştır [1]. Taşıt sayısındaki artışla birlikte karayolunda kullanılan kaplama malzemelerinin üretimi de artmaktadır.

Karayolu kaplama malzemesi olarak dünyada ve ülkemizde Bitümlü Sıcak Karışımlar (BSK) önemli ölçüde tercih edilmektedir. Kaplama tabakasını oluşturan bitümlü karışımlar, yüke ve dış etkilere maruz kalarak zamanla bozulmakta ve onarıma ihtiyaç duymaktadır. Onarım için kullanılan BSK'nın üretimi, taşıt sayılarının artmasına bağlı olarak giderek artmaktadır. Ancak BSK'nın üretiminde gerekli olan sıcaklığı (160-180°C) elde etmek için harcanan enerji, yüksek maliyet oluşturmakta, hem ısıtma işlemi için gerekli yakıtın yanmasından hem de karışımın ısıtılmasından dolayı açığa çıkan gaz salınımı çevreyi olumsuz olarak etkilemektedir. Bu sorunlar göz önünde tutularak BSK'ya oranla yaklaşık 20-30°C daha düşük sıcaklıklarda üretilen ve BSK ile aynı özelliklere sahip Bitümlü Ilık Karışımlar (BIK) geliştirilmiştir. BIK, karıştırma sıcaklığı azaldığı için hem maliyeti düşürmekte hem de gaz salınımını azaltmaktadır. Ancak henüz yeni sayılabilecek bir karışım tekniği

olduğu için uygulamada kullanımı yaygın değildir. Karışımın uygulamadaki performansının tam olarak değerlendirilmesi için araştırmalar yapılmaktadır.

Bu tez çalışmasında Bitümlü Ilık Karışımaların, mekanik özellikleri, neme karşı hassasiyetleri ve nem altında soyulmaya karşı dirençleri belirlenmiştir. 50/70 katkısız bitüme, %6 oranında üç farklı tipte vaks (montan vaks, FT parafin vaks, polietilen vaks) katılarak modifiye edilmiş bitümler hazırlanmıştır. Hem katkılı hem de katkısız bitümler kullanılarak hazırlanan karışımalar üzerinde Marshall deneyi uygulanarak, karışımaların Marshall stabiliteleri ve akma değerleri belirlenmiştir. Karışımaların neme karşı hassasiyetleri ise AASHTO-T283 deneyi ile belirlenmiştir. Karışımaların soyulmaya karşı dirençlerini tespit etmek için de Nicholson soyulma deneyi yapılmıştır.

2. BİTÜMLÜ KARIŞIMLAR

Bitümlü karışımlar, ülkemizde kaplama malzemesi olarak en çok tercih edilen malzeme olup; iri agrega, ince agrega ve filler ile bitümün sabit karıştırma tesislerinde sıcaklık, nem ve birleşim oranları bakımından kontrol altında karıştırılmasıyla elde edilen, stabilite ve dayanıklılık yönünden yüksek kaliteli karışımlardır [2].

Bitümlü karışımların kullanıldıkları alanlara göre belirgin özelliklere sahip olması istenmektedir. Bu özellikleri sağlayabilmesi için de yapısında bulunan bitümün ve agregaların özellikleri iyi bir şekilde bilinmelidir. Ayrıca karışımı oluşturan bitüm ve agrega belirli şartları sağlamalıdır.

2.1. Bitümün Yapısı ve Özellikleri

Bitümlü karışımlarda bağlayıcı malzeme olarak kullanılan bitüm, doğal durumda birçok mineral ile karışık halde bulunmaktadır. Bitüm, karbon sülfür veya karbon klorürde eriyebilen ve hidrokarbonlardan oluşmuş sıvı, yarı sıvı ve katı halde bulunan organik kökenli maddedir.[3, 4].

Kökenleri farklı ham petrolardan elde edilen bitümlerin hidrokarbon yapısı incelendiğinde, çoğunluğunun aşağıdaki yapıda olduğu görülmüştür.

- Karbon : % 82-88
- Hidrojen : % 8-11
- Sülfür : % 0-6
- Oksijen : % 0-1.5
- Nitrojen : % 0-1

Bu elementlere ek olarak bitümün yapısında, az miktarda vanadyum, nikel, demir, magnezyum, ve kalsiyum da bulunmaktadır [5, 6].

2.1.1. Bitümün Reolojik Özellikleri

Reoloji, malzemelerin yük altında uğradıkları deformasyonları hem yüke hem de yükün etki süresine bağlı olarak inceleyen bilim dalıdır. Bitümün reolojisi ise belirli bir sıcaklıktaki bitümün hem kimyasal bileşenlerinin hem de bünyesindeki hidrokarbon yapılarının saptanmasıdır. Bileşeninde, yapısında ya da her ikisinde aynı anda oluşan değişiklikler, bitümün reolojik değişimini oluşturmaktadır [2, 6].

Bitüm, viskoelastik ve termoplastik bir malzemedir. Gerilme-şekil değiştirme ilişkisi, uygulanan yükün etki süresi ve sıcaklıkla bağlantılı olarak değişmektedir [7]. Bitümün viskoelastik davranışı zamana bağlı olup, hızlı yüklendiği zaman elastik, yavaş yüklendiği zaman da viskoz bir davranış göstermektedir. Yükün normal uygulanmasıyla da bu iki davranışın birleşimine uygun davranış göstermektedir [2].

Bitüm, termoplastik malzeme olarak, yüksek sıcaklıklarda veya uzun süreli yüklemelerde, yüksek viskoziteli sıvı gibi akabilmektedir. Viskozite, akmaya karşı direnç olarak tanımlanır. Viskozite azalırken, benzer şartlar altında sıcaklığın ve yüklemenin etkisiyle malzeme daha kolay akabilir. Düşük sıcaklıklarda veya kısa süreli yüklemelerde bitüm elastik katılar gibi davranış gösterir [8].

2.1.1.1. Sıcaklık Hassasiyeti ve Penetrasyon İndeksi (PI)

Bitüm, termoplastik özelliğinden dolayı sıcaklık değişimlerine karşı oldukça hassastır. Bitüm, sıcaklığa karşı hassas olduğu için, sıcaklıktaki değişimler bitümü olumsuz etkileyebilir. Örneğin, bitümün 135°C deki viskozitesi çok yüksek olursa, hazırlanan karışımın sıkıştırılması esnasında sorunlar oluşabilir. Ayrıca düşük servis sıcaklıklarında bitümün viskozitesi arttığı için sertliği de artmaktadır. Sertliğin artmasına bağlı olarak düşük sıcaklıklarda rötire çatlakları oluşabilmektedir. Bitümün sıcaklık hassasiyetinden dolayı ortaya çıkan bu davranışlar, bitümlü karışımlarda istenmeyen durumlardır. [9].

Bitümün sıcaklığa karşı olan hassasiyetinin belirlenebildiği birçok ifade vardır ve bunlardan en çok bilineni Pfeiffer ve Van Doormaal tarafından geliştirilmiş olanıdır. Bitümün ısıya duyarlılığı penetrasyon indeksi (PI) ile tanımlanmaktadır ve aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır [2, 4] :

$$PI = \frac{20(1 - 25A)}{1 + 50A} \quad (2.1)$$

Burada A: ısıya duyarlılık parametresi olup, T_1 ve T_2 gibi iki farklı sıcaklıktaki penetrasyon değeri kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır [2]

$$A = \frac{\log(\text{Penetrasyon}T1) - \log(\text{Penetrasyon}T2)}{T1 - T2} \quad (2.2)$$

A değeri belirlendikten sonra PI değeri hesaplanabilmektedir. PI değeri, yüksek sıcaklık duyarlılığına sahip bitümler için (-3), düşük sıcaklık duyarlılığına sahip (okside olmuş) bitümler için (+7) civarında olmaktadır [2].

2.1.2. Bitümün Sertliği

Sertlik; belirli bir sıcaklık ve yükleme altında oluşan gerilme ve deformasyon arasındaki ilişkinin göstergesidir [10]. Gerilme ve deformasyon arasındaki bu bağlantı, bitümün veya bitümlü karışımların reolojik davranışıyla da bağlantılı olmaktadır. Bitümlü karışım uygulamalarında bitümün sertliğinin, sadece karışımın davranışını değerlendirmek için değil, aynı zamanda karayolu ya da havaalanı kaplamasının performansını değerlendirmek için de bilinmesi gerekmektedir [9, 11]. İdeal olarak bir karayolunun aşınma kaplamasında bitümün sertliğinin artması, yüksek servis sıcaklıklarında tekerlek izini önlemesi için tercih edilirken; bitümün sertliğinin azalması düşük servis sıcaklıklarında, düşük sıcaklık çatlaklarının oluşmasını önlemek için istenmektedir [9]. Bitümün sertliği; elastik sertlik ve plastik sertlik olarak ikiye ayrılabilir.

Bitümün elastik sertliğini etkileyen parametreler; yükün etki süresi, penetrasyon indeksi (PI), bitümün yumuşama noktası ve sıcaklıktır. Elastik sertliği etkileyen bu parametrelerden, yükleme süresinin artışı, bitümün elastik sertliğini azaltırken; penetrasyon indeksinin ve yumuşama noktasının artışı, elastik sertliğini artırmaktadır [10].

Bitümün plastik rijitliğini ise bitümün viskozitesi ve bitüme etkileyen yükün etki süresi etkilemektedir. Bitümün viskozitesinin artmasıyla plastik sertlik artarken, yükün etki süresinin artması bitümün plastik sertliği azalmaktadır [10].

2.1.3. Bitümün Durabilitesi ve Yaşlanması

Bitüm; ısı değişiklikleri, hava, nem, ışık gibi etkilere maruz kaldığında zamanla sertleşmektedir. Bitümün bu ve benzeri etkiler altında sertleşmesi, yaşlanma olarak adlandırılır. Yaşlanma; oksidasyon, uçarlık, tiksotropi, sineris ve polimerizasyon gibi birbirinden ayrı reaksiyonlar şeklinde oluşmaktadır. Bitümün servis altındaki yaşlanması büyük ölçüde oksidasyona ve uçarlığa bağlıdır [4, 6, 12]. Bitümdeki yaşlanma ve yaşlanma etkileri bitümün agregayı sarma özelliğini azaltmaktadır. Tablo 2.1’ de bitümün agregayı sarmasına etki eden faktörler görülmektedir.

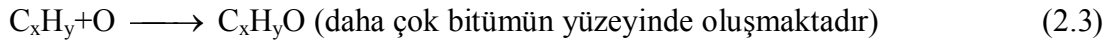
Tablo 2.1 Bitümün Agregayı Sarma Özelliğini Etkileyen Faktörler [6, 13].

Etkiler	Zaman	Isı	O ₂	Güneş Işığı	Beta Gama Işığı	Değişiklikler	
						Yüzeyde	Bünyede
Oksidasyon	•	•	•			•	•
Foto Oksidasyon (Direkt Işık)	•	•	•	•		•	
Foto Oksidasyon (Yansıyan Işık)	•	•	•	•		•	
Foto Kimyasal (Direkt Işık)	•	•		•		•	
Volatilizasyon	•	•				•	•
Polimerizasyon	•	•				•	•
Tiksotropi	•					•	
Sineris	•	•				•	
Nükleer Enerji ile Değişim	•	•			•	•	•
Suyun Etkisi	•	•	•	•		•	•
Katılarla Emilme	•	•				•	•
Katı Yüzeye Emilim	•	•				•	•
Katalitik Reaksiyonlar	•	•				•	•
Mikrobiyolojik Etkiler	•	•	•			•	•

Yaşlanma; kısa ve uzun dönem yaşlanma olarak ikiye ayrılabilir. Kısa dönem yaşlanma, bitümlü karışımların karıştırma, depolanma, taşıma, serme ve sıkıştırma işlemleri sırasında olurken; uzun dönem yaşlanma ise yolun servis ömrü boyunca oluşmaktadır [14]. Bitümde yaşlanmaya neden olan etkenler aşağıda sıralanmıştır.

2.1.3.1. Oksidasyon

Bitümün oksidasyonu, bitümün yapısında bulunan hidrokarbonların zaman içinde havayla veya suyun yapısındaki oksijenle reaksiyona girerek oksitlenme meydana getirmesidir [4]. Oksidasyona neden oluşan bu reaksiyon aşağıdaki gibidir [6, 12].



Oksidasyon sonucunda bitümün moleküler ağırlığındaki artışa bağlı olarak viskozluk artar ve sertleşme oluşur. Oksidasyon büyük oranda sıcaklığa bağlı olmakla birlikte servis süresine bağlıdır. Karıştırma-serme sürecinde bitümün maruz kaldığı yüksek sıcaklıktan ve ısıtılan agreganın geniş yüzey alanından dolayı oluşan oksidasyon hızlı iken, kaplamanın servis ömrü boyunca meydana gelen oksidasyon daha yavaştır. Ayrıca oksidasyon, bitümün film kalınlığına da bağlıdır [4, 6]. Şengöz, yapmış olduğu çalışmada aynı film kalınlığındaki bitümün kısa ve uzun dönem yaşlanmalarını karşılaştırmış ve bu değerlerin birbirine çok yakın olduğunu saptamıştır. Ayrıca film kalınlığının yaşlanmayı etkilediğini belirtmiştir [14].

Oksidasyon, büyük ölçüde bitümlü karışımlarda bitümün ısıtılması sonucunda meydana gelmektedir. Karışımların üretilmesi sırasında oluşan oksidasyon, karışım süresinin uzatılmasıyla önemli oranda artmaktadır [6, 12] Karışım esnasında oluşan oksidasyon, toplam oksidasyonun büyük kısmını teşkil etmektedir. 100 °C'nin üzerindeki her 10 °C'lik sıcaklık artışı, oksidasyon miktarını iki kat arttırmaktadır [4].

2.1.3.2 Uçarlılık

Bitümün bünyesinde bulunan uçucu maddelerin, zamanla hava ve sıcaklığa maruz kalarak bitümün bünyesinden buharlaşması veya agrega tarafından emilmesi uçarlılık olarak adlandırılmaktadır. Bu durum bitümün sertleşmesine neden olmaktadır. Düşük penetrasyonlu bitümlerin uçucu madde kaybıyla sertleşmeleri, yüksek penetrasyonlu bitümlere göre nispeten daha az olmaktadır [2, 4, 6].

2.1.3.3. Tikotropi

Bitümlü bağlayıcılar yüke maruz kalmaksızın düşük sıcaklıkta kendi haline bırakıldığında zamanla sertlikleri artmaktadır. Bunun sebebi bünyesinde bulunan uçucu bileşenlerin zamanla buharlaşması ve sertliğin artması olarak gösterilebilir. Bitümlü karışımlarda ağır yüke maruz kalmayan kaplamaların zamanla sertleşmesi titroskopiyle bağlantılı olmaktadır [2, 4].

2.1.3.4. Polimerizasyon

Polimerizasyon, bitümdeki hidrokarbon zincirinin zamanla değişime uğramasıyla bitümün sertleşmesidir. Polimerizasyonun, kaplamadaki bitümün, düşük sıcaklık yaşlanmalarına önemli bir etkisi olduğuna dair bilimsel bir kanıt bulunmamaktadır [4, 6].

2.1.3.5. Sineris

Sineris, bitüm film tabakasının yüzeyinden ince yağ sıvılarının uzaklaşmasıyla oluşan bir eksüdasyon reaksiyonudur.

2.2. Bitüm Üzerine Uygulanan Deneyler

Bitüme uygulanan deneyler, geleneksel deneyler ve performansa dayalı sınıflandırma deneyleri olarak ikiye ayrılabilir. Geleneksel deneylerde, bitümün belirli sıcaklıktaki davranışı belirlenirken; performansa dayalı sınıflandırma yapılan deney sisteminde; bitümün hem reolojik hem de mekanik karakteristikleri belirlenmektedir.

2.2.1 Bitüme Uygulanan Geleneksel Deneyler

Bitümün özelliklerinin belirlenebilmesi için viskozite ve penetrasyona dayalı geleneksel sınıflandırma sistemleri kullanılmaktadır. Bu deneylerde bitümün belli bir sıcaklıktaki kıvamlılığı ve vizkozitesi belirlenerek sınıflandırma yapılmaktadır. Ancak hem modifiye edilmiş hem de modifiye edilmemiş bitümlerde, bitümün maruz kalabileceği değişik sıcaklık şartlarındaki davranışı geleneksel sınıflandırma yöntemleriyle tam olarak belirlenemediği için bitüme uygulanan bu deneyler yetersiz kalmaktadır [15].

Bitüme uygulanan geleneksel deneylerde, bitümün kıvamını belirlemek amacıyla penetrasyon, yüksek dayanım sıcaklıklarını belirlemek amacıyla yumuşama noktası ve düşük sıcaklık çatlaklarına karşı dayanımını belirlemek için Fraass kırılma noktası deneyleri kullanılmaktadır [16].

2.2.1.1. Penetrasyon Deneyi

Katı bitümlerin kıvamlılıklarının tayini için uygulanmaktadır. Deneyde 100 g ağırlığındaki standart iğnenin, 5 sn süreyle 25°C'deki bitüm numunesine batma miktarı belirlenmektedir. Her 0.1mm'lik batma miktarı, 1 penetrasyon olmak üzere toplam batma miktarı ölçülerek bitümün penetrasyon değeri saptanır. Penetrasyon değeri ile bitümün sınıfı da belirlenmektedir [4].

2.2.1.2 Yumuşama Noktası Deneyi

Standart kalınlık ve çapta bir yüzük içine konulan bitüm numunesi üzerine, standart çap ve ağırlıkta bilye yerleştirilerek, suyun içinde belirli hızda ısıtılır. Bilyenin ağırlığıyla yüzük içindeki bitümün belirli bir derinliğe çökmesini sağlayan su sıcaklığı bitümün yumuşama noktası olarak kabul edilir [4].

2.2.1.3. Fraas Kırılma Noktası Deneyi

Bitümlü bağlayıcıların düşük sıcaklık dayanımlarını tespit etmek amacıyla kullanılan Fraass kırılma noktası deneyinde, yaklaşık 0.40 g bitüm, plak üzerine bırakılmakta ve plak ısıtılarak bitümün plağı homojen bir şekilde kaplaması sağlanmaktadır. Bitümle kaplı plak, deney düzeneğindeki yalıtımlı bölmeye yerleştirilmekte ve ortam

sıcaklığı dakikada 1°C soğutulmaktadır. Bitüm kaplı plak beklenen kırılma noktasının yaklaşık 10°C öncesinden başlayarak bükülmektedir. Sıcaklığın etkisiyle bitüm belirli bir katılığa ulaştığında bitüm yüzeyinde çatlak meydana gelmektedir. Bitüm numunesinde ilk çatlağın oluştuğu sıcaklık değeri kırılma noktası olarak adlandırılmaktadır [16, 17].

2.2.2. Bitüme Uygulanan Performansa Dayalı Deneyler

Bitümün hem mekanik hem de reolojik özelliklerine bağlı olarak yapılan deney sisteminde; kompleks modülü, faz açısı, rijitlik modülü, viskozite gibi bitümün mekanik özelliklerinin belirlendiği deneyler mevcuttur. Bu sınıflandırma sistemi modifiye edilmiş bitümlerin reolojik ve mekanik özelliklerinin belirlenmesinde de kullanılmaktadır. Bitümün performansa dayalı deneyleri ve kullanım amaçları Tablo 2.2’ de verilmiştir [15].

Tablo 2.2 Bitüme Uygulanan Performansa Dayalı Deneyler [15].

Deneyin Adı	Kullanılacak Bitüm	Kullanım Amacı
Döner İnce Film Etüvü (RTFO)	Orijinal Bitüm	Kısa Dönemli Yaşlanma
Basınçlı Yaşlandırma Kabı (PAV)	RTFO Uygulanmış Bitüm	Uzun Dönemli Yaşlanma
Dinamik Kesme Deneyi (DSR)	Orijinal Bitüm	Yüksek Sıcaklıktaki Davranış (tekerlek izinde oturma)
	RTFO Uygulanmış Bitüm	
	PAV Uygulanmış Bitüm	Orta Sıcaklıktaki Davranışı (yorulma çatlağı)
Dönel Viskometre (RV)	Orijinal Bitüm	İşlenebilirlik Sıcaklığı
Bitüm Kiriş Eğilme Deneyi (BBR)	PAV Uygulanmış Bitüm	Düşük Sıcaklıktaki Davranış (termal çatlak oluşumu)
Doğrudan Çekme Deneyi	PAV Uygulanmış Bitüm	

2.2.2.1. Döner İnce Film Etüvü Deneyi (RTFO)

Bitümlü karışımın hazırlanması sırasında, bitümde oluşan oksidasyon tipi yaşlanmanın belirlenmesinde kullanılmaktadır. Deneyde, bitümlü karışımların tesiste hazırlanması sırasında bitümün maruz kaldığı sertleşmeyi temsil edecek şekilde ince bir film halinde bitüm hazırlanarak hava ve sıcaklığın birleşik etkisi

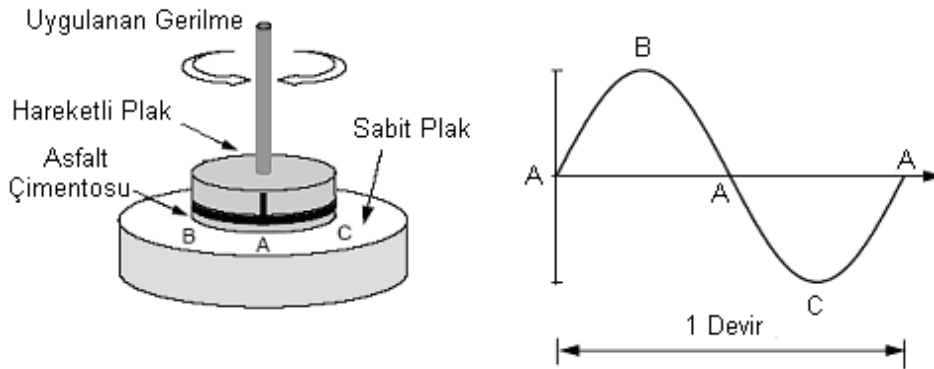
değerlendirilmektedir. Bu deney kullanılarak, bağlayıcıdaki ısıtma sonucunda oluşan uçucu kaybı da belirlenebilmektedir [16, 18].

2.2.2.2. Basınçlı Yaşlandırma Kabı Deneyi (PAV)

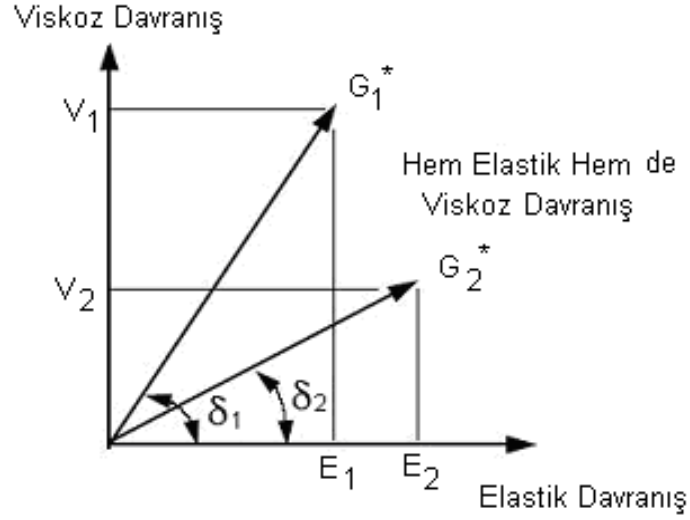
Deney, bitümlü karışımlardaki bitümün hizmet ömrü boyunca maruz kalacağı yaşlanma özelliklerini belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. Deneyde bitümün üstyapıda kullanılmadan önce belli oranda okside olduğu göz önünde tutularak RTFO deneyinden elde edilen bitüm kullanılmaktadır. Deney, bitümün sınıfına göre belli bir sıcaklıkta (90°C, 100°C, 110°C) basınç kabında yer alan bitüme 20 saat süreyle 2070 kPa basınç uygulanarak yapılmaktadır [18].

2.2.2.3. Dinamik Kesme Reometresi Deneyi (DSR)

Bu deneyde bitümün sıcaklık ve yük altında yorulma ve tekerlek izine karşı hassasiyeti tespit edilmektedir. Deneyde biri hareketli olmak üzere iki disk arasında bitüm numunesi yerleştirilmekte ve disklerden hareketli olanı A-B-A ve A-C-A salınımı yapmaktadır. Bu salınım bir devir olarak adlandırılmaktadır. Deneyin dönme frekansı 1.59 devir/saniye olup, deney 10 devir ile sonuçlandırılmaktadır. Deney, bitümün kompleks kesme modülü (G^*) ve faz açısını (δ) belirleyerek bitümün viskoz ve elastik davranışını karakterize etmektedir. Şekil 2.1' de DSR deneyinin şekli, Şekil 2.2' de ise deneyin sonucunda elde edilen kompleks kesme modülünün ve faz açısının hesabı görülmektedir [16, 18].

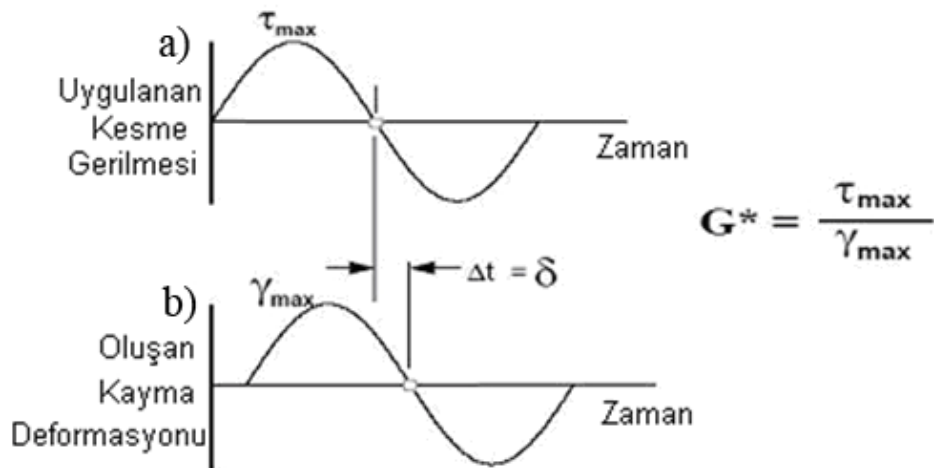


Şekil 2.1 DSR Deneyinde Numunelere Uygulanan Deformasyon Yönleri [16].



Şekil 2.2 Bitümün Visko-Elastik Özelliği [16].

Şekil 2.2.'de farklı iki bitümlü bağlayıcının visko-elastik davranışı ifade edilmektedir. Bitümün visko-elastik özelliğe sahip olması ve her bir bitümün yapısının birbirinden farklı olmasından dolayı 1 ve 2 numaralı bitümlü bağlayıcıların yük altındaki viskoz ve elastik bileşenleri de birbirinden farklı olmaktadır. Bitümün visko-elastik özelliği şekilden de görüldüğü gibi hem G^* 'a hem de δ 'a bağlıdır. Ayrıca faz açısı (δ), uygulanan gerilme ile meydana gelen deformasyon arasındaki zaman aralığına (Δt) eşit olmaktadır. Faz açısı şekil 2.3'de gösterilmiştir

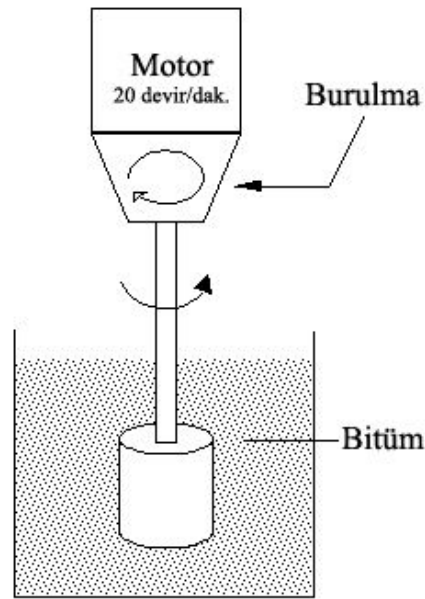


Şekil 2.3 Visko-Elastik Malzemelerin Gerilme-Deformasyon İlişkisi; a) Malzemeye Uygulanan Kesme Gerilmesi, b) Malzemedeki Oluşan Kayma Deformasyonu [16].

DSR deneyi ile bitümün tekerlek izine karşı dayanımını belirlemek için işlem görmemiş ve RTFO yöntemiyle yaşlandırılmış numune kullanılırken; yorulma davranışını belirlemek için PAV yöntemiyle yaşlandırılmış numuneler kullanılmaktadır. Deneyde kullanılacak olan numunenin boyutları, tekerlek izine dayanımını tespit etmek için 25 mm çapında 1000 mikron yüksekliğinde, yorulmayı tespit etmek için ise 8 mm çapında ve 2000 mikron yüksekliğindedir [16].

2.2.2.4. Dönel Viskozimetre Deneyi (RV)

Dönel viskozimetre deneyi, bitümlü bağlayıcıların yüksek sıcaklıktaki karakteristiklerini belirlemek için kullanılmaktadır. Deneyde silindirik uç Şekil 2.4'de gösterildiği gibi belli bir sıcaklıkta (genellikle 135 °C), 20 devir/dak. hızda dönerken bitümün bu dönüşe gösterdiği direnç bilgisayar kontrolü ile takip edilmekte ve bu değer sabitlendiği durumdaki okuma bitüm numunesinin viskozitesi olarak belirlenmektedir [16, 18].

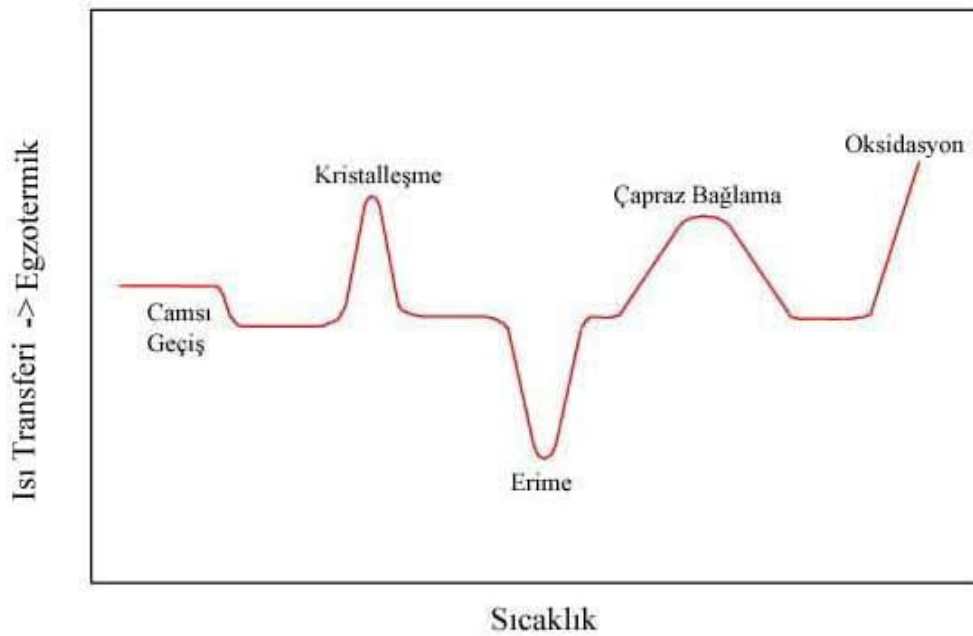


Şekil 2.4 Dönel Viskozimetre Deney Şeması [19].

2.2.2.5. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC)

Diferansiyel taramalı kalorimetre, malzemenin sıcaklık ve ısı akışları arasındaki geçişlerini ölçmeye yarar. Bu ölçümler, kimyasal ve fiziksel değişiklikler hakkında yeterli ve kaliteli bilgi sağlamaktadır [20].

Deney, hazırlanan bitüm/vaks karışım örneklerinin, vaks bileşenini belirlemek için kullanılmaktadır. Ayrıca hem soğuma hem de ısıtma döngülerinde, malzemenin kristalleşme miktarını hesaplamak için de kullanılır [21]. DSC analizi sonucunda oluşan termogram grafiği Şekil 2.5’ de gösterilmiştir.



Şekil 2.5 DSC Analizi Sonucunda Oluşan Termogram Grafiği [20].

DSC ölçümleri ile malzemenin;

- Camsı geçişleri (malzemenin camsı özellikten viskoz özelliğe geçişi)
- Erime ve kaynama noktaları
- Kristalleşme zamanını ve sıcaklığını
- Kristalleşen miktarı
- Füzyon ve reaksiyon ısıları
- Özel ısı kapasiteleri
- Oksidatif/termal stabilitesi

- Kür oranı ve derecesi
- Saflığı

belirlenebilmektedir [20].

2.2.2.6. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR)

FTIR spektroskopisi, yaşlanmadan önce ve sonra yaşlandırılmış ve yaşlandırılmamış bitümlerin fonksiyonel gruplarını araştırmak için kullanılmaktadır [21].

2.3. Agreganın Özellikleri

Bitümlü karışımlardaki mineral agrega miktarı genellikle karışımın ağırlıkça %90-95, hacimce %75-85'i arasındadır. Agregalar kaplamanın yük taşıma kapasitesini etkilediği için kaplamanın performansı da büyük ölçüde agregaya bağlı olmaktadır [22]. Bu nedenle agreganın fiziksel özellikleri kaplamanın performansı için bağlayıcı malzemede istenilen özellikler kadar önemlidir. Karayolu kaplamasındaki karışımlarda kullanılacak olan agreganın gradasyonu, temizliği, sertliği, yüzey yapısı, dane şekli, adezyon kabiliyeti gibi faktörler agreganın özelliklerini etkilemektedir.

2.4. Bitümlü Karışımlarda Aranılan Özellikler

Kaplamalarda kullanılan bitümlü sıcak karışımların kaliteleri ve performansları, karışımın sahip olduğu bazı özelliklere bağlıdır. Bitümlü karışımlarda aranılan özellikleri; stabilite, rijitlik, dayanıklılık, fleksibilite, kayma direnci, geçirimsizlik ve işlenebilirlik olarak sıralayabiliriz.

2.4.1 Stabilite

Stabilite, seyir halindeki taşıtlardan gelen sürekli dinamik yüklerden, uzun süreli statik yüklerden ve tekerleklerin hızlanma-yavaşlama etkilerinden oluşan basınç-çekme gerilmelerine, kesme kuvvetine ve sökülmeğe karşı kaplamanın gösterdiği dirençtir. Stabilite yetersizliği kaplamada çökmeye, ondülasyona ve akmaya neden olmaktadır. Bitümlü karışımlarda aranılan en önemli özellik stabilitedir [23].

Kaplamanın stabilitesini çevresel ısı etkilemektedir. Bitüm termoplastik bir malzeme olduğu için sıcaklık arttıkça viskozitesi azalmaktadır. Yaz aylarında bitümlü kaplama

malzemesi siyah renginin de etkisiyle ısıyı absorbe ettiği için kaplamanın deformasyona olan direnci önemli ölçüde azalmaktadır. Tekerlek izi, ondülasyonlar, ötelenme gibi kalıcı deformasyonlar, yüksek sıcaklık altında daha kolay oluşmaktadır. Düşük sıcaklıklarda ise bitümün viskozitesi artarak sertleşir. Sertleşmenin aşırı artmasıyla tekerlek yükleri altında oluşan çatlaklar, kaplamanın ayrışmasına, stabilitenin de azalmasına neden olmaktadır. Esnek kaplamalarda karşılaşılan düşük sıcaklık çatlakları bitümün sertleşmesinden kaynaklanmaktadır. Sıcaklığa ek olarak stabiliteyi; yükün miktarı, yükün etki süresi, kaplamanın kalınlığı gibi parametreler de etkilemektedir [4].

2.4.2 Sertlik

Bitümlü karışımların sertliği, elastik sertlik ve plastik sertlik olarak sınıflandırılabilir. Elastik sertlik, düşük sıcaklık veya kısa yükleme şartları altında oluşurken; plastik sertlik ise yüksek sıcaklık ya da uzun yükleme şartları altında oluşmaktadır. Burada, analitik tasarımlardaki kritik gerilmeleri hesaplamak için elastik sertlik kullanılırken; malzemenin deformasyona karşı dayanımını belirlemek için plastik sertlik kullanılmaktadır [5, 24].

Bitümlü karışımların elastik sertliğine, bitümün elastik sertliği ve agreganın hacimsel konsantrasyonu etki etmektedir. Bitümün elastik sertliğindeki artış, karışımın sertliğini de artırdığı için karışımın sertliğini belirlemek için asıl olarak incelenmesi gereken, agreganın hacimsel konsantrasyonudur. Karışımın hacmi; karışımdaki boşluk oranı, agregata ve bitüm hacimlerinin toplamından oluşmaktadır. Boşluk oranının artmasıyla karışımın elastik sertliği lineer olarak düşmektedir. Sertliği etkileyen agregata konsantrasyonunu ise karışımdaki agregata ve bitüm oranları oluşturmaktadır [10].

Bitümlü karışımların plastik sertliği, bitümün plastik sertliğiyle bağlantılıdır. Bitümün plastik sertliğinin artmasıyla karışımın da plastik sertliği artmaktadır [10].

Kuloğlu yapmış olduğu çalışmada, hem bitüm hem de bitümlü karışımların elastik ve plastik sertlikleri üzerindeki en önemli parametrelerin bitümün yumuşama noktası ve sıcaklık arasındaki fark olduğunu gözlemlemiştir [10].

2.4.3 Dayanıklılık

Bitümlü kaplamaların dayanıklılığı; trafik, su, hava ve sıcaklık değişikliklerinden oluşan etkiye karşı kaplamanın gösterdiği dirençtir. Karışımın trafik etkileri altındaki aşınmaya karşı direnci, agreganın aşınmaya karşı direnci ile büyük ölçüde bağlantılıdır. Aşınma tabakalarında daha sert agrega kullanılarak daha yüksek dayanıklılık elde edilebilmektedir [23].

Karışımlara etki eden su ve hava, bitümün oksidasyonunu hızlandırmakta, oksidasyon sonucunda penetrasyonun düşmesi ile kaplamayı daha kırılğan hale getirerek, kaplamanın kırılmaya karşı direncini olumsuz olarak etkilemektedir. Karışımın oksitlenmesini, bitümün oksitlenmeye karşı direnci ve karışımın boşluk oranı etkilemektedir. Bitümlü karışımların boşluk yüzdesi belli sınırlar içerisinde tutularak karışımın oksidasyonu ve buna bağlı olarak kırılğanlığı azaltılabilir [23].

Su ve nem de dayanıklılığa olumsuz olarak etki eden faktörlerdir. Kaplamanın dayanıklılığı genel olarak;

- Karışımındaki yüksek bitüm oranı
- Daha düşük penetrasyonlu bitüm ve kalın film tabakası
- Soyulmaya karşı yüksek direnç
- Karışımın iyi sıkıştırılması
- Yoğun gradasyon

özellikleriyle artmaktadır. Kaplamadaki bu şartların sağlanmasıyla karışımın içine daha az su girer ve bitümlü karışımların suya karşı direnci ile kaplamanın durabilitesi artar [4].

2.4.4 Fleksibilite

Alt tabakalarda oluşan gerilmeler altında yol kaplaması çökmekte, oluşan deformasyon ise bitümlü kaplama tabakalarına geçmektedir. Fleksibilite, bitümlü kaplama tabakasının bu tip deformasyonlara karşı, çatlama olmaksızın esnek şekilde karşı koyabilme özelliğidir. Karışımındaki mineral filler, karışımın bitüm/agrega oranı ve kıvamı; bitümün duktilitesi ve sıcaklığa karşı olan direnci, fleksibilitiyi

etkilemektedir. Fleksibilitenin yetersiz olması kaplamada çatlamalara neden olmaktadır [23].

Karışımın fleksibilitesi;

- Bitümün içeriği arttıkça,
- Relatif açık gradasyonlu karışıma sahip olduğunda ,

artmaktadır. Ancak kaplamanın fleksibilitenin artmasıyla, stabilitesi azalmaktadır [4].

2.4.5. Kayma Direnci

Kaymaya karşı direnç, bitümlü kaplama yüzeyinde sürtünme ile vasıtaların hareket etme ve durabilmesini etkileyen faktördür. Karışımdaki yumuşak agregalar kolayca aşındıkları için taşıtların tekerlek etkisi altında agrega cilalanmakta, bunun sonucunda da kaplamanın üst yüzeyinde kaymaya karşı olan direnç azalmaktadır. Kaymaya karşı direncin azalmasıyla da araçların emniyetli durma mesafeleri olumsuz etkilenmektedir [23]. Kayma direnci genel olarak;

- Karışımdaki düşük bitüm miktarı
- Cilalanma direnci yüksek agrega
- Kırmataş veya yüzeyi pürüzlü agrega
- Açık ve kaba gradasyonlu karışım tasarımı

ile artmaktadır [4]. Kayma direnci sağlayan bu faktörler sürüş konforunu azaltmaktadır. Kaplamada sürüş konforunu sağlayan yüzey düzgünlüğü arttıkça sürüş konforu artmakta; ancak kayma direnci de önemli ölçüde azalmaktadır [23].

2.4.6. Geçirimsizlik

Bitümlü kaplamalarda, kaplamanın içine doğru su veya hava girişine karşı gösterdiği direnç kaplamanın geçirimsizliği olarak adlandırılmaktadır. Temel ve alt temel tabakasının sudan etkilenmemesi için kaplamanın alt tabakalara su geçirmeyecek şekilde geçirimsiz olması gerekmektedir [22, 23].

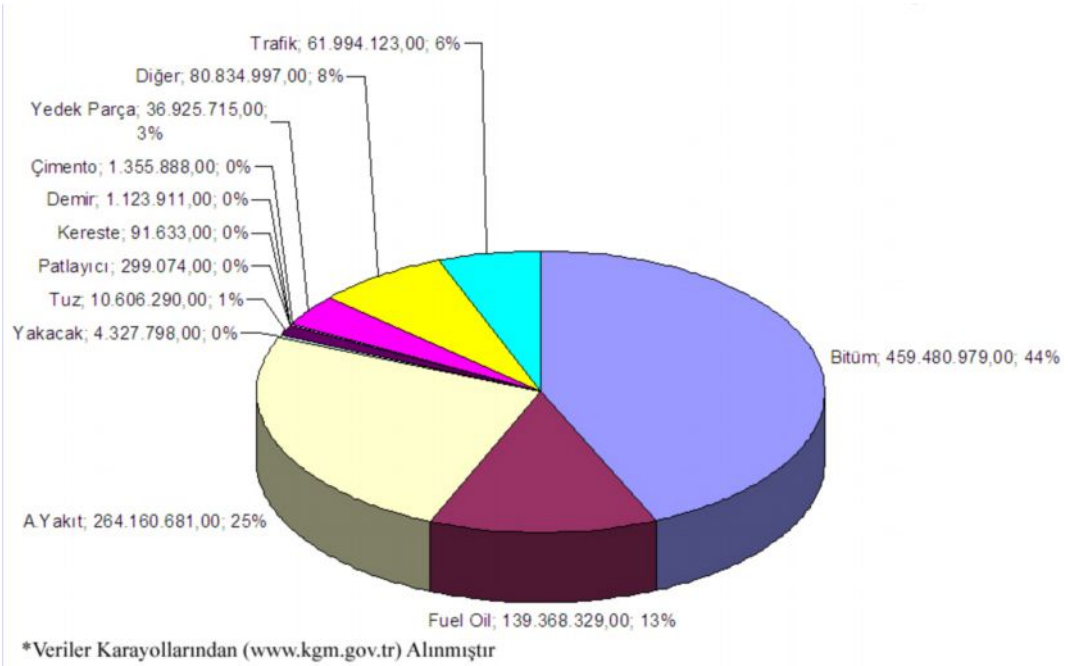
2.4.7. İşlenebilirlik

İşlenebilirlik, bitümlü karışımların istenilen kıvamda ve üniform olarak kolayca yerine yerleştirilmesi ve sıkıştırılmasıdır. Karışımın bu özelliği; agreganın granülometrisi, en büyük dane boyutu, danelerin şekli ve agreganın yüzey dokusu ile yakından ilgilidir. Köşeli danelere sahip veya kırmataş parçaları içeren kumlar karışımın stabilitesini yükseltirken, yuvarlak daneli kumlar karışımın işlenebilirliğini artırmaktadırlar [23].

İşlenebilirliği düşük olan karışımlarda serme ve sıkıştırma işleminde sorunlar oluşmakta bunun sonucunda da yeterli sıkışma sağlanamadığı için karışımın stabilitesi azalmakta ve homojen olmayan kaplamalar elde edilmektedir [4].

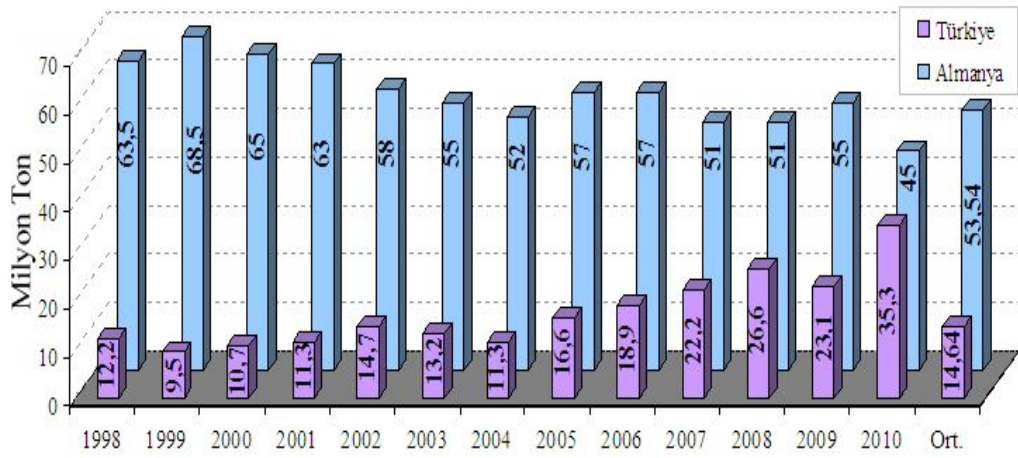
2.5. Dünyadaki ve Ülkemizdeki Bitümlü Sıcak Karışım Üretimi

Taşımacılıkta, ülkemizde daha çok karayolu tercih edilmekte ve karayolunda da kaplama malzemesi olarak bitümlü sıcak karışımlar ya da sathi kaplamalar kullanılmaktadır. Bitümlü sıcak karışımların üretimi, hem yeni karayollarının yapılması hem de mevcut karayollarının bakım ve onarımı nedeniyle giderek artmaktadır. Üretimdeki bu artışa bağlı olarak da bitüm ihtiyacı artmaktadır. Ayrıca karışımın hazırlanması için kullanılan ısı enerjisi fuel oil ya da doğalgazdan elde edilmekte ve üretimin artmasıyla bu yakıtlara olan ihtiyaç da artmaktadır. Bitüm ve bitümlü karışımı ısıtmak için kullanılan fuel oil ya da doğalgazın kullanımının dışa bağımlı olması, ülkemize ciddi ölçüde maliyet oluşturmaktadır. Ülkemizde 2006-2010 yılları arasındaki karayollarında bakım, onarım ve inşaat için yapılan giderler Şekil 2.6 'da gösterilmektedir.



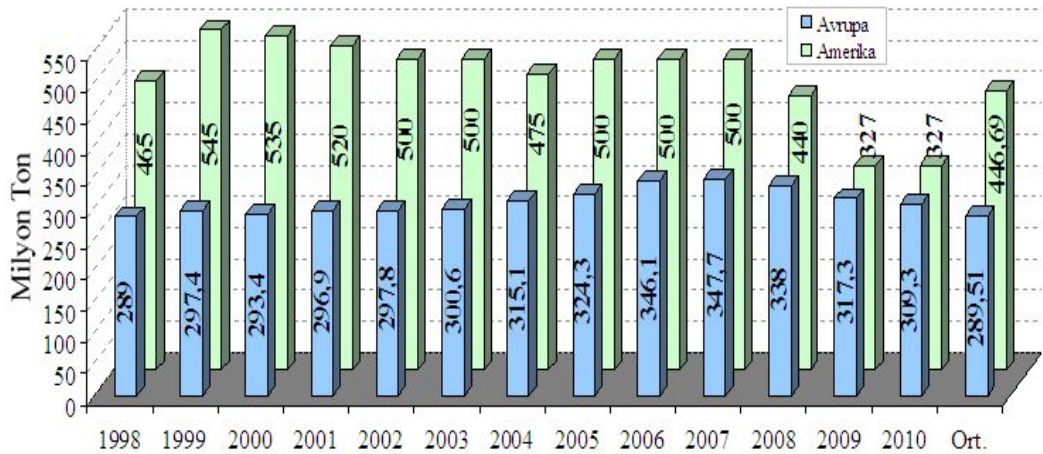
Şekil 2.6 Karayolları 2006-2010 Maliyet Grafiği [25].

Şekil 2.5 'de karayolu giderlerine bakıldığı zaman, bitüm ve fuel oil'in en fazla maliyeti oluşturduğu görülmektedir. Ancak ülkemizde üretilen bitümlü sıcak karışımlar diğer Avrupa ülkeleriyle kıyaslandığında, üretim miktarının Avrupa'daki diğer ülkelere oranla daha düşük olduğu görülmektedir. Şekil 2.7'da ülkemizde üretilen bitümlü karışımlar ve Avrupa'daki en büyük BSK üreten ülke olan Almanya'da üretilen bitümlü karışımlar arasındaki kıyaslama görülmektedir.



Şekil 2.7 1998-2010 Yılları Arasında Türkiye Ve Almanya'nın BSK Üretim Miktarları [26].

Şekil 2.7'den görüldüğü gibi ülkemizdeki BSK üretimi EAPA verilerine göre Almanya'nın üretiminin yaklaşık 1/3' ü kadardır. BSK üretiminde dünya geneline bakıldığında zaman ise Avrupa'ya oranla Amerika'da üretim daha yüksektir. Şekil 2.8 Avrupa'daki toplam üretim miktarı ile Amerika'daki bitümlü sıcak karışım üretim miktarını göstermektedir.



Şekil 2.8 1998-2010 Yılları Arasında Avrupa ve Amerika'da Üretilen Yıllık BSK Miktarı [26].

Şekil 2.8’de görüldüğü gibi hem Avrupa’da hem de Amerika’daki BSK üretimi ülkemizle kıyaslandığında oldukça fazladır. Üretimin bu kadar yüksek olması ekonomiyi olumsuz olarak etkilemekte daha da önemlisi çevresel sorun yaratmaktadır. Bu sorunları göz önünde tutan ülkeler 2000’li yılların başında başta Almanya olmak üzere Bitümlü Sıcak Karışımlara alternatif olarak hem daha ekonomik hem de daha çevresel karışım olan Bitümlü Ilık Karışımları (BIK) geliştirmeye başlamışlardır. Bitümlü ılık karışımlar, BSK’ ya kıyasla yaklaşık 20-30 °C arasında daha düşük sıcaklıklarda üretilebilmektedir. Karışımın üretim sıcaklığının azalmasıyla ısıtma enerjisi için kullanılan yakıt miktarı azalmaktadır. Tüketilen yakıt miktarının azalmasıyla da hem üretimin maliyet azalmakta hem de çevreye yapılan zararlı gaz salınımları azalmaktadır. Bitümlü ılık karışımların bu özellikleri dikkate alındığında, bu karışımların ülkemizde geliştirilmesi ve uygulama alanlarının artırılmasıyla, ekonomik kazançların sağlanabileceği ve çevreye yapılan zararlı gaz salınımlarının azaltılabileceği göz ardı edilmemelidir.

Bitümlü ılık karışımlar çeşitli teknikler kullanılarak üretilmekte olup bu tekniklerden birisi bitüme vaks esaslı katkı türleri katılmasıdır. Bu çalışma kapsamında bitüme vaks katılarak Bitümlü Ilık Karışımlar hazırlandığı için genel olarak vakslar ayrı bir başlık altında incelenecektir.

3. VAKSLAR

Vakslar, insanlar tarafından kullanılan en eski işlenmiş malzemelerden birisi olup, inşaat malzemeleri olarak da uzun zamandan beri kullanılmaktadır. Günümüzde vakslar daha çok katkı ve aktif madde olarak kullanılmaktadır [27].

Vakslar, temelinde balmumu olan malzemelerdir. Balmumu, uzun zamandan beri kozmetiklerin, parlatıcıların ve kaplama malzemelerinin üretiminde kullanılmaktadır. Doğal vaksların yanı sıra sentetik vaksların da üretilmesiyle vaksın anlamı zamanla genişlemiştir. Kimyasal olarak vaks olmayan, fakat vaksın fiziksel karakterine sahip olan ve vaks yerine kullanılabilen sentetik bileşikler de vaks kavramına dahil edilmektedir [28, 29, 30].

3.1. Vaksların Kullanım Alanları

Vaksların tarih boyunca elde edilişinde kullanılan hammadde balmumudur. Nispeten az enerji ile elde edilebildiği için vakslar, ilk çağlardan beri kullanılmış olabilir, ancak vaksların özelliğinin zaman içinde kaybolmasından dolayı mevcut herhangi bir arkeolojik kanıt bulunamamıştır. M.Ö. 3000'lerde Mısır'da mumyalamada koruyucu madde olarak kullanılması, vaks kullanımının en eski bilimsel kanıtlarındandır [27].

Vakslar, 19. yüzyıl başlarında sanayi devrimi ile gelişerek, endüstrinin farklı dallarında kullanılmaya başlanmıştır. Bu vaksların birçoğu hidrokarbon yönünden çok zengin olan petrol vaksından meydana gelmektedir. Petrol vaksları da petrol endüstrisinin bir yan ürünü olup kullanım alanı oldukça yaygındır [28, 30, 31].

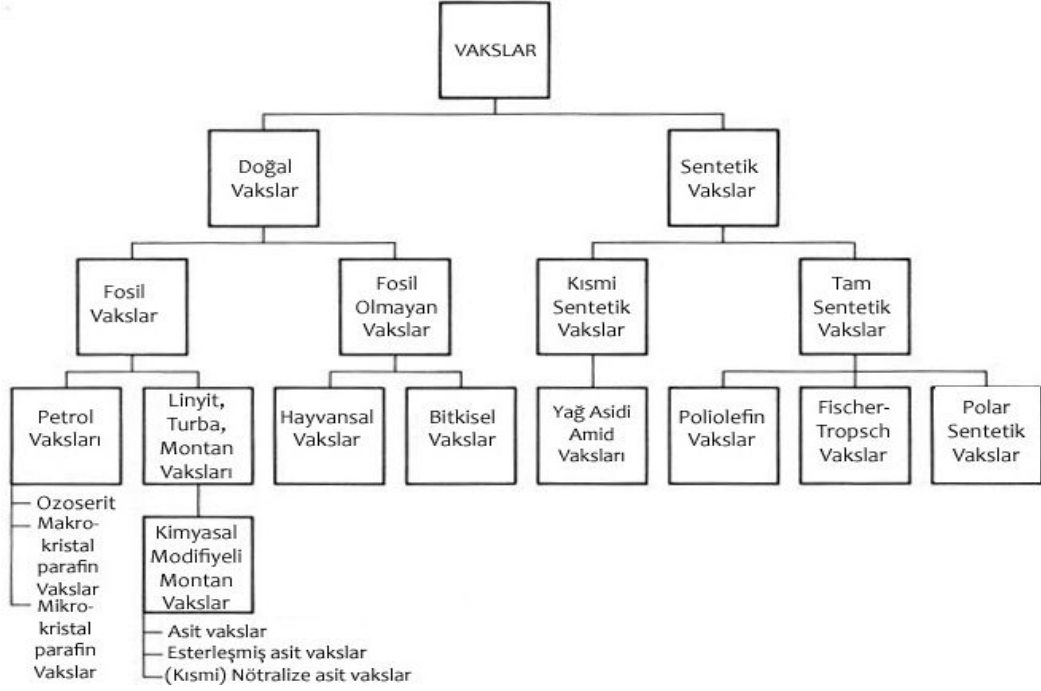
Vaksların kullanım alanları geniş olmakla birlikte vernik endüstrisinde, yapııştırıcı endüstrisinde, cilalarda, mumlarda, deri endüstrisinde ve kağıt endüstrisinde katkı malzemesi olarak kullanılmaktadır [32].

3.2. Vaksların Tanımlamaları ve Sınıflandırılmaları

Vakslar; hayvansal, bitkisel kalınlardan ya da minerallerden elde edilebilirler. Elde edilen ürünlerin vaks niteliğinde olması için bazı özelliklere sahip olması gerekmektedir [30]. Vakslar genel olarak ;

- Damlama noktası (mp) > 40°C olmalıdır.
- Düşük basınç altında parlayabilir olmalı ve sıcaklığa bağlı kıvam ve çözünübilirliğe sahip olmalıdır.
- 20°C' de yoğrulabilmeli veya kırılması zor olmalıdır. İyi bir kristal yapıya sahip olmalı, opaklığı transparan olmalı fakat cam gibi olmamalıdır. Ayrıca yüksek viskoz veya likit yapıda da olmamalıdır.
- 40°C' nin üstünde bozunma olmaksızın eriyebilmelidir.
- Damlama noktasının üstünde akıcılığı lifli şekilde olmamalıdır.
- Normal olarak 50°C ve 90°C arasında erimelidir.
- Vakslar hamur veya jel yapıda olmalı, elektrik ve ısı iletiminde zayıf olmalıdır [27].

Vakslar; kimyasal ve fiziksel özelliklerine, orjinine ve uygulamalarına göre çeşitli kriterlerle bağlantılı olarak sınıflandırılabilir. Sınıflandırmadaki farklılık genellikle orijin, oluşum, ve sentezlerine göre yapılmaktadır. Vakslar, doğal ve sentetik vakslar olmak üzere iki gruba ayrılabilir. Doğal vakslar kimyasal arıtma yapılmaksızın ortaya çıkan vakslardır. Doğal vaksların tersine sentetik vakslar, genellikle sentez esnasında vaks niteliğini elde etmektedir [27]. Doğal vakslarla sentetik vakslar arasında belirgin bir fark olmamakla birlikte vakslar, genel olarak suda çözünmeyen, az miktarda alkolde çözünebilen yapıdadır. Şekil 3.1' de vaksların sınıflandırılması yer almaktadır.



Şekil 3.1 Vaksların Sınıflandırılması [27].

3.2.1. Doğal Vakslar

En erken jeolojik periyotta oluşan doğal vakslar, hayvan ve bitki metabolizmasının ürünlerinden oluşmaktadır. En fazla fosil vaksların yer aldığı doğal vaks sınıfında yer alan bütün petrol vaksları, montan vaksları ve turba vaksları fosil vaks esaslıdır [27, 30].

3.2.1.1. Petrol Vaksları

Petrol vaksları, çok bileşenli karışımlar olup, yüksek molekül ağırlıklı doygun hidrokarbonlardan oluşmaktadır. 19. y.y.' in ikinci yarısından itibaren yağlayıcı maddelerin elde edilmesinde kullanılmaya başlanmasıyla petrol vakslarının dünya tüketimi artarak 3 milyon tona ulaşmıştır . Bu tüketim dünyada üretilen bütün vaks türlerinin %95' inden fazladır [27].

Doğal oluşumlarına ve kristalleşmelerine bağlı olarak petrol vaksları ikiye ayılır:

- 1) Makrokristal Vakslar (parafin vakslar)
- 2) Mikrokristal Vakslar (mikrovakslar)

Makrokristal ve mikrokristal vaksların erime noktaları; n-parafin bileşenleri, kristalleşmeleri, termal karakteristikleri, dallanma yapılarının dereceleri ve kendilerine özgü kristal yapılarından dolayı farklı olmaktadır [33].

3.2.1.2. Montan Vakslar

Montan Vaks bitkisel fosil vaks olup linyit kömüründen elde edildiği için linyit vaksı adını da almaktadır. Bitki esaslı olan bu linyit, 35-50 milyon yıl önce 3.periyotta oluşmuştur. Yüksek stabilitesi ve suda çözünmemesi sebebiyle montan vaks, uzun jeolojik periyotlar boyunca varlığını sürdürmüştür. Almanya, Ukrayna, Rusya, Amerika, ve Çin'de zengin linyit yatakları olup çıkartılan linyit işlenerek montan vaks elde edilmektedir. İşlenmemiş montan vaks, siyah-kahverengi renkte, sert ve kırılğan olup; vaks asitlerinin, vaks esterlerinin ve reçinelerin karışımından oluşmaktadır. Linyitten toluen yardımıyla çıkartılarak elde edilen montan vaksın yapısındaki farklılık; jeolojik süreç, bitkisel maddelerin çeşitliliği ve karbonize olmasıyla ilişkili olmaktadır [27, 34, 35, 36, 37].

İşlenmemiş montan vaksın içeriği:

Vaks asitleri	: %35
Vaks alkolleri	: %20
Hidrokarboksil asitler	: %10
Dikarboksil asitler	: % 3
Vaks ketonları	: % 1
Hidrokarbonlar	: % 2
Reçine asitleri	: %15
Steroller	: % 10
Diğerleri	: % 4

şeklinde olup erime sıcaklığı 82-95 °C arasındadır [27].

Montan vaks; zemin kaplamasında, araba ve deri için cilalarda, yağlayıcılarda, kağıt ve yapı endüstrisinde, ağaç ve metal ürünlerinde, mastik asfalt katkılarında kullanılmaktadır [27, 30].

Montan vaks, bitümün akıcılığını artırıcı katkı olarak da 1980'lerin başında kullanılmaya başlanmıştır. İlk olarak Almanya'da daha düşük karbondioksit emisyonu sağlamak için kullanılmıştır. Ancak zamanla bitümlü karışımlarda daha iyi işlenebilirlik elde etmek için karışımlara eklenmiştir [30, 38].

3.2.2. Sentetik Vakslar

Doğal vakslar olmayıp kimyasal reaksiyonlarla elde edilmektedir. Sentetik vakslar, kısmi sentetik vakslar ve tam sentetik vakslar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır [27].

Kısmi sentetik vakslar, doğal vaksların vaks özelliği taşıyan malzemelerin esterleşme, amidasyon şeklindeki kimyasal reaksiyonlarla modifiye edilmesiyle elde edilmektedir [27].

Tamamen sentetik vakslar 20. yüzyılda geliştirilmiş olup Fischer Tropsch vaks ve polyolefin vaks, tamamen sentetik vaks grubuna dahildir. Bu vakslar arasındaki fark kimyasal reaksiyon başlangıcında kullanılan malzemenin farklılığından oluşmaktadır [27].

3.2.2.1. Fischer Tropsch Vakslar

Fischer-Tropsch vaksları (FT-parafin) , Fischer-Tropsch sentezinin bir ürünüdür. Sentezde, karbon monoksit, katalitik hidrojenasyon ile daha yüksek hidrokarbonlara dönüştürülmektedir. Kömürün gazlaştırılmasıyla elde edilen gaz (CO+H₂) sentezin başlangıcında kullanılmaktadır [30, 39]. FT sentezinin reaksiyonu;



şeklinde olmaktadır. Sentez sonunda elde edilen ürün karmaşık bir yapıya sahip olup; parafinlerin, alkollerin ve farklı sayılardaki karbonların karışımından oluşmaktadır [30, 40].

Fischer-Tropsch sentezi ile elde edilen ürünler, iyi bir kristal yapıya sahip olup 40-100 karbon atomlu hidrokarbon zincirlerinden oluşmaktadır. Ürünün erime noktası, 70-120°C arasında olmaktadır [27, 30, 41].

FT parafin vaksları; plastik ürünlerinde, sanayi yağlarında, polistren üretiminde, mumlarda, iyi parlayabilme özelliğinden dolayı temizleme ve parlatma ürünlerinin üretiminde kullanılmaktadır. Ayrıca viskozite azaltıcı olarak bitümlerde kullanılmaktadır [27]. FT parafin vaksları uzun zincirli alifatik hidrokarbonlar olup, bitümlü karışımlara eklenerek bitümün viskozitesini azaltmaktadır. Bitümlü karışımlarda 65-115 °C arasında erirler ve bitümde çubuk şeklinde mikroskopik küçük parçacıklar halinde düzgün bir şekilde dağılırlar. Bitümün modifiyesinde kullanılabildiği gibi doğrudan karışıma da eklenebilmektedirler [34, 42, 43].

Bitüme viskozite azaltıcı olarak eklenen Sasobit, Fischer-Tropsch sentezi ile üretilmektedir. Bitüme sasobitin eklenmesi, çalışmalara ve ürün bilgisine göre bitümün plastisite aralığını ve yumuşama noktasını artırmakta ve penetrasyonu da azaltmaktadır. Penetrasyon ve yumuşama noktası üzerine etkisi, bitümün sertliğinin artması ile azalmaktadır [44, 45, 46, 47].

Sasobitin erime noktası 100 °C civarındadır ve 120 °C' nin üzerindeki sıcaklıklarda bitümün içinde tamamen çözünmektedir. Bitümlü karışım hazırlama sürecini daha kolaylaştıran düşük çalışma sıcaklıklarında viskoziteyi azaltmaktadır. Çalışma ve karıştırma sıcaklığını düşürmekte ve böylece gaz emisyonlarını azaltırken, enerji tasarrufu sağlamaktadır. Sasol Wax şirketine göre optimum sasobit katkısı bitümün ağırlıkça %3' ü olarak bulunmuştur [48, 49].

3.2.2.2. Yağ Asidi Aminleri

Yağ asid aminleri yağ asitleri ile aminlerin reaksiyonuyla üretilmektedir. Genel olarak erime noktaları, 141-146 °C arasındadır. Bitümde viskozite düzenleyici olarak kullanılmaktadır. [34, 35, 42].

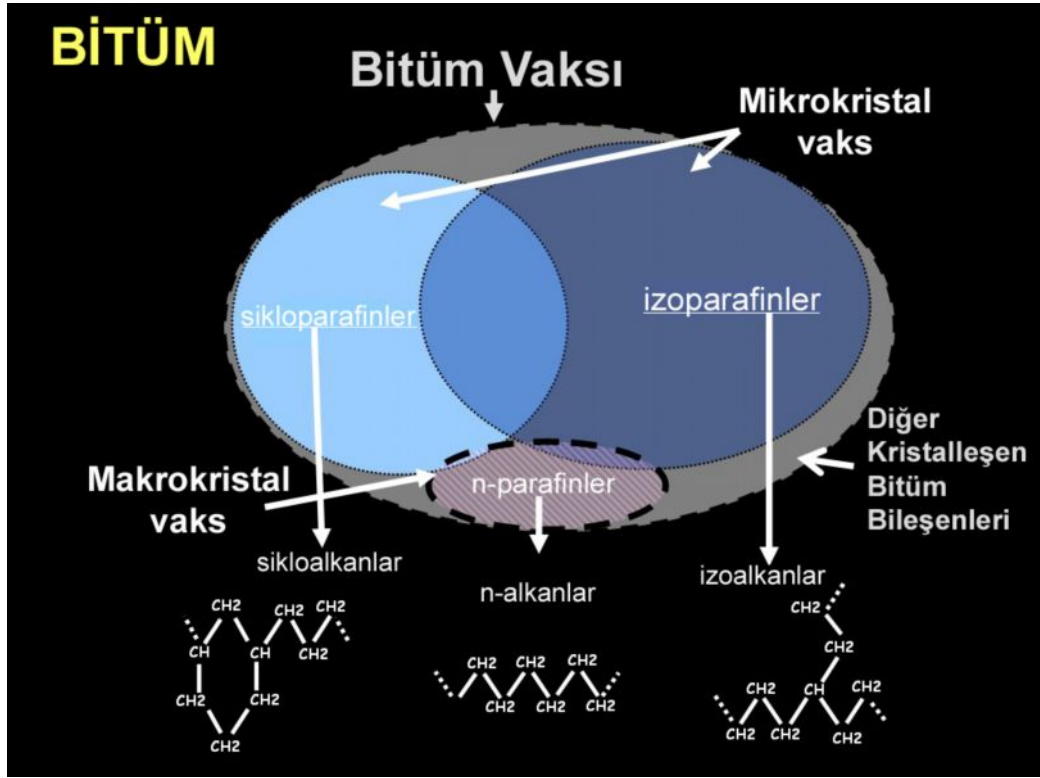
3.3. Bitümdeki Vaks Bileşeni ve Etkileri

Bitümün ana bileşenleri; reçineler, asfaltenler ve vakslar olup, yol inşasında ve diğer birçok alanda uzun bir zamandan beri kullanılmaktadır. Mineral ile karışık halde doğada bulunabilen veya ham petrolden de üretilen bitümün birleşimi, karmaşıktır ve tam olarak belirlenememiştir. Karmaşık yapı, esasında bitümü oluşturan kimyasal bileşenlerin çeşitliliğinden oluşmaktadır. Ham petrolün yapısında

bulunan vaks, distilasyon sonucunda bitümün yapısına da geçebilmekte ve bitümün yapısındaki vaks, bu şekilde oluşabilmektedir [31, 50, 51, 52, 53].

Vaksın bitümde olması genellikle zararlı olarak düşünölmektedir [50, 54]. Bitümün yapısında bulunan vaksların eriyerek yüksek sıcaklıklarda bitümlü karışımın tekerlek izine karşı dayanımını azalttığı ve kristalleşen vaksın da düşük sıcaklıklarda çatlaklara neden olduğu tahmin edilmektedir. Ayrıca fiziksel sertleşme, agrega ile bitüm arasındaki zayıf adezyonun da vaksın içeriğı ve miktarıyla bağlantılı olduğu düşünölmektedir. Vaksın bitüm üzerinde olumsuz etki yaptığını düşünönen Almanya, Fransa ve Çin bitümdeki vaks oranını sınırlandırmışlardır. Bitümün yapısındaki vakslar ise parafin vaks veya mikrokristal vaks şeklinde olabilmektedir [50]. Şekil 3. 2'de bitümdeki vaks şematik olarak gösterilmiştir.

Makrokristal vakslar, katı ve kristal haldeki hidrokarbon karışımlarından oluşmaktadır. Sahip oldukları kristal form oldukça büyük olup tabaka veya iğne şeklinde kristalleşirler. Yapılarında önemli ölçüde alkan (C_nH_{2n+2}) bulundurlar ve genellikle karbon sayıları C_{20} ' den daha büyük olmaktadır [28, 33, 55, 56, 57, 58, 59]. Alkanların erime noktaları zincir uzunluğuna bağlıdır [28]. Örneğın $C_{20}H_{42}$ alkanı $+37^{\circ}C$ ' de erirken, $C_{50}H_{102}$ alkanı $+92^{\circ}C$ 'de erimekteir . Makrokristal vaksların yapısında bulunan 10-40 atom arasındaki alkanların erime noktaları ($-30^{\circ}C \sim +80^{\circ}C$) bitümlü karışımlar için önemlidir [30]. Makrokristallerin bitümdeki varlığı sorun olup düşük sıcaklık aralığında gevrekliğe yol açabilmektedir [28].



Şekil 3.2 Bitümdeki Vaks Yapısı Ve Bileşenleri [28].

Makrokristal vakslar, suda çözünmez, düşük molar kütleli alifatik alkoller ve eterlerde az miktarda çözünürken, daha çok ketonlarda, klorohidrokarbonlarda, benzende ve tolüende çözünmektedirler [27].

Mikrokristal vakslar, suda çözünmezler ve daha çok oda sıcaklığındaki organik çözücülerde çözünürler [27].

Mikrokristal vakslar, makrokristal vakslara benzer şekilde hidrokarbon karışımdan oluşmaktadır. Ancak mikrokristal vaksların yapılarındaki hidrokarbonlar dallanmış yapıda olan isoparafinlerden oluştuğu için, makrokristal vakslara göre daha dallanmış yapıdadır [27]. Mikrokristal vakslardaki isoparafinler, C_{20} ve C_{55} arasında karbon sayısına sahip olup erime noktaları 50 ve 90 °C arasında olmaktadır [28, 29, 56]. Mikrokristal vakslar, bitüm içinde makrokristal vakslardan daha iyi çözündüğü için, bitümün reolojik yapısını daha erken etkilemektedir [28].

Bitümün yapısında bulunan makrokristal vakslar zarar verici olsa da bitümün yapısındaki vakslar genellikle mikrokristal vakslardır. Mikrokristal vakslar, farklı

kaynaklı bitümlerde bitümün özelliklerine herhangi bir olumsuz etki göstermeksizin değişik miktarlarda bulunabilmektedir. Bazı durumlarda da vakslar, bitüm üzerinde olumlu etki gösterebilir. Bitümdeki vaks etkilerinin belirlenebilmesi için;

- Bitümün kaynağının, kimyasal birleşiminin ve reolojik özelliklerinin,
- Bitümdeki vaks miktarının,
- Vaksın kristal yapısının ve kimyasal birleşiminin, bilinmesi gerekmektedir [28].

Bitüm üzerine vaksın etkileri, vaksın kristalleşme ve erime özellikleri ile de bağlantılıdır. Bitüm içindeki n-alkanın çok kristalleşmesi, yüksek sıcaklıklarda ani bir yumuşama etkisi ve düşük sıcaklıklarda sertleşme etkisi yaratabilmektedir [28].

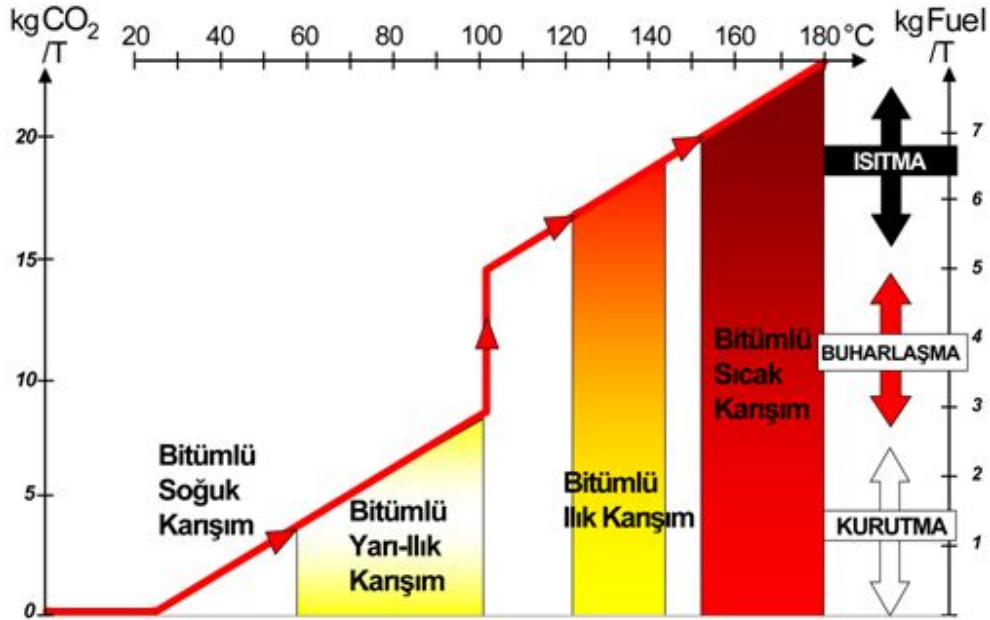
Ayrıca bitümdeki vaks bileşenleri bitümün performansını da etkilemektedir. Yüksek vaks bileşenine sahip olan bitümlü karışımlar kaplamada oluşan tekerlek izi direncine karşı yüksek sıcaklıklarda çok hassas olmaktadır. Ayrıca bitümün reolojik davranışı karışımın davranışını da büyük ölçüde etkilemektedir [60].

Bitümün yapısında bulunabilen vaksların haricinde bitüme ticari vakslar katılarak, bitümün akışkan özelliği artırılabilir. Akışkan arttırıcı olarak kullanılan vakslar, bitümde ve bitümlü karışımlarda yumuşama etkisi yaratmaktadır. Bu tip katkıların asıl amacı, bitümlü karışımların karıştırma sıcaklığını azaltarak enerji tüketimini ve emisyonları düşürmektir. Ayrıca bu katkıların eklenmesiyle, sıkışma gelişmekte ve buna bağlı olarak hava boşluğu azalmaktadır. Serme ve sıkıştırma işleminden sonra sıcaklığın düşmesine bağlı olarak vaksın kristalleşmesinden dolayı da viskozite artabilmekte ve kaplamalarda zamanla plastik deformasyon oluşabilmektedir [28].

Bitüme vaks katılarak hazırlanan karışımların, karıştırma sıcaklığının azalmasıyla elde edilen Bitümlü Ilık Karışımlar yeni bir bitümlü karışım teknolojisidir. Çeşitli tekniklerle üretilen bu karışımlar, bir sonraki bölümde detaylı olarak incelenmiştir.

4. BİTÜMLÜ İLİK KARIŞIMLAR

Bitümlü Sıcak Karışımlar (BSK), kaplama malzemesi olarak kullanılmakta ve bu malzemenin performansını geliştirmek için çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Karışımların performansının geliştirilmesine ek olarak, üretimde enerji tasarrufunun sağlanması ve çevreye verdiği zararlı etkilerin azaltılması da amaçlanmaktadır. Daha düşük maliyetli ve çevreye daha az zararlı bitümlü karışımlar hazırlamak amacıyla dünyada çeşitli teknolojiler geliştirilmiş ve bitümlü karışımların karıştırma sıcaklıkları düşürülmüştür. Bitümlü sıcak karışımlara kıyasla daha düşük sıcaklıklarda hazırlanan bu karışımlar Bitümlü Ilık Karışımlar (BIK) olarak adlandırılmaktadır. Bitümlü karışımların adlandırılmasındaki bu farklılık üretim sıcaklıklarından kaynaklanmaktadır. Hazırlanan karışımın sıcaklığına bağlı olarak tüketilen yakıt ve açığa çıkan emisyon gazları değişmektedir. Şekil 4.1’de bitümlü karışımların üretim sıcaklığına, yakıt tüketimine ve açığa çıkan gaz emisyonlarına göre sınıflandırılması yapılmıştır [61, 62].



Şekil 4.1. Bitümlü Karışımlardaki Üretim Sıcaklığı, Yakıt Tüketimi, ve Emisyonların Üretimindeki Farklılıklara Göre Sınıflandırılması [61, 62].

Yapılan bu sınıflandırmada bitümlü karışımların üretim sıcaklıklarına göre adlandırılması aşağıdaki şekilde olmaktadır:

- Bitümlü Sıcak Karışımlar (BSK): üretim sıcaklığı 150-180°C ,
- Bitümlü Ilık Karışımlar (BIK): üretim sıcaklığı 100-140°C,
- Bitümlü Yarı Ilık Karışım Asfaltlar (BYIK): üretim sıcaklığı 60-100°C
- Bitümlü Soğuk Karışımlar (BSOK): üretim sıcaklığı 20-60°C arasındadır [61].

Bitümlü ılık karışımlar (BIK), Avrupa’da geliştirilen yeni bir kaplama teknolojisi olup, geleneksel bitümlü sıcak karışımların üretim ve kaplama sıcaklıklarının önemli ölçüde azalmasına izin vermektedir. [63, 64]. BIK teknolojisi kullanılarak BSK’ ya kıyasla 20-40°C daha düşük sıcaklıklarda karışımlar hazırlanabilmekte, karışımın sıcaklığının düşürülmesi çeşitli tekniklerin kullanılmasıyla yapılmaktadır. Karışıma, organik ya da kimyasal katkıları eklenerek ya da su bazlı köpürtme teknikleri kullanılarak BIK’lar hazırlanabilmekte ve karışımın sıcaklığı düşürülmektedir. BIK’ nın hazırlanması için kullanılan bu yöntemler farklı da olsa asıl amaç bitümün viskozitesini azaltmaktır. BIK karışımlarında, düşük sıcaklıklarda bitümün viskozitesinin azalmasına bağlı olarak yakıt tüketimi ve gaz emisyonlarının salınımı azalmaktadır [65].

Bazı BIK teknikleri, bitümün viskozitesini azaltarak (akıcılığını arttırarak) ve karışımın işlenebilirliğini artırarak, karışımın üretim sıcaklığını 100°C’ ye kadar düşürebilmektedir. Bu durum; sera gaz emisyonlarının ve enerji tüketiminin azalmasına, çalışma şartlarının geliştirilmesine, daha iyi sıkışmanın sağlanmasına ve işlenebilirliğin gelişmesine katkı sağlamaktadır [66].

4.1. Bitümlü Ilık Karışımların Tarihi

Daha düşük sıcaklıklarda bitümlü karışım hazırlamak amacıyla Iowa State University’ de Prof. Ladis Csanyi 1956 yılında yapmış olduğu çalışmada, buhar ile bitümü köpürterek bitümün hacmini artırmıştır [61, 66]. 1968’ de Mobil Oil Australia yapılan bu çalışmanın patent haklarını alarak tekniği modifiye etmiştir. Bitüm içine buhar enjekte etmek yerine, sıcak bitüme soğuk su ekleyerek bitümü köpürtmüştür [48, 67].

BIK üretimindeki ilk denemeler 1995-1999 arasında Almanya ve Norveç’ te yapılmıştır [68]. 1995 yılında Zeolit (Mitteldeutsche Hartstein Industrie) katkısı Almanya’ da geliştirilmiştir. 1996’da ise Shell ve Kolo Veidekke köpürtme tekniğini kullanarak BIK tekniği üzerine Norveç’te çalışmalara başlamıştır. Bitümlü Ilık Karışımların ilk uygulama testlerine 1997’de başlanmış olup, karışıma FT- parafin vaksı (Sasobit) eklenerek uygulamada kullanılmıştır. 1999’ da ise Zeolit (Asphamin ürünleri) bitümlü karışıma eklenerek köpürtme tekniği uygulanmıştır[61].

Bitümlü Ilık Karışım tekniği Harrison ve Christodulaki tarafından 2000 yılında Sidney’deki Birinci Uluslararası Asfalt Kaplama Konferansında sunulmuştur. Daha kapsamlı bir rapor Koenders tarafından 2000 yılında Eurobitume kongresinde verilmiştir [48, 69]. Bitümün köpürtülmesi ile BIK’ nın geliştirilmesinin bu çalışmaların sonucunda olduğu kabul edilmektedir [48, 70].

4.2. Bitümlü Ilık Karışımların Üstün Yönleri

Bitümlü ılık karışımların üstün yönleri; bitümün viskozitesini azaltması, ekonomik ve çevresel faydalar , kaplama faydaları ve üretime yapmış olduğu katkılar olarak ana başlıklar altında incelenebilir.

4.2.1. Viskozitenin Azalması

Bitümlü sıcak karışımlar hazırlanırken, bitümün optimum viskozitesinin karışım için 0.17 ± 0.02 Pa-s, sıkıştırma için 0.28 ± 0.03 Pa-s olması istenmektedir [71]. BIK, BSK’ nın üretimi için gerekli olan sıcaklıktan daha düşük bir sıcaklıkta, bitümün viskozitesini azaltarak agreganın tamamen bitümle kaplanmasını sağlamaktadır [48]. Üretim ve serme sıcaklığı aralığındaki viskozitenin azalması, bitümlü karışımların daha iyi işlenmesine ve sıkıştırılmasına olanak sağlamaktadır [61]. Ayrıca, azalan karışım sıcaklığı, bitümün yaşlanmasını da azaltmaktadır [68]. Viskozitenin azalmasına bağlı olarak, karışımların kaplama sezonunun genişleyebileceği, taşıma mesafelerinin artabileceği ve gerekli silindir sıkıştırmasının azalabileceği de mümkün olabilmektedir [48].

4.2.2. Ekonomik ve Çevresel Faydalar

Dünyada emisyonların artmasına bağlı olarak sera gazı etkisi artmakta ve bu durum çevreyi olumsuz olarak etkilemektedir. Çevresel tedbirleri almak üzere çeşitli anlaşmalar imzalanmaktadır. 1997'de imzalanan Kyoto Protokolü ile emisyonların azaltılarak 1990 yılındaki seviyesine düşürülmesi amaçlanmış, emisyonları düşürebilmek için önlemler almaya başlayan ülkeler, enerji tüketimini azaltmaya başlamışlardır. Çevresel tedbirlerin alınmasına bağlı olarak geliştirilen Bitümlü Ilık Karışımlar düşük sıcaklıklarda hazırlandığı için hem yakıtın azalmasına hem de emisyonların azalmasına katkı sağlamaktadır [48].

Enerji tüketimindeki azalma, BIK' ların en belirgin faydasıdır. Yapılan çalışmalar, yakıt tüketimindeki azalmanın BSK'ya kıyasla %20-35 arasında olduğunu göstermektedir. Enerji tüketimindeki azalma, üretilen karışımın maliyetini düşürürken BIK teknikleri için kullanılan modifikasyon ekipmanları ve kullanılan katkıları karışımın maliyetini artırır. Bu katkıların maliyetinin ne kadar olacağı kullanılan BIK metotlarına bağlıdır. Üretim sıcaklıklarındaki azalmanın bir diğer faydalı yönü ise, karıştırma tesisinin daha az aşınması ve yıpranmasıdır [48, 72, 73].

Çalışmalarda, BIK üretimi sırasında açığa çıkan emisyon gazlarının, BSK üretimi sırasında açığa çıkan emisyon gazlarından önemli derecede az olduğu gözlemlenmiştir [48]. Bu emisyon gazları, hazırlanan karışımların sıcaklıklarıyla bağlantılı olmaktadır. Yapılan çalışmada, 80°C' nin altındaki sıcaklıklarda bitüm emisyonlarının olmadığı, 150°C civarında ise emisyonların yalnızca 1mg/s civarında olduğu gözlemlenmiştir. Önemli ölçümlerin ise 180°C' de kaydedildiği belirtilmektedir [65, 74]. Bu sonuca göre de BIK üretiminde sıcaklığın azalmasıyla, açığa çıkan emisyonlarda ve gazlarda büyük oranda azalma olduğu görülmektedir [65]. Ayrıca sıcaklığın azalmasıyla karışımda ton başına yaklaşık olarak 4.1-5.5 kg CO₂'ye eşdeğer gaz salınımlarında azalma olmaktadır [68].

Tünellerdeki kaplama projelerinde işçiler daha fazla emisyonlara maruz kalabilmektedir. BIK' nın emisyonları azaltması, benzer çalışma alanları için özellikle istenebilir [48]. Düşük sıcaklıkta hazırlanan karışımlar, daha konforlu

çalışmaya olanak sağlayabilir ve bu durum işçilerin daha uzun süreyle çalışmasına yardımcı olabilir [65].

Bitümlü Ilık Karışımların kullanılmasıyla yapılan çalışmalarda elde edilen emisyon azalmaları ve oranları Tablo 4.1' de verilmiştir [65].

Tablo 4.1. Bitümlü Ilık Karışımlardaki Emisyonların Azalması [65].

Açığa Çıkan Gaz	[34, 65, 75, 76]	[61, 65]	[52, 65, 77]	[65, 74]	Evotherm Website
CO ₂	% 30-40	% 30-40	% 31	% 15-40	% 46
SO ₂	% 35	----	---	% 20-35	% 81
CO	% 30-10	---	% 29	% 10-30	% 63
NO _x	% 60-70	---	% 62	% 60-70	% 58
Uçucu Organik Bileşikler	% 50	% 50	---	% 50	% 30
Toz	% 20-25	---	---	% 25-55	---

4.2.3. Kaplama ve Kullanım Faydaları

Bitümlü ılık karışım teknolojileri, sıkışmayı kolaylaştırmaktadır. Karışımlara katılan akışkan geliştirici katkıların, sıkışmaya fayda sağlayarak kolaylaştırdığı bilinmektedir. Bitümlü ılık karışımlarda, düşük sıcaklıklarda bitümün viskozitesi azaldığı için viskozitenin azalması, karıştırma ve sıkışmaya fayda sağlamaktadır. Ayrıca yolun servis ömrü boyunca viskozite arttığı için kaplamaya fayda sağlamaktadır [68].

BSK'nın karıştırma ve serme sıcaklıkları yüksektir. Karıştırma sıcaklığı, sıkıştırma sıcaklığına düştüğü zaman taşıma süresi ve mesafesi de sonlandırılmaktadır. Taşıma mesafesini artırmak için karıştırma sıcaklığının artırılması bitümü olumsuz etkilemektedir. Bitümlü ılık karışımlarda karıştırma ve sıkıştırma sıcaklığı BSK'ya göre daha düşük olmaktadır ve karıştırma sıcaklığı artırılarak taşıma mesafeleri artırılabilir. Karıştırma sıcaklığının artması BSK'nın karıştırma sıcaklığının altında kaldığı için bitüm sıcaklıktan olumsuz etkilenmemektedir [68].

Bitümlü Ilık Karışımların karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarının düşük olması daha soğuk havalarda inşaat yapmaya imkan sağlar. Ortamın sıcaklığı ve karışımın sıcaklığının farkının az olmasından dolayı kaplama sezonu da genişlemektedir. Ayrıca azalan sıcaklık farkı, yol inşasını ve yolun servise açılma zamanını kısaltmaktadır. Bu durum, özellikle havaalanı rehabilitasyonlarında, yüksek trafik kapasiteli şehir caddelerinde önem teşkil etmektedir [65, 75, 76].

4.3. Bitümlü Ilık Karışımların Olumsuz Yönleri

Bitümlü ılık karışımlar, yeni olmalarından dolayı kullanımları üzerine belirsizlikleri mevcuttur. Çünkü karışımlar deneme ve düzenleme aşamasındadır [65, 66, 78, 79]. Bu karışımlar; uygulama alanlarındaki veri eksikliğinden ve karışımların neme karşı hassasiyetinden dolayı uygulamada henüz istenilen seviyede kullanılamamaktadır [65].

4.4. Bitümlü Ilık Karışım Üretim Teknikleri

Bitümlü ılık karışımları üretmek için düşük viskozite gereklidir. Karışımların üretim ve sıkıştırma sıcaklık aralığında viskoziteyi azaltmayı sağlayan farklı ürünler geliştirilmiştir [61]. Tablo 4.2'de Bitümlü Ilık Karışımların üretim teknikleri hakkında bilgi verilmektedir. Bitümlü Ilık Karışımlar; kullanılan teknolojiye göre üç ana başlıkta sınıflandırılmaktadır:

1. Köpürtme teknikleri
 - a) Mineraller kullanılan köpürtme teknikleri
 - b) Enjeksiyon ile köpürtme teknikleri
2. Organik katkıların eklenmesi
 - a) Fischer- Tropsch sentez vaksları
 - b) Yağlı asit amidleri
 - c) Montan Vaks
3. Kimyasal katkıların eklenmesi [61, 65, 66].

Tablo 4.2 Dünyada Kullanılan Bitümlü İlk Karışım Teknikleri [65].

WMA Teknikleri	Ürün Adı	Şirket	Tanımlama	Katkının Miktarı	Teknolojiyi Kullanan Ülkeler	Üretim Sıcak. Azalma (°C)
Köpürtme Teknikleri						
Su içeren	Aspha-Min ®	Eurovia-MHI	Zeolit kullanılan su bazlı teknoloji	Karışımın toplam ağırlığının %0.3' ü kadar	Amerika, Almanya, Fransa, Dünya Çapında	(20-30 °C)
Su içeren	Advera ®	PQ Corporation	Zeolit kullanılan su bazlı teknoloji	Karışımın toplam ağırlığının %0.25'i kadar	Amerika	(10-30 °C)
Su bazlı	Double Barrel Green	Astec	Su bazlı köpürtme teknikleri	Bitüm hacminin %2' si kadar su ve ayrışmaya karşı madde	Amerika	116-135 °C
Su bazlı	Ultrafoam GX	Gencor Industries	Su bazlı köpürtme teknikleri	Bitümün hacminin %1-2' si kadar su	Amerika	Belirtilmemiş
Su bazlı	LT Asphalt	Nynas	Hidrofilik katkı ile köpürtülen bitüm	Bitüm hacminin % 0.5-1' i kadar	Hollanda ve İtalya	90 °C
Su bazlı	WAM Foam	Shell and Kolo- Veidekke	Yumuşak bitümlü kaplamayı sert bitümlü köpürtme takip ediyor	Sert bitümün kütlelerinin %2.5' i kadar su	Dünya Çapında	100-120 °C
Su bazlı	Low Energy Asphalt	LEACO	Sıcak iri agrega ıslak kumla karıştırılıyor	İnce kum ile %3 su	Amerika, Fransa, İspanya, İtalya	<100 °C
Su bazlı	Low Emission Asphalt	McConnaugh-ay Technologies	Sıcak iri agrega ıslak kumla karıştırılıyor ve kimyasallarla kombine ediliyor	İnce kum ile %3 su; bitüm ağırlığının % 0.4' ükadar	Amerika	90 °C
Su bazlı	LEAB	Royal Bam Group	Doğrudan köpürtme ile bitüm katkısı. Suyun kaynama noktası altında agregaların karışımı	Bitümün % 0.1 ağırlığında ve adezyon katkısıyla birlikte	Hollanda	90 °C
<i>Organik</i>						
Fischer-Tropsch Vaks	Sasobit	Sasol	Fischer-Tropsch Vaksları	Bitümün yaklaşık % 2.5' i kadar Almanya'da; %1-1.5' i kadar Amerika'da	Almanyanın yanı sıra farklı 20 ülke	(20-30 °C)
Montan Vaks	Asphaltan B	Romonta GmbH	Rafine Montan vaks ile yağ asit amidi	Bitümün hacimce %2-4' ü kadar	Almanya	(20-30 °C)
Yağ Asidi Amid Vaks	Licomont BS	Clariant	Yağ asit amidi	Bitümün hacimce %3' ü kadar	Almanya	(20-30 °C)
-	3E LT or Ecoflex	Colas	Özel	Belirtilmemiş	Fransa	(30-40 °C)
<i>Kimyasal</i>						
Kimyasal	Evoterm Teknologest	Mead Westvaco	Sulu veya susuz kimyasal paketler	%70 bitüm içeren emülsiyonun hacimce %0.5' i kadar	Amerika, Fransa, Dünya Çapında	85-115 °C
Kimyasal	Cecabase RT	CECA	Kimyasal paket	Karışımın ağırlıkça % 0.2-0.4' ükadar	Amerika, Fransa	(30 °C)
Kimyasal	Rediset	Akzo Nobel	Katyonik sürfaktanlar ve organik katkı	Bitümün ağırlığının % 1.5-2' si kadar	Amerika, Norveç	(30 °C)
Kimyasal	Revix	Mathy-Ergon	Yüzey aktif maddeler, vaksler, işlem yardımcıları, polimerler	Belirtilmemiş	Amerika	(15-25 °C)
Kimyasal	Iterlow T	IterChimica		Bitümün hacimce %0.3-0.5' i kadar	İtalya	120 °C

4.4.1 Köpürtme Tekniği

Bitümlü ılık Karışımların köpürtülerek elde edilmesi iki şekilde yapılmaktadır. Bu yöntemlerden bir tanesi bitüme ilave edilen mineral esaslı katkıların bitümde köpük etkisi yaratması, diğer yöntem ise özel ekipmanlar kullanılarak bitümün köpürtülmesi olmaktadır.

4.4.1.1 Mineraller Kullanılan Köpürtme Tekniği

Mineral katkılı köpürtme tekniklerinde, köpürtmeyi yapabilmek için katkı kullanılmaktadır [65]. Sentetik zeolit, alüminyum slikaatlerin bir birleşimi olup kristalleştiği zaman yaklaşık %20 su içermektedir [34, 35, 81]. 130-150 °C' de ısıtılan agrega ile karıştığı zaman bünyesindeki suyu serbest bırakarak bitümde köpürtme etkisi oluşturmaktadır [61]. Zeolitin serbest bıraktığı su, az miktarda olduğu için kontrollü bir köpürtme etkisi yaratmakta, bitümün hacminin artmasına yol açmakta ve böylece bitümün akışkanlığı artmaktadır. Genellikle karışım ağırlığının % 0.3' ü oranında eklenen zeolit, bitümle aynı zamanda veya bitümden çok kısa süre önce karışıma eklenmektedir. [34, 35, 81].

4.4.1.2 Enjeksiyon İle Köpürtme Teknikleri

Su bazlı teknolojilerde, köpürtme etkisini yaratmak için gerekli olan su, özel püskürtme uçlarıyla sıcak bitüm içine doğrudan enjekte edilmektedir [65]. Double Barrel Gren, Ultrafoam GX, LT Asphalt şirketleri soğuk su kullanarak bitümün köpürtülmesini sağlamaktadırlar. Farklı şirketlerin geliştirdikleri ve uyguladıkları farklı köpürtme teknikleri mevcuttur.

WAM-Foam (Köpük ile bitümlü ılık karışımlar) Norveç' te Shell Global Solutions ile Kolo Veidekke tarafından ortaklaşa geliştirilen patentli bir tekniktir [48]. Norveç' te yaygın olarak kullanılan bu teknikte, bir tane yumuşak, bir tane de sert olmak üzere iki bitüm sınıfı kullanılmaktadır. Yumuşak ve sert bitüm istenilen bitüm sınıfını üretmek için sıralı olarak karıştırılmaktadır. Yumuşak bitüm genellikle 60° C' de 1.5 Pa-s (V1500) viskoziteye sahiptir. Sert bitüm, genellikle 70/100 penetrasyonda, veya yaklaşık olarak PG 58/64-22 sınıfında olmaktadır. Karışımı hazırlamak için agrega,

yaklaşık olarak 130° C' ye kadar ısıtılır ve daha sonra toplam bitümün genellikle %20-30' u oranında yumuşak bitüm ile kaplanmaktadır. Karışıma son olarak eklenen sert bitüm, 180°C' ye kadar ısıtılmakta ve hacminin %2-5' i oranında soğuk su eklenerek karışımın içine köpürtülmektedir [34, 82, 83].

LEA (Düşük Enerjili Asfalt) şirketi, uyguladığı teknikte iri agregayı 150°C' ye kadar ısıtmaktadır. Karışıma bitümün eklenmesinden hemen önce ağırlıkça % 0.5 oranında kaplama ve adezyon katkısı bitüme ilave edilmektedir. Sıcak bitümle ısıtılmış olan agrega karıştırıldıktan sonra, karışıma soğuk suyla ıslatılmış ince agrega eklenmektedir. İnce agreganın yaklaşık olarak % 3 oranında nem içermesi uygun olmaktadır. İnce agregadaki nem, buhara dönüşmekte ve iri agrega üzerinde bitümün köpürmesine neden olmaktadır. Bu teknikle hazırlanan karışımın sıcaklığı 100°C' den az olmaktadır [34].

4.4.2. Organik Katkıların Eklenmesi

Bitüme katkı eklenerek hazırlanan Bitümlü Ilık Karışımlarda, katkı olarak organik vaks kullanılmaktadır. Sıcaklık, vaksların erime sıcaklıklarının üzerine çıktığı zaman, genellikle bitümde viskozite azalması oluşmaktadır [65, 66, 80]. Ancak vaksın erime noktası, servis sıcaklıklarından daha düşükse bu durum kaplamalarda sorunlara yol açabilir. Doğru vaksın seçilmesi, düşük sıcaklıklarda asfaltın gevremesini en az seviyeye indirmektedir [65, 84].

Eklenen vaksın miktarı genellikle toplam hacmin % 2-4' ü kadardır. Karışıma vaksların eklenmesiyle 20-30 °C arasında sıcaklık azalması olmaktadır. Ayrıca, vakslar serilen karışımın deformasyon dayanımını da geliştirmektedir [65, 80]. Viskoziteyi azaltmak için kullanılan vaks tipindeki farklılıklara göre üç teknoloji verilmiştir:

- Fischer-Tropsch Vaks (Sasobit)
- Montan Vaks
- Yağlı Asid Amidi

4.4.3. Kimyasal Katkıların Eklenmesi

Kimyasal katkılar veya surfaktanların kullanımını içeren BIK sistemleri, bitümün viskozitesini azaltmak yerine, düşük karışım sıcaklıklarında bitümün kaplama kapasitesini geliştirmeyi hedeflemektedirler. Bu tekniği kullanan BIK teknolojileri oldukça yeni olup geliştirme çalışmaları devam etmektedir. Soyulmaya karşı kullanılan katkılara benzer şekilde bitüme eklenen kimyasallar, bitüm hacminin % 0.3' ü kadar düşük bir orandadır [68].

Kimyasal katkılar Amerika' da daha sık kullanılmasına rağmen, Fransa ve Norveç gibi Avrupa ülkelerinde de kullanılmaktadır. Sıcaklık azalma aralığı 15-30 °C' den (REVIX®) 50-75 °C 'ye (Evotherm) değişmektedir [65, 85]. Bu BIK ürünleri çok yeni olduğu için üzerinde çalışma yapılması gerekmektedir [65].

4.4.4. Yapılan Çalışmalarda Organik Katkıların (Vaksların) Bitüm ve Bitümlü Karışımların Özellikleri Üzerine Etkileri

Bitümün viskozitesini azaltmak için kullanılan vakslar bitümün reolojisini ve kimyasal yapısını değiştirmektedir. Ancak kullanılan vaksın tipinin ve miktarının doğru belirlenmemesi bitümün yapısını olumsuz olarak da etkileyebilmektedir. Bitüme vaks katkısı ekleyerek bitümün davranışının belirlenmesi için yapılan çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Merusi ve arkadaşları 50/70 Modifiyesiz bitüme, beş farklı vaks katarak bitümün yüksek sıcaklıklardaki özelliklerini belirlemeye çalışmıştır. Yapılan çalışmada bitüme beş farklı tipte (Montan vaks, Montan vaks ile yüksek molekül ağırlıklı hidrokarbonların karışımından elde edilen vakslar, Montan vaks ile yağ asitlerinin türevinin karışımı ve Fischer Tropsch vaks) %3~6 oranlarında vaks eklenmiştir. Vaksların eklenmesiyle; modifiyesiz bitüme göre bitümün penetrasyon değerleri azalmış, yumuşama noktaları ise genel olarak artmakla birlikte, amid vaks modifiyeli bitümde oldukça artmıştır. Çalışmalarında, vaksın fiziksel karakteristiğinin, bitümün davranışı üzerinde önemli bir etken olduğunu belirtmişlerdir [86].

Polacco çalışmasında, 70/110 Modifiyesiz bitüme beş farklı vaks (sentetik hidrokarbonlar içeren Fischer Tropsch vaks, Montan vaks ve amid modifiyeli vaks)

%6 oranında katılarak kalorimetrik, morfolojik ve reolojik analizlerini değerlendirilmiştir. Eklenen tüm vaksların, bitümün kompleks modülünü ile yumuşama noktasını arttırdığını, faz açısı ile penetrasyon değerini azalttığını gözlemlenmiştir [87].

Edwards ve Redelius yaptıkları çalışmada bitümden elde ettikleri iki türdeki vaks ile slak vaksı üç farklı bitüme %0, %1, %3 ve %6 oranlarında katarak vaksın bitüm üzerindeki reolojik özelliklerini belirlemeye çalışmışlardır. Deneylelerden elde ettikleri verilerde, vaksın bitümün reolojisi üzerine etkisini, bitümün kendisine ve kristalleşme yapısına bağlı olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Slak vaks, bitümün kompleks modülünü azaltarak olumsuz etki göstermiştir. Bitümü kristalleştirerek elde ettikleri düşük n-alkan bileşimli vaksların, yüksek sıcaklıklarda bitümün kompleks modülü üzerinde olumsuz etki vermediği belirlenmiştir [88].

Edwards ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, 160/220 penetrasyona sahip üç farklı bitüme Sasobit (Fischer Tropsch Vaks), Montan Vaks, Polietilen Vaks ve Polifosforik asit ekleyerek bu bitümlerin yüksek ve orta sıcaklıktaki davranışlarını incelemişlerdir. Bitümün yüksek sıcaklık davranışı, tekerlek izi oluşumuna karşı gösterdiği direnci etkilemektedir. En yüksek rijitlik etkisini Sasobit katkılı bitümde elde ettikleri çalışmada, Polietilen vaks ve Polifosforik asit katkılarının bitümlerde rijitliğin artmasına önemli ölçüde katkı sağladığı belirtilmiştir. Ayrıca kullanılan katkıların hiçbiri yüksek sıcaklıklarda ani kompleks modülü azalma etkisi göstermediği için tekerlek izine karşı bu karışımların iyi direnç göstereceği belirtilmiştir [44]. Benzer çalışmayı düşük sıcaklıklar için de tamamlamışlardır. Yine 160/220 penetrasyona sahip üç farklı bitüme aynı tip katkılar ekleyerek bitümün düşük sıcaklıklar altındaki performansını incelemişlerdir. Sasobit ve Montan vaks katkısı ile en yüksek kompleks modülünü, içeriğinde %3.8 vaks bulduran modifiye bitümle elde etmişlerdir. Polietilen vaks ve polifosforik asit ekledikleri bitümlerde en düşük rijitliği elde ederken, Sasobit katkısı rijitliği en fazla arttıran katkı olduğunu gözlemlenmişlerdir [41].

Edwards ve arkadaşları çalışmalarında vaks modifiyeli bitümlerin yaşlanma özelliklerini ve vaksın bu özellikler üzerine etkisini incelemişlerdir. Çalışmada üç farklı tipte 160/220 penetrasyolu bitüme; %3 ve% 6 oranlarında Sasobit (FT vaks),

Montan vaks ve polietilen vaks eklenmiştir. Bitümün yaşlandırılmasıyla, kompleks modülünün arttığı, faz açısının da orta sıcaklıklarda azaldığı belirlenmiştir. Yüksek sıcaklıklarda ise polietilen vaks katkılı bitümün kompleks modülünde büyük bir azalma oluşturduğu ve bu azalmanın da yaşlanma ile önemli ölçüde azaldığı gözlemlenmiştir. Bitümün yaşlanma özellikleri üzerine vaks, önemli ölçüde olumlu etki göstermezken, yaşlandırılmış vaks modifiyeli bitümlerin reolojik özelliklerinin değişmesinin, bitümün tipiyle ve vaksın miktarıyla bağlantılı olduğu gözlemlenmiştir [89].

Taşdemir çalışmasında bitüme %3 ve %6 oranlarında eklediği FT- vaks (Sasobit) ve polietilen vaksın 50/70 ve 160/220 penetrasyonlu bitüm üzerindeki yüksek sıcaklıktaki davranışlarını ve %6 vaks katkısı içeren bitümlerle hazırladığı karışımların tekerlek izine karşı direncini incelemiştir. Çalışmasında Dinamik mekanik analiz (DMA) testine göre bitüme eklenen Polietilen vaks, Sasobite göre daha fazla rijirlik etkisi oluştururken, yapılan testlerde Sasobitin bitümde daha fazla rijitlik etkisi oluşturduğu gözlemlenmiştir. Sasobit katkılı bitümün 135°C’ deki kinematik viskozitesi daha düşük elde edilmiştir. Polietilen vaks modifiyeli 160/220 bitümün kompleks modülünün 50/70 katkısız bitüme göre, daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca düşük sıcaklık performansında, katkılı 160/220 bitümün, katkısız 50/70 bitümden daha iyi sonuç verdiği açıklanmıştır. Hazırlanan karışımlarda ise Sasobit modifiyesinin tekerlek izine karşı en iyi direnci gösterdiği belirlenirken, bitüme uyguladığı (DMA) testine göre tekerlek izine karşı daha iyi sonuç veren Polietilen vaksın karışımda istenilen performansı gösteremediği gözlemlenmiştir [90].

Edwards ve arkadaşları çalışmalarında 160/220 bitüm sınıfına sahip üç farklı bitüme FT-vaks ve Polietilen vaks katarak bitümün ve karışımın performansını incelemiştir. Maksimum agrega boyutu 11mm olan gradasyonda ağırlıkça %6.2 oranında bitüm kullanılmıştır. Dinamik Mekanik Analiz sonucuna göre, her iki vaksın orta ve yüksek sıcaklıklar altında bitümde sertleşme etkisi oluşturduğu sonucuna ulaşılmıştır. Kompleks modülü testinde ise %6 oranında eklenen vaksların, kompleks modülü değerini artırdığı ve faz açısını azalttığı belirtilmiştir. Düşük sıcaklık özellikleri, ‘Tensile Stres Restrained Specimen Test’ (TSRST) i kullanılarak

belirlenen çalışmada, numuneler 42 gün süreyle 85°C'lik fırında termal yaşlanmaya mazur bırakılmıştır. Deneyin sonucunda FT parafin vaks katkılı bitümün, TSRST değeri artarken; Polietilen vaksın bu değeri değiştirmedığı tespit edilmiştir. Deney sonuçlarını bitüm tipi ve yaşlanmasının etkilediği sonucuna ulaşılmıştır. FT vaksın, dinamik sünme testinde ise en az gerilmeyi gösterirken, tekerlek izine karşı daha sonuç verdiği belirlenmiştir [91].

Edwards ve arkadaşları bir diğer çalışmalarında dört farklı vaks (FT vaks, Montan vaks, Polietilen vaks ve Slak vaks) ve polifosforik asit katkılarını, içeriğinde vaks bulunmayan 160/220 penetrasyonlu bitüme katarak hazırladıkları karışımların düşük ve orta sıcaklık performansını incelemiştir. Numunelerin fiziksel karakteristikleri belirlenmeye çalışılan deneyde, numuneler -25 °C' de bekletilerek TSRST deneyi uygulanmıştır. Dinamik sünme testi uygulanan karışımlarda ise FT parafin vaks ve Montan vaks katkılı bitümlü karışımların, en az kalıcı deformasyon gösterdiği ve daha iyi tekerlek izi direncine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Polifosforik asit eklenen bitümlü karışımların ise kalıcı deformasyona karşı hassasiyetinin arttığı sonucu elde edilmiştir. Kompleks modülü test sonucunda ise, vaks katkılarının modül değerini arttırdığı, karışımların faz açılarını azalttığı, polifosforik asidin ise en az etkiyi gösterdiği gözlemlenmiştir [92].

Wong ve Li çalışmalarında bitümün yapısında bulunan vaks oranının, bitümün performans sınıfına olan etkisini incelemiştir. 60/70 penetrasyon sınıfına ait yedi farklı bitüm kullanılan çalışmada, dinamik kayma reometresi sonuçlarına göre yapısında %2.2' den az vaks olan bitüm sınıfı PG 70 olurken, %3'den az olan bitümlerin sınıfını PG 64 olarak elde edilmiştir [60].

Lu ve Redelius çalışmalarında, farklı kaynaklardan aldıkları 50/70, 70/100, 160/220 penetrasyona sahip farklı bitümlerle hazırladıkları karışımların performanslarını ve vaksın da karışımlar üzerindeki etkilerini incelemeye çalışmışlardır. 50/70 ve 70/100 bitümlerle hazırlanan karışımların tekerlek izi dirençlerinin, 160/220 bitüme göre daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Yine tekerlek izi deneyinde vaks içeren bitümlü karışımların tekerlek izi derinliğinin, vaks içermeyen bitümlü karışımlara kıyasla çok farklı olmadığı gözlemlenmiştir. Ayrıca karışımın tekerlek izine karşı direncinin ve düşük sıcaklık çatlaklarının belirlenmesinin, vaksın miktarıyla tam olarak

anlaşılacağı sonucuna varılmıştır. Çalışmada, içeriğinde birbirine yakın oranda vaks bulunan farklı kaynaklara ait 160/220 penetrasyonlu bitümlerin, düşük sıcaklık çatlaklarındaki gösterdikleri farklı davranış, bitümün kaynağıyla ilişkilendirilmiştir [50].

Yapılan çalışmalar incelendiğinde bitüme eklenen vaksın bitüm üzerindeki etkisi, bitümün yapısıyla ve bileşenleriyle doğrudan ilişkilidir. Ayrıca eklenen katkıının türü ve miktarı ile bitüm içerisinde kristalleşme yapısı da bitümün yapısını etkilemektedir. Termoplastik yapıya sahip olan bitümün, katkı eklendikten sonraki reolojik özelliklerinin belirlenmesi, hazırlanacak olan karışımın özelliklerinin belirlenmesinde önemli faktör olacaktır.

5. BİTÜMLÜ KARIŞIMLARA NEMİN ETKİSİ

Nem hasarı, bitümlü kaplama tabakalarında oluşan önemli sorunlardan bir tanesidir. Kaplama tabakasında nemin oluşmasından dolayı, bitümlü kaplamanın mekanik özellikleri bozulmaktadır [93, 94]. Kaplamada oluşan nem hasarı (ayrışma), iki durumdan dolayı oluşabilmektedir [95]. Birinci durumda, su asfalt çimentosuyla etkileşime girebilmekte ve bu etkileşim sonucunda bitümlü kaplamadaki kohezyon azalmaktadır. Kohezyonun azalmasıyla bağlantılı olarak karışımın mukavemeti azalmaktadır. İkinci durumda ise su, asfalt film tabakası ve agregaya arasına girerek bitüm ve agregaya arasındaki adeziv bağın kopmasına neden olabilmektedir. Bu durumda da agregaya bitümden ayrılmaktadır. Kaplama tabakalarında nem hasarından dolayı sökülme, oyulma veya çatlama gibi birçok sorun oluşabilmekte ve bu durumlar kaplamaların ömrünü azaltarak, bakım giderlerini de önemli ölçüde artırmaktadır [96]. Şekil 5.1 nemin kaplamaya verdiği zararı göstermektedir.



Şekil 5.1 Nemin Kaplamaya Verdiği Hasar [97].

Nem hasarı, mastik (bitüm ile 74µm ve daha küçük boyuttaki filler) malzeme ile kum-iri agregaya arasındaki bağın azalmasından da oluşabilmektedir. Ayrıca nem hasarı, nemin kaplamaya sızması ve kaplamanın zayıflamasına neden olmakta, bu durumda da kaplama neme karşı daha hassas olmaktadır [98]. Bitümlü kaplamalarda nemden dolayı oluşan sorunlar Tablo 5.1’de belirtilmektedir.

Tablo 5.1 Bitümlü Karışımlara Nemin Etkileri [99, 100].

Agrega	<ul style="list-style-type: none">• Agregasyon Birleşimi	<ul style="list-style-type: none">• Asitliğin derecesi• Yüzey kimyası• Minerallerin tipi• Agregasyonun kaynağı
	<ul style="list-style-type: none">• Fiziksel Karakteristikleri	<ul style="list-style-type: none">• Köşegenliği• Yüzey pürüzlülüğü• Yüzey alanı• Gradasyon• Porozite• Permeabilite
	<ul style="list-style-type: none">• Toz ve kil kaplamaları• Nem bileşeni• Bozulmaya karşı direnci	
Bitüm	<ul style="list-style-type: none">• Kimyasal birleşim• Sertlik• Bitümün kaynağı ve rafine süreci	
Karışım Tasarımı ve İnşaat	<ul style="list-style-type: none">• Hava boşluğunun seviyesi ve kompaksiyon• Permeabilite ve drenaj• Asfalt film kalınlığı	
Çevresel	<ul style="list-style-type: none">• Sıcaklık• Donma çözünme döngüleri• Nem ve kaplamanın yaşı	
Diğer Faktörler	<ul style="list-style-type: none">• Trafik• Ayrışmaya karşı katkıların özellikleri	

5.1. Bitümlü Karışımlarda Ayrışma Hasarları

Bitümlü kaplamalarda nem, kaplamada çeşitli hasarlar oluşturmaktadır. Kaplamada oluşan bu hasarlar; sökölme, yer değiştirme, kendiliğinden emilsiyonlaşma, gözenek basıncı, hidrolik yıkanma, ve Ph kararsızlığı olarak tanımlanmaktadır [98, 101].

5.1.1. Sökölme

Sökölme hasarı; bitümlü karışımdaki asfalt filminde belli bir kırılma olmaksızın suyun ince bir film halinde agrega yüzeyi ile asfalt filmini ayrıştırmasıdır [98, 102]. Sökölme birçok faktörden oluşmaktadır. Bu sorunları önleme yöntemlerinden ilki, agrega ile bitüm arasında iyi bir bağın geliştirilmesidir [102].

Bitümlü kaplamalarda oluşan sökölme hasarı, yüzey enerji teorisi ile açıklanabilmektedir. Elektriksel olarak yüklü yüzeylere, daha çok kaplamadaki agregalar sahiptirler. Bitüm ise yüksek moleküler ağırlıklı hidrokarbonların, küçük parçacıklı heteroatomların (nitrojen, oksijen ve sülfür) ve metallerin (vanadium, nikel ve demir) bir karışımıdır. Bu karışım düşük miktarda polar aktiviteye sahiptir. Kaplamaya etkileyen su ise yüksek polariteye sahiptir. Böylece, agrega-asfalt-su sisteminde, su agrega yüzeylerinden bitümü ayırarak sökölmenin oluşmasına yol açar.

5.1.2. Yer Değiştirme

Bitümlü karışımlarda nemden dolayı oluşan yer değiştirme hasarı, sökölmeden farklıdır; çünkü yer değiştirme, agrega yüzeyi boyunca bitüm filminin kırılarak bitümlü karışımın yer değiştirmesi olarak tanımlanmaktadır. Bitüm filminin kırılmasının veya bu tip bozulmanın kaynağı, agrega yüzeyinin yetersiz kaplanması ile ilgili olmaktadır. Bitüm filmindeki kopmaya agreganın keskin köşeleri veya kenarları neden olabilmektedir. [98].

5.1.3. Kendiliğinden Emilsüyonlaşma

Kendiliğinden emilsüyonlaşma, hazırlanan bitümlü karışımlardaki su damlacıklarının bitümlü karışımlar içinde ters emülsüyona dönüşmesi olarak tanımlanmaktadır [98].

5.1.4. Gözenek Basıncı

Gözenek basıncı, kaplamanın bünyesine giren suyun yol açtığı bir gerilme olarak tanımlanmaktadır. Suyun yol açtığı bu tip gerilmeler, tekrarlı trafik yük uygulamaları altında bitümlü kaplamalarda giderek artan hasarlar oluşturmaktadır. Ayrıca gözenek basıncının oluşturduğu bu gerilmeler, bitümlü kaplamalardaki mikro çatlakların artmasına ya da agrega yüzeyinden bağlayıcı madenin ayrışmasına neden olabilmektedir. Agrega-bağlayıcı arasındaki adesif bağın kırılmasıyla da kaplamada hasarlar oluşmaktadır [98].

5.1.5. Hidrolik Yıkama

Hidrolik yıkama, kaplamanın yüzeyinde oluşmaktadır. Yüzeyde, tekerleklerin hareketinden dolayı ayrışma oluşmakta ve tekerleklerin bu hareketinden dolayı su, kaplama tarafından emilmektedir. Osmoz ve geri çekilme, yıkamanın bir mekanizması olarak düşünülebilir. Osmoz, agrega gözeneklerindeki mevcut tuz ve tuz solüsyonlarından oluşmakta ve bitüm filmi boyunca su emilerek osmotik basıncı meydana getirmektedir. Bununla birlikte bu mekanizmayı tetikleyen başka durumlar da mevcuttur. Örneğin bitüm filminin geçirgen olması, üretim esnasında maruz kalınan olumsuz durumlar ve agreganın tuzlu yapıya sahip olması bu hasarın oluşmasını hızlandıran faktörlerden birkaçıdır [98].

5.1.6. pH Kararsızlığı

Bitüm ve agrega arasındaki adezyonu etkileyen önemli faktörlerden birisi de mevcut suyun pH değeridir. pH değerinin değişmesi kimyasal bağ da etkilemektedir. Normalde 9-10'a kadar olan pH değerleri agreganın asidik yüzeylerinden aminlerin çıkmasına neden olmamakta ve hidrate kireci etkilememektedir. pH değeri 10'dan büyük olan değerlerde, bitümlü karışıma kireç gibi katkı maddesi eklenmezse, bu durum kaplamadaki agregayı ve karışımın bağlanma yapısını olumsuz olarak etkileyebilir ve kaplamaya zarar vermeye başlayabilir [98].

5.2. Bitümlü Karışımların Nem Hasarlarının Tespitindeki Deneyler

Bitüm-agrega karışımında oluşabilecek nem hasarını belirlemek için karışımlar üzerinde uygulanan deneyler iki önemli kategoride sınıflandırılabilir. Bunlar;

- a) Sıkıştırılmamış karışımlar üzerinde yapılan deneyler.
- b) Sıkıştırılmış karışımlar üzerinde yapılan deneyler.

5.2.1. Sıkıştırılmamış Karışımlar Üzerine Yapılan Deneyler

Sıkıştırılmamış karışımlara uygulanan deneyler, farklı oranlarda hazırlanan agreg-a-bitüm karışımlarının adezyon gerilmesi ve ayrışma gibi sonuçlarını karşılaştırmak için uygun bir yöntemdir. Sıkıştırılmamış karışımlar üzerine uygulanan deneylerin olumlu yönü sıkıştırılmış numuneler üzerine uygulanan deneylere göre daha basit ve daha ucuz olmalarıdır. Ayrıca, daha basit ekipmanlar ve deney prosedürlerini içermektedir. Ancak deneyin olumsuz tarafı, hazırlanan karışımlar üzerinde gözenek basıncı etkisinin, trafik hareketlerinin ve karışımın mekanik özelliklerinin belirlenememesidir [103].

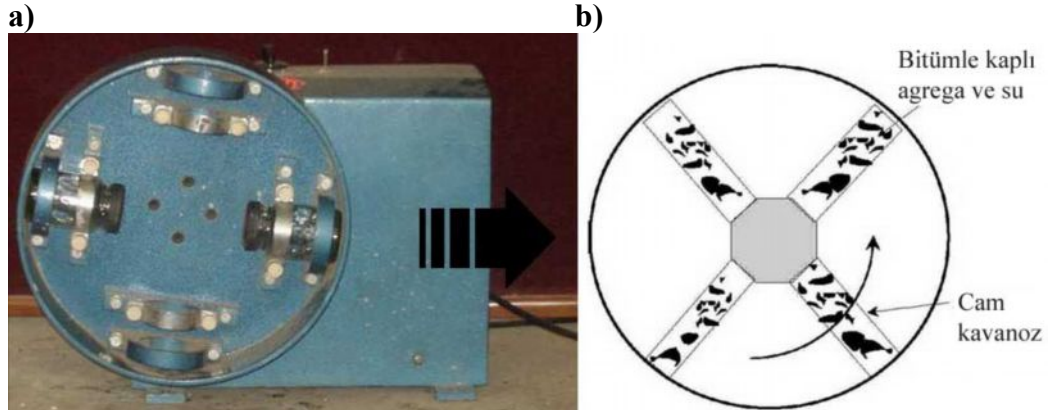
Sıkıştırılmamış gevşek karışımlara uygulanan deneyler; Nicholson soyulma deneyi (statik daldırma deneyi), film soyulma deneyi, dinamik daldırma deneyi, kimyasal daldırma deneyi, net adsorbsiyon deneyi ve yüzey reaksiyon deneyi olarak sayılabilir. [103].

5.2.1.1. Nicholson Soyulma Deneyi (Statik Daldırma Deneyi)

AASHTO T-182 standardı olan bu deneyde, bitüm-agrega karışımı 60 °C'de 2 saat süreyle kür edilir ve oda sıcaklığında soğumaya bırakılır. Cam kavanozlara yerleştirilen numunelerin üzeri 600 ml su ile doldurulur. Kavanozun kapağı kapatıldıktan sonra 25 °C lik su banyosunda, karıştırma işlemi yapılmadan 16-18 saat bekletilir. Ayrışmanın miktarı görsel olarak tahmin edilir. %95 değeri testin limit değeri olup agreganın görünen toplam alanının, ayrışma sonrasında %95' den küçük ya da büyük olmasına bakılır [104].

5.2.1.2. Film Soyulma Deneyi

AASHTO- T182 (Bitüm-agrega karışımlarının sarılma ve ayrışması) testinin modifiye edilmiş bir halidir. Bitüm ile sarılı 60g ağırlığındaki agregaya, 60 °C'lik fırında 15-18 saat arasında bekletilir. Fırından çıkartılan numuneler, oda sıcaklığında bekletildikten sonra 175 ml saf suyla dolu cam kavanoza konulur. Kavanoz, kapağı kapatıldıktan sonra test cihazına yerleştirilir. Film soyulma test cihazı Şekil 6.1 'de gösterilmiştir. Numuneler, 35 devir/dakika hızda dönen test cihazında 15 dakika süreyle bekletilir. Kavanozlar test cihazından çıkartılır ve floresan lamba altında bakılarak, yüzdece ayrışma miktarı tahmin edilir [103].



Şekil 5.2 a) Film Soyulma Deney Aleti, b) Deney Aletinin Şematik Şekli [103, 105].

5.2.1.3. Dinamik Daldırma Deneyi

Dinamik daldırma deneyi, statik daldırma deneyine kıyasla bitümlü karışımların hızlandırılmış ayrışma etkisini belirlemek için kullanılmaktadır. Deney standartlaştırılmamıştır ve yaygın bir kullanım alanı da yoktur. Statik batma deneyindeki gibi karışım hazırlanır; fakat deneyden farklı olarak 4 saat yaşlanmaya maruz bırakılır. Yaşlanma süresi artarken ayrışmanın miktarı da artmaktadır. Oluşan ayrışma miktarı görsel olarak tahmin edilir [103].

5.2.1.4. Kimyasal Daldırma Deneyi

Bu test metodunda; saf suya Sodyum Karbonat eklenerek elde edilen sıvı karışımında, bitümlü karışımlar kaynatılarak bitüm-agrega arasındaki adezyon

belirlenmeye çalışılmaktadır. Hazırlanacak olan sodyum karbonat ve su karışımında, Sodyum karbonatın (Na_2CO_3) artan konsantrasyonu kullanılmaktadır. Sodyum karbonat, artan miktarda suya katılmaktadır. Hazırlanan karışımın konsantrasyonunun derecelendirilmesinde de Riedel ve Weber'in belirlediği 0-9 konsantrasyon aralığı kullanılmaktadır. Bu aralıka 0 değeri saf suya; 1 değeri 0.41g Sodyum Karbonatın 1 lt sudaki çözülmüş haline karşılık gelmektedir. 9 değeri ise karışım konsantrasyonunun en yoğun olduğu değer olan 1 lt sudaki 106 g Sodyum Karbonatın çözülmüş haline karşılık gelmektedir. Bitümlü karışımlar, bu çözeltilerde saf sudan başlayarak 1 dk süreyle kaynatılmaktadır. Her bir kaynatma işleminden sonra ayrışma gözlemlenmekte, eğer ayrışma oluşmamışsa bir üst dereceli konsantrasyon karışımında kaynatılmaktadır. Böylece deney konsantrasyon derecesi 0'dan 9'a kadar uygulanmakta ayrışmanın gözlemlendiği konsantrasyon sınıfında da sonlandırılmaktadır [103].

5.2.1.5. Net Adsorbsiyon Deneyi

Deney iki adımda oluşmaktadır. İlk adımda hazırlanan bitümlü karışım toluen solüsyonuna adsorbe edilir ve bitümün solüsyonda kalan miktarı ölçülür. İkinci adımda da karışıma su ilave edilir ve bitüm, agrega yüzeyinden ayrılır. Solüsyondaki bitüm ile agrega yüzeyindeki bitüm ölçülür. Son durumdaki agreganın yüzeyinde kalan bitüm miktarı net adsorbsiyon olarak adlandırılmaktadır [103].

5.2.1.6. Yüzey Reaksiyon Deneyi

Bu deney metodunda, kalkerli veya silikalı mineraller ile uygun bir reaktif madde reaksiyona girer. Kullanılan reaktif madde genellikle asidik bir maddedir. Bu kimyasal reaksiyon ürününün bir parçası olarak da gaz açığa çıkması sağlanmaktadır. Açığa çıkan bu gaz bir kaba alınır. Deneye bitüm ve agrega karışımı ile devam edilir ve reaksiyondan elde edilen gaz, karışımın üzerine basınçlı olarak püskürtülür. Deney en az 10 defa tekrar edilerek bitüm ve agrega arasında farklı seviyelerdeki ayrışma miktarı belirlenir. Deneyin en faydalı tarafı basit olmasıdır ve tekrar üretilebilir olmasıdır. Olumsuz yanı ise aşırı miktarda korozif ve toksik aside ihtiyaç duyulmasıdır [103].

5.2.2. Sıkıştırılmış Karışımlar Üzerinde Yapılan Testler

Bu deneyler, laboratuvar ortamında sıkıştırılmış numuneler üzerinde yapılmaktadır. Sıkıştırılmış karışımlara yapılan deneylerin en olumlu yönleri; karışımın fiziksel ve kimyasal özelliklerinin, karışım üzerine su/trafik etkisinin ve boşluk basıncı gibi etkenlerin hesaplanabilmesidir. Ancak bu deneylerin olumsuz yönleri, daha ayrıntılı test ekipmanları, daha uzun test süresi ve daha zorlu test şartlarını gerektirmeleridir. Sıkıştırılmış numuneler üzerine uygulanan bu deneyler; Daldırma Batırma deneyi, Modifiye Lottman deneyi, Teksas Donma-Çözünme deneyi, Tunncliffe-Root deneyi, Hamburg Tekerlek İzi deneyi ve Çevresel Koşullandırma Sistemi (ECS) olarak sıralanabilir.

5.2.2.1. Daldırma Batırma Deneyi (ASTM 1075-AASHTO T-165)

Bu deneyin amacı, sıkıştırılmış bitümlü karışımların nemin etkisi altında basınç dayanımındaki azalmasını hesaplamaktır. Deney seti için toplamda 6 adet numune kullanılmaktadır. 3'er grup olarak ikiye ayrılan deney setindeki numunelerin hacim özgül ağırlıklarının birbirine eşit olması gerekmektedir. 1. gruptaki numuneler $25\pm 1^{\circ}\text{C}$ 'deki deney sıcaklığına getirilir. Numuneler; deney sıcaklığında en az 4 saat bekletildikten sonra basınç dayanımı belirlenir. 2. gruptaki numuneler ise 24 saat süresince $60\pm 1^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki su banyosunda bekletilir. Daha sonra $25\pm 1^{\circ}\text{C}$ 'lik su banyosunda 2 saat bekletilerek numunelerin basınç dayanımı belirlenir. Nem etkisi altındaki basınç dayanımının azalması aşağıdaki şekilde belirlenmektedir [106].

$$\text{Basınç dayanımı oranı (\%)} = \frac{S_1}{S_2} \quad (5.1)$$

Burada:

S_1 =Suda bekletilen numunelerin basınç dayanımı (2.Grup)

S_2 = Kuru numunelerin basınç dayanımı (1.Grup)

5.2.2.2. Modifiye Lottman Deneyi (AASHTO T-283)

Bu metot laboratuvar ortamında hazırlanmış olan sıkıştırılmış bitümlü karışımların, hızlandırılmış su koşulları ve suya doygunluk etkisi altında çekme gerilmesindeki

değişimin hesaplanmasını kapsamaktadır. Deneyin sonuçlarıyla, bitümlü karışımların uzun süreli ayrışma hassasiyeti de tahmin edilebilmektedir [107].

5.2.2.2.1. Deney Numunelerinin Hazırlanması

Her bir deney seti için 6 adet numune hazırlanmaktadır. Bu numunelerin 3 tanesi kuru olarak test edilirken, diğer 3 tanesi de şartlandırıldıktan (nem ve suya doygunluk) sonra test edilir. Numuneler genellikle 101.6 mm çapında ve 63.5 mm yüksekliğinde olmaktadır. Eğer mevcut karışımdaki agregaların maksimum dane çapı 25 mm' den büyük olursa numuneler daha büyük çaplarda da üretilebilir [107].

Bitümlü karışımlar hazırlandıktan sonra tavalara yerleştirilir. T-283'e göre derinliği yaklaşık olarak 25mm, yüzey alanı 48400-64500 mm² olan alüminyum tavaların kullanılması önerilmektedir. Kaplara yerleştirilen karışımlar, 2 ± 0.5 saat süresince oda sıcaklığında bekletildikten sonra 60°C' de 16 saat boyunca kür işlemine tabi tutulur. Kürlendirme işleminden sonra etüvde 2 saat boyunca 135 °C' de bekletilir. Kürlendirilen numuneler; T-245, T-247, ASTM D 3387' ye göre sıkıştırılır. Karışım, 7 ± 1 hava boşluğu olacak şekilde sıkıştırılmalıdır. Bu boşluk seviyesi T-245'e göre vuruş sayısı ayarlanarak elde edilebilmektedir. Numuneler 7 ± 1 hava boşluğunda sıkıştırıldıktan sonra oda sıcaklığında 72-96 saat bekletilmelidir. Bu işlem hem şartlandırılacak hem de şartlandırılmayacak olan numuneler için yapılmaktadır [107].

5.2.2.2.2. Şartlandırılacak Deney Numunelerinin Hazırlanması

Sıkıştırma işleminden sonra şartlandırılacak olan deney numuneleri vakum kabına yerleştirilir. Vakum kabına, numunelerin üzerini en az 2.5 cm yüksekliğinde kapatacak şekilde oda sıcaklığındaki saf su eklenir. 5-10 dakika süresince 13-67 kPa basınçla vakum uygulanır. Vakum işlemi bittikten sonra numuneler, 5-10 dakika suda bekletilir ve sudan çıkartıldıktan sonra, numunelerin doygunluk derecesi hesaplanır. Doygunluk derecesi %55-80 arasında olmalıdır. %55' ten daha az doygunluğa sahip numuneler üzerinde tekrar vakum işlemi uygulanır, %80'den daha büyük yoğunluğa sahip numuneler ise hasar gördüğü için bu numunelerle deneye devam edilmez [107].

Donma çözünme döngüsü şartları için vakumla doygun hale getirilmiş olan numuneler, plastik bir filmle sıkıca kapatılır. Üzeri kaplı olan her bir numune, içinde 10ml su olan plastik kaplara konulur. Numuneler, konulduğu plastik kaplar ile 16 saat süresince -18 ± 3 °C’ de dondurulur. Donma işleminin sonunda çözünme işlemi uygulanan numuneler 60 ± 1 °C’lik suda 24 ± 1 saat bekletilir. 24 ± 1 saat 60 °C’deki su banyosundan sonra 25 ± 1 °C’lik suda 2 ± 1 saat süresince bekletilir. Numunelerin şartlandırılması tamamlandıktan sonra test kısmına geçilir [107].

5.2.2.2.3. Deney Numunelerine Dolaylı Çekme Gerilmesi Testinin Uygulanması

Şartlandırılmış ve şartlandırılmamış numuneler 25 ± 1 °C’lik suda 2 ± 1 saat bekletildikten sonra dolaylı çekme gerilmeleri belirlenir. Numuneler, 25 °C’ deki su banyosundan alınıp test makinesindeki iki plaka mesnetin arasına yerleştirilir. Numuneye 50.8 mm/dakika hızla hareket eden test makinesi ile yük uygulanır. Eğer çelik yükleme plakası kullanılırsa, test makinesindeki maksimum basınç gerilmesi kayıt edilir ve dikey çatlaklar oluşuncaya kadar yüklemeye devam edilir [107].

Çelik yükleme plakaları kullanılması halinde çekme gerilmesi aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$S_t = \frac{2000 \times P}{\pi \times t \times D} \quad (5.2)$$

Burada

S_t = Çekme gerilmesi, kPa

P = Maksimum yük, N

t = Numunenin kalınlığı, mm

D = Numunenin çapı, mm

Eğer çelik yükleme levhaları kullanılmazsa, maksimum basınç yüküne ulaşıldığında yükleme sonlandırılır. Maksimum yük kaydedilir, numune test cihazından çıkartıldıktan sonra ezilmenin olduğu yüzey ölçülür. Ezilme ölçüldükten sonra numune tekrar test cihazına konulup dikey çatlaklar oluşuncaya kadar yükleme

yapılır. AASHTO T-283 şartnamesindeki tablo yardımıyla hesap yapılarak çekme gerilmesi hesaplanır [107].

Suyun zararlı etkisine karşı bitümlü karışımlarının dayanımı ise

$$\text{Çekme gerilmesi oranı (TSR)} = \frac{St_1}{St_2} \geq 0.80 \quad (5.3)$$

ile hesaplanır.

Burada;

S_{t1} = Şartlandırılmış numunelerin ortalama dolaylı çekme gerilmesi.

S_{t2} = Şartlandırılmamış numunelerin ortalama dolaylı çekme gerilmesi .

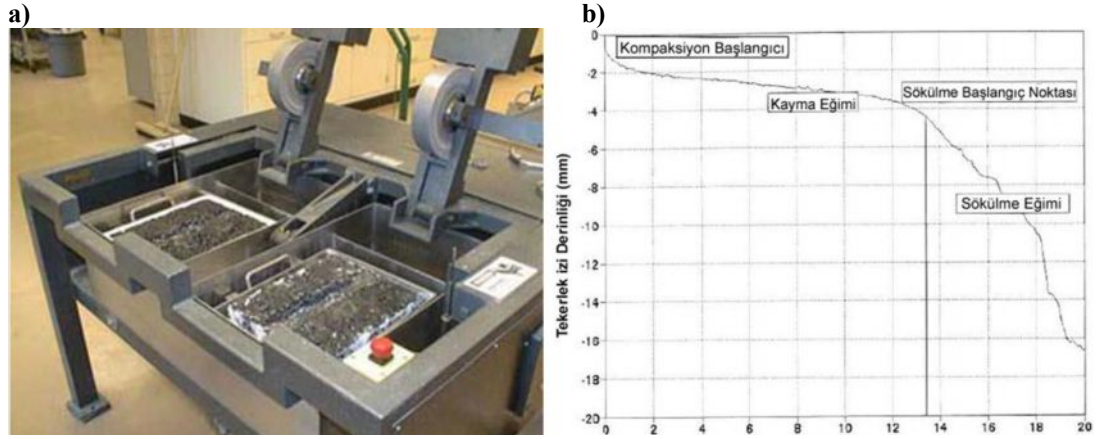
5.2.2.3. Teksas Donma-Çözünme Deneyi

Bu deney metodu, agrega-bitüm karışımlarının, uygulamadaki nem hasarına karşı hassasiyetinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bitümlü karışımlar 41.33 mm çapında ve 19.05 mm yüksekliğindeki silindirik numuneler halinde sıkıştırılır. Karışım 20 no'lu elekten (0.85 mm) geçen ve 35 no'lu elek(0.50 mm) üzerinde kalan üniform boyuttaki ince malzemedan oluşmaktadır. Üniform agreganın kullanılmasındaki amaç, bitüm ile agrega arasındaki bağın etkisi en fazla iken, agreganın bağlanma etkisini en aza indirmektedir. Numuneler sıkıştırıldıktan sonra bir cam kavanoz içindeki eğimli taban üzerine konular, üzeri saf su ile kapatılıp sıcaklığı kontrollü bir odada termal döngüye (15 saat -12 °C ve 9 saat 49 °C [103]) maruz bırakılır. Çatlama oluşuncaya kadar döngü uygulanmaktadır [108].

5.2.2.4. Hamburg Tekerlek İzi Deneyi

Deney 1970'lerde Almanya Hamburg' da geliştirilmiştir. Deney aleti sıcak su içindeki bitümlü karışım numunesinin yüzeyi boyunca temas eden çelik tekerleğin dönmesi ile tekerlek izi ve nem hasarı etkilerinin birlikte oluşturduğu etkileri ölçmektedir. Tekerlek, numune üzerinde ileri ve geri hareket etmektedir. Sıkıştırılmış numuneler üzerinde her bir tekerleğin 20000 defa geçişi veya 20 mm'lik deformasyonu amaçlanmaktadır. Ölçümler düzenli olarak tekerin geçişlerine karşı kaydedilir. Deneyin sonucunda; kompaksiyonun başlangıcı, kayma eğimi, sökölme

eğimi ve sklmenin başlangıcı gibi noktalar elde edilmektedir [103]. Şekil 5.3 'de Hamburg deney aleti ve tipik deney sonuçları görülmektedir.



Şekil 5.3 a) Hamburg Tekerlek İzi Deney Aleti, b) Deney Sonuçlarının Grafiği [140,141].

5.2.2.5. Çevresel Koşullandırma Sistemi (ECS)

Deney sistemi AASHTO TP-34 ‘‘Sıcak Ve Soğuk İklim Şartları Altında Sıkıştırılmış Bitümlü Karışımların Nem Hassasiyetinin Belirlenmesi’’ deney Őartnamesinden tasarlanmıştır. Deneyde; sıkıştırılmış bitümlü sıcak karışımların; sıcaklık, nem Şartları ve dinamik yükleme gibi etkiler altında nem hassasiyetinin belirlenmesi amaçlanmaktadır [103].

Deneyde membran ile kaplanmış numuneler; sıcaklık, tekrarlı yükleme ve nem Şartlandırması döngülerine maruz bırakılmaktadır. Numuneler, bu test kriterlerine göre 102 ± 4 mm çapında ve 102 ± 4 yüksekliğinde; 7.5 ± 0.5 hava boşluğu yüzdesi ile üretilir. Sıkıştırılmamış karışım AASHTO TP4-93 Şartnamesine göre hazırlanır ve karışım kısa süreli yaşlandırılır. Kısa süreli yaşlandırılan numuneler, sperpave yoğurmalı pres ile sıkıştırılır. Sıkıştırılan numuneler, oda sıcaklığında soğumaları için bekletilir ve sonra numunelerin etrafına membran yerleştirilerek silikon bir malzeme ile kaplanır. Kaplanan numuneler kurulumaları için bekletilir [103].

Hava geçirgenlikleri ve kuru esneklik modülleri ECS yükleme çerçevesine yerleştirilerek belirlenir. 68 kPa seviyesinde vakum uygulanarak, numunelerin hava geçirgenlikleri belirlenir. Ayrıca numunelerin su geçirgenlikleri de 68 kPa

seviyesindeki vakumla, 0.9 sn rest periyodunda, 0.1 sn yükleme periyodunda damıtılmış su geçirilerek belirlenir [103].

Doygun hale gelen numuneler 60°C'de 6 saat bekletilirler. 6 saat bekleyen numuneler, 25°C sıcaklıkta en az 2 saat bekletilerek soğutulur. 8 saat sonunda numunelerin şartlandırılmış esneklik modülleri ve su geçirgenlikleri belirlenir. Bu işlem 2 defadan fazla olmak üzere tekrarlanır. Şartlandırılmış numunelerin esneklik modüllerinin şartlandırılmamış numunelere oranı 0.70'in altındaysa numunelerin neme karşı hassas olduğu belirlenir. 0.7'den büyük oranda ise numunelerin neme karşı dirençleri kabul edilir sınırlardadır [103].

Test sürecinin çok uzun ve karmaşık olmasına rağmen en büyük faydası, trafik yüklemesi etkilerinin ve nem hasarına önemli ölçüde neden olan boşluk basıncını etkilerinin belirlenmesini içermesidir [103].

5.3. Nem Hasarı Tespiti İçin Tamamlanan Önceki Çalışmalar

Bitümlü karışımlarla hazırlanan kaplamalarda nemin etkisi kaplamaya zarar vermektedir. Nemden dolayı oluşan hasarları azaltma yolları araştırılmaya devam edilmektedir. Laboratuvar ortamında hazırlanan numuneler neme maruz bırakılmakta ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmektedir. Nem hasarını belirlemek için yapılmış olan çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Airey ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada farklı agregalar (asidik ve bazik agregalar), filler malzeme, farklı karışım tipleri ve farklı hacimsel oranları içeren çeşitli bitümlü karışımlar hazırlayarak bu karışımların neme karşı performanslarını değerlendirmişlerdir. Çalışmalarında yaşlanma ile nem şartlandırmasının birlikte kullanıldığı Donma-Yaşlanma Çekme Mukavemeti (SATS) deney düzeneğini kullanmışlardır. Deneyin sonucunda, her iki agregalar türünde de maksimum dane boyutu 14 mm gradasyona sahip olan karışımın, maksimum dane boyutu 28 mm gradasyona sahip olan karışımdan daha iyi performans gösterdiğini tespit etmişlerdir. Asidik agregalar kullanılarak elde ettikleri bitümlü karışımın nem hasarına karşı direncinde fillerin etkisi olduğunu, %2'lik fillerin iki farklı agregalar gradasyonunu da da önemli derecede etkilediğini gözlemlemişlerdir [111].

Kök ve Yılmaz yaptıkları çalışmada; polimer esaslı katkı olan SBS ile modifiye bitüm hazırlamışlardır. Modifiye bitüm ve kireçten elde edilen mineral filler kullanarak ASTM D-4867 deney şartnamesine göre hazırladıkları bitümlü sıcak karışımın, neme karşı olan direncini değerlendirmişlerdir. SBS katkılı bitümde Marshall stabilitesinin, hem şartlandırılmış hem de şartlandırılmamış numunelerde arttığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca donma-çözünme döngüleri sonunda kireç esaslı fillerin, çekme gerilmesi değerini önemli ölçüde arttırdığını da saptamışlardır. Çalışmalarının sonucunda kireç ve SBS kullanarak ürettikleri bitümlü sıcak karışımın iyi bir uyum ve nem hasarına karşı önemli bir direnç gösterdiğini ortaya koymuşlardır [112].

Şengöz ve Ağar bitümlü sıcak karışımlar üzerinde yaptıkları çalışmada, farklı kalınlıklardaki asfalt filminin nem hassasiyeti üzerine etkisini AASHTO T-283 deney şartnamesi ile belirlemeye çalışmışlardır. Çalışmada nem hassasiyetine karşı en iyi direnç gösteren optimum asfalt film kalınlığını, 9.5-10.5 µm olarak belirlemişlerdir. Asfalt film tabakasının artmasıyla çekme gerilmesi değerlerindeki artışı gözlemledikleri çalışmalarında, bu artışa bağlı olarak asfalt film kalınlığının artmasıyla suyun zararlı etkisinin azaldığını belirtmişlerdir [99].

Jahromi iki farklı bitüm (AC10-AC20) ile üç farklı tipte agregası (nehir çakılı, kireç ve kırılmış granit) kullanarak farklı karışımlar (filler olarak kirecin kullanıldığı ve kullanılmadığı karışımlar) hazırlamıştır. Karışımları belli sıcaklık ve nem etkisi altında şartlandırmıştır. AC-20 bitümü ile hazırlanan karışımlar, AC-10 bitümü ile hazırlanan karışımlardan neme daha fazla direnç göstermiştir. Kırılmış granit ile hazırlanan karışımlarda en iyi şartlandırılmış/şartlandırılmamış dinamik modülü oranını elde etmiştir. Agregası olarak granit kullanılan karışımlarda da en yüksek yüzey serbest enerjisi değerleri elde etmiştir. Filler olarak sönmüş kireç kullanılan karışımlar, filler olarak kireç kullanmayan karışımlara kıyasla daha yüksek şartlandırılmış/şartlandırılmamış dinamik modül değerlerini vermiştir [113].

Chen ve Huang çalışmalarında basit performans testi ve Süperpave dolaylı çekme testi kullanarak hazırladıkları bitümlü sıcak karışımların, nem dayanımlarını belirlemişlerdir. Aynı gradasyonda, farklı köşelilikte (%100, %50, %0) kullandıkları iri agregası ile amin esaslı ayrışmaya karşı katkı ekledikleri ve katkı kullanmadıkları

PG 64-22 sınıfındaki bitüm kullanarak sıcak karışımlar hazırlamışlardır. Karışımlar üzerinde (1 ve 2 defa donma çözünme döngüsü ile 500 ve 1000 defa boşluk basıncı döngüsü olmak üzere) dört farklı test uygulanmıştır. Döngü sayılarının artmasıyla karışımların nem direncinin azaldığını, amin esaslı katkıının da karışımların neme olan hassasiyetlerini önemli ölçüde azalttığını belirtmişlerdir. Ayrıca iri agreganın köşeliliğinin nem hassasiyetini fazla etkilemediğini de ortaya koymuşlardır [114].

Merusi ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmalarında 50/70 penetrasyonlu bitüme %6 oranında iki türde sentetik vaks (parafin yapıdaki vaks ile poliamid benzeri yapıdaki vaks) ekleyerek modifiye bitüm elde etmişlerdir. Bu modifiye bitümlerle, üç tip agrega (kalker ve silika karışımı agrega, saf kireçtaşı ve porfir mermer) kullanarak hazırlanan bitümlü ılık karışımların neme karşı hassasiyeti belirlenmeye çalışılmıştır. Poliamid modifiyeli bitüm ile hazırlanan karışımların neme karşı en yüksek dayanımı gösterdiğini gözlemlemişlerdir [115].

Mokhtari ve arkadaşları taş mastik asfalt (SMA) karışımına Fischer Tropsch vaks ve düzenleyici katkıları (SBS, selüloz fiber ve mineral fiber) ekleyerek hazırladıkları karışımların neme karşı hassasiyetini belirlemeye çalışmışlardır. FT vaks ile modifiye edilen SMA karışımlarının neme karşı dirençlerinde yeterli sonuç alınamamasına rağmen, kullanılan katkıların bitümün temel özelliklerine olumlu katkı sağladığı belirtilmiştir. En iyi sonucun %4 vaks kullanılan bitümde elde edildiği gözlemlenmiştir. Selüloz fiber katkılı karışımların, mineral fiber katkılı karışımlara göre daha iyi çekme gerilmesine sahip olurken, sonucun yine de istenilen seviyede olmadığını belirtmişlerdir [116].

Caro ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, PG 64-22 katkısız bitüm ve karışımın ağırlıkça %0.5'i kadar Asphamin[®]; bitümün ağırlıkça %0.5'i kadar Evotherm[®], %3'ü kadar Sasobit[®] ekledikleri katkılarıyla hazırladıkları karışımların nem hassasiyetini belirlemeye çalışmışlardır. Viskoelastik kırılma modeli ve yüzey serbest enerjisi analizlerini yaptıkları karışımlarda numunelerin çatlak ömrü azalmasında, en az direnç gösterenden en çok direnç gösterene doğru sırasıyla Asphamin[®], Sasobit[®], katkısız BSK ve Evotherm[®] şeklinde gözlemlemişlerdir.

Neme karşı en hassas olan karışımın Asphamin® katkılı karışım, en dirençli olan karışımın Evotherm® ile hazırlanan karışım olduğunu; Sasobitle hazırlanan karışımların ise katkısız karışımlara göre neme daha hassas olduğunu belirtmişlerdir.[117].

Shu ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmalarında köpürtme tekniği ile tesiste üretilen bitümlü ılık karışımlara geri dönüştürülen asfalt (RAP) katarak hazırladıkları karışımlar ile laboratuvar ortamında hazırladıkları bitümlü sıcak karışımların neme karşı hassasiyetlerini belirlemiş ve karşılaştırmışlardır. %0'dan %50 ye kadar artan oranlarda geri dönüşüm asfalt (RAP) katarak hazırladıkları karışımlarda, RAP oranının artmasıyla hem sıcak hem de ılık karışımların nem direncinin arttığını belirtmişlerdir. AASTHTO T-283 deney prosedürü ve MIST cihazı ile uyguladıkları nem şartlandırması metotlarının, karışımlar üzerinde farklı etkiler oluşturduğunu gözlemlemiştir. [118].

Kim ve arkadaşları çalışmalarında bitümlü ılık karışım ve bitümlü sıcak karışımların hem uygulamadaki hem de laboratuvar ortamındaki sonuçlarını değerlendirmişlerdir. Üç farklı tipte agrega kullanarak hazırladıkları karışımların, ağırlıkça %0.25'i kadar sentetik zeolit esaslı katkı ve %5'i kadar kimyasal emülsiyon olan likit katkı kullanarak BIK karışımını hazırlamışlardır. Hem 135°C' de hazırladıkları BIK, hem de 165°C'de hazırladıkları BSK karışımlarının, uygulamadaki özelliklerini ve laboratuvar ortamında da suya karşı hassasiyetini belirlemişlerdir. Uygulama için hazırladıkları karışımları Nebraska'daki bir otoyol (17.7km uzunluğunda) inşasında, 76 mm kalınlığında uygulamış ve 3 sene süreyle yıllık olarak kaplamanın özelliklerini takip etmişlerdir. Laboratuvar ortamında superpave ile hazırladıkları numuneler üzerinde, asfalt kaplama analizi testi (APA), AASTHTO T-283 ve nonlineer elastik kırılmaya dayalı yeni bir nem şartlandırması testi olan semi-circular bend (SCB) testlerini uygulamışlardır. Nem hassasiyeti testlerinden, APA testi BIK ve BSK arasındaki farklılığı iyi ortaya koyamamasına rağmen; T-283 ve SCB, BIK ve BSK ile hazırladıkları karışımlarda testlerin aradaki farkı daha iyi ortaya koyduğunu belirtmişlerdir. Laboratuvar ortamında hazırladıkları karışımlara uyguladıkları testler, BIK karışımlarının BSK'ya göre neme daha fazla hassas olduğunu ortaya koymuştur. Uygulamadaki BIK ve BSK'nın uygulandığı kaplamada 3 yıllık sürede elde ettikleri

datalardan iyi sonuçlar almışlardır. Çatlama ve diğer kusurları gözlemedikleri uygulama çalışmasında, BIK ve BSK'da aynı seviyede tekerlek izi oluştuğunu gözlemişlerdir. Uygulamada BSK ve BIK aynı özellikleri göstermesine rağmen, laboratuvar ortamındaki testlerde BIK'nın nem hassasiyeti BSK'ya göre daha yüksek çıkmıştır. Uygulamada elde ettikleri sonuç ile laboratuvar ortamında elde ettikleri sonuçların farklı çıkmasını da uygulamadaki tekerlek izi etkisi veya herhangi bir etki ile kaplamada çatlama oluşmadığı için nem hasarının kaplamayı olumsuz etkilemediği şeklinde açıklamışlardır [119].

Sampath yapmış olduğu çalışmasında, PG 70-34 sınıfındaki bitüme, bitümün ağırlıkça %1.5'i oranında Sasobit[®], %0.5'i oranında Evotherm J1 ve %2'si oranında da Rediset[™] ekleyerek hazırladığı bitümlü ılık karışımların neme karşı hassasiyetlerini belirlemiştir. AASHTO T- 283 testini uyguladığı karışımlarda kuru numunelerin şartlandırılmış numunelere olan dolaylı çekme gerilmesi oranı sonucunda, neme karşı en az hassas olan karışımların Sasobit katkılı karışım olduğu sonucunu elde etmiştir. Sasobiti, Rediset ve Evotherm katkılı karışımlar izlerken neme karşı en dirençli olan karışımın katkısız karışım olduğunu gözlemlemiştir [120].

Ru ve Redelius çalışmalarında farklı kaynaklara ait 50/70, 70/100, 160/220 penetrasyonlu bitümleri kullanarak DSC testi ile bitümlerdeki vaks miktarlarını belirlemiş ve dolaylı çekme gerilmesi oranı testi ile hazırladıkları karışımların neme karşı hassasiyetlerini belirlemeye çalışmışlardır. İki farklı tipte agrega kullanarak hazırladıkları karışımlarda agrega tipinin, karışımların neme karşı hassasiyetlerini etkilediğini belirtmişlerdir. DSC ile belirlediği, içeriğinde %2.3'den % 6.2' ye kadar farklı oranlarda vaksa sahip olan bitümler ile hazırladıkları karışımların dolaylı çekme gerilmelerini belirlemiş ve bu değerlerin vaksın oranı ile çok fazla değişmediği sonucuna ulaşmışlardır [50].

Yapılan çalışmalar incelendiği zaman, bitümlü karışımların neme karşı olan hassasiyetlerinde, karışımda kullanılan agreganın tipi, gradasyonu, maksimum dane boyutu; kullanılan filler malzemesinin ağırlıkça oranı ve türü; seçilen bitümün tipi; ayrışmaya karşı olan katkıların türü ve miktarı; bitümlü ılık karışım elde etmek için bitüme eklenen ılık karışım katkılarının tipi ve ağırlıkça oranı yüzdeleri; kullanılan

test cihazları ve şartnameleri gibi parametreler etkili olmaktadır. Bu çalışmanın deneysel aşamasında da bitüme 3 farklı türdeki katkı (FT Parafin vaks, montan vaks ve polietilen vaks) ilave edilerek elde edilen bitümlü ılık karışımların neme karşı olan hassasiyetleri AASHTO T-283 (Modifiye Lottman) deneyi ile incelenmiştir.

6. DENEYSEL ÇALIŞMA

Tez çalışmasının deney aşamasında, bitüme vaks eklenerek modifiye bitüm elde edilmiştir. Modifiye bitümler kullanılarak hazırlanan bitümlü ılık karışımların, Marshall stabilite, akma değerleri ve soyulma ile neme karşı hassasiyetleri belirlenmeye çalışılmıştır.

Bu tez kapsamında bağlayıcı olarak 50/70 penetrasyonlu bitüm ve bu bitüme %6 oranında Sasobit (Fischer Tropsch vaks), Polietilen vaks ve Montan vaks katılarak hazırlanan modifiye bitümler kullanılmıştır. Montan vaks olan Asphaltan B katkısı ile Fischer Tropsch vaks olan Sasobit katkısı bitümün viskozitesini azaltarak BIK hazırlamak için kullanılmaktadır. Polietilen vaks katkısı ise bitümün akıcılığını artırmak için ya da modifiye etmek için kullanılmamaktadır. Ancak yapılan çalışmalarda Polietilen vaks, bitümün faz açısını düşürüp kompleks modülü değerini artırdığı gözlemlendiği için bitüme katılarak karışımlar hazırlanmıştır. Hazırlanan karışımlarda, agrega olarak da kırılmış bazalt kullanılmıştır.

Karışımların Marshall stabilite ve akma değerleri 50 ve 75 darbe vurularak hazırlanmış olan numunelerle belirlenmiştir. Her iki darbe sayısı için de 12'şer adet numune üretilmiştir. Karışımların neme karşı hassasiyeti AASHTO T283 (Modifiye Lottman) deneyi ile belirlenmiştir. Neme karşı hassasiyeti belirlenecek olan karışımların her biri için 3 tanesi şartlandırılmış, 3 tanesi de şartlandırılmamış olmak üzere 6 adet numune üretilmiştir. Toplamda 24 adet deney numunesi üretilmiştir. Ayrıca sıkıştırılmamış karışımlar üzerinde Nicholson soyulma deneyi (statik daldırma deneyi) yapılarak bitümün agregadan soyulması belirlenmiştir.

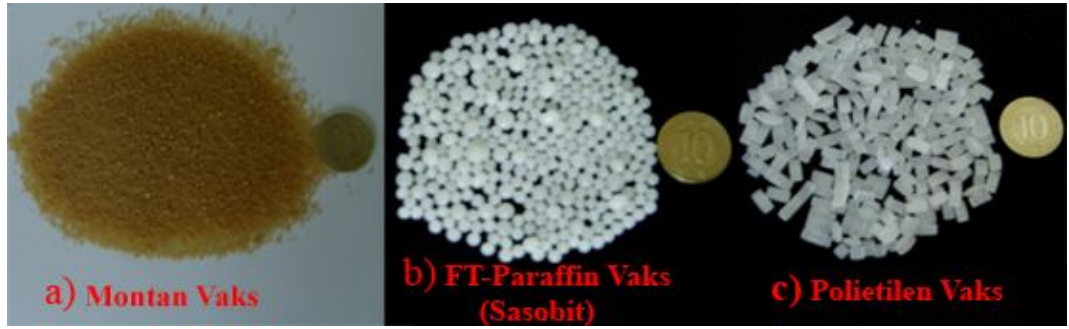
Marshall deneyi için hazırlanan katkısız numuneler LP, sasobit katkılı numuneler S, montan vaks katkılı numuneler MW, ve polietilen vaks katkılı numuneler PW şeklinde adlandırılmıştır. Neme karşı hassasiyeti belirlemek için hazırlanan katkısız numuneler LP_{NEM} , sasobit katkılı numuneler S_{NEM} , montan vaks katkılı numuneler MW_{NEM} , ve polietilen vaks katkılı numuneler PW_{NEM} şeklinde adlandırılmıştır.

6.1. Bitüm ve Bitüme Uygulanan Deneyler

Bitümlü ılık karışım elde etmek için 50/70 penetrasyona sahip bitüme üç farklı tipte katkı katılarak modifiye bitüm hazırlanmıştır. Bu katkılar, montan vaks, polietilen vaks ve FT-parafin (sasobit) vakstır. Bitümler üzerinde penetrasyon deneyi, yumuşama noktası deneyi ve dönel viskozimetre deneyi uygulanarak bitümlerin temel özellikleri belirlenmiştir.

6.1.1. Modifiye Bitümlerin Elde Edilmesi

Katkısız bitümlere, ağırlıkça %6 oranında katkılar eklenmiştir. Bitümler ilk olarak 155°C sıcaklıktaki etüvde 3 saat bekletilmiştir. İlave edilecek katkı, etüvde ısıtılmış olan bitüme eklenip spatula ile karıştırıldıktan sonra tekrar etüve konulmuştur. Yarım saat etüvde bekletilen katkılı bitümler, etüvden çıkartıldıktan sonra 90 sn süreyle sarsma cihazında sarsılarak katkının bitüm içinde homojen olarak dağılması sağlanmıştır. Sarsma işleminden sonra modifiye bitümler oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Bu işlem, kullanılacak olan üç farklı katkı için de katkısız bitüm için de tekrarlanmıştır. Bitümün modifiyesi için kullanılan katkılar Şekil 6.1’de gösterilmiştir.



Şekil 6.1 Bitümlü ılık Karışım Elde Etmek İçin Kullanılan Katkılar; a) Montan Vaks, b) FT-Paraffin Vaks, c) Polietilen Vaks.

6.1.2. Dönel Viskozimetre Deney Sonucu

Deneyin sonucunda bitümün viskozitesi belirlenerek, hazırlanacak karışımların karıştırma-sıkıştırma sıcaklık aralığı tespit edilmiştir. Bu deney, İsveç Royal Kraliyet

Teknoloji Enstitüsü' nde yapılmış olup bitümlerin 135 ve 165 °C' deki viskoziteleri belirlenmiştir. Tablo 6.1' de bitümlerin viskozite değerleri gösterilmiştir.

Tablo 6.1 Bitümlerin Dönel Viskozimetre Test Sonuçları.

Bitüm	135°C Sıcaklık			165°C Sıcaklık		
	Test 1 (Pa-s)	Test 2 (Pa-s)	Ortalama (Pa-s)	Test 1 (Pa-s)	Test 2 (Pa-s)	Ortalama (Pa-s)
LP	0.460	0.468	0.464	0.128	0.129	0.128
+%6-S	0.293	0.300	0.296	0.088	0.090	0.089
+%6-PW	0.516	0.518	0.516	0.150	0.149	0.149
+%6-MW	0.278	0.278	0.278	0.087	0.089	0.088

Montan vaks ve sasobit katkıları bitümün viskozitesini azaltırken, polietilen vaks katkısının viskoziteyi artırdığı gözlemlenmiştir. Hazırlanacak olan karışımların, karıştırma ve sıkıştırma sıcaklık aralığı, dönel viskozimetre test sonucuna göre belirlenmiş ve Tablo 6.2' de verilmiştir.

Tablo 6.2 Karışımların Karıştırma Sıkıştırma Sıcaklıkları.

Bitüm	Karıştırma Sıcaklık Aralığı (°C)	Sıkıştırma Sıcaklık Aralığı (°C)
LP	159.2~165.2	146.0~151.5
+%6 S	147.8~155.0	134.0~139.8
+%6 MW	146.2~153.2	131.5~138.0
+%6 PW	163.0~169.8	149.5~155.2

Montan vaks ve sasobit katkıları, hazırlanacak olan karışımların, karıştırma-sıkıştırma sıcaklıklarını katkısız bitüme göre azaltırken; polietilen vaks katkısı karıştırma-sıkıştırma sıcaklıklarını arttırmıştır.

6.1.3. Penetrasyon ve Yumuşama Noktası Deneyleri

50/70 katkısız bitüm ve katkılı bitümler üzerine penetrasyon ve yumuşama noktası deneyleri uygulanarak, bitümlerin penetrasyonu ve yumuşama noktası belirlenmiştir. Deneyin sonuçları Tablo 6.3' de görülmektedir.

Tablo 6.3 Penetrasyon ve Yumuşama Noktası Deney Sonuçları.

Bitüm	Penetrasyon (mm)	Yumuşama Noktası (°C)
LP	60	49
LP-%6 S	29	92
LP-%6 MW	42	86
LP-%6 PW	109	52

Deneylerin sonucunda montan vaks ve sasobit katkısı, bitümün penetrasyon değerini azaltırken, polietilen vaks katkısının bitümün penetrasyon değerini arttırdığı; tüm katkıların ise bitümün yumuşama noktasını arttırdığı gözlemlenmiştir.

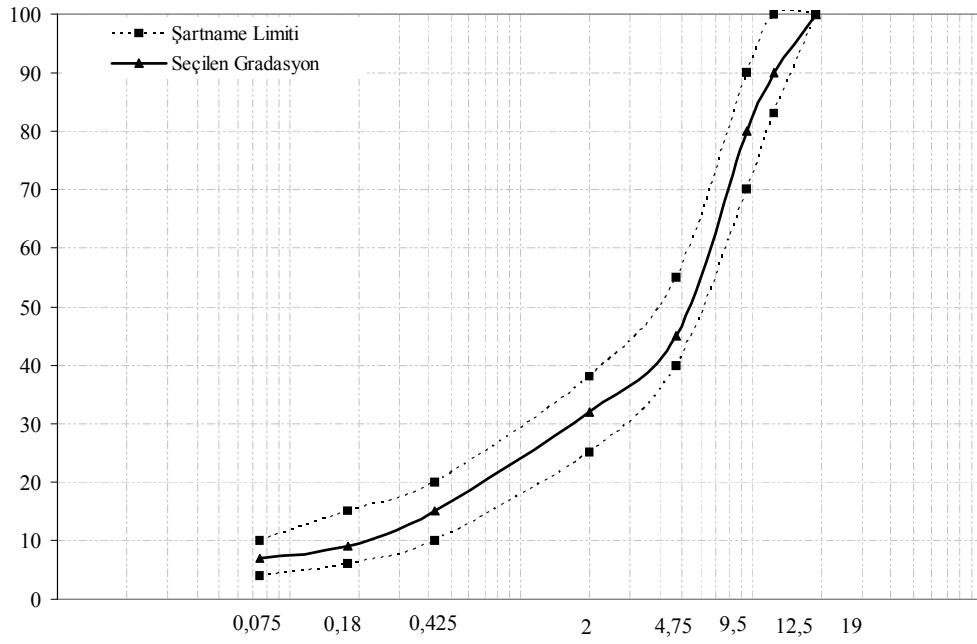
6.2. Agreganın Tipi Ve Özellikleri

Kaplama malzemesi olarak kullanılacak agreganın belirli şartları sağlaması gerekmektedir. Kırılmış bazalt agreganın kullanıldığı deneyde agreganın fiziksel özellikleri Tablo 6.4’ de verilmiştir.

Tablo 6.4 Deneyde Kullanılacak Agreganın Özellikleri.

Deney Adı	Deney	Şartname
Aşınma kaybı (%) (Los Angeles)	25	Mak. % 30
Donma kaybı (%) (Sodyum Sülfat ile)	0.00	Mak. % 10
Donma kaybı (%) (Magnezyum Sülfat ile)	0.20	-
Agrega hacim özgül ağırlığı (g/cm ³)	2.673	-

Deneylerde Karayolu şartnamesine göre Aşınma Tabakası Tip-1 gradasyon sınırları kullanılmış olup, agreganın gradasyon grafiği Şekil 6.2’de verilmiştir.



Şekil 6.2 Seçilen Agraga Gradasyonu ve Şartname Limiti.

6.3. Marshall Deneyi için Karışımların Hazırlanması

Marshall stabilitesi ve akma değerleri belirlenecek olan numuneler 50'şer ve 75'er darbe ile üretilmiştir. Deneyde kullanılacak Marshall deneyinin şartname değerleri Tablo 6.5'de verilmiştir.

Tablo 6.5 Marshall Deneyi Tasarım Özellikleri.

ÖZELLİKLER	AŞINMA [121]		AŞINMA [122, 123] (Hafif ve orta trafikli yollar)	
	Min	Maks.	Min.	Maks.
Briket Yapımında Uygulanacak Darbe Sayısı	75		50	
Marshall Stabilitesi, kg	900	-	750	-
Boşluk, %	3	5	3	5
Asfaltla Dolu Boşluk, %	65	75	75	85
Akma, mm	2	4	2.5	4.6
Filler/Bitüm oranı	-	1.5	-	-
Bitüm (Ağırlıkça 100'e)	4.0	7.0	4.0	7.0

Marshall deneyi için toplam ağırlığı 1200 g olacak şekilde karışımlar hazırlanmıştır. Karışımların ağırlıkça %5.2' si kadar bitüm kullanılmıştır. Agregalar ise elek tiplerine göre ağırlıkları belirlenerek karışıma hazır hale getirilmiştir. Her bir bitüm için 3 tane olmak üzere toplam 12 adet deney numunesi hazırlanmıştır.

Agregalar, hazırlanacak karışımın karıştırma sıcaklıklarının 10-15°C üstündeki etüv sıcaklığında 5 saat bekletilmiştir. Bitümler ise 155 °C'de 3 saat bekletilerek karışıma hazır hale getirilmiştir. Asfalt mikseri karıştırma sıcaklık aralığına getirilerek karışımlar hazırlanmıştır.

Karışımlar hazırlanırken agreganın bitümle tamamen kaplanmasına dikkat edilmiştir. Hazırlanan karışımlar, bitümün kısa süreli yaşlanmasını göz önünde tutmak için sıkıştırma sıcaklık aralığında 2 saat etüvde kür olması için bekletilmiştir. Karışımlar, kür işlemi tamamlandıktan sonra, etüvde sıkıştırma sıcaklığında ısıtılmış olan Marshall kalıplarına dökülmüştür. Her bir yüzeye 50'şer darbe vurularak sıkıştırma işlemi tamamlanmıştır. Bu işlemlerin aynısı 75 darbe ile üretilecek Marshall numuneleri için de tekrarlanmış ve numuneler 75 adet darbe ile sıkıştırılmıştır. Sıkıştırılan numuneler kriko yardımı ile kalıplardan çıkartılarak oda sıcaklığında 24 saat beklemeye bırakılmıştır.

6.3.1. Sıkıştırılmış Bitümlü Karışımların Hacim Özgül Ağırlığı Hesapları (AASHTO T 166)

Bu deney metodu, sıkıştırılmış bitümlü karışım numunelerinin hacim özgül ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılmaktadır [124]. Sıkıştırılan Marshall numunelerinin hacim özgül ağırlık hesabı, AASHTO T-166' ya göre yapılmıştır. Oda sıcaklığında 24 saat bekletilen numunelerin ilk olarak kuru ağırlıkları tartılarak belirlenmiştir. Daha sonra her bir numune 25 ± 1 °C suda 4 ± 1 dakika bekletilerek sudaki ağırlıkları belirlenmiştir. Sudan çıkartılan numuneler hızlıca kurulandıktan sonra tekrar tartılarak yüzey kuru ağırlığı belirlenmiştir [124]. Bu işlem her bir numune için tekrarlanmış ve hacim özgül ağırlıkları aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

$$\text{Hacim özgül ağırlık} = \frac{A}{C-B} \quad (6.1)$$

Burada;

- A : Numunelerin kuru ağırlığı
- B : Numunelerin sudaki ağırlığı
- C : Numunelerin yüzey kuru ağırlığı [84]

6.3.2. Marshall Numunelerinin Maksimum Teorik Özgül Ağırlık Hesaplamaları

Bu deney metodu, sıkıştırılmamış bitümlü karışımların yoğunluklarının belirlenmesini (G_{mm}) kapsamaktadır. Deney, sıkıştırılmış bitümlü karışımların hava boşluğu yüzdelerinin hesaplanmasında kullanılmaktadır [125].

Deney için hazırlanan karışımlar sıkıştırılmadan soğumaya bırakılmış ve bu sırada agregalar ufalanarak birbirinden ayrılmıştır. Şekil 6.3' de deney için hazırlanmış karışım görülmektedir. Deneyde ilk olarak $25 \pm 4^\circ\text{C}$ sıcaklıktaki saf su, beherdeki tespit çizgisine kadar eklenmiştir. 15 ± 2 dakika süresince vakum uygulanarak suyun içindeki hava boşaltılmış ve boşalan havanın yerine tespit çizgisine kadar su eklenerek beherdeki havası alınmış suyun ağırlığı belirlenmiştir. Beherdeki su boşaltıldıktan sonra boş beher tartılarak darası sıfırlanmış ve içerisine karışım eklenerek karışımın kuru ağırlığı belirlenmiştir.



Şekil 6.3 Maksimum Teorik Özgül Ağırlık Hesabında Kullanılan Bitümlü Karışım.

Beherin içindeki bitümlü karışıma, havası alınmış olan su, tespit çizgisine kadar doldurularak 15 ± 2 dk süreyle vakum uygulanmıştır. Karışımlar üzerine uygulanan vakum işlemi Şekil 6.4’de görülmektedir.



Şekil 6.4 Sıkıştırılmamış Numuneler Üzerine Vakum Uygulanması.

Vakum işlemi sonunda, beher tespit çizgisine kadar suyla doldurularak tartılmıştır. Yapılan bu işlemlerden sonra karışımların teorik maksimum özgül ağırlık değerleri aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$G_{mm} = \frac{A}{A + D - E} \quad (6.2)$$

Burada;

A : Numunenin kuru ağırlığı

D : Havası alınmış suyun ağırlığı

E : Havası alınmış su-bitümlü karışımın ağırlığı [125].

Hesaplanan teorik maksimum özgül ağırlık değeri ile her bir numunenin hacim özgül ağırlığı da belirlenerek numunelerin hava boşluğu belirlenmiştir. 50 ve 75 darbe ile üretilen Marshall numunelerin fiziksel özellikleri sırasıyla Tablo 6.6’da ve Tablo

6.8'de verilmiştir. Sıkışma sayısının artmasına bağlı olarak numunelerin hava boşluklarının azaldığı gözlemlenmiştir.

Tablo 6.6 50 Darbe ile Sıkıştırılan Marshall Numunelerinin Fiziksel Özellikleri.

No	W _{kuru}	W _{doygun}	W _{y.kuru}	Gmb (g/cm ³)	Gmm	Vh (%)
LP ₅₀ -1	1158.5	687.8	1160.6	2.450	2.548	3.8
LP ₅₀ -2	1207.1	717.0	1208.0	2.458		3.5
LP ₅₀ -3	1174.0	699.5	1174.6	2.471		3.0
PW ₅₀ -1	1148.0	684.0	1148.5	2.471		3.0
PW ₅₀ -2	1173.3	694.8	1174.7	2.445		4.0
PW ₅₀ -3	1162.7	690.2	1164.0	2.454		3.7
MW ₅₀ -1	1176.1	700.5	1176.6	2.470		3.1
MW ₅₀ -2	1190.2	709.2	1190.7	2.428		4.7
MW ₅₀ -3	1177.7	700.8	1178.3	2.466		3.2
S ₅₀ -1	1171.8	697.1	1172.7	2.464		3.3
S ₅₀ -2	1184.5	705.6	1185.3	2.469		3.1
S ₅₀ -3	1187.3	707.0	1187.8	2.469		3.1

Tablo 6.7 75 Darbe ile Sıkıştırılan Marshall Numunelerinin Fiziksel Özellikleri.

No	W _{kuru}	W _{doygun}	W _{y.kuru}	Gmb (g/cm ³)	Gmm	Vh (%)
LP ₇₅ -1	1170.7	700.1	1171.7	2.482	2.548	2.6
LP ₇₅ -2	1185.7	709.4	1187.2	2.482		2.6
LP ₇₅ -3	1178.7	704.6	1179.8	2.480		2.7
PW ₇₅ -1	1174.5	701.6	1175.5	2.478		2.7
PW ₇₅ -2	1171.4	699.3	1172.5	2.475		2.9
PW ₇₅ -3	1181.7	704.5	1183.4	2.468		3.1
MW ₇₅ -1	1158.3	691	1159.4	2.473		2.9
MW ₇₅ -2	1169.1	698.1	1169.9	2.478		2.7
MW ₇₅ -3	1185	707	1186	2.474		2.9
S ₇₅ -1	1171.6	699.8	1173.2	2.475		2.9
S ₇₅ -2	1111.4	658.9	1112.2	2.452		3.8
S ₇₅ -3	1164.7	694.5	1166.2	2.469		3.1

6.4. Marshall Stabilitesi ve Akma Deneyi

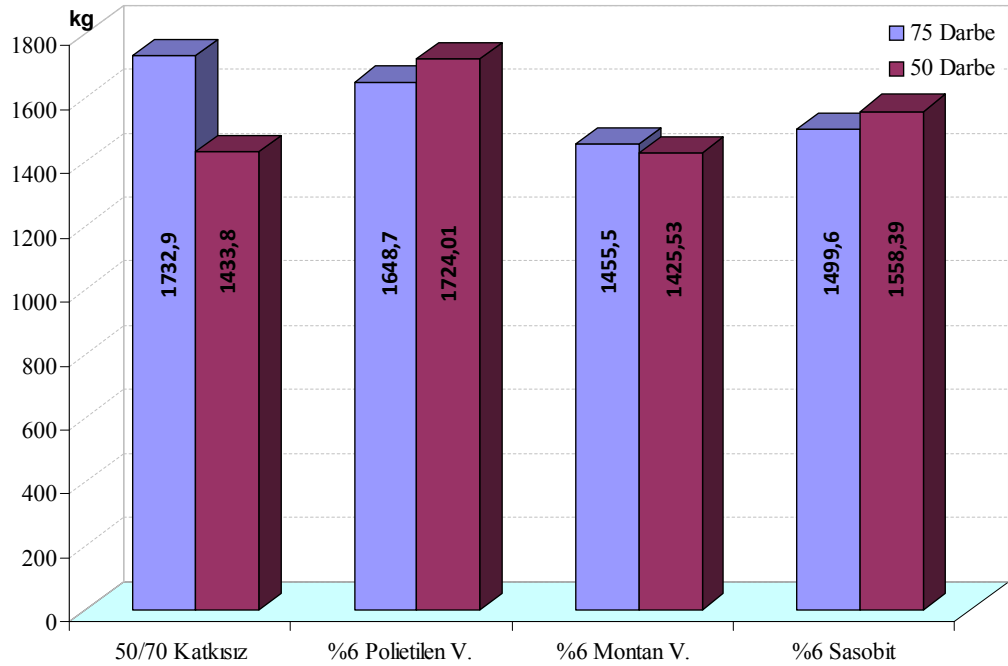
Şartnameye[126] uygun şekilde hazırlanan numuneler 24 saat oda sıcaklığında bekletildikten sonra Marshall test cihazında yüklemeye tabii tutularak stabilite ve akma değerleri belirlenmiştir. Deney numunelerinin yükseklikleri belirlendikten sonra 60°C lık su banyosunda 30 dakika bekletilmiştir. 50.8 mm hızdaki yükleme ile Marshall cihazında stabilite ve akmaları belirlenmiştir. Deney numunelerinin yükseklikleri 63.5 mm'den farklı olduğu için bulunan stabilite değerleri düzeltme katsayısı [127] ile çarpılarak stabilite düzenlenmiştir. 50 darbe ile üretilen Marshall numunelerinin test sonuçları Tablo 6.8' de 75 darbe ile üretilen numunelerin test sonuçları Tablo 6.9' da verilmiştir. 50 ve 75 darbe ile üretilen Marshall numunelerinin stabilite değerleri ise Şekil 6.5'de verilmiştir.

Tablo 6.8. 50 Darbe ile Üretilen Marshall Numunelerinin Stabilite ve Akma Değerleri.

No	Yükseklik (mm)	Marshall Stabilitesi (kgf)	Akma (mm)	Düzeltilme Faktörü	Düzeltilmiş Stabilite (kgf)	Ortalama Stabilite (kgf)
LP ₅₀ -1	59.50	1140	4.7	1.115	1271.10	1433.80
LP ₅₀ -2	60.33	1340	4.5	1.09	1460.60	
LP ₅₀ -3	59.55	1438	4.7	1.112	1599.06	
PW ₅₀ -1	58.45	1636	3.7	1.149	1879.76	1724.01
PW ₅₀ -2	59.75	1418	3.9	1.106	1568.31	
PW ₅₀ -3	59.35	1542	3.9	1.118	1723.96	
MW ₅₀ -1	58.73	1316	4.4	1.143	1504.19	1425.53
MW ₅₀ -2	60.15	1220	4.3	1.093	1333.46	
MW ₅₀ -3	59.63	1294	4.3	1.112	1438.93	
S ₅₀ -1	59.58	1338	4.0	1.112	1487.86	1558.39
S ₅₀ -2	59.63	1470	4.3	1.112	1634.64	
S ₅₀ -3	59.78	1412	4.8	1.106	1561.67	

Tablo 6.9. 75 Darbe ile Üretilen Marshall Numunelerinin Stabiliteleri ve Akma Değerleri.

No	Yükseklik (mm)	Marshall Stabilitesi (kgf)	Akma (mm)	Düzeltilme Faktörü	Düzeltilmiş Stabilité (kgf)	Ortalama Stabilité (kgf)
LP ₇₅ -1	58.5	1502	3.9	1.149	1725.8	1732.9
LP ₇₅ -2	59.3	1518	5.3	1.121	1701.7	
LP ₇₅ -3	58.9	1562	4.5	1.134	1771.3	
PW ₇₅ -1	58.5	1548	2.9	1.149	1778.7	1648.7
PW ₇₅ -2	58.6	1466	3.3	1.146	1680.0	
PW ₇₅ -3	59.5	1334	3.1	1.115	1487.4	
MW ₇₅ -1	57.9	1284	3.5	1.168	1499.7	1455.5
MW ₇₅ -2	58.4	1300	3.3	1.153	1498.9	
MW ₇₅ -3	59.6	1230	3.5	1.112	1367.8	
S ₇₅ -1	59.0	1338	3.3	1.131	1513.3	1499.6
S ₇₅ -2	56.1	1000	3.3	1.231	1231.0	
S ₇₅ -3	58.1	1510	2.9	1.162	1754.6	

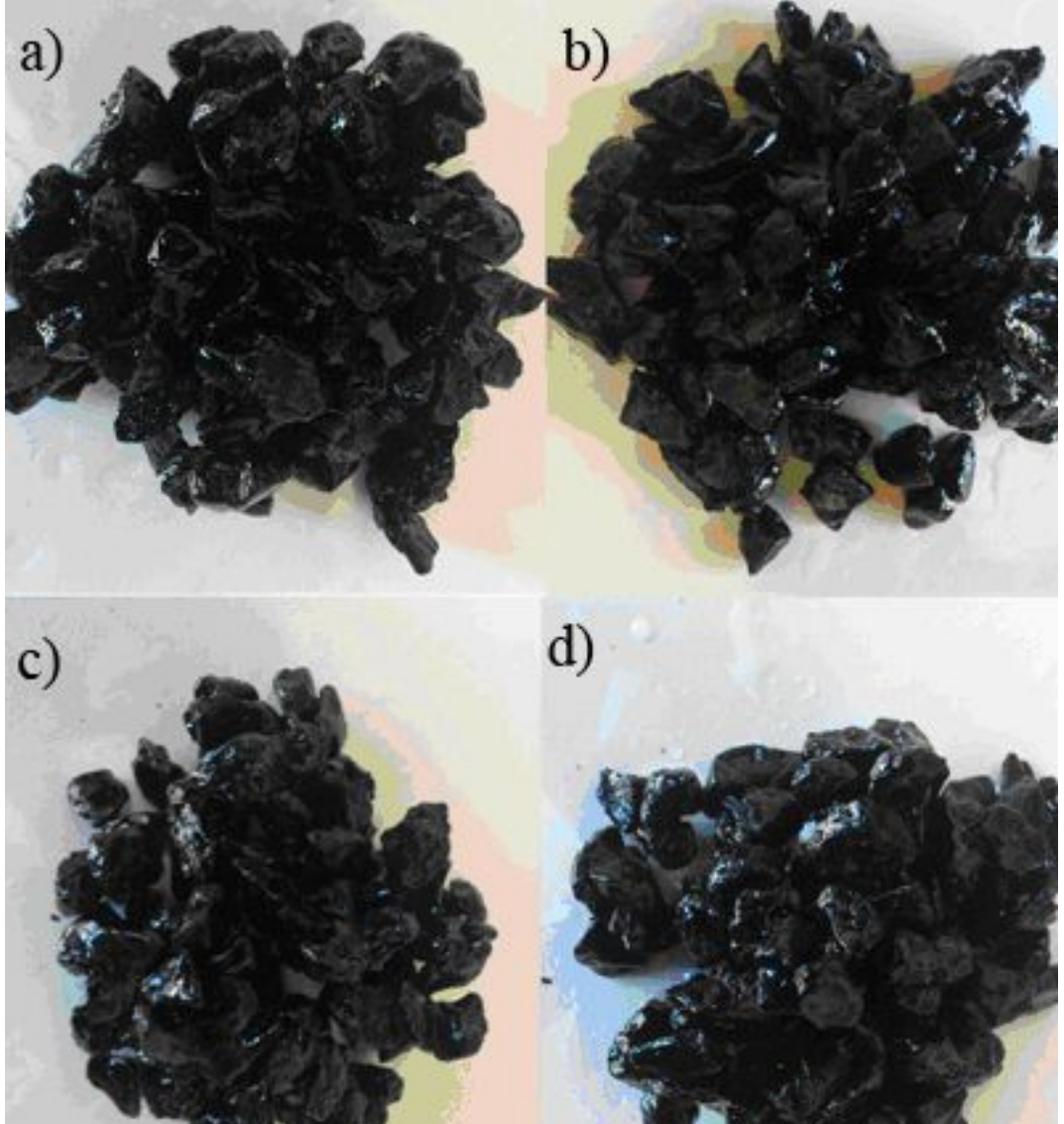


Şekil 6.5 50 ve 75 Darbe ile Üretilen Marshall Numunelerinin Stabiliteleri.

Tablo 6.8, Tablo 6.9 ve Şekil 6.6'da görüldüğü üzere sıkıştırma sayısının artmasına bağlı olarak katkısız bitümlü karışımların Marshall stabiliteyi önemli ölçüde artarken; katkılı bitümlü karışımlarda stabiliteyi önemli bir değişikliğin olmadığı gözlemlenmiştir. Sıkıştırma sayısının artmasına bağlı olarak akma değerlerindeki değişikliğin az olması numunelerin hava boşluklarının azalmasından kaynaklanabilmektedir.

6.5. Nicholson Soyulma Deneyi (Statik Daldırma Deneyi)

Sıkıştırılmamış karışımlar üzerine uygulanan bu deneyde bitümün agregadan soyulması görsel olarak incelenmektedir. Deneyde kullanılmak üzere 9.5 mm ile 6.3 mm elek aralığındaki agregalar seçilmiştir. Seçilen agregalar damıtılmış su ile yıkanarak temizlenmiş ve kurutulmuştur. Karışım için şartnamede[104] belirtildiği şekilde 100±1 g ağırlığındaki agregalar 140°C 'deki etüvde 1 saat bekletilmiştir. Bitümler ise 145 °C'de bekletilmiştir. Etüvden çıkartılan agregalara 5.5±0.2 g. ağırlığında bitüm ilave edilerek 2-3 dakika süreyle karıştırılmıştır. Agregalar bitümle iyice sarıldıktan sonra 2 saat süreyle 60°C'de kür edilmiştir. Kür işleminden sonra oda sıcaklığında soğumaya bırakılan karışımlar, kavanozlara konulmuştur. Kavanozlardaki karışımlar üzerine 400 ml saf su eklenerek 18 saat süreyle 25 °C' de bekletildikten sonra soyulmanın miktarı görsel olarak incelenmiştir. Yapılan inceleme sonucunda, karışımlarda herhangi bir soyulma gözlemlenmemiş ve karışımların soyulmaya karşı oldukça dirençli oldukları sonucuna ulaşılmıştır. Karışımların 18 saat sonundaki durumları Şekil 6.6'da verilmiştir.



Şekil 6.6 Sıkıştırılmamış Karışımlar Üzerine Yapılan Nicholson Soyulma Deneyi Sonucu; a)Katkısız Bitüm, b) Polietilen Vaks Katkılı Bitüm, c) Montan Vaks Katkılı Bitüm, d) Sasobit Katkılı Bitüm.

6.6. Organik Katkı ile Üretilen Bitümlü Ilık Karışımların Neme Karşı Hassasiyetinin Belirlenmesi (AASHTO T-283 Deneyi)

AASHTO T-283 deneyi bitümlü karışımların neme karşı hassasiyetini belirlemek için kullanılan en yaygın yöntemlerden birisi olarak kullanılmaktadır [103].

AASHTO T-283 şartnamesine uygun olarak gerçekleştirilen deneyde, hazırlanacak karışımlarda kullanılacak her bir bitüm (katkısız ve 3 farklı vaks ile katkılı) için 6

adet Marshall numunesi üretilmiştir. Bu numunelerin 3 tanesi şartlandırılmış 3 tanesi de şartlandırılmamış olarak ayrılmıştır. Marshall deneyinde kullanılan agrega gradasyonu, bitüm yüzdesi ve karışımın toplam ağırlığı bu deney için de kullanılmıştır.

6.6.1. AASHTO T-283 Deneyi İçin Numunelerin Hava Boşluğunun Ayarlanması

Deneyin şartnamesinde deney numunelerinin hava boşluk oranının 7 ± 1 olması gerekmektedir. Bu hava boşluğu seviyesine sahip numunelerin üretilmesi sıkıştırma sürecindeki darbe sayısı değiştirilerek ayarlanmıştır. 50 darbe ile üretilen numunelerin hava boşluk yüzdeleri yaklaşık %3 civarında elde edilmişti. İstenilen hava boşluğu için 3 adet numune hazırlanmıştır. Hazırlanan karışımlar 35, 25 ve 15 darbe ile sıkıştırılarak numunelerin hava boşlukları belirlenmiştir. Yapılan deneyin sonucunda 15 darbe ile sıkıştırılan numunenin hava boşluğu %6.64 olarak bulunmuştur. Neme karşı hassasiyeti belirlenecek olan numuneler, her iki yüzüne 15 darbe vurularak hazırlanmıştır.

6.6.2. AASHTO T-283 Deney Numunelerinin Hazırlanması

Ağırlıkça % 5.2 bitüm katılarak 1200 g ağırlığında karışımlar hazırlanmıştır. Bitüm 155 °C sıcaklıkta 3 saat bekletilmiş, agrega ise karıştırma sıcaklığının yaklaşık 10 °C üstünde 5 saat etüvde bekletilmiştir. Karışımlar hazırlandıktan sonra 60 °C lik kür sıcaklığına erişebilmesi için şartnamede [107] belirtildiği gibi oda sıcaklığında 2.5 saat bekletilmiştir. Numuneler oda sıcaklığında bekletildikten sonra 60 °C' lik etüvde 16 saat küre tabi tutulmuştur. Kür işleminin ardından, numuneler 2 saat sıkıştırma sıcaklığında etüvde bekletilmiştir. Etüvden çıkartılan karışımlar, Marshall kalıplarına yerleştirilip her yüze 15 er darbe vurularak sıkıştırılmıştır. Kalıplardan çıkartılan numuneler 72-96 saat oda sıcaklığında bekletilmiştir. AASHTO T-283 deneyi için hazırlanmış olan toplam 24 numune ve Marshall deneyi için hazırlanmış olan Marshall numuneleri Şekil 6.7 ' de görülmektedir.



Şekil 6.7 Deneysel Çalışmada Hazırlanan Sıkıştırılmış Numuneler.

Hazırlanmış olan numuneler şartlandırılmış ve şartlandırılmamış numuneler olarak gruplandırılmıştır. Numunelerin 3 tanesi şartlandırılmış numune; 3 tanesi de şartlandırılmamış numune olarak ikiye ayrılmıştır. Şartlandırılacak olan numuneler, donma çözünme döngüsüne hazır hale getirebilmek için doygunluk işlemine tabi tutulmuştur. Neme karşı hassasiyeti belirlenecek olan numunelerin özellikleri Tablo 6.10'da verilmiştir.

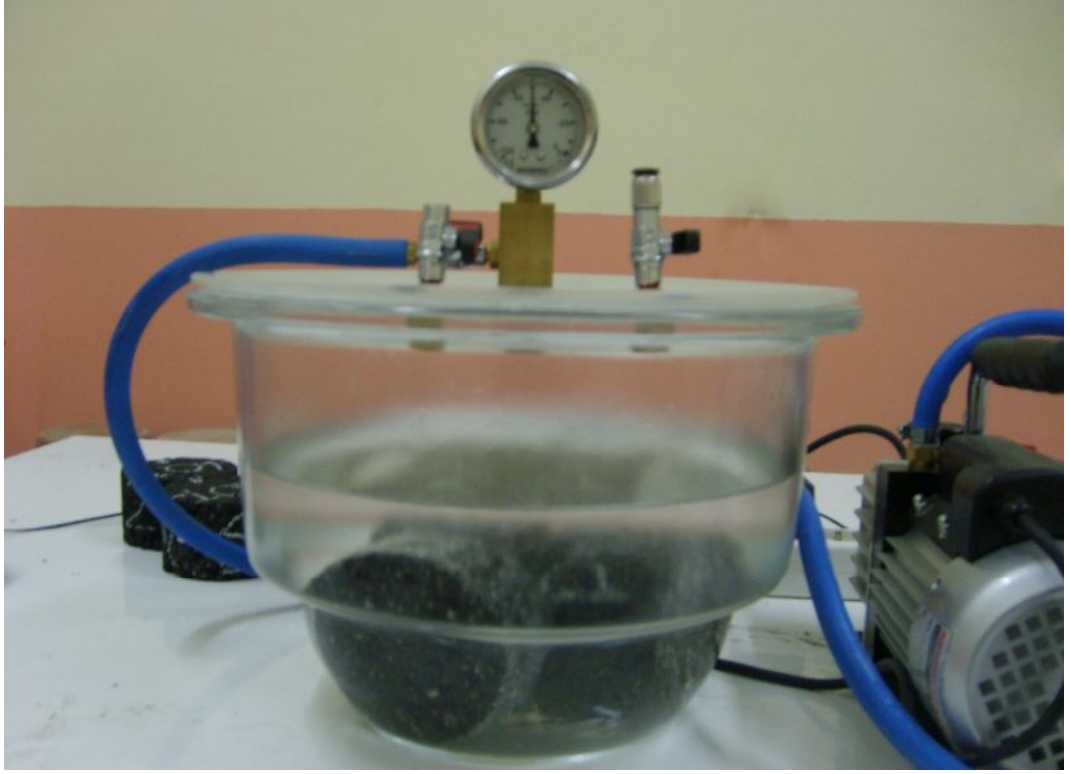
Tablo 6.10 AASHTO T-283 Deney Numunelerinin Fiziksel Özellikleri.

No	W _{kuru}	W _{doygun}	W _{y.kuru}	Gmb (g/cm ³)	Gmm	Vh (%)
LP _{NEM} -1	1177.7	683.0	1181.7	2.362	2.548	7.3
LP _{NEM} -2	1181.4	686.1	1185.1	2.368		7.1
LP _{NEM} -3	1172.0	677.6	1176.9	2.347		7.9
LP _{NEM} -4	1176.3	684.8	1180.0	2.375		6.8
LP _{NEM} -5	1176.2	683.8	1179.1	2.375		6.8
LP _{NEM} -6	1189.3	690.1	1192.0	2.370		7.0
PW _{NEM} -1	1157.4	671.4	1159.7	2.370		7.0
PW _{NEM} -2	1165.9	673.3	1169.6	2.349		7.8
PW _{NEM} -3	1169.0	678.0	1172.7	2.363		7.3
PW _{NEM} -4	1171.1	680.4	1173.0	2.377		6.7
PW _{NEM} -5	1166.5	672.9	1168.8	2.352		7.7
PW _{NEM} -6	1176.7	686.8	1179.3	2.389		6.2
MW _{NEM} -1	1176.8	682.8	1180.5	2.364		7.2
MW _{NEM} -2	1173.5	680.8	1180.9	2.347		7.9
MW _{NEM} -3	1178.5	681.7	1181.6	2.357		7.5
MW _{NEM} -4	1173.2	683.3	1177.0	2.376		6.8
MW _{NEM} -5	1180.2	685.1	1183.6	2.368		7.1
MW _{NEM} -6	1170.8	681.5	1174.2	2.376		6.8
S _{NEM} -1	1175.4	682.3	1178.6	2.368		7.1
S _{NEM} -2	1171.3	679.9	1174.9	2.366		7.1
S _{NEM} -3	1180.4	684.5	1182.7	2.369		7.0
S _{NEM} -4	1177.1	690.6	1178.5	2.413		5.3
S _{NEM} -5	1182.7	688.0	1185.4	2.378		6.7
S _{NEM} -6	1201.7	701.0	1206.6	2.377		6.7

6.6.3. Şartlandırılacak AASHTO T-283 Deney Numunelerinin Doygun Hale Getirilmesi

Şartlandırılacak olan numuneler şartnameye uygun olarak %55-%80 arasında doygun hale getirilmiştir. Deneyin bu adımında, numuneler vakum kabına konulmuştur ve üzerleri 10-15 cm su ile kaplı olacak şekilde vakum kabına su eklenmiştir. 15-67 kPa

arasındaki vakumlama işlemi ile 5-10 dakika vakum uygulanmıştır. Vakum işleminde %55'den daha az doymun olan numuneler tekrar doymun hale getirilmiştir. %80'den daha yüksek doymunluğa sahip numuneler ise deneyde kullanılmamaktadır. Şekil 6.8'de numuneler üzerine vakum uygulaması görülmektedir.



Şekil 6.8 Şartlandırılacak Numunelere Vakum Uygulanması.

Vakum işlemi ile doymun hale getirilen numunelerin doymunluk dereceleri aşağıdaki gibi hesaplanarak Tablo 6.11'de doymunluk dereceleri verilmiştir.

$$G_{bw(\text{doymun})} = \frac{A}{C_d - B_d} \quad (6.3)$$

$$P_{aw} = \left(1 - \frac{G_{mm}}{G_{bw(\text{doymun})}}\right) * 100 \quad (6.4)$$

$$\text{Doymunluk Derecesi} = \left\{ \frac{C_d - A}{P_{aw} * (C_d - B_d)} \right\} * 10000 \quad (6.5)$$

Burada;

A : Numunenin kuru ağırlığı

B_d : Numunenin doygunluktan sonraki sudaki ağırlığı

C_d : Numunenin doygunluktan sonra yüzey kuru ağırlığı

P_{aw} : Doygun hale getirilen numunelerin hava boşluk yüzdeleri

G_{mm} : Her bir numunenin hacim özgül ağırlığı

G_{bw(doygun)} : Doygun hale getirilen numunelerin hacim özgül ağırlığı

Tablo 6.11 Vakum İşleminde Sonra Doygun Hale Getirilen Numunelerin Doygunluk Yüzdeleri.

No	Havadaki Ağırlık (A)	Doygunluktan Sonra					Doygunluk (%)
		Sudaki Ağırlık (B _d)	Yüzey Kuru (C _d)	C _d -B _d	G _{bw(doygun)}	P _{aw} (%)	
LP _{NEM} -1	1177.7	699.7	1199.1	499.4	2.358	7.5	57.5
LP _{NEM} -2	1181.4	701.3	1203.2	501.9	2.366	7.6	57.0
LP _{NEM} -3	1172.0	699.2	1198.0	498.8	2.350	7.8	67.0
PW _{NEM} -1	1157.4	688.3	1175.9	487.6	2.374	6.8	55.5
PW _{NEM} -2	1165.9	694.7	1189.6	494.9	2.356	7.5	63.5
PW _{NEM} -3	1169.0	696.4	1190.2	493.8	2.367	7.1	60.6
MW _{NEM} -1	1176.8	702.7	1199.2	496.5	2.370	7.0	64.7
MW _{NEM} -2	1173.5	700.5	1197.2	496.7	2.363	7.3	65.6
MW _{NEM} -3	1178.5	701.4	1201.3	499.9	2.357	7.5	61.0
S _{NEM} -1	1175.4	700.3	1195.8	495.5	2.372	6.9	59.7
S _{NEM} -2	1171.3	696.7	1191.1	494.4	2.369	7.0	57.1
S _{NEM} -3	1180.4	703.7	1200.5	496.8	2.376	6.8	59.9

6.6.4 Şartlandırılacak Numunelere Donma-Çözünme Döngüsünün Uygulanması

Şartlandırılacak numuneler %55-%80 arasında suya doygun hale getirildikten sonra parafilmle kaplanmıştır. Şartlandırılacak numuneler parafilmle kaplandıktan sonra, içinde 10 ml su bulunan plastik kaplara konulmuştur. Plastik kapların ağzı kapatılarak, şartlandırma işleminin son adımı olan donma-çözünme döngüsüne geçilmiştir. Üzeri parafilmle kaplanıp plastik kaplara konulan numuneler

-18±3°C’ de 16 saat süreyle dondurucuda bekletilmiştir. 16 saatlik donma işleminden sonra, çözünme işlemine geçilmiştir.

Deneyin çözünme kısmında, numuneler 60°C’lik suda 24 saat bekletilmiştir. Dondurucudan çıkartılan numuneler, plastik kaplardan çıkartılarak 60°C’lik su banyosunda çözünme işlemi için 24 saat bekletilmiştir. Numuneler, su banyosuna koyulduktan bir süre sonra üzerlerindeki parafilm çıkartılmıştır. Numuneler 24 saat süreyle 60°C’lik suda bekletilerek şartlandırma işlemi tamamlanmıştır. Şartlandırma işlemi sonunda 25°C’lik suda 2 saat bekletilen numunelere dolaylı çekme deneyi testi uygulanmıştır.

6.6.5. AASHTO T-283 Deney Numuneleri Üzerinde Dolaylı Çekme Testinin Uygulanması

Donma-çözünme işlemi tamamlanan toplam 12 adet numune 2 saat 25°C’lik suda bekletildikten sonra dolaylı çekme deneyine tabii tutulmuştur. Şartlandırılmış olan numunelere dolaylı çekme testi uygulandıktan sonra şartlandırılmamış numuneler 25°C’lik suda 2 saat bekletilmiş ve dolaylı çekme testi (TSR) uygulanmıştır. Şartnameye göre deneyin sonucunda numunelerin aşağıdaki oranı sağlaması gerekmektedir:

$$(TSR) = \frac{S_{t1}}{S_{t2}} \geq 0,80 \quad (6.6)$$

Burada;

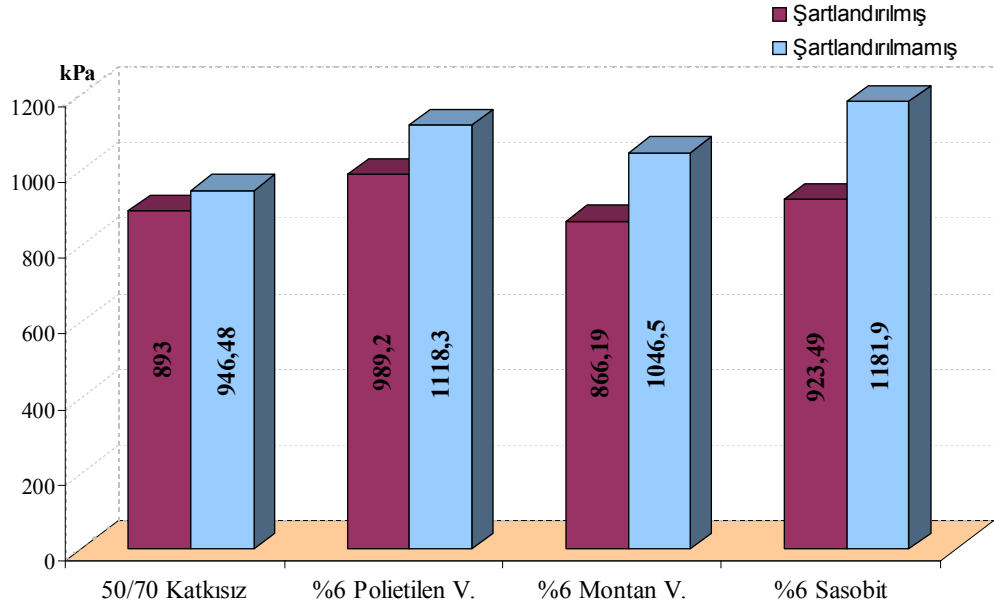
S_{t1} = Şartlandırılmış numunelerin ortalama dolaylı çekme gerilmesi.

S_{t2} = Şartlandırılmamış numunelerin ortalama dolaylı çekme gerilmesi .

Nem hassasiyetinin belirlendiği AASHTO T-283 deneyinin sonuçları Tablo 6.12’de verilmiştir. Şartlandırılmış ve şartlandırılmamış numunelerin dolaylı çekme gerilmesi testinin sonucu karşılaştırmalı olarak Şekil 6.9’da verilmiştir.

Tablo 6.12 AASHTO T-283 Deneyi Dolaylı Çekme Testi Sonuçları.

Numune		H _{ort}	D _{ort}	P(N)	St (kpA)	Ortalama	St1/ St2
St ₁	LP _{NEM} -1	63.35	101.95	8848,62	872,21	893.0	0.94
	LP _{NEM} -2	63.25	102.00	7985,34	787,98		
	LP _{NEM} -3	62.55	102.90	10300,5	1018,82		
St ₂	LP _{NEM} -4	62.90	102.80	9241,02	909,82	946.48	
	LP _{NEM} -5	62.90	102.65	10065,06	992,40		
	LP _{NEM} -6	63.50	102.00	9535,32	937,22		
St ₁	PW _{NEM} -1	61.93	102.05	10065,06	1013,87	989.20	0.88
	PW _{NEM} -2	62.03	102.45	10006,2	1002,39		
	PW _{NEM} -3	62.08	102.15	9476,46	951,34		
St ₂	PW _{NEM} -4	61.80	102.00	10634,04	1073,96	1118.30	
	PW _{NEM} -5	61.50	102.00	11340,36	1150,88		
	PW _{NEM} -6	62.00	102.15	11242,26	1130,07		
St ₁	MW _{NEM} -1	63.33	101.95	8475,84	835,73	866.19	0.83
	MW _{NEM} -2	64.23	102.00	9927,72	964,70		
	MW _{NEM} -3	63.15	102.10	8083,44	798,14		
St ₂	MW _{NEM} -4	62.50	102.45	11634,66	1156,76	1046.50	
	MW _{NEM} -5	63.30	102.00	10025,82	988,54		
	MW _{NEM} -6	63.00	102.30	10065,06	994,21		
St ₁	S _{NEM} -1	62.85	102.10	10378,98	1029,68	923.49	0.78
	S _{NEM} -2	63.03	102.10	8024,58	793,83		
	S _{NEM} -3	63.88	102.00	9692,28	946,98		
St ₂	S _{NEM} -4	61.80	102.30	12321,36	1240,72	1181.90	
	S _{NEM} -5	62.60	102.65	11654,28	1154,60		
	S _{NEM} -6	63.70	102.10	11752,38	1150,38		



Şekil 6.9 AASHTO T 283 Dolaylı Çekme Testi Sonuçları.

Çekme gerilmesi testi sonucunda katkıli bitümlerle hazırlanan, şartlandırılmamış tüm numunelerin çekme gerilmesi değeri, katkısiz bitüme göre daha yüksek elde edilmiştir. Şartlandırılmamış haldeki numunelerde en yüksek çekme gerilmesi değeri Sasobit katkısı ile elde edilmiştir. Şartlandırılmış numunelerin, şartlandırılmamış numunelere olan çekme gerilmesine oranı sonucunda, katkısiz bitümlü karışımlarda 0.94, polietilen katkıli karışımlarda 0.88, montan vaks katkıli karışımlarda 0.83 ve sasobit katkıli karışımlarda ise 0.78 değeri elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre katkısiz bitümlü karışımların neme karşı dirençlerinin en yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Katkıların eklenmesiyle de karışımların çekme gerilmesi oranı azalmış ve neme karşı hassasiyetleri artmıştır. Sasobit katkıli karışımlar ise 0.80 değerinin altında çıktığı için bu karışımların neme karşı en hassas yapıda olduğu gözlemlenmiştir. Çekme gerilmesi oranlarındaki bu azalmanın, katkıların katılmasıyla birlikte bitümün karıştırma-sıkıştırma sıcaklıklarının değişmesinden dolayı olabildiği düşünülmektedir.

7. SONUÇ

Yapılan çalışma sonucunda bitüme 3 farklı tipte vaks katılarak Bitümlü Ilık Karışımlar hazırlanmıştır. Hazırlanan karışımların Marshall stabiliteyi ile neme ve soyulmaya karşı hassasiyetleri belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışmalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Dönel Viskozimetre ile belirlenen karıştırma-sıkıştırma sıcaklıklarında bitüme montan vaksın eklenmesiyle en düşük karıştırma-sıkıştırma sıcaklığı elde edilmiştir. Yaklaşık % 10' a yakın sıcaklık azalması, karışım için gerekli ısıtma enerjisini azaltması yönünden olumlu sonuç vermiştir. Polietilen vaksın bitüme katılmasıyla, karıştırma ve sıkıştırma sıcaklığı artarken, sasobitin eklenmesiyle de karıştırma sıkıştırma sıcaklığı azalmıştır.
2. 50/70 penetrasyona sahip bitüme; FT vaks (Sasobit), Montan vaks ve Polietilen vaks %6 oranında eklenmiştir. Bu katkıların eklenmesiyle bitümün penetrasyonu Sasobit ve Montan vaks eklendiğinde azalırken, Polietilen vaksın eklenmesiyle artmıştır. Yumuşama noktaları ise katısız bitüme kıyasla katılı bitümlerde artmıştır.
3. 50 darbe vurularak üretilen Marshall numunelerinin stabiliteyi ve akma değerleri incelendiğinde en iyi stabiliteyi Polietilen vaks katılı bitüm göstermiştir. Sasobit katılı bitümün Marshall stabilitesini artırmasına rağmen Montan vaks katılı bitümün stabiliteyi düşürdüğü gözlemlenmiştir. Akma değerlerinde ise yine en iyi sonucu Polietilen vaks katılı bitüm göstermiştir. Montan vaks ve Sasobit katılı bitümlü karışımlar ile katısız bitümlü karışımların stabiliteyi ve akma değerlerinin ise birbirine yakın çıktığı gözlemlenmiştir. Bu sonuçlardan Polietilen Vaksın hem stabiliteyi hem de akmayı geliştirdiği gözlemlenirken, Sasobitin sadece stabiliteye katkı sağladığı gözlemlenmiş, Montan Vaksın stabiliteyi ve akmayı çok fazla değiştirmediği belirlenmiştir.

4. 75 darbe vurularak sıkıştırılan Marshall numunelerinde ise 50 darbeye sıkıştırılan numunelere kıyasla katkısız bitümlü karışımın stabilitesinin önemli oranda arttığı gözlemlenmiştir. Buna rağmen vaks katkılı karışımların 50 darbeye göre stabilitelerinde önemli bir değişiklik olmamıştır. Akma değerleri ise 50 darbe ile üretilen numunelere yakın çıkmıştır. Akma değerlerindeki sonuçların bu şekilde çıkması sıkışma sayısının artmasına bağlı olarak numunelerin bünyesindeki hava boşluklarının azalmasıyla alakalı olabileceği düşünülmektedir.
5. Nicholson soyulma test sonuçlarında ise karışımlarda herhangi bir soyulma olmadığı ve karışımların soyulmaya karşı oldukça dirençli oldukları gözlemlenmiştir.
6. AASHTO T-283 deneyi sonucuna göre, katkısız bitümlü karışımlar neme karşı en fazla direnci göstermişlerdir. Polietilen vaks ve montan vaks katkılı karışımların neme karşı dayanımları şartnameye uygun çıkmış olsa da katkısız bitümlü karışımlara göre neme karşı daha hassas yapıda oldukları gözlemlenmiştir. Sasobit katkılı karışımların nem dayanımları ise şartnamenin altında çıkmıştır. Tamamlanmış olan çalışmalardan elde edilen sonuçlara paralel olarak, bu çalışmada da vaks katkılı bitümlü karışımların neme karşı daha hassas yapıda oldukları belirlenmiştir. Nem hassasiyetindeki bu farklılıkların katkıların eklenmesine bağlı olarak karışımların karıştırma sıkıştırma sıcaklıklarının azalmasıyla alakalı olabileceği tahmin edilmektedir.

Ülkemizde henüz BIK uygulamasına başlanmamış olması bu tekniğin yeni ve gelişme aşamasında olmasıyla yakından alakalıdır. BIK karışımlarının geliştirilmesi ve uygulanmaya başlanmasıyla karışımın ısıtılması için gerekli yakıt tüketimi önemli ölçüde azaltılabilir ve emisyonların azaltılmasıyla da çevresel katkı sağlanabilir.

İleriki çalışmalarda, vaks ile modifiye edilmiş bitümler ile farklı gradasyon ve tipteki agregalar kullanılarak karışımlar hazırlanıp, karışımların performansları incelenebilir. Polimer modifiyeli bitümlü ılık karışımların nem hassasiyeti belirlenebilir. Laboratuar çalışmalarına ek olarak karışımların uygulamadaki performansları değerlendirilebilir.

KAYNAKLAR

- 1) Karayolu Ulaşım İstatistikleri (2010), T.C. Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü Trafik Güvenliği Dairesi Başkanlığı Ulaşım Etütleri Şubesi Müdürlüğü, 2010.
- 2) Açar, E., Bitümlü Malzemeler Ders Notları, İTÜ Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği ABD., Ulaştırma Mühendisliği Bölümü Yüksek Lisans Ders Notları, İstanbul, 1997.
- 3) Yıldırım, B., Yol İnşaatı Ders Notları, F.Ü. Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Ders Kitabı, Elazığ, 2002.
- 4) Tunç, A., Yol Malzemeleri ve Uygulamaları, Nobel Kitap Dağıtım A.Ş., Ankara, 2007.
- 5) The Shell Bitumen Handbook-Fifth Edition, Thomas Telford Publishing, 2003.
- 6) Aksoy, A., Bitümün Reolojik Yapısının Bitümün Yaşlanmasına ve Kaplamanın Performansına olan Etkisinin İncelenmesi, Uluslararası Trafik ve Yol Güvenliği Kongresi-Fuarı, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2001.
- 7) Kök, B.V., Bitümlü Sıcak Karışımların Üretilmesinde Yeni Bir Karıştırma Yönteminin Araştırılması, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 2007.
- 8) Herh, P.K.W., et al, Dynamic Shear Rheometer Pave the Way for Quality Asphalt Binders, Application Note, 1999.
- 9) Roberts, F.L., Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design and Construction, National Center for Asphalt Technology, 1991.
- 10) Kuloğlu, N., Bitüm ve Bitümlü Sıcak Karışımların Rijitliğine Etki Eden Parametreler, Turk J Engin Environ Sci, 25, 61-67, 2001.
- 11) Acott, M., The Design of Hot Mix Asphalt for Heavy Duty Pavement, National Asphalt Pavement Association, Qip 111/86 , 1987.
- 12) Hunter, R.N., Bituminous Mixtures In Road Construction, Thomas Telford Services Ltd., 1994.
- 13) Traxler, R.N., Durability Of Asphalt Cements, Proceedings, Association Of Asphalt Paving Technologists, Vol. 32, pp. 44-63, 1963.
- 14) Şengöz, B., Açar, E., Asfalt Film Kalınlığının Bitümlü Karışımların Yaşlanmasına Etkisi, İtü Dergisi/Mühendislik, Cilt 4, 71-82, 2005.

- 15) Güngör, A.G., et al., Polimer Modifiye Bitümlerin Superpave Performans Sınıflarının Belirlenmesi, 5.Ulusal Asfalt Sempozyumu, Ankara, 2009
- 16) Ahmedzade, P., Yılmaz, P., Geçkil, T., Superpave Sisteminde Bulunan Bağlayıcı Deneylelerinin Ülkemizde Kullanılan Geleneksel Yöntemlerle Karşılaştırılması, İzmir Ulaşım Sempozyumu, 2009.
- 17) TS EN 12593 Bitümler ve bitümlü bağlayıcılar – Fraas kırılma noktasının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, 2003.
- 18) Dinç, E., Yazıcı, A., Superpave Bitüm Deneyleleri ve Agrega Gradasyonu, Asfalt 2000-3. Ulusal Asfalt Sempozyumu ve Sergisi, Ankara, 2010.
- 19) <http://ciks.cbt.nist.gov/~garboz/SP946/node14.htm>
- 20) Collins, S, Differential Scanning Calorimetry, Technical Group Talk.
- 21) Edwards, Y., Influence of Waxes on Bitumen and Asphalt Concrete Mixture Performance, KHT Architecture and the Built Environment.
- 22) Asfalt El Kitabı, İsfalt Bilimsel Yayın No: 2, İstanbul 2002.
- 23) Umar, F., Açar, E., Yol Üstyapısı, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, 1991.
- 24) Read, J.M., Fatigue Cracking of Bituminous Paving Mixtures, Phd Thesis, University of Nottingham, 1996.
- 25) <http://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Istatistikler/YapimBakimIsletmeMaliyet.aspx>, 2006-2010 Yılı Devlet ve il Yolları Bakım İşletme Maliyetleri, Karayolları Genel Müdürlüğü.
- 26) <http://www.eapa.org/asphalt.php>, Asphalt in Figures 2001-2009, European Asphalt Pavement Association.
- 27) Wolfmeier, U., et al., Waxes, pp. 27459-27521, Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Vols. 1 to 39, Wiley-VCH, 2002.
- 28) Edwards, Y., Isacson, U., Wax in Bitumen Part 1-Classification and General Aspects, Road Materials and Pavement Design, 6(3), 281-309, 2005.
- 29) Warth, A. B., The Chemistry and Technology of Waxes, Reinhold, NY, 1956.
- 30) Edwards, Y., Influence of Waxes on Bitumen and Asphalt Concrete Mixture Performance, KHT Architecture and The Built Environment, Stockholm, 2005.
- 31) Musser, B. J., Kilpatrick, P. K., Molecular Characterization of Wax Isolated from a Variety of Cruide Oils, Energy and Fuels, 12, 715-725, 1998.

- 32) http://www.eral-protek.com/turkish/urun_liste.php?GID=89#anc1256
- 33) Zaky, M.T., Mohamed, N.H., Comparative Study on Separation and Characterization of High Melting Point Macro- and Micro- crystalline Waxes, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 41, 360-366, 2010.
- 34) Prowell, B.D., Warm Mix Asphalt: The International Technology Scanning Program, Summary Report, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration American Association of State Highway and Transportation Officials, National Cooperative Highway Research Program, 2007.
- 35) Hirsch, V., Warm Mix Asphalt Technologies, BAST, Presentation to WMA Scan Team, Germany, 2007.
- 36) Warm Mix Asphalt Technologies and Research: Potential to reduce fuel consumption and emissions, *Government Engineering*, 26-29, 2007.
- 37) <http://www.fhwa.dot.gov/pavement/asphalt/wma.cfm>
- 38) Großhans D., Schwäbe, F., Abraham J., Verbesserung der Verarbeitbarkeit von Splittmastixasphalt durch Zusatz eines Montanwachsproduktes, *Strasse+Autobahn*, Heft 4, 2002.
- 39) Dam, K-W., et al., Asphalt Flow Improvers as 'Intelligent Fillers' For Hot Asphalts - A New Chapter in Asphalt Technology, *Journal of Applied Asphalt Binder Technology*, 2002.
- 40) Biales J. M., et al., Separation of Fischer – Tropch Wax From Catalyst Using Near-Critical Fluid Extraction: Analysis of Process Feasibility, *Energy & Fuels*, 13, 667-677, 1999.
- 41) Edwards, Y., Tasdemir, Y., Isacson, U., Rheological Effects of Commercial Waxes and Polyphosphoric acid in Bitumen 160/220-Low Temperature Performance, *Fuel*, 85, 989-997, 2006.
- 42) Wölfe, H., and Orlamunder, K., Bitumen Modification with Additives for Road Construction-Technology of Low Temperature Asphalt, BAST, Presentation to WMA Scan Team, Germany, 2007.
- 43) Nölting, M., 10 Years of Sasobit Technology Experiences, Application and Outlook, BAST, Presentation to WMA Scan Team, Germany, 2007.
- 44) Edwards, Y., Tasdemir, Y., Isacson, U., Rheological Effects of Commercial Waxes and Polyphosphoric acid in Bitumen 160/220-High and Medium Temperature Performance, *Constructing and Building Materials*, 21, 1899-1908, 2007.
- 45) Butz, T., Rahimian, I., Einfluss der Zugesezten Paraffine und Deren Struktur auf die Eigenschaften von Bitumen, *Bitumen*, 4, 1997.

- 46) Damm, K-W., et al., Asphaltverflüssiger als “Intelligenter Füller” für den Heisseneinbau–ein neues Kapitel in der Asphaltbauweise–Teil 1, Bitumen, 1, 2002.
- 47) Damm, K-W., et al., Asphaltverflüssiger als “Intelligenter Füller” für den Heisseneinbau–ein neues Kapitel in der Asphaltbauweise–Teil 2, Bitumen, 2, 2002.
- 48) Kristjansdottir, O., Warm Mix Asphalt for Cold Weather Paving, Master of Science in Civil Engineering, University of Washington, Washington, 2006.
- 49) www.sasolwax.com
- 50) Lu, X., Redelius, P., Effect of Bitumen Wax on Asphalt Mixture Performance, Construction and Building Materials, 21, 1961-1970, 2007.
- 51) Kane, M., et al., Morphology of Paraffin Crystals in Waxy Crude Oils Cooled in Quiescent Conditions and Under Flow, Fuel, 82, 127-135, 2003.
- 52) Carbognani, L., et al., Studies of Large Crude Oil Alkanes. II. Isolation and Characterization of Aromatic Waxes and Waxy Asphaltenes, Petroleum Science and Technology, 18, 607-634, 2000.
- 53) Redelius, P., Lu, X., Isacson, U., Non-classical Wax in Bitumen, Road Materials and Pavement Design, 3, 7-21, 2002.
- 54) Richter, F., Effect of Waxes on Bitumen Quality, Oil Gas European Magazine, 35, 8, 2002.
- 55) Concawe, Petroleum Waxes and Related Products, p.1, Concawe, Brussels, Report No. 99/110, 1999.
- 56) Mozes, G.Y., Paraffin Products: Properties, Technologies, Applications, Elsevier, New York, 1982.
- 57) Freund, M., et al., Paraffin Products, G.Y. Mozes, Ed., Elsevier Scientific Publishing Company, Hungary, 1982.
- 58) Gottshall, R. I., McCue, C. F., Petroleum Waxes Including Petrolatums, Criteria for Quality of Petroleum Products, p. 209, J.P. Allinson, Ed., Applied Science Publishers Ltd., London, 1973.
- 59) Letcher, C. S., Encyclopedia of Chemical Technology, vol. 24, p. 466, John Wiley and Sons, New York, 1984.
- 60) Wong, W-g., Li, G., Analysis of the Effect of Wax Content on Bitumen Under Performance Grade Classification. Constructing and Building Materials, 23, 2504-2510, 2009.

- 61) Bueche, N., Warm Asphalt Bituminous Mixture With Regards to Energy, Emissions and Performance, Researchers Seminar, Ecole Polytechnique Federale de Laussane, Switzerland, 2009.
- 62) Olard, F., Noan, C.L., Les Enrobés à Basse Température, 2ème Prix de la Sélection Française du Prix AIPCR 2007, Catégorie Développement Durable, France, 2007.
- 63) You, Z., Goh, S.W., Dai, Q., Laboratory Evaluation of Warm Mix Asphalt, Final Report, Houghton, 2011.
- 64) Harrison, T., Christodulaki, L., Innovative Processes in Asphalt Production and Application - Strengthening Asphalt's Position in Helping Build a Better World, in First International Conference of Asphalt Pavement, Sydney, 2000.
- 65) Rubio, M.C., Warm Mix Asphalt: an Overview, Journal of Cleaner Production, 24, 76-84, 2012.
- 66) Zaumanis, M., Warm Mix Asphalt Investigation, Master of Science Thesis, Riga Technical University, Denmark, 2010.
- 67) Muthen, K. M., Foamed Asphalt Mixes – Mix Design Procedure, Sabita ltd and CSIR Transportek CR-98/077 , South Africa, 1998.
- 68) Croteau, J-M., Tessier, B., Warm Mix Asphalt Technologies: a Road Builders’ Perspective, “Warm Asphalt Technology as a Sustainable Strategy for Pavements”, Annual Conferance of the Transportation Association, Canada, 2001.
- 69) Advisory note 17, Warm Mix Asphalt – A-State-Of-The-Art Review, Australian Asphalt Pavement Association (AAPA).
- 70) Webpage of Shell Global Solutions, <http://www.shell.com>, 2005.
- 71) West, R.C., et al., Mixing and Compaction Temperatures of Asphalt Binders in Hot-Mix Asphalt, NCHRP Report 648, 2010.
- 72) D’Angelo, et al., Warm-Mix Asphalt: European Practice, Report No: FHWA-PL-08-007, International Technology Scanning Program, American Association of State Highway and Transportation Officials, 2008.
- 73) Cervarich, M. B., Cooled and Ready to Serve?, Roads and Bridges, 41(9), 38-39, 2003.
- 74) D’Angelo, J., Warm-Mix Asphalt: European Practice, Report No: FHWA-PL-08-009, American Trade Initiatives, Alexandria, USA
- 75) Vaitkus, A., et al., Analysis and Evaluation of Possibilities for the use of Warm Mix Asphalt in Lithuania, The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering, 2, 80-86, 2009.

- 76) Vaitkus, A., Vorobjovas, V., Ziliut, L., The Research on Use of Warm Mix Asphalt for Asphalt Pavement Structures, Road Department, Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania, 2009.
- 77) Larsen., O.R., Warm Asphalt Mix With Foam-WAM Foam, Themes Techniques, S.00469, Kolo Veidekke, Norway, 2001
- 78) Al-Rawashdeh, A.S., Performance Assessment of Warm Mix Asphalt (WMA) Pavement, Master of Science Thesis, Russ College of Engineering and Technology of Ohio University, Athens, USA, 2008.
- 79) Chowdhury, A., Button, J.W., A Review of Warm Mix Asphalt, Texas Transportation Institute – Technical Report 473700-00080-1, USA, 2008
- 80) EAPA, The use of Warm Mix Asphalt, European Asphalt Pavement Association, Brussels, 2010.
- 81) Harnischfeger, S., Aspha-min Retrospectives and Prospects, BAST, Presentation to WMA Scan Team, Germany, 2007.
- 82) Moen, Q., Warm Mix Asphalt (WMA) International Scanning Tour, Norwegian Public Road Administration, Presentation to WMA Scan Team, Norway, 2007.
- 83) Andersen, E., WAM Foam® An Environmental Friendly Alternative to Hot Mix Asphalt, Norwegian Public Road Administration, Presentation to WMA Scan Team, Norway, 2007.
- 84) Shang, L., et al., Pyrolyzed Wax from Recycled Crosslinked Polyethylene as Warm Mix Asphalt (WMA) Additive for SBS Modified Asphalt, Construction and Building Materials, 25(2), 886-891, 2011.
- 85) Devivere, M.V., Barthel, W., Marchand, J.P., Warm Asphalt Mixes by Adding Aspha-Min® A Syntetic Zeolite, Eurovia GmbH, www.aspha-min.com.
- 86) Merusi, F., Giuliani, F., Rheological Characterization of Wax Modified Asphalt Binders at High Service Temperatures, Materials and Structure, 44, 1809-1820, 2011.
- 87) Polacco, G., et al., Structural and Rheological Characterization of Wax Modified Bitumens, Fuel, 95, 407-416, 2012.
- 88) Edwards, Y., Redelius, P., Rheological Effects of Waxes in Bitumen, Energy and Fuels, 17-3, 511-520, 2002.
- 89) Edwards, Y., Tasdemir, Y., Isacson, U., Influence of Commercial Waxes on Bitumen Aging Properties, Energy and Fuels, 19, 2519-2525, 2005.

- 90) Taşdemir, Y., High Temperature Properties of Wax Modified Binders and Asphalt Mixtures, *Constructing and Building Materials*, 23, 3220-3224, 2009.
- 91) Edwards, Y., Tasdemir, Y., Isacsson, U., Effect of Commercial Waxes on Asphalt Concrete Mixtures Performance at Low and Medium Temperatures, *Cold Regions and Science Technology*, 45, 31-41, 2006.
- 92) Edwards, Y., Tasdemir, Y., Isacsson, U., Influence of Commercial Waxes and Polyphosphoric Acid on Bitumen and Asphalt Concrete Performance at Low and Medium Temperatures., *Materials and Structures*, 39, 725-737, 2006.
- 93) Shamshuddin, M.K., Abdullah, M.E., Rhasbudin Shah S.M., The Development of Moisture Sensitivity Test For Compacted Asphalt, *International Journal of Integrated Engineering (Issue on Civil and Environmental Engineering)*, 2(2), 17-25, 2010.
- 94) Hicks, R.G., Santucci, L., Aschenbrener, T., Topic 1-Introduction and Seminar Objectives, *Moisture Sensitivity of Asphalt (National Seminar)*, USA, 2003.
- 95) Hicks, R.G., *Moisture Damage in Asphalt Concrete*, NCHRP Synthesis of Highway Practice 175, Transportation Research Board, USA, 1991.
- 96) Alam, M.M., et al., A Test Method for Identifying Moisture Susceptible Asphalt Concrete Mixes, Texas Department of Transportation in Cooperation with Federal Highway Administration, Research Report 1455-2F, 1998.
- 97) <http://www.sealcoincorporated.com/index-1.html>
- 98) Little, D.N., Topic 2-Chemical and Mechanical Process of Moisture Damage in Hot-Mix Asphalt Pavements, *Moisture Sensitivity of Asphalt (National Seminar)*, USA, 2003.
- 99) Sengoz, B., Agar, E., Effect of Asphalt Film Thickness on the Moisture Sensitivity Characteristics of Hot-Mix Asphalt, *Building and Environment*, 42, 3621-3628, 2007.
- 100) Solaimanian, M., Kennedy, T.W., Elmore W.E., Long Term of Stripping and Moisture Damage in Asphalt Pavements Treated With Lime and Anti-Stripping Agents, Texas Department of Transportation, Report No: CTR 0-1286-1F, Center of Transportation Research, University of Texas at Austin, 1993.
- 101) Kiggundu, B.M., Roberts, F.L., The Success/Failure of Methods Used to Predict the Stripping Potential in the Performance of Bituminous Pavement Mixtures, Submitted to TRB, 1988.

- 102) Majidzadeh, K., Brovold, F.N., Effect of water on bitumen- aggregate mixtures, State-of the-Art, Highway Research Board Special Report No. 98, Washington, 1968.
- 103) Solaimanian, M., Harvey, J., Tahmoressi, M., Tandon, V., Test Methods to Predict Moisture Sensitivity of Hot-Mix Asphalt Pavements, Moisture Sensitivity of Asphalt (National Seminar), USA, 2003.
- 104) AASHTO T-182, Coating and Stripping of Bitumen-Aggregate Mixtures, American Association of State Highway and Transportation Officials, 1998.
- 105) <http://www.perfect-services.in/film-stripping-device>
- 106) ASTM D-1075, Standard Test Methods for Effect of Water on Compressive Strength of Compacted Bituminous Mixtures, 2004.
- 107) AASHTO T-283 Resistance of Compacted Bituminous Mixture to Moisture Induced Damage, American Association of State Highway and Transportation Officials, 1998.
- 108) Kennedy, T.W., et al., Texas Freeze-Thaw Pedestal Test for Evaluating Moisture Susceptibility for Asphalt Mixtures, Center for Transportation Research, Summary Report 253-3, 1982.
- 109) <http://www.fhwa.dot.gov/pavement/asphalt/labs/mixtures/hamburg.cfm>
- 110) <http://www.mountain-plains.org/pubs/html/mpc-02-138/pg2.php>
- 111) Airey, G.D., et al., The Influence of Aggregate, Filler, and Bitumen on Asphalt Mixture Moisture Damage, Constructing and Material, 22, 2015-2024, 2008.
- 112) Kok, B.V, Yilmaz, M., The Effects of Using Lime and Styrene-Butadiene-Styrene on Moisture Sensitivity Resistance of Hot Mix Asphalt, Constructing and Building Materials, 23, 1999-2006, 2009.
- 113) Jahromi, S.G., Estimation of Resistance to Moisture Destruction in Asphalt Mixtures, Constructing and Building Materials, 23, 2324-2331, 2009.
- 114) Chen, X., Huang, B., Evaluation of Moisture Damage in Hot Mix Asphalt Using Simple Performance and Superpave Indirect Tensile Tests, Construction and Building Materials, 22, 1950-1962, 2008.
- 115) Merusi, F., et al., Moisture Susceptibility and Stripping Resistance of Asphalt Mixtures Modified with Different Synthetic Waxes, Journal of the Transportation Research Board, No. 2180, DOI: 10.3141/2180-13, 110-120, 2010.

- 116) Mokhtari, A., Behbahani, H., Ghortekolai, A.R., Effects of Commercial Wax and Typical Additives on Moisture Susceptibility of SMA Mixtures, *Journal of Applied Sciences*, 11(22), 3708-3716, 2011.
- 117) Caro, S., et al., Analysis of Moisture Damage Susceptibility of Warm Mix Asphalt (WMA) Mixtures Based on Dynamic Mechanical Analyzer (DMA) Testing and a Fracture Mechanics Model, 35, 460-467, 2012.
- 118) Shu, X., et al., Laboratory Evaluation of Moisture Susceptibility of Foamed Warm Mix Asphalt Containing High Percentages of RAP, 35, 125-130, 2012.
- 119) Kim, Y.R., Zhang, J., Ban, H., Moisture Damage Characterization of Warm-Mix Asphalt Mixtures Based on Laboratory-Field Evaluation, *Constructing and Buildings Materials*, 31, 204-211, 2012.
- 120) Sampath, A., Comprehensive Evaluation of Four Warm Asphalt Mixture Regarding Viscosity, Tensile Strength, Moisture Sensitivity, Dynamic Modulus and Flow Number, Master Thesis, Civil and Engineering in the Graduate College of The University of Iowa, 2010.
- 121) Karayolu Teknik Şartnamesi, Karayolu Genel Müdürlüğü, 2006
- 122) Sayın E., Yıldırım, B., Asfalt Betonlu Kaplamaların Farklı Sıcaklıklarda Dayanımı, *Fırat Üniversitesi Fen ve Müh. Bil. Der.*, 17, 463-469, 2005.
- 123) Yollar Fenni Şartnamesi, Karayolları Genel Müdürlüğü Matbaası, Ankara, 1994.
- 124) AASHTO T-166, Bulk Specific Gravity of Compacted Bituminous Mixtures Using Saturated Surface-Dry Specimens, American Association of State Highway and Transportation Officials, 1998.
- 125) AASHTO T-209, Theoretical Maximum Specific Gravity and Density of Bituminous Paving Mixtures, American Association of State Highway and Transportation Officials, 1998.
- 126) AASHTO T-245, Resistance to Plastic Flow of Bituminous Mixtures Using Marshall Apparatus, American Association of State Highway and Transportation Officials, 1998.
- 127) Önal, M.A., Kahramangil, M., Bitümlü Karışımlar Laboratuvar El Kitabı, Bayındırlık ve İskan Müdürlüğü Karayolları Genel Müdürlüğü, 1993.

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet BAYAZİT, 1984 yılında Malatya’da doğmuştur. İlk ve ortaöğrenimlerini sırasıyla Derme İlkokulu’nda, Hidayet Ortaokulu’nda ve Turgut Özal Anadolu Lisesi’nde tamamlamıştır.

2003 yılında Fırat Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü kazanmış ve 2008 yılında mezun olmuştur. 2010 yılında Bozok Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Ulaştırma Anabilim Dalı’na atanmıştır. 2011 yılında Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Anabilim Dalında Doç. Dr. Yüksel TAŞDEMİR’in danışmanlığında yüksek lisansa başlamıştır.

BAYAZİT halen Bozok Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.