

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

Yüksek Lisans Tezi

**KATKISIZ VE MODİFİYE EDİLMİŞ BİTÜMLÜ
BAĞLAYICILARIN YÜZEY ENERJİ BİLEŞENLERİNİN
DURGUN DAMLA YÖNTEMİYLE
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Tuncay CANSEVER

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Yüksel TAŞDEMİR**

Yozgat 2016

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

Yüksek Lisans Tezi

**KATKISIZ VE MODİFİYE EDİLMİŞ BİTÜMLÜ
BAĞLAYICILARIN YÜZEY ENERJİ BİLEŞENLERİNİN
DURGUN DAMLA YÖNTEMİYLE
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Tuncay CANSEVER

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Yüksel TAŞDEMİR**

**Bu çalışma, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından
2014FBE/T144 kodu ile desteklenmiştir.**

Yozgat 2016

T.C.
BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

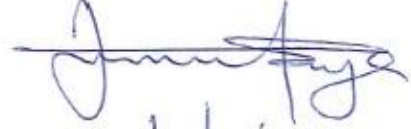
TEZ ONAYI

Enstitümüzün İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı 70110712009 numaralı öğrencisi Tuncay CANSEVER'in hazırladığı "**Katkısız ve Modifiye Edilmiş Bitümlü Bağlayıcıların Yüzey Enerji Bileşenlerinin Durgun Damla Yöntemiyle Değerlendirilmesi**" başlıklı ~~Doktora~~/Yüksek Lisans tezi ile ilgili Tez Savunma Sınavı, Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği uyarınca 29/06/2016 Çarşamba günü saat 11:00'da yapılmış, tezin onayına oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile karar verilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Yüksel TAŞDEMİR (Danışman)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Zülküf KAYA



Üye : Yrd. Doç. Dr. Mustafa VEKLİ



ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulu'nun 15/07/2016 tarih ve 21 sayılı kararı ile onaylanmıştır.



Doç. Dr. Fuat KÖKSAL
Müdür

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜRLER.....	v
TABLolar LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
KISALTMALAR LİSTESİ.....	viii
1. GİRİŞ	1
2. BİTÜM VE BİTÜMLÜ BAĞLAYICILARIN MODİFİKASYONU	5
2.1. Bitümlü Bağlayıcı.....	5
2.2. Bitümlü Bağlayıcı Modifikasyonu	7
2.2.1. Ekstender İlavesi ile Bitümün Modifikasyonu	7
2.2.2. Kauçuk İlavesi ile Bitümün Modifikasyonu.....	8
2.2.3. Polimer İlavesi ile Bitümün Modifikasyonu	8
2.2.3.1. Polimer Modifiye Bitüm Üretim Prensipleri.....	8
2.2.3.2. PMB Uygulamasında Kullanılan Malzeme Özellikleri.....	9
2.2.3.3. PMB Uygulaması, Karşılaşılan Problemler Ve Öneriler.....	9
2.2.4. Fiber İlavesi ile Bitümün Modifikasyonu	10
2.2.5. Organo-Manganez İlavesi ile Bitümün Modifikasyonu.....	10
2.2.6. Doğal Asfalt (Gilsonet) İlavesi ile Bitümün Modifikasyonu	11
2.2.7. Bitümlü Ilık Karışım Katkıları İlavesi ile Bitümün Modifikasyonu	11

3. BİTÜMLÜ İLİK KARIŞIM KATKI MADDELERİ (VAKSLAR)	12
3.1. Vaksların Sınıflandırılması	12
3.1.1. Doğal Vakslar	13
3.1.1.1. Petrol Vakslar	13
3.1.1.2. Montan Vakslar	14
3.1.2. Sentetik Vakslar	15
3.1.2.1. Fischer Tropsch Vakslar	15
3.1.2.2. Polietilen Vakslar	16
4. BİTÜMLÜ BAĞLAYICILARIN VE BİTÜMLÜ KARIŞIMLARIN NEM HASARLARININ TESPİTİNDE UYGULANAN DENEYLER.....	17
4.1. Bitümlü Bağlayıcıların Nem Hasarlarının Tespitinde Uygulanan Deneyler ..	17
4.1.1. Kapilerde (Kılcalda) Yükselme Yöntemi	17
4.1.2. Plaka (Wilhelm Levha) Yöntemi	18
4.1.3. Du Nouy Halka Yöntemi	19
4.1.4. Damla Hacmi ve Damla Ağırlığı Yöntemi	20
4.1.5. Donnan Pipeti	21
4.1.6. Asılı (Pendant) Damla Yöntemi	21
4.1.7. Durgun (Sessile) Damla Yöntemi	22
4.2. Bitümlü Karışımların Nem Hasarlarının Tespitinde Uygulanan Deneyler.....	24
4.2.1. Sıkıştırılmamış Karışımlar Üzerine Yapılan Deneyler.....	25
4.2.1.1. Nicholson Soyulma Deneyi (Statik Daldırma Deneyi).....	25
4.2.1.2. Film Soyulma Deneyi	25
4.2.1.3. Dinamik Daldırma Deneyi	26
4.2.1.4. Kimyasal Daldırma Deneyi	26
4.2.1.5. Net Adsorbsiyon Deneyi	27
4.2.1.6. Yüzey Reaksiyon Deneyi	27
4.2.2. Sıkıştırılmış Karışımlar Üzerine Yapılan Deneyler.....	27
4.2.2.1. Daldırma Batırma Deneyi (ASTM 1075-AASHTO T-165).....	27

4.2.2.2. Modifiye Lottman Deneyi (AASHTO T-283).....	28
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	30
5.1. Bitümlü Bağlayıcı Numunelerinin Hazırlanması.....	31
5.2. Bitümlü Bağlayıcılar Üzerine Uygulanan Deneyler.....	31
5.2.1. Penetrasyon Deneyi.....	31
5.2.2. Yumuşama Noktası Deneyi.....	32
5.2.3. Viskozimetre Deneyi.....	35
5.2.4. Sessile (Durgun) Damla Deneyi.....	38
6. SONUÇ.....	44
KAYNAKLAR.....	47
ÖZGEÇMİŞ.....	50

KATKISIZ VE MODİFİYE EDİLMİŞ BİTÜMLÜ BAĞLAYICILARIN YÜZEY ENERJİ BİLEŞENLERİNİN DURGUN DAMLA YÖNTEMİYLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Tuncay CANSEVER

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

2016; Sayfa: 50

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Yüksel TAŞDEMİR

ÖZET

Bitümlü ılık karışım (BIK) katkı maddeleri ile modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcıların viskoziteleri, katkısız bitümlü bağlayıcılara göre daha düşük olmaktadır. BIK katkı maddeleri, enerji tasarrufu sağlamak ve çevre kirliliğini azaltmaktadır.

Bu çalışmada, vaks içeren bitümlü bağlayıcıların suya bağlı bozulmalara karşı direnci incelenecektir. 70/100 penetrasyona sahip katkısız ve polimerle modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcıya üç farklı tür BIK katkı maddesi (Sasobit, Montan Vaks ve Polietilen Vaks) % 2 ve % 4 oranlarında katılarak bitümlü bağlayıcı numuneleri hazırlanmış ve bu bağlayıcılar üzerine penetrasyon, yumuşama noktası ve viskozite deneyleri uygulanmıştır. Bitümlü bağlayıcıların neme ve soyulmaya karşı hassasiyetlerini belirleyebilmek amacıyla durgun damla deneyi yapılmıştır. Deney sonucunda ise bitümlü bağlayıcılar ile sıvılar arasındaki temas açılarının ve yüzey enerjilerinin değişimleri incelenmiştir.

Katkısız bitümlü bağlayıcı numunelerine polietilen vaksın eklenmesi temas açısı değerlerini azaltırken, yüzey enerjisini arttırmıştır. Sasobit ve montan vaksın eklenmesi diodometan ve etilenglikol ile olan temas açısı değerlerini arttırırken, su ile olan temas açısı değerini azaltmıştır ancak yüzey enerjisi değerlerini düşürdüğü görülmüştür. Polimerle modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcı numunelerine 3 tip vaksın eklenmesi temas açısı değerlerini arttırırken yüzey enerjilerini azalttığı belirlenmiştir. Sonuç olarak sadece katkısız bitümlü bağlayıcıya polietilen vaksın eklenmesi temas açısı değerlerini azaltırken, yüzey enerjisi değerlerini arttırarak nem hasarına karşı direnci arttırabileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Katkısız ve Polimerle Modifiye Edilmiş Bitümlü Bağlayıcı, Vakslar ve Nem Hasarı

PURE AND MODIFIED ASPHALT BINDERS SURFACE ENERGY COMPONENTS EVALUATION WITH SESSILE DROP TECHNIQUES

Tuncay CANSEVER

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

2016; Page: 50

Thesis Supervisor: Prof. Dr. Yüksel TAŞDEMİR

ABSTRACT

The viscosity of asphalt binders modified by warm mix asphalt (WMA) additives are lower compared to the pure asphalt binders. WMA additives conserve energy and reduce environmental pollution.

In this study, resistance of asphalt binders containing wax against distortion due to water will be studied. Asphalt binders were prepared by adding three different types of WMA additives (Sasobit, Montan Wax and Polyethylene Wax) to 70/100 penetrated, additive pure and polymer modified asphalt binders at the rates of 2 % and 4 % and penetration, softening point and viscosity tests were carried out on these binders. Sessile drop test was conducted in order to determine the sensitivity of asphalt binders to moisture and stripping. As a result of the test, contact angle and surface energy changes were investigated between the asphalt binders and liquids.

Addition of polyethylene wax to the pure asphalt binders decreases the contact angle while increasing the surface energy. It has been observed that the addition of sasobit and montan wax increases the contact angle values with the diiodomethane and ethyleneglycol while decreasing the contact angle value with water but decreasing the surface energy values. It has been determined that addition of 3 types of wax to polymer modified asphalt binders increases the contact angle values while decreasing the surface energy values. Consequently, it has been seen that addition of polyethylene wax to the pure asphalt binder decreases the contact angle values while increasing the resistance to moisture damage by increasing the surface energy values.

Key Words: Pure and Polymer Modified Asphalt Binders, Waxes and Moisture Damage

TEŞEKKÜR

Bu çalıőmanın planlanmasını ve yürütölmesini sağlayan, benden bilgilerini, önerilerini ve desteğini esirgemeyen değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Yüksel TAŞDEMİR' e en içten dileklerle teşekkür ederim.

Laboratuvar çalıőmalarında her türlü bilgi ve desteğini esirgemeyen Öğr. Gör. Mehmet BAYAZIT' a en içten dileklerle teşekkür ederim.

Ayrıca hayatım boyunca benden sevgi ve desteklerini esirgemeyen çok sevdiğim ve saygı duyduğum annem ve kardeőime sonsuz őükranlarımı sunarım.



TABLolar LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1: Yolun Kaplama Cinsine Göre Otoyollar, Devlet, İl ve Köy Yolları	2
Tablo 2.1: Modifikasyon Çeşitleri ve Kullanım Amaçları.....	7
Tablo 5.1: Bu Çalışmada Kullanılan Katkılara İlişkin Karakteristik Özellikler	30
Tablo 5.2: Vaks Katılarak Modifiye Edilmiş Katkısız Bitümlü Bağlayıcıların Penetrasyon Değerleri, Yumuşama Noktaları ve Penetrasyon İndeksleri	33
Tablo 5.3: Vaks Katılarak Modifiye Edilmiş Polimerle Modifiyeli Bitümlü Bağlayıcıların Penetrasyon Değerleri, Yumuşama Noktaları ve Penetrasyon İndeksleri	33
Tablo 5.4: Vaks Katılarak Modifiye Edilmiş Katkısız Bitümlü Bağlayıcıların Viskozite Değerleri ve Karıştırma-Sıkıştırma Sıcaklıkları	36
Tablo 5.5: Vaks Katılarak Modifiye Edilmiş Polimerle Modifiyeli Bitümlü Bağlayıcıların Viskozite Değerleri ve Karıştırma-Sıkıştırma Sıcaklıkları	37
Tablo 5.6: Sıvıların Kimyasal Özellikleri	38
Tablo 5.7: Katkısız 70/100 Penetrasyonlu Bitümlü Bağlayıcı Numunelerine Uygulanan Durgun Damla Deneyi Sonuçları.....	40
Tablo 5.8: Polimerle Modifiye Edilmiş Katkısız 70/100 Penetrasyonlu Bitümlü Bağlayıcı Numunelerine Uygulanan Durgun Damla Deneyi Sonuçları.	40
Tablo 5.9: Katkısız Bitümlü Bağlayıcı İçerisine 4 Farklı Agrega Tipi Katılarak Üretilen Numunelerin Dolaylı Çekme Dayanımı ve Çekme Dayanımı Oranları.....	41
Tablo 5.10: Polimerle Modifiye Edilmiş Katkısız Bitümlü Bağlayıcı İçerisine 4 Farklı Agrega Tipi Katılarak Üretilen Numunelerin Dolaylı Çekme Dayanımı ve Çekme Dayanımı Oranları	42

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1: Vaksların sınıflandırılması	13
Şekil 4.1: Kılcalda Yükselme Prensibine Dayalı Olarak Yüzey Geriliminin Ölçülmesi..	18
Şekil 4.2: Wilhelmy Levha Metotları	18
Şekil 4.3: Halka Metodu ile Ara Yüzey Geriliminin Ölçülmesi.....	19
Şekil 4.4: Dar Bir Tüpün Ucundan Damlanın Kopması.....	20
Şekil 4.5: Gonyometre Cihazının Şematik Çizimi ve Asılı Damla Görüntüsü	21
Şekil 4.6: Gonyometre Cihazı.....	22
Şekil 4.7: Temas Açısı ve Young Eşitliği.....	23
Şekil 4.8: Farklı Yüzey Enerjisine Sahip Katı Yüzeylerin Islanma Davranışları	23
Şekil 4.9: Temas Açısı Değerleri İle Hidrofobik ve Hidrofilik Özellik İlişkisi	24
Şekil 4.10: Film Soyulma Deneyi Aleti.....	26
Şekil 5.1: Dönel Viskozimetre Aleti Şematik Görünümü	35
Şekil 5.2: Isıtmalı Kapta Viskozite Deneyinin İşleyişi.....	35
Şekil 5.3: Temas Açısı Ölçümü	39

KISALTMALAR LİSTESİ

AASHTO	: Amerikan Eyalet Karayolu-Ulaşım Delegatesi Birliği
AC	: Asfalt Çimentosu (Asphalt Cement)
AG	: Agrega
ASTM	: Amerikan Test ve Malzemeler Derneęi
BIK	: Bitümlü Ilık Karışım
BSK	: Bitümlü Sıcak Karışım
FT Parafin	: Fischer Tropsch Parafin
ITSR	: Dolaylı Çekme Dayanım Oranı
ITSR_{Kuru}	: Koşullandırılmamış Numuneleri Ortalama Dolaylı Çekme Dayanımı
ITSR_{Yaş}	: Koşullandırılmış Numuneleri Ortalama Dolaylı Çekme Dayanımı
KB	: Katkısız Bitüm
KB+% 4S	: % 4 Sasobit Katkılı Katkısız Bitüm
MW	: Montan Vaks (Montan Wax)
PMB	: Polimerle Modifiye Edilmiş Bitüm
PMB+%4S	: % 4 Sasobit Katkılı Polimerle Modifiye Edilmiş Bitüm
PW	: Polietilen Vaks (Polyethylen Wax)
S	: Sasobit
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
WMA	: Bitümlü Ilık Karışım (Warm Mix Asphalt)
Y.Y	: Yüzyıl

1. GİRİŞ

Türkiye’de yollar; eldeki verilere göre, 1879 Meşrutiyet Devrinde, Hasan Fehmi Efendi tarafından hazırlanan ulaşım projeleri ile devlet ve il yolları diye sınıflandırılıp, yollara numara verilmek suretiyle plânlamaya alınmıştır. Mevcut yolların iyileştirilmesi ve yenilerinin ilâvesi konusunda da fenni şartname hazırlanarak, teknik alanda çalışma yöntemini benimseyen 98 maddelik bir yönerge çıkarılmıştır [1].

Türkiye’de ulaştırma sektörüne bakıldığı zaman gelişmiş ülkelerin tam tersine ağırlıklı olarak karayollarının kullanıldığı görülmektedir. 1950’ lerde taşımacılığın yaklaşık % 49’u karayolu ile yapılırken % 43’ü demiryolu, % 7,5’i denizyolu ve % 0,6’sı havayolu ile yapılmaktaydı. 1959 yılında kurulan Karayolları Genel Müdürlüğü ile birlikte karayollarının gelişme süreci hızlanmıştır. Karayollarının diğer taşıma türlerine göre daha ağırlıklı tercih edilme sebebi ise aktarmasız ve hızlı bir şekilde ulaşım sağlanabiliyor olmasıdır.

Ülkemizde karayolu kaplama çeşitleri bitümsüz hafif kaplamalı ve stabilize yollar ve esnek kaplamalar olarak gruplandırılmaktadır. Bitümsüz hafif kaplamalı ve stabilize yollar günlük trafik hacmi 100~200 araç olan yollarda uygulanmaktadır. Ayrıca daha fazla trafik geçiren yollarda alt temel tabakası olarak kullanılmaktadır. Bu tip yollar üç grupta incelenmektedir. Kum-kil yollar, yapay olarak kum ve kil tabakasının yüzeyde oluşturulmasıyla yapılmaktadır. Çakıl yollar, genellikle yapımdan hemen sonra bitümlü bir aşınma tabakasıyla örtülmektedir. Stabilize yollar ise kum ve çakılın granülometrik karışımı, bağlayıcı özellikli zemin ve nem tutucu tuz ile her türlü hava koşullarında kararlı hale getirilerek yapılmaktadır. Esnek kaplamalar ise yüzeysel (sathi) kaplamalar ve bitümlü bağlayıcılarla yapılan karışımların oluşturduğu kaplamalar olarak 2 ye ayrılmaktadır. Yüzeysel sathi kaplamalarda, bağlayıcılar ve agrega yol yüzeyine ayrı ayrı serilmekte ve sıkıştırılmaktadır. Karışım söz konusu değildir. Trafik yoğunluğu günlük 1000 araca kadar olan yollara uygulanmaktadır. Bitümlü bağlayıcılarla yapılan karışımların oluşturduğu kaplamalar ise hafif bitümlü kaplamalar ve beton asfalt olarak isimlendirilmektedir. Beton asfalt sıcak karışımdır, kalitelidir ve yoğun trafikte uygulanmaktadır [2].

Karayolları Genel Müdürlüğü, Köy işleri Genel Müdürlüğü, Mahalli İdareler Genel Müdürlüğü 2014 yılı TÜİK istatistik verilerine göre yolların kaplama cinslerine göre uzunlukları Tablo 1.1’ de gösterilmiştir [3].

Tablo 1.1. Yolun Kaplama Cinsine Göre Otoyollar, Devlet, İl ve Köy Yolları [3]

Yol Sınıfı	Bitümlü Kaplama (Km)	Kırma taş,Stabilize (Km)	Parke (Km)	Toprak Yollar (Km)	Geçit vermeyen yollar (Km)	Toplam (Km)
Otoyollar	2.155	-	-	-	-	2.155
Devlet Yolu	30.861	67	72	29	251	31.280
İl Yolu	29.338	824	201	570	1.541	32.474
Köy Yolu	70.548	79.673	2.460	14.243	3.838	170.762
Genel Toplam	132.902	80.564	2.733	14.842	5.630	236.671

Ülkemizde, asfalt kaplama yapımında yaygın olarak BSK’ lar kullanılmaktadır. BSK’ ların karıştırma sıcaklıkları 150-180 °C civarında olmasından dolayı enerji tüketimleri fazladır. Üretilmesi ve serilmesi sırasında yüksek ısıdan dolayı sera gazı salınımı fazladır ve çevreyi tehdit etmektedir. Ayrıca üretilmesi yüksek maliyetlidir. Bu sebeplerden dolayı üretimi daha az maliyetli, çevreye olumsuz etkisi daha az olan ve bunların yanında dayanım olarak en az BSK’ lar kadar iyi sonuç veren asfalt karışımları üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar neticesinde çevrenin korunması ve enerjinin daha verimli kullanılması göz önünde bulundurularak asfalt üretim sıcaklığının düşürülmesi amaçlanmaktadır. 2000 yılında düzenlenen Alman Bitüm Forumu’nda karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarında 10–50 °C’ lık bir düşüş sağlayan orta sıcaklıktaki asfalt karışımlar fikri benimsenmiştir [4]. Araştırmacılar son yıllarda ise popüler hale gelen Bitümlü Ilık Karışım (BIK) teknolojisine yönelmeye başlamışlardır. BIK’ lar bitümlü karışımlara çeşitli katkıları katılarak (Montan vaks, FT parafin, Polietilen vaks, vb.) üretilmektedir. Üretim sıcaklığının düşürülmesi sonucu doğaya gaz salınımı azalmakla birlikte asfalt üretim maliyeti de düşmektedir. Ancak henüz yeni sayılabilecek BIK’ ların uygulamada kullanılabilmesi için detaylı araştırma geliştirme çalışmalarına ihtiyaç duyulmaktadır.

Esnek üst yapılarda zamanla çeşitli bozulmalar meydana gelmektedir. Bu bozulmalar dört gruba ayrılmaktadır [5]: Birincisi kalıcı deformasyonlar; BSK tabakası yüzeyinin kusursuz durumunu değiştirmesi ve bozulmasıdır. Bu deformasyonun en sık görüldüğü durum tekerlek izi oluşumudur. Tekerlek izi oluşumunun meydana gelmesinin sebepleri arasında, nem hasarları, aşınma ve trafik yüklerin artmasıyla temel tabakalarının zayıflaması vardır [6]. İkincisi yorulma çatlakları; asfalt kaplamalara uygulanan yüklerden dolayı, çatlak oluşumuna sebep olacak şekilde kaplamanın gerilme dayanımının aşılması ile meydana gelmektedir [6]. Üçüncüsü düşük sıcaklık çatlakları; trafik yüklerinin değil, kötü çevre koşullarının sebep olduğu bir bozulma tipidir. Trafik yüküne dik olarak meydana gelen, enine çatlaklardır. Dördüncüsü ise suya bağlı bozulmalardır. Agregaya yüzeyi ile bitüm arasındaki aderans zayıflaması, soyulma olarak ifade edilmektedir. Bitüm tabakası ile agregaya yüzeyi arasına herhangi bir nedenle giren su, bitüme göre agregaya yüzeyine daha fazla absorbe olarak agreganın bitüm yüzeyinden soyulmasına neden olmaktadır.

Bu tip soyulmaların oluşum nedenleri arasında; su ve yoğun trafik etkisi, bitümlü karışımlar içerisinde kille çevrili agregaya tanelerinin olması, yetersiz sıkıştırma, fazla boşluk yüzdesi, az kullanılmış bitüm yüzdesi, uygun olmayan yapım şartları, yanlış seçilmiş ekipman kullanımı ve donma-çözülme durumunun tekrarlanması ile kırılabilirlik yüksek agregaların kullanıldığı karışımlarda birbirinden kopma meydana gelmesidir [7].

Yukarıdaki sebeplere bağlı olarak soyulma iki değişik biçimde başlayabilir; Birincisi granüler temel ıslaksa veya alttaki tabanlardan kapillarite ile su yükseliyorsa, soyulma asfalt tabakasının alt kısmında başlayabilir. Su, soyulmaya yol açarak asfalt tabakasının içine işler ve bu şekilde yolun taşıma kapasitesini düşürür. Trafik devam etmesi durumunda çatlaklar oluşur ve sonraki aşamalarda asfalt kaplama parçalanmaya başlar. Bu tip soyulmaların tespit edilip gözlenmesi oldukça zordur. Bağlayıcısız granüler temel drenajının yapılması sağlanamıyorsa, asfalt tabaka için soyulma önleyici bir katkı malzemesinin kullanımı tavsiye edilmektedir. İkincisi olarak ise soyulma yüzey tabakasında başlayabilir. Aşınma tabakası suya doyduğu zaman araç tekerleklerinin ön kısımları suyu yüzeye doğru itecek, arka kısımları ise

yukarı doğru çekecektir. Aşınma tabakasındaki boşluklarda, değişen basınç ile suyun bu şekilde pompalanması soyulmayı başlatacaktır. Bitümlü bağlayıcı ile filler karışımı, kaba agregalardan soyulur ve daha sonra bunlar yüzeyden kopar. Yüzey, suyu kolaylıkla emer ve böylece yoldaki bozulma gittikçe hızlanır [8].

Yapılan çalışmamız da temas açısı ve yüzey enerjisi belirlenmek suretiyle suya bağlı bozulmalar üzerinde durulmuştur. Temas açısı ve yüzey gerilimi belirlenmesinde çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bunlar; kapilerde yükselme yöntemi, wilhelmy levha yöntemi, du nouy halka yöntemi, damla hacmi ve damla ağırlığı yöntemi, donnan pipeti yöntemi, asılı (pendant) damla yöntemi ve durgun (sesil) damla yöntemleridir. Durgun damla yöntemi yapılan ölçümlerde doğruya en yakın yüzey enerjisi sonuçları verdiği ve deneysel çalışması kolay uygulanabilir olduğu için çalışmamızda kullanılmıştır. Bu çalışmada katkısız ve polimerle modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcılara çeşitli oranlarda polietilen vaks, montan vaks ve sasobit karıştırılarak katkılı bitümlü bağlayıcılar hazırlanmıştır. Bitümlü bağlayıcılar üzerine su, etilenglikol ve diodometan sıvıları damlatılarak durgun damla yöntemiyle katı-sıvı arasındaki temas açısı ve yüzey enerjisi hesaplanmış ve ortaya çıkan sonuçlara göre hangi tip bitümlü bağlayıcının daha az zarar gördüğü tespit edilmiştir.

2. BİTÜM VE BİTÜMLÜ BAĞLAYICILARIN MODİFİKASYONU

2.1. Bitümlü Bağlayıcı

Bitümlü bağlayıcı, yol üst yapısında kullanılan en önemli bağlayıcıdır. Doğal ya da pirojenik hidrokarbonların bir karışımı veya bunların her ikisinin birlikte kullanılması olup, sıklıkla sıvı, yarı katı ya da katı durumda bulunan, yapışma özelliği olan ve karbondisülfür de tamamen çözünebilen madde olarak tanımlanmaktadır [9].

Bitümlü bağlayıcılar bitüm ve katranlar olmak üzere iki farklı gruba ayrılmaktadır. Bitümler ise doğal bitümler ve yapay bitümler olmak üzere iki alt grupta sınıflandırılabilirler. Doğal bitümler, mineral maddelerle karışmış durumda bulunan kaya ve göl bitümleridir. Yapay bitümler ise ham petrolün damıtılması sonucu elde edilmektedir. Katran ise öncelikle kömürün veya odunun kapalı bir sistem içinde kuru halde damıtılmasından elde edilmektedir. Ülkemizde doğal bitümler Bolu, Eskişehir, Hatay ve Mardin civarında bulunmaktadır.

Kaya bitümü oldukça gözenekli kalkerin, az miktarda da kum taşının doğal olarak bitüm emmesinden oluşmaktadır. İçerisindeki mineral madde oranı genel olarak malzemenin % 90'ını oluşturur, bitüm oranı da % 10 kadardır. Memleketimizde bulunan kaya bitümleri en çok kum taşı, kalker ve kil gibi maddeler ile % 2~12 civarında bitümün karışımından oluşmaktadır.

Göl bitümünde mineral malzeme çok ince taneler halinde bu bitüm ortamı içinde yayılmış durumdadır. En çok bilinen göl bitümü Trinidad göl bitümüdür. Trinidad adasında mevcut bir bitüm gölünün derinliği takriben 100 m olup geniş bir alanı kaplamaktadır. Göldeki bulunan malzeme yarı katı haldeki bir bitüm ile ince mineral agreganın çok iyi bir şekilde karışımıdır. Burada elde edilen bitüm içinde % 35 kadar mineral malzeme mevcuttur.

Petrol bitümü dediğimiz bağlayıcılar ise ham petrolün işlenmesi ile elde edilmektedir. Ham petrol yatakları gerek fiziki şekil, gerekse kimyasal yapı bakımından çok farklı çeşitlilikler göstermektedir. Ham petrolün ihtiva ettiği bitüm, bölgelere, arazi cinsine ve yatakların çeşidine göre değişmektedir. Asfalt yapımında

çoğunlukla rafineri edilmiş bitümlü bağlayıcı kullanılmaktadır. Yol yapımı için kullanılacak bitümlerde düktilite özelliğinin fazla olması, yumuşama sıcaklığının yüksek olması, maddeye şekil veren sıcaklık aralığının yüksek olması ve yapışabilme özelliğinin bulunması gerekmektedir.

Bitümlü bağlayıcıları asfaltlar ve maltenler (petrolenler) olarak adlandırılan iki geniş kimyasal gruba ayırmak mümkündür. Maltenler de ayrıca, doymunlar, aromatikler ve reçineler olarak alt gruplara ayrılmaktadır [10].

Asfaltlar: Karbon ve hidrojenle oluşan ve bir miktar nitrojen, sülfür ve oksijen içeren, siyah veya kahverengi amorf katılardır. Asfaltlar genel olarak, oldukça yüksek molekül ağırlığına sahip, polar (elektriksel yüke sahip) ve karmaşık aromatik maddelerdir. Asfalt miktarı bitümün reolojik özellikleri üzerinde önemli etkilere sahiptir. Asfalt miktarının artırılması ile daha düşük penetrasyon ve daha düşük yumuşama noktasına sahip, daha sert ve sonuç olarak daha yüksek viskoziteli bir bitüm elde edilmektedir. Asfaltlar, bitümün % 5~25'ini oluşturmaktadır [10].

Maltenler: Asfalt, molekül ağırlıkları farklı hidrokarbonların bir karışımı olup n-heptan'da çözülen kısmına malten denmektedir [11].

Reçineler: Reçineler, asfaltlar gibi geniş oranda hidrojen ve karbondan oluşmakta ve az miktarda oksijen, sülfür ve nitrojen içermektedir. Koyu kahverengi renkte, katı ya da yarı katı olan reçineler elektriksel olarak oldukça yüküldür. Bu özellikleri reçinelerin güçlü bir yapışkan olmalarını sağlamaktadır [10].

Aromatikler: Aromatikler, bitüm içerisindeki en düşük molekül ağırlıklı naftenik aromatik bileşenlerden oluşmaktadır ve bitüm içerisine dağılmış asfaltların yayılımları için gereken ortamın büyük kısmını teşkil etmektedirler. Aromatikler, toplam bitümün % 40~65'ini oluşturan koyu kahverengi, viskoz sıvılardır [10].

Doymunlar: Bunlar, saman rengi veya beyaz renkteki polar olmayan viskoz yağlardır. Bitümün, % 5~20'sini oluşturmaktadır [10].

2.2. Bitümlü Bağlayıcı Modifikasyonu

Bitümlü malzemelerin modifikasyonu yönteminde, bitüm içerisinde tamamen veya bir miktar eriyebilen katkıları kullanılmaktadır. Bu yöntemde bitüme ilave edilen katkı maddesi tamamen çözünerek ağısı bir yapı oluşturmaktadır. Katkı maddesi eklenerek elde edilen bitümlü malzeme belirlenen gradasyona uygun agregalar ile karıştırılarak modifikasyon tamamlanmaktadır. Polimer bazlı katkı maddeleri ile organik ve kimyasal BIK katkı maddeleri bu grubun içinde sayılabilmektedir. Bitümün modifikasyonuna ait katkıların genel sınıflandırması Tablo 2.1’ de sunulmaktadır.

Tablo 2.1. Modifikasyon Çeşitleri ve Kullanım Amaçları

Modifikasyon Çeşidi	Kullanım Amaçları
Ekstender	Sertleşme
Kauçuk	Düşük sıcaklık performansı Çatlak doldurma
Polimer	Yüksek sıcaklık performansı Sathi kaplamalar ve yalıtım
Fiber	Sertleşme
Organo-Manganez	Mukavemeti artırma Karışımın ısıya duyarlılığını ve fiziksel özelliklerini iyileştirme
Doğal Asfaltlar (Gilsonit)	Tekerlek izi deformasyon direncini artırmak
Bitümlü Ilık Karışım Katkıları	Viskoziteyi düşürme Karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarını düşürme İzlenebilirliği artırma

2.2.1. Ekstender İlavesi ile Bitümün Modifikasyonu

Ekstenderler genel olarak kullanılacak miktara göre kükürdün az ve fazla miktarda kullanıldığı uygulamalar olmak üzere iki şekilde kullanılmaktadır. Az miktardaki uygulamalarda ekstenderler bitümün seyrekleştirilmesi işlevini görür. Fazla miktardaki uygulamalardaysa ekstenderlerin işlenebilirliğini arttırdığı, silindir kullanmadan, yalnızca finişer ile serilebilecek derecede uygulanabilir ve hizmet süresi boyunca deformasyona karşı yüksek dirençli karışım elde edilmektedir [10].

2.2.2. Kauçuk İlavesi ile Bitümün Modifikasyonu

Polibütadien, poliizopren, doğal kauçuk, bütül kauçuk, klorofin, düzensiz stirenbutadien-kauçuk, vb. gibi bileşenlerin çoğu bitüm ile birlikte kullanılmakta olup, başlıca etkileri viskoziteyi arttırmaktır.

Bazı durumlarda kauçuklar çapraz-bağlı halde kullanılır. Genellikle kullanılmış taşıt lastiklerinden elde edilen bu malzeme bitümlü karışımlara yüksek sıcaklıklarda karıştırılarak kullanılır.

Yol yapımı için kullanılan karışımlar haricinde kauçuğun bitüm ve agregaya karıştırılarak futbol ve çocuk oyun sahasında kullanılabilir elastik yüzeye sahip malzeme yapımında da kullanılabilirliği görülmektedir [12].

2.2.3. Polimer İlavesi ile Bitümün Modifikasyonu

Genel olarak termoplastik kauçuklar (TR) olarak da isimlendirilen strenik blok kopolimerler, styren-butadien-styren (SBS) ya da styren-izopren-styren (SIS) ardışık polimerizasyon işlemleri ile meydana gelmektedir. Buna ek olarak styren ve orta-blok monomerin ardışık polimerizasyonu ile ardından bağlayıcı kimyasal bir ara maddenin reaksiyonu ile bir çift blok öncü oluşturulabilmektedir [13].

Elastomerler, dayanım ve elastikliğini üç boyutlu ağların fiziksel olarak çapraz şekilde bağlanmaları sonucu meydana getirmektedir. Polimere mukavemet kazandıran bileşen, polistren uç bloklardır. Orta bloklar da malzemeye olağanüstü bir esneklik sağlar [14].

Plastomer türü polimerler, bitüm ile karıştırıldıklarında ortam sıcaklığında birleşerek, karışımın viskozitesini arttırlar. Ancak, plastomerler bitümün elastisitesini belirgin şekilde arttıramamaktadır. Isıtıldıklarında, ayrışma ve soğuma ile kaba bir dağılıma sebep olmaktadır.

2.2.3.1. Polimer Modifiye Bitüm Üretim Prensipleri

Polimer modifiye bitüm (PMB) üretimine polimer ve bitümlü bağlayıcının özellikleri, üretim süreci, karıştırıcının özellikleri gibi değişkenler etki etmektedir. Mevcut PMB üretimi; genellikle polimerle bitümün karıştırılmasından sonra yüksek

kesicili değirmenden, gerekli pas sayısı kadar geçirilmesi temeline dayanmaktadır. Değirmen polimeri parçalar haline getirerek küçültmektedir. Bu esnada yükselen ısıyla beraber polimerlerin çözünmesi sağlanmaktadır [15].

2.2.3.2. PMB Uygulamasında Kullanılan Malzemelerin Özellikleri

PMB üretiminde kullanılması düşünülen bitümün ilk olarak homojen üretim yapan rafineriden temini düşünülmelidir. İlgili şartnameye uygun bitümler kullanılmalıdır. Şantiye laboratuvarında PMB üretimi için 180 °C–185 °C' ta ısıtılan bitümlü bağlayıcıya, kütlesinin % 4,5 -% 5,0 - %5,5 oranlarında katılarak farklı PMB 'ler üretilmektedir [15].

2.2.3.3. PMB Uygulaması, Karşılaşılan Problemler ve Öneriler

Geleneksel ve PMB' lü aşınma tabakası uygulamaları arasındaki en belirgin farklar şu şekilde özetlenmiştir. Geleneksel uygulamada; AC50/70 bitümlü bağlayıcı kullanıldığında asfalt üretim tesisinden çıkan karışım 140 °C - 155 °C arasında olup, malzemenin uygulama yerine getirilerek serilme işlemi uygulanmaktadır. Yapılacak işlemlerden sonra ilk silindirleme işlemi ortalama 130 °C – 135 °C arasında başlamaktadır ve 80 °C – 90 °C arasında bitirilmektedir. Bu karışım uygulamalarında lastik tekerlekli silindirler de sıkıştırma işlemlerinde kullanılmaktadır. Uygulama anında meydana gelen bozuk serimler el işçiliğiyle düzeltilebilmektedir. PMB kullanılarak hazırlanan karışım uygulamalarında ki en önemli durumlar ise; karışım malzemesinin sıcaklığı, silindirajın başlama ve bitiş sıcaklığı ile silindir geçiş sayısıdır. Karışımın asfalt üretim tesisi çıkışı 185 °C - 190 °C arasında olmaktadır. Karışımın uygulama alanına gelişi, serilmesi işlemleri hızlı bir şekilde yapılmalı, 170°C -175 °C arasında silindirleme işlemine başlanmalı, 140 °C -145 °C arasında ise silindirajın bitirilmesi gerekmektedir. Uygulamada üç geçiş yeterli görülmektedir. İlk geçiş düz diğer iki geçiş titreşimli olarak uygulanabilir. Ayrıca PMB' le hazırlanan karışımlarda karşılaşılabilecek bir serim hatasından kaynaklanan küçük yerlerin tamiri oldukça zor olmaktadır. İstenilenden fazla titreşimli pas kaplamayı zayıflatarak sıkışma özelliklerini kaybettirmektedir. PMB uygulamalarında lastik tekerlekli silindir kullanılmamaktadır. Serim bölgesindeki iklim koşulları belirlenerek, PMB üretimi yapılmalı ve o bölge için uygun olup olmadığı test edilmelidir.

Bitümlü bağlayıcının modifikasyonunda kullanılan PMB katkıları katıldıkları bitümlü bağlayıcının penetrasyon değerlerini azaltmış ve yumuşama noktası değerlerini yükseltmiştir. Özellikle karışım sıcaklığının yükseltilmesi ve daha uzun karıştırma sürelerinde geçerli sonuçlar vermektedir. Bu sonuçların değerlendirilmesi ile bitümlü bağlayıcının PMB katkılarıyla modifiye edilmesi ile bitümlü bağlayıcıların sıcaklık değişimlerine olan duyarlılığının azaldığı, bundan dolayı bitümlü kaplamalarda değişik sıcaklık ve yükleme hızı frekanslarında kalıcı deformasyona ve kırılmaya karşı dayanıklılıklarının artacağı söylenebilmektedir. Bitümün yapışma özelliklerinin iyileştirilmesi, kullanıldıkları karışımın tekrarlı yüklere karşı yorulma dayanımının artmasına, bitümün agregaya daha iyi yapışması nedeniyle suyun sebep olacağı zararlı tesirlerin azalmasına neden olacaktır. Bunlara ek olarak kaynaklarda PMB katkıların uygulandığı karışımların yıpranma ve yaşlanmasına karşı iyi bir ısı direnci gösterdiği belirtilmektedir.

2.2.4. Fiber İlavesi ile Bitümün Modifikasyonu

Fiberlerin büyük ölçüde kesikli gradasyonlu karışımlarda kullanımı, kasma olmaksızın karışıma gerekli kohezyonu sağlayıp, alt tabakalara su geçirmeyi önleyen en fazla miktardaki bağlayıcıyı kullanmayı olanaklı hale getirmektedir. Fiber ilavesi ile modifiye edilmiş bitümler, köprülerde ve su yalıtımı sağlayan tabakalarda, köprü üzerinde oluşan önemli ölçüdeki genleşmelere dayanabilmesinden dolayı kullanılmaktadır.

2.2.5. Organo-Manganez İlavesi ile Bitümün Modifikasyonu

Organo-mangan bileşiğinin bitümlü bağlayıcı içerisinde hızlı bir şekilde dağılmasını sağlamak amacıyla malzeme bir katalizör ile karıştırılarak kullanılmaktadır. Manganez, kararlı, kimyasal direnci yüksek metalli karmaşıkların oluşumunu hızlandırdığına inanılmaktadır. Bu karmaşıklar bitümlü bağlayıcı moleküllerini birbirine bağlayarak, bitümlü karışımın dayanımını güçlendirmektedir. Organo metalik mangan katkı maddesi ile kalker ve bazalt agregalarının soyulmaya karşı dayanım değerinde genel olarak % 90 oranına varan artışlar olduğu ve organo metalik mangan bileşiğinin kalkerlerde bazaltlara göre daha etkili olduğu tespit edilmiştir [16].

2.2.6. Doğal Asfalt (Gilsonit) İlavesi ile Bitümün Modifikasyonu

Doğal bir hidrokarbon olan gilsonite, yapısında yüksek miktarda asfalt (% 70) ve nitrojen bileşikleri (% 3) ile düşük miktarlarda (% 0.3) kükürt bulundurmaktadır. Doğal halde (% 99) saflıkta bulunmakla birlikte bitüm ile tamamen uyumludur. Bitüm içerisinde kararlı bir çözelti oluşturmakta ve uygun bir karıştırma süreci ile homojen bir şekilde dağılmaktadır. Gilsonite oldukça yüksek moleküler ağırlığa sahip, polar özellik taşıyan bir polinükleer hidrokarbondur. Doğal bir asfalt olmasından dolayı yol yapım malzemelerinin içerisinde kolayca dağılabilmekte, sürekli ve kararlı bir asfalt bağ oluşturma görevini üstlenmektedir.

2.2.7. Bitümlü Ilık Karışım Katkılar İlavesi ile Bitümün Modifikasyonu

Bitümlü ılık karışımların (BIK) modifikasyon yönteminde, uygun gradasyon ve bitüm içeriği ile hazırlanan karışımlarda katkılar üretim sırasında ilave edilmektedir. Bu tip modifikasyonlar genel olarak doğal dolgu maddeleri sınıfında yer alan katkı maddeleri ile hazırlanan bitümlü karışımlarda uygulanmaktadır. Bu tip modifikasyonda ki amaç viskoziteyi, karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarını düşürmek, işlenebilirliği arttırmaktır.

Bitümlü sıcak karışımların (BSK) üretim sıcaklığının 180 °C' ye kadar yükselmesi, enerji ihtiyacını ve enerji maliyetlerini arttırmaktadır. Ayrıca, uygulama sırasında yüksek sıcaklığın etkisi ile çevreye ve insan sağlığına zararlı emisyon gazları açığa çıkmaktadır. Bu olumsuzlukları en aza indirmek için çeşitli teknolojiler geliştirilmiş ve BSK' ların üretim sıcaklığı düşürülmüştür. BSK' lara kıyasla daha düşük sıcaklıklarda hazırlanan bu karışımlardan biride BIK' lardır. Karışıma, organik veya kimyasal katkılar eklenerek karışımın üretim sıcaklıklarının düşürülmesi sağlanmaktadır. BSK' lara kıyasla karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarında 20 °C - 40 °C kadar bir düşüş elde edilmektedir. Düşük üretim sıcaklıkları, bitümün viskozitesini azaltmaktadır. Viskozitenin azalmasına bağlı olarak, karışımın işlenebilirliği artmakta, sera gazı emisyonları azalmakta ve daha az enerji kullanılmaktadır. Bu durum, üretim maliyetlerini ve çevre kirliliğini azaltmakta, çalışma şartlarını geliştirmekte ve daha iyi sıkışma sağlayarak kaplamanın performansını da arttırmaktadır. Çalışmamız bu konu üzerinde yoğunlaşacağından bir sonraki bölümde BIK katkı maddeleri üzerinde durulacaktır.

3. BİTÜMLÜ İLİK KARIŞIM KATKI MADDELERİ (VAKSLAR)

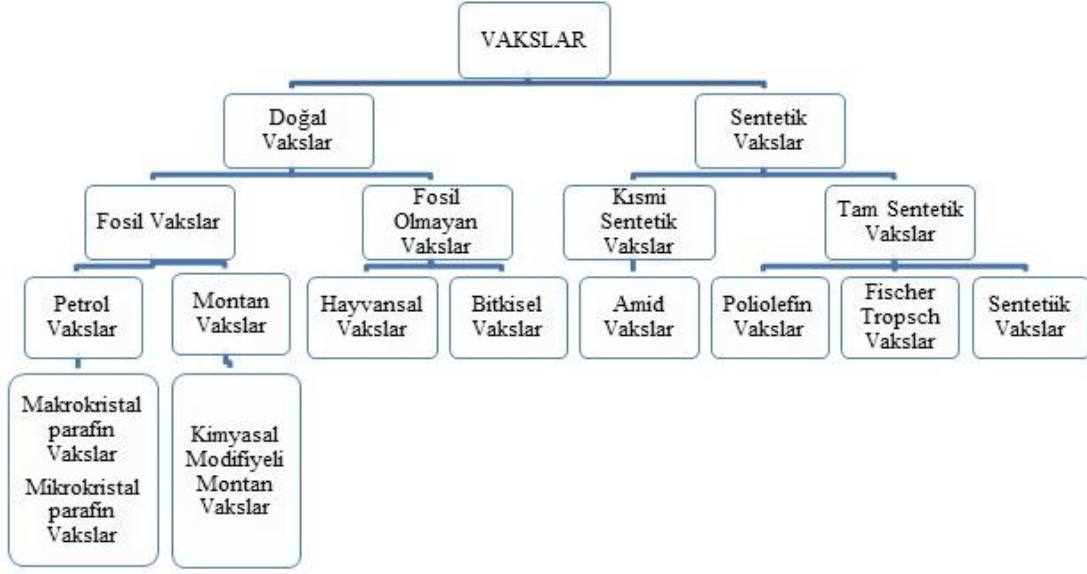
Vakslar, insanlar tarafından kullanılan en eski işlenmiş malzemelerden birisi olup, inşaat malzemeleri olarak da uzun zamandan beri kullanılmaktadır. Günümüzde vakslar daha çok katkı ve aktif madde olarak kullanılmaktadır [17].

Vakslar, temelinde balmumu olan malzemelerdir. Balmumu, uzun zamandan beri kozmetiklerin, parlaticıların 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 dâhil edilmektedir [17,18].

Balmumu karmakarışık yapısı ile birbirinden farklı çeşidi olan bir bileşimdir. Anlaşılabilir bir tanımlama ile dayanıklı ve sert yapısının yüksek sıcaklık etkisinde kalması sonucunda düşük viskozitede sıvıya dönüşmektedir. Petrol esaslı olan, mikrokristalin vaks ve makrokristalin vaks (parafin) olarak bilinen çeşitleri yüksek nem geçirmezlik yeteneğine sahiptir. Mikrokristalin vakslar da asit ve alkol sızdırmazlık oranı yüksek seviyelerdedir. Bazı çeşitler ise ultraviyole ışınlarının zarar verici etkilerine karşı iyi bir koruma sağlamaktadır. Yapısındaki ultraviyole tutucuları, ışınların geçişini durdurarak renk kaybını engellemektedir.

3.1. Vaksların Sınıflandırılması

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 [17]. Doğal vakslarla sentetik vakslar arasında belirgin bir fark olmamakla birlikte vakslar, genel olarak suda çözünmeyen, az miktarda alkolde çözünebilir yapıdadır. Şekil 3.1' de vaksların sınıflandırılması yer almaktadır.



Şekil 3.1. Vaksların Sınıflandırılması

3.1.1. 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 esastır [17,18]. En çok bilinenler petrol vakslar ve monton vakslardır.

3.1.1.1. Petrol Vakslar

Petrol vaksları, çok bileşenli karışımlar olup, yüksek molekül ağırlıklı doymuş hidrokarbonlardan oluşmaktadır ve bitümlü bağlayıcı içerisinde doğal olarak bulunabilen vakslardır. 19. y.y.' in ikinci yarısından itibaren yağlayıcı maddelerin elde edilmesinde kullanılmaya başlanmasıyla petrol vakslarının dünya tüketimi artarak 3 milyon tona ulaşmıştır [17].

Doğal oluşumlarına ve kristalleşmelerine bağlı olarak petrol vaksları ikiye ayrılır; Makrokristal Vakslar (parafin vakslar) ham yağ depolarının alt kısmında kalan petrol yağ buharından kalan doymuş hidrokarbon bölümünden oluşur. Kristal parafinde denilmektedir. Kristaller uzun, dar ve plakaya benzer şekillerdedir. Bu nedenle gevrek tabakalar meydana getirmektedirler. Hafif petrol destilatlarında bulunmaktadır. Erime noktası 25 °C – 69 °C' dir. Mikrokrystalinin kristal yapısı

başka vakslara göre çok daha küçüktür ve nem, alkol, asit gibi maddelere karşı yüksek sızdırmazlık özelliği göstermektedir. Mikrokristalin vaks katı bir yapıya sahiptir. 25 °C' ye geldiğinde 11 dmm.' den daha düşük penetrasyon sonucu verebilmektedir ve 60 °C - 93 °C' de erime sıcaklığına sahiptir. Mikrokristal Vakslar (mikrovakslar) gevşek yapılı, yağdan temizlenmiş petrol esaslı bir vaks çeşididir. Neme karşı yüksek sızdırmazlığı söz konusudur ve diğer vaks çeşitleriyle birleşime uygun bir yapıya sahiptir.

Makrokristal ve mikrokristal vaksların erime noktaları; n-parafin bileşenleri, kristalleşmeleri, termal karakteristikleri, dallanma yapılarının dereceleri ve kendilerine özgü kristal yapılarından dolayı farklı olmaktadır [19].

3.1.1.2. Montan Vakslar

Montan Vaks bitkisel fosil vaks olup linyit kömüründen elde edildiği için linyit vaksı adını da almaktadır. 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, 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 [17,20,21,22].

İşlenmemiş montan vaksın içeriği:

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

şeklinde olup erime sıcaklığı 82 °C - 95 °C arasındadır [17].

Montan vaks; zemin kaplamasında, araba ve deri için cilalarda, yağlayıcılarda, kağıt ve yapı endüstrisinde, ağaç ve metal ürünlerinde, mastik asfalt katkılarında kullanılmaktadır [17,18]. Bitümün akıcılığını arttırıcı 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 [18,23].

3.1.2. Sentetik Vakslar

Doğal vakslar olmayıp kimyasal reaksiyonlarla elde edilmektedir. Sentetik vakslar, kısmi sentetik vakslar ve tam sentetik vakslar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Kısmi sentetik vakslar, doğal vaksların vaks özelliği taşıyan malzemelerin esterleşme, amidasyon şeklindeki kimyasal reaksiyonlarla modifiye edilmesiyle elde edilmektedir. Tamamen sentetik vakslar 20. y.y da geliştirilmiş olup Fischer Tropsch vaks ve polietilen vaks, tamamen sentetik vaks grubuna dahildir. Bu vakslar arasındaki fark kimyasal reaksiyon başlangıcında kullanılan malzemenin farklılığından oluşmaktadır [17].

3.1.2.1. Fischer Tropsch Vakslar

Fischer-Tropsch vaksları (FT-parafin) , Fischer-Tropsch sentezinin bir ürünüdür. FT sentezinin reaksiyonu; Fischer-Tropsch sentezi ile elde edilen ürünler, iyi bir kristal yapıya sahip olup erime noktası, 70 °C – 120 °C arasında olmaktadır [17,18,24]. FT parafin vaksları; plastik ürünlerinde, sanayi yağlarında, polistiren üretiminde, mumlarda, iyi parlayabilme özelliğinden dolayı temizleme ve parlatma ürünlerinin üretiminde kullanılmaktadır. Ayrıca viskozite azaltıcı olarak bitümlerde kullanılmaktadır [17]. Bitümlü karışımlarda 65 °C - 115 °C arasında erirler ve bitümde çubuk şeklinde mikroskobik küçük parçacıklar halinde düzgün bir şekilde dağılırlar. Bitümün modifiyesinde kullanılabildiği gibi doğrudan karışıma da eklenebilmektedirler [20,25,26]. Bitüme sasobitin eklenmesi, çalışmalara ve ürün bilgisine göre bitümün plastisite aralığını ve yumuşama noktasını arttırmakta ve penetrasyonu da azaltmaktadır. Penetrasyon ve yumuşama noktası üzerine etkisi, bitümün sertliğinin artması ile azalmaktadır [24,27,28,29]. Sasobitin erime noktası 100 °C civarındadır ve 120 °C' nin üzerindeki sıcaklıklarda bitümün içinde tamamen

çözünmektedir. Karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarını düşürmekte ve böylece gaz emisyonlarını azaltırken, enerji tasarrufu sağlamaktadır. [30,31].

3.1.2.2. Polietilen Vakslar

Yüksek sıcaklıkta polimerizasyon ve vaks oksidasyonu ile üretilir. Polietilen, çok çeşitli ürünlerde kullanılan bir termoplastiktir. Son ürünün özelliklerini ve üretim sürecini geliştirmesinden dolayı birçok kullanım alanı mevcuttur. İsmi monomer haldeki etilenden alır, etilen kullanılarak polietilen üretilir. Kaydırıcı ajan, dispersant, reçine modifiyeri ve kalıp ayırıcı olarak kullanılmaktadır. Plastik endüstrisinde genelde ismi kısaca PE olarak kullanılır. Özellikleri tiplere göre değişiklik gösterse de; dış ortam koşulları ve neme karşı iyi direnç, esneklik, zayıf mekaniksel kuvvet ve üstün kimyasal direnç genel özellikleri olarak sayılabilmektedir. Vaks yüzeyi üzerinde sağlamlaştırıcı ve aşınma önleyici olumlu etkileri vardır.

4. BİTÜMLÜ BAĞLAYICILARIN VE BİTÜMLÜ KARIŞIMLARIN NEM HASARLARININ TESPİTİNDE UYGULANAN DENEYLER

Bitümlü bağlayıcılar ve bitümlü karışımlarda karşılaşılan nem hasarlarının nedenleri çeşitli deneylerle tespit edilerek önlemler alınmaktadır.

4.1. Bitümlü Bağlayıcıların Nem Hasarlarının Tespitinde Uygulanan Deneyler

Nem hasarlarının tespiti için yüzey ve yüzeyler arası gerilimlerin ölçülmesi için birçok yöntem kullanılır.

Başlıca ölçme yöntemleri şunlardır:

1. Kapillerde (Kılcalda) yükselme yöntemi
2. Plaka (Wilhelmy plate) yöntemi
3. Du Nouy halka yöntemi
4. Damla Hacmi ve damla ağırlığı yöntemi
5. Donnan pipeti yöntemi
6. Asılı (Pendant) damla yöntemi
7. Durgun (Sesil) damla yöntemi

4.1.1. Kapillerde (Kılcalda) Yükselme Yöntemi

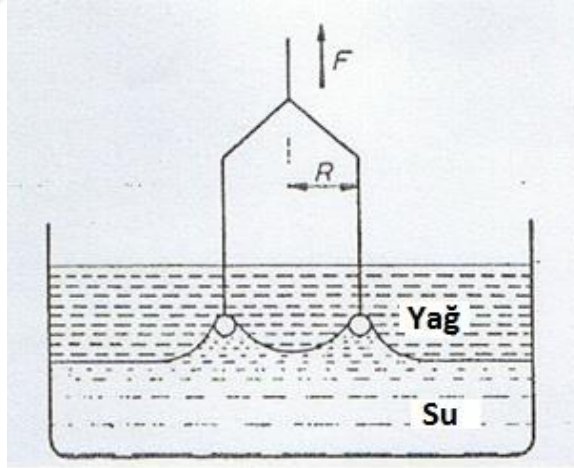
Yalnızca yer çekimi etkisine maruz kalan bir kaptaki sıvının serbest yüzü yataydır. Fakat sıvı yüzeyinin bulunduğu kabın kenarında yer alan kısmı, sıvının kabı ıslatıp ıslatmamasına göre aşağı ya da yukarı doğru olmaktadır. Bu durum, dar tüplerde açıkça görülmektedir. Kılcal tüplerde sıvıların yükselmesine ya da alçalmasına "kapillarite" denir. Kapillaritenin sebebi yüzey gerilimidir. Kılcalda, yüzey gerilimi sebebiyle yükselen sıvı, yer çekimi ile dengeye gelmektedir. Sıvı molekülleri ile kılcal tüp arasında kalan adezyon kuvveti, sıvı molekülleri arasındaki kohezyon kuvvetinden daha az ise, sıvı yüzeyi ıslatmaz. Eğer, sıvı molekülleri arasındaki kohezyon kuvveti, sıvı-cam arasındaki adezyon kuvvetinden daha az ise, sıvı camı

a. Koparma (Ayrırma) Yöntemi: Yüzey gerilimi hesaplanacak olan sıvıyı bulduran kap içine levha batırılır ve kap yavaş yavaş alçaltılır. Diğer kola eklenen ağırlıklardan koptuğu andaki çekim teraziden belirlenir [31].

b. Statik Yöntem: Levha metodu, yüzey gerilimindeki değişmelerin belirlenmesi için statik bir metod olarak da kullanılabilir. Levha, bir sıvı içine batırılmış durumda iken, yüzey gerilimi değiştiğinde, levhayı sabit batırmada tutmak için gereken kuvvet değişikliği ölçülür.

4.1.3. Du Nouy Halka Yöntemi

Yüzey ve yüzeyler arası gerilimin ölçülmesinde Du Nouy yüzey gerilim deney aleti "Du Nouy Tensiometer" kullanılır. Bu metotta, halkanın kopması için gereken kuvvet ölçülür. Yüzey veya ara yüzeye batırılmış platin iridyumdan meydana gelmiş halkanın sıvıdan koparılması için gerekli kuvvetin, yüzey ve yüzeyler arası gerilim ile orantılı olması durumuna dayalı bir yöntemdir [31]. Şekil 4.3' de halka metodu ile ara yüzey geriliminin ölçülmesi gösterilmiştir.

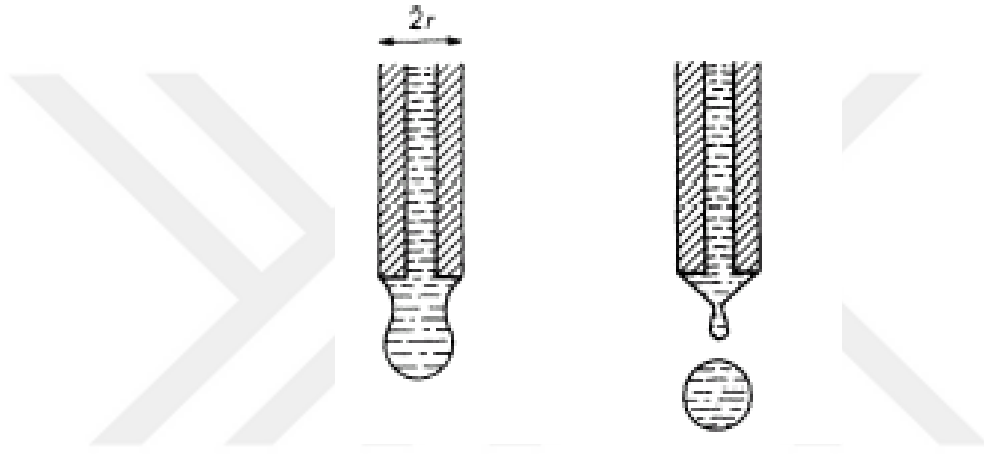


Şekil 4.3. Halka Metodu ile Ara Yüzey Geriliminin Ölçülmesi

Temas açısının sıfır olmasının sağlanması için platin halka her kullanıldıktan sonra kuvvetli asitte ya da bünzen alevinde dikkatle temizlenmelidir. Bu yöntemde, düzeltme faktörü uygulanmaz ise ölçmelerde hata % 25'i bulabilir. Bazı cihazlarda kadran doğrudan yüzey gerilimi din/cm olarak göstermektedir.

4.1.4. Damla Hacmi ve Damla Ağırlığı Yöntemi

Dik durumda tutulan dar bir tüpün ucundan bir sıvı damlasının yavaşça kopması sağlanır. Kopan damlanın ya ağırlığı, ya da hacmi ölçülür, ya da damla sayısı saptanır. Yüzey gerilimi bilinen bir sıvının damla ağırlığı, damla hacmi ya da damla sayısı saptanır. Aynı koşullarda bilinmeyen sıvınıniki ile karşılaştırılır [31]. Şekil 4.4' de dar bir tüpün ucundan damlanın kopması gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Dar Bir Tüpün Ucundan Damlanın Kopması

Bir damlalığın ya da ince borunun ucunda, bir damlayı tutan kuvvet, damlanın tüpe temasta bulunduğu daire boyunca etkiyen sıvının yüzey gerilimi ile orantılıdır. Damla, uçtan tam koptuğu anda yüzey gerilimi, damlanın (mg) ağırlığına (kütlesine) eşittir.

Damla, koptuğu uçtan ayrılırken bir miktar sıvı bırakır. Bu yüzden düzeltme faktörü yer almalıdır. Deney, yüzey gerilimi bilinen bir sıvıyla örneğin su ile yapılır. Sonra da yüzey gerilimi saptanacak sıvı ile tekrar edilir.

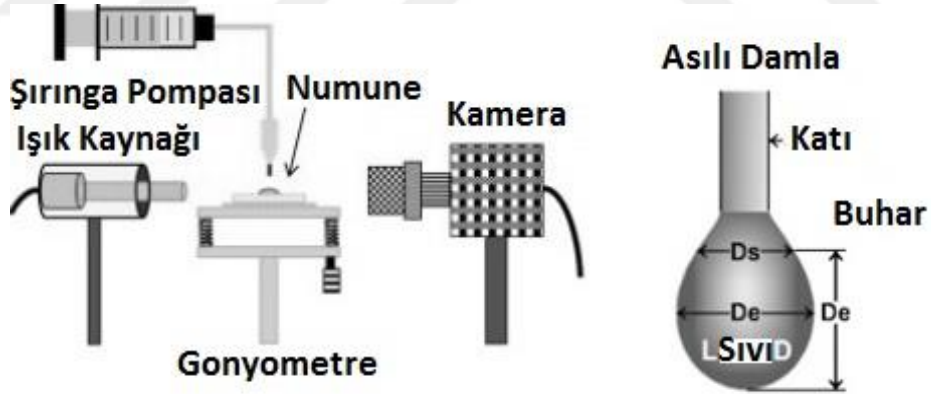
Bir damlanın kütlesini tartmak güç olduğu için genel olarak 50-100 damla sayılıp ağırlıkları belirlenir, buradan tek bir damlanın kütlesi bulunur.

4.1.5. Donnan Pipeti

Bu yöntem ile birbiriyile karışmayan sıvıların ara yüzey gerilimi saptanır. Pipet içine, ara yüzey gerilimi bilinen karışmayan sıvılardan yoğunluğu küçük olan konur, pipet diğer sıvıya daldırılır. Pipetin üst hava musluğu açılarak yoğunluğu küçük olan sıvının belirli miktarının damlalar halinde, ikinci sıvının yüzeyine çıkması sağlanır ve damla sayısı sayılır. Bu kez pipet içine, dıştaki sıvıya karşı ara yüzey gerilimi saptanacak sıvı konur ve önceki gibi damla sayısı saptanır. Damla sayıları ve ara yüzey gerilimleri oranlanır [31].

4.1.6. Asılı (Pendant) Damla Yöntemi

Asılı damla yöntemi, hassas ve tekrar yapılabilirliği olan bir yöntemdir. Asılı damlanın görüntüsü çekilir ve damlanın ebadından yüzey gerilimi hesaplanır. Bu yöntemle yalnızca temiz yüzeylerde değil, kirli yüzey koşullarında da ölçüm yapılabilir. Şekil 4.5' de gonyometre cihazı ve asılı damlanın görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.5. Gonyometre Cihazının Şematik Çizimi ve Asılı Damla Görüntüsü

Gonyometre cihazı, damlanın bırakıldığı hücre, ışık kaynağı, mikro şırınga, yüksek çözünürlüklü kamera ve bir bilgisayardan oluşur. Gonyometre de temas açısının yanı sıra yüzey gerilimleri de asılı (pendant) damla yöntemiyle belirlenebilmektedir. Asılı damla yönteminin durgun damla yöntemine göre farkı yüzey gerilimi belirlenecek sıvının sabit bir yüzeyde değil mikro şırınganın ucunda asılı durmasıdır.

4.1.7. Durgun (Sesil) Damla Yöntemi

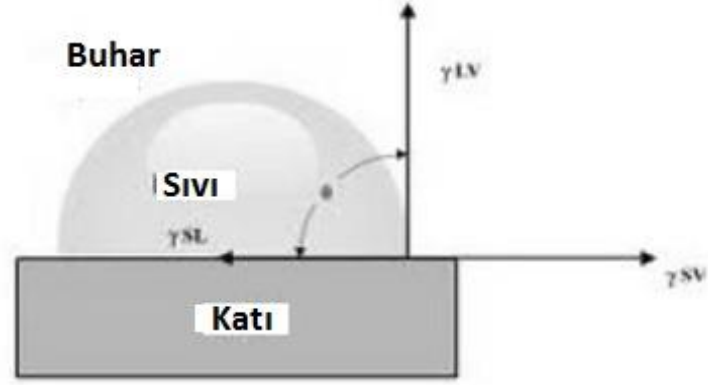
Sıvıların temas açılarının ve yüzey enerjilerinin belirlenmesinde sıklıkla kullanılan yöntemidir ve bu yöntemde temas açısı ve yüzey enerjisinin belirlenmesinde gonyometre cihazı kullanılır.

Temas açısı ve yüzey enerjisi belirlenmek istenen sıvı, bir mikro şırınga sayesinde damla şeklinde katı bir yüzeye bırakılır. Bu mikro damlanın yüksek çözünürlüklü bir kamera sayesinde görüntüleri çekilir ve fiziksel özelliklerinin belirlenebilmesi için damlanın şekli bir süre kaydedilip bilgisayara aktarılır. Görüntü kayıt işlemi sayesinde sıvının temas açıları ölçülür ve Young-Laplace denkleminde yararlanılarak yüzey enerjileri hesaplanır [32]. Şekil 4.6' da gonyometre cihazının görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.6. Gonyometre Cihazı

Katı bir yüzeye temas halindeki bir sıvının oluşturduğu açıya temas açısı denmektedir. Temas açısı teta ' θ ' ile gösterilmektedir. Katı bir yüzeye bir sıvı damlatıldığında damlanın şekli temasta olduğu katı malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre değişir. Yüzey gerilimi ve temas açısı arasındaki ilişki ilk olarak Young tarafından 1804 yılında belirlenmiştir.



Şekil 4.7. Temas Açısı ve Young Eşitliği

Young eşitliği,
$$\gamma_{KG} = \gamma_{KS} + \gamma_{SG} \cos \theta \quad (4.1)$$

γ_{KG} : Katı-gaz arası yüzeyler arası gerilimi, γ_{KS} : Katı-sıvı arası yüzeyler arası gerilimi, γ_{SG} : Sıvı-gaz arası yüzeyler arası gerilim ve θ : Temas açısını ifade etmektedir.

Young eşitliği sadece sıvı yüzeyi düzgün, pürüzsüz, homojen, olan ve ölçüm yapılacak sıvıyla etkileşime girmeyen katı yüzeylerde uygulanabilir. Young eşitliğine göre damla hareket edene kadar 3 fazın yüzey gerilimleri toplamı sıfırdır. Katı yüzeyler yüksek veya düşük enerjili olarak karakterize edilirler [32]. Şekil 4.8’ de farklı yüzey enerjisine sahip katı yüzeylerin ıslanma davranışları verilmiştir. Şekil 4.9’ da temas açısı değerleri ile hidrofobik ve hidrofilik özellik ilişkisi verilmiştir.



Şekil 4.8. Farklı Yüzey Enerjisine Sahip Katı Yüzeylerin Islanma Davranışları



Şekil 4.9. Temas Açısı Değerleri İle Hidrofobik ve Hidrofilik Özellik İlişkisi

Temas açısı bir materyalin ıslanabilirlik özelliği ve katı bir yüzeyin yüzey enerjisi hakkında bilgi verir. Islanma teorisine göre, bir damlacık katı bir yüzey üzerine konulduğunda, katı ve sıvı fazın her ikisinin akışkan hareketleri, yüzey gerilimi, yoğunluk ve katı-sıvı sıcaklıkları, sıvının viskozitesi, yüzey pürüzlülüğü ve katının şekli gibi değişik fiziksel ve kimyasal etmenlerden etkilenir. Temas açıları üç farklı yüzey arasındaki gerilimlere bağlı olarak değişir [32]. Katı-buhar arasındaki gerilim katı-sıvı arasındaki gerilimden büyükse temas açısı $0-90^\circ$ arasında, tersi durumda ise açı $90-180^\circ$ arasında olur. Büyük temas açısı meydana gelmesi sıvının yüzeyden akıp uzaklaşacağını gösterirken küçük temas açısında ise sıvı katı materyali ıslatacaktır. Katı yüzeyin pürüzlülüğü de sıvı emilim oranını etkileyen bir faktördür [32,33].

Temas açısı 90° den küçükse yüzey hidrofilik olup sıvı kılcal gözeneklerden girebilir ve katı malzemeyi ıslatır (Şekil 4.9). Temas açısı 90° den büyükse yüzey hidrofobik olup sıvı malzeme katı malzemedeki gözeneklerden içeri giremez ve katı materyali tam ıslatamaz. Tam ıslanabilirlik temas açısı tam 0° iken gözlemlenir [33,34]. Temas açısı azaldıkça yüzey enerjisi, yapışkanlık ve ıslanabilirlik artar ve temas açısı büyüdükçe yüzey enerjisi, ıslanabilirlik ve yapışkanlık azalır [33].

4.2. Bitümlü Karışımların Nem Hasarlarının Tespitinde Uygulanan 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.

4.2.1. Sıkıştırılmamış Karışımlar Üzerine Yapılan Deneyler

Sıkıştırılmamış karışımlara uygulanan deneyler, farklı oranlarda hazırlanan agrega-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 [35].

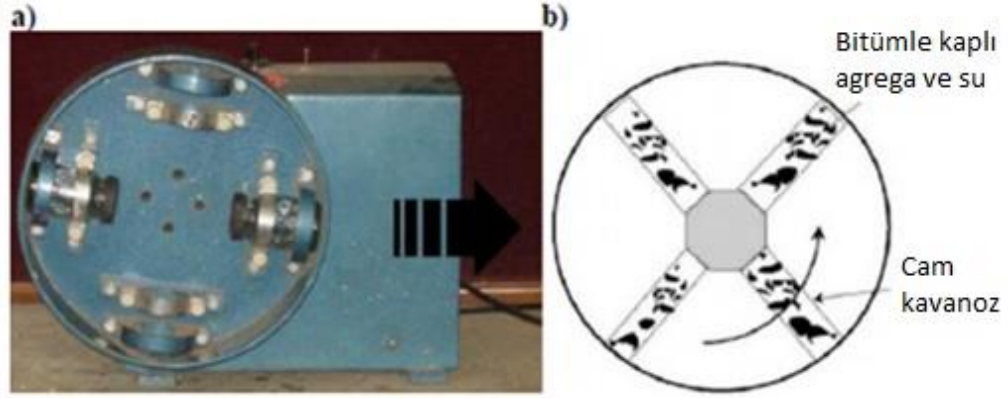
Sıkıştırılmamış, gevşek karışımlara uygulanan deneyler; Nicholson soyulma deneyi (statik daldırma deneyi), film soyulma deneyi, dinamik daldırma deneyi, kimyasal daldırma deneyi, net adsorbsiyon deneyi ve yüzey reaksiyon deneyi olarak sayılabilir [35].

4.2.1.1. 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 [36].

4.2.1.2. Film Soyulma Deneyi

AASHTO- T182 (Bitüm-agrega karışımlarının sarılma ve ayrışması) testinin modifiye edilmiş bir halidir. Bitüm ile sarılı 60g ağırlığındaki agrega, 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 4.9 ’da 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 [35].



Şekil 4.10. a) Film Soyulma Deneyi Aleti, b) Deney Aletinin Şematik Şekli

4.2.1.3. 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 [35].

4.2.1.4. 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 belirlenmesinde Riedel ve Weber'in belirlediği 0-9 konsantrasyon aralığı kullanılmaktadır. Bu aralığa 0 değeri saf suya; 1 değeri 0.41 g Sodyum Karbonatın 1 lt sudaki çözünmüş haline karşılık gelmektedir. 9 değeri ise karışım konsantrasyonunun en yoğun olduğu değer olan 1 lt sudaki 106 g sodyum karbonatın çözünmüş 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 [35].

4.2.1.5. Net Adsorbsiyon Deneyi

Deney iki adımdan oluşmaktadır. İlk adımda hazırlanan bitümlü karışım toluen solüsyonuna absorbe edilir ve bitümün solüsyonda kalan miktarı ölçülür. İkinci adımda da karışıma su ilave edilir ve bitüm, agregaya yüzeyinden ayrılır. Solüsyondaki bitüm ile agregaya yüzeyindeki bitüm ölçülür. Son durumdaki agreganın yüzeyinde kalan bitüm miktarı net adsorbsiyon olarak adlandırılmaktadır [35].

4.2.1.6. 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 agregaya karışımı ile devam edilir ve reaksiyondan elde edilen gaz, karışımın üzerine basınçlı olarak püskürtülür. Deney en az 10 defa tekrar edilerek bitüm ve agregaya 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 [35].

4.2.2. 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 ve Modifiye Lottman deneyi olarak sıralanabilir.

4.2.2.1. 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 ± 1 °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 ± 1 °C sıcaklıktaki su banyosunda bekletilir. Daha sonra 25 ± 1 °C' lik su banyosunda 2 saat bekletilerek numunelerin basınç dayanımı belirlenir. [37].

4.2.2.2. 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 [38].

AASHTO T283 deneyi sıkıştırılmış bitümlü karışımlar üzerinde yapılmakta ve karışımda sudan dolayı meydana gelen "dayanım kaybı" tespit edilmektedir. Deneyde, tüm numunelerde hava boşluk oranı % 6 ile % 8 arasında olacak şekilde 6 adet numune (101.6 mm çapında ve 65 mm yüksekliğinde) üretilmektedir. AASHTO T283 deneyinde, numuneler eşit olacak şekilde iki gruba ayrılır. İlk grup numunelerin hava boşluk hacimlerinin % 55-80'i, damıtılmış su kullanılan bir vakum tarafından doyurularak koşullandırılır. Daha sonra bu numuneler en az 15 saat süre ile -18 °C'deki soğutucuya yerleştirilir. Soğutucudan çıkarılan numuneler 60 °C'deki su banyosunda 24 saat bekletilir. Buradan çıkartılan numuneler ve koşullandırılmamış ikinci grup numuneler 25 °C' deki su banyosunda 2 saat daha bekletilir. Bu 2 saatlik sabit sıcaklıktan sonra bütün numunelerin dolaylı çekme dayanımı belirlenir. Dayanım kaybı, deney prosedürüne uygun olarak hazırlanmış, 3 adet kuru ve 3 adet koşullandırılmış (% 55-80 suya doygun) numuneler üzerinde yapılan, dolaylı çekme testi ile belirlenmektedir. Karışımın, dolaylı çekme dayanımının ölçülmesinin nedeni ise; sıcak karışım aşınma tabakaların sürekliliği için en önemli parametrelerden birinin, sıcak karışımın çekme dayanımı olmasıdır. Bu dayanımın düşük olması halinde, karışım, trafik ve çevre etkileri ile oluşan çekme gerilmelerine karşı koyamayarak bozulmaktadır. Koşullandırılan numunelerin dolaylı çekme dayanımının (ITSyaş), koşullandırılmayan numunelerin dolaylı çekme dayanımına (ITSkuru) oranı aşağıdaki denklemle hesaplanmaktadır:

$$ITSR = \frac{ITS_{yaş}}{ITS_{Kuru}}$$

ITSR : Dolaylı çekme dayanımı oranını, $ITS_{yaş}$: Koşullandırılmış numunelerin ortalama dolaylı çekme dayanımını (kPa), ITS_{kuru} : Koşullandırılmamış numunelerin ortalama dolaylı çekme dayanımını (kPa) ifade etmektedir.

0.80'den daha az çekme dayanımı oranına sahip karışımların neme karşı direnci az olup, 0.80'den daha büyük oranlı karışımların nem zararına karşı direnci daha yüksek olmaktadır.



5. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu bölümde, öncelikle deneysel çalışmalarda kullanılan malzemeler ve özellikleri üzerinde durulmuştur. 70/100 penetrasyonlu katkısız ve polimerle modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcıya çeşitli oranlarda (% 2 ve % 4) FT-parafin (sasobit), polietilen vaks ve monton vaks katkıları ilave edilerek 14 adet deney numunesi üretilmiştir. Bitümlü bağlayıcıların nem hasarlarını tespit edebilmek için hazırlanan numuneler 5 x 2,5 cm ebatında cam tabaka yüzeyine serilmiş ve bitümlü bağlayıcı yüzeylerine su, diodometan ve etilenglikol sıvıları damlatılarak durgun damla yöntemiyle temas açıları incelenmiştir. Ölçülen temas açıları ile katı-sıvı yüzeyleri arasındaki yüzey enerjisi değerleri hesaplanmıştır. Hazırlanan bitümlü bağlayıcıların penetrasyon, yumuşama noktası ve viskozite değerleri yapılan deneyler sonucunda belirlenmiştir. Kullanılan katkıların karakteristik özellikleri Tablo 5.1' de verilmiştir.

Tablo 5.1. Bu Çalışmada Kullanılan Katılara İlişkin Karakteristik Özellikler

Katkılar	Karakteristik Özellikleri	Değerler
FT-Parafin - Sasobit (S)	Katılaştırma noktası	100 (°C)
	Penetrasyon (25 °C de)	< 1 (dmm)
	Penetrasyon (65 °C de)	7 (dmm)
Montan vaks (MW)	Katılma noktası	95-105 (°C)
	Damlama noktası	110-120 (°C)
	Viskozite (120 °C de)	20-200 (mPas)
Polietilen vaks (PW)	Erime noktası	99-108 (°C)
	Katılaştırma noktası	92-100 (°C)
	Penetrasyon (23 °C de)	1-2 (dmm)
	Viskozite (120 °C de)	950-1550 (mm ² /s)
	Yoğunluk (23 °C de)	0,91-0,93 (g/cm ³)

5.1. Bitümlü Bağlayıcı Numunelerinin Hazırlanması

Bitümlü bağlayıcıları elde etmek için 70/100 penetrasyona sahip katkısız (KB) ve polimerle modifiye (PMB) edilmiş bitümlü bağlayıcıya % 2 ve % 4 oranlarında üç farklı tipte katkı katılarak bitümlü bağlayıcı numuneleri hazırlanmıştır. Bu katkılar montan vaks, polietilen vaks ve sasobit olup sırayla MW, PW ve S olarak isimlendirilmiştir.

Katkısız ve polimerle modifiye edilmiş 70/100 penetrasyonlu bitümlü bağlayıcılar sırasıyla 155 °C ve 180 °C sıcaklıklarda etüvde 3'er saat bekletilerek ısıtılmıştır. Daha sonra hazırlanacak olan 14 adet bitümlü bağlayıcı numunelerine ilave edilecek katkı miktarları hesaplanmıştır. Miktarı hesaplanan katkıları, sıcaklıklarını koruyan katkısız ve modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcılara ilave edilerek 180 °C sıcaklıktaki etüvde 30 dakika daha bekletilmiştir. Bu süre sonunda etüvden çıkarılan bitümlü bağlayıcılar çubuk yardımıyla homojen şekilde karıştırıldıktan sonra etüvden çıkarılan ısı kutusuna konularak tekrar 2 dakika sağa, 2 dakika sola mikser yardımı ile karıştırılarak numune hazırlama işlemi tamamlanmıştır ve numuneler soğumaya bırakılmıştır. Karışım işlemleri sonunda katkısız ve polimerle modifiye edilmiş (70/100, +% 2 PW, +% 4 PW, +% 2 MW, +% 4 MW, +% 2 S, +% 4 S) 14 adet bitümlü bağlayıcı numunesi hazırlanmıştır.

5.2. Bitümlü Bağlayıcılar Üzerine Uygulanan Deneyle

5.2.1. Penetrasyon Deneyi

Penetrasyon deneyiyle, bitümlü bağlayıcıların sertlik ve kıvamları belirlenmektedir. Penetrasyon, standart bir iğnenin belirli bir yük altında belirli bir sürede bitümlü bağlayıcı numunesi içerisine dikey olarak batma mesafesidir. Genellikle aksi belirtilmedikçe bitümlü bağlayıcı 25 °C de 100 gr yük altında 5 saniye süreyle penetrasyonu belirlenir. Penetrasyonun birimi 1/10 mm dir. Bu çalışmada hazırlanan 14 farklı bitümlü bağlayıcı numunesi deney standartlarına uyması için 25 °C deki su havuzunda 2.5 saat süreyle bekletilmiştir. Daha sonra katkısız ve polimerle modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcı numuneleri tek tek penetrasyon deneyine tabii tutulmuştur. Her bir deneyde 3 farklı penetrasyon iğnesi kullanılarak ortalaması alınmıştır. Tablo 5.2 ve Tablo 5.3' de sırasıyla katkısız ve polimerle modifiye edilmiş 70/100 bitümlü

bağlayıcı üzerine yapılan deneyler sonucunda elde edilen penetrasyon, yumuşama noktası ve bunlara bağlı olarak penetrasyon indeksi değerleri verilmiştir.

Katkısız ve polimerler modifiye edilmiş 70/100 bitümlü bağlayıcı numuneleri üzerine yapılan penetrasyon deneyi sonuçlarına göre katkı maddelerinin kullanılması penetrasyon değerlerini azaltmıştır yani bitümlü bağlayıcıların sertliğini arttırmıştır. Aynı yüzde oranında kullanılan üç farklı katkı maddesinin kıyaslaması yapılacak olursa sertlik sıralaması $S > PW > MW > KB$ ve $S > PW > MW > PMB$ olarak çıktığı anlaşılmaktadır. En sert sasobit en yumuşak ise katkısız ve polimerle modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcıdır. Yine deney sonuçlarına göre aynı penetrasyona sahip polimerle modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcının katkısız bitümlü bağlayıcıya göre daha sert olduğu görülmüştür. Çok yüksek sıcaklıklardaki uygulamalar için sasobitin katkı maddesi olarak uygulanabileceği düşünülmektedir.

5.2.2. Yumuşama Noktası Deneyi

Bitümlü bağlayıcının sıcaklık değişimlerine karşı davranışını ve hangi sıcaklıkta erimeye başladığını ölçmek için yapılan bir deneydir. Yumuşama noktası, su kabı içine konulmuş üzerinde bir bilye bulunan standart bir kalıp içerisindeki bitümlü maddenin belli bir hızla ısıtılmasıyla, yumuşayan malzemenin tabana değdiği anda termometrede okunan sıcaklık değeridir. Aletin kabı halkaların üst yüzeylerinden 5 cm yükseğe kadar saf su ile doldurulur. Suyun sıcaklığı 5 °C dir. Isıtıldığı zaman hava kabarcıklarına engel olmak için suyun önceden kaynayıp soğuması gerekmektedir. 15 dakika sonra halkaların her birinin tam merkezine önceden 5 °C ye kadar soğutulmuş bir çelik bilye konur, sonra sıcaklık dakika da 5°C artırılır. Tablo 5.2 ve Tablo 5.3' de sırasıyla katkısız ve polimerle modifiye edilmiş 70/100 bitümlü bağlayıcı üzerine yapılan deneyler sonucunda elde edilen penetrasyon, yumuşama noktası ve bunlara bağlı olarak penetrasyon indeksi değerleri verilmiştir.

Tablo 5.2. Vaks Katılarak Modifiye Edilmiş Katkısız Bitümlü Bağlayıcıların Penetrasyon Değerleri, Yumuşama Noktaları ve Penetrasyon İndeksleri

Bitümlü Bağlayıcı Tipi	Katkı Maddesi	Katkı Oranı %	Penetrasyon Değeri 0.1 mm, 100 g, 5s	Yumuşama Noktası °C	Penetrasyon İndeksi
Katkısız 70/100 Bitüm	70/100	Katkısız	80,0	44,40	-1,62
	+ PW	2	60,9	50,80	-0,54
	+ PW	4	55,6	55,50	0,35
	+ MW	2	63,0	61,20	1,88
	+ MW	4	56,2	73,80	3,75
	+ S	2	58,3	59,10	1,24
	+ S	4	49,9	82,00	4,59

Tablo 5.3. Vaks Katılarak Modifiye Edilmiş Polimerle Modifiyeli Bitümlü Bağlayıcıların Penetrasyon Değerleri, Yumuşama Noktaları ve Penetrasyon İndeksleri

Bitümlü Bağlayıcı Tipi	Katkı Maddesi	Katkı Oranı %	Penetrasyon Değeri 0.1 mm, 100 g, 5s	Yumuşama Noktası °C	Penetrasyon İndeksi
Polimerle Modifiye edilmiş 70/100 Bitüm	70/100	Katkısız	57,2	85,80	5,45
	+ PW	2	43,4	81,80	4,19
	+ PW	4	40,8	82,60	4,14
	+ MW	2	46,7	85,90	4,91
	+ MW	4	41,3	91,40	5,24
	+ S	2	42,9	88,40	4,99
	+ S	4	38,6	93,00	5,25

Tablo 5.2’ de katkısız 70/100 bitümlü bağlayıcı numuneleri üzerine yapılan yumuşama noktası deneyi sonuçlarına göre katkı maddelerinin kullanılması yumuşama noktası değerlerini arttırmıştır. En düşük yumuşama noktası değeri katkısız bitümlü bağlayıcıda görülürken en yüksek yumuşama noktası değeri ise % 4 sasobit de görülmüştür. Katkısız bitümlü bağlayıcıya PW, MW ve S katkıları katılmasıyla yüksek sıcaklığa karşı dayanımlarda artma olabileceği söylenebilir.

Tablo 5.3' de polimerle modifiye edilmiş 70/100 bitümlü bağlayıcı numuneleri üzerine yapılan yumuşama noktası deneyi sonuçlarına göre PW katkı maddesinin kullanılması yumuşama noktası değerini düşürmüştür, S ve MW katkılarının kullanılması ise yumuşama noktası değerini artırmıştır. En düşük yumuşama noktası değeri % 2 PW katkılı bitümlü bağlayıcıda görülürken en yüksek yumuşama noktası değeri ise % 4 S katkılı bitümlü bağlayıcıda görülmüştür. Polimerler modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcıya PW katkı maddesi katılmasıyla genel olarak yüksek sıcaklığa karşı dayanımlarda azalma olduğu görülmüştür. S ve MW katkı maddeleri katılması ise yüksek sıcaklığa karşı dayanımı arttırmıştır. Penetrasyonları aynı olan iki bitümlü bağlayıcıdan yumuşama noktası yüksek olan sıcaklık değişimlerine daha dayanıklıdır [39].

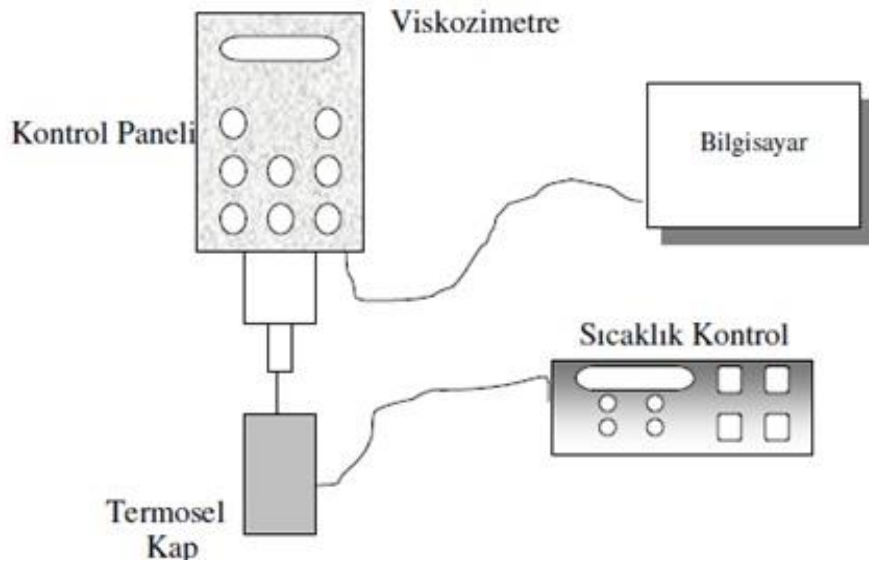
Penetrasyon indeksi (PI), bitümlü bağlayıcının sıcaklığa duyarlılığını belirlemek için sıkça kullanılmaktadır. PI değeri büyüdükçe, sıcaklığa karşı direnç artmaktadır. Sıcaklığa karşı direnci yüksek bitümlü bağlayıcı ile yapılmış asfalt karışımlar, düşük sıcaklık çatlaklarına ve tekerlek izi oluşumuna daha dirençli olmaktadır.

$$PI = \frac{1952 - 500 \times \log(\text{Pen}) - 20 \times T(Y_n)}{50 \times \log(\text{Pen}) - T(Y_n) - 120}$$

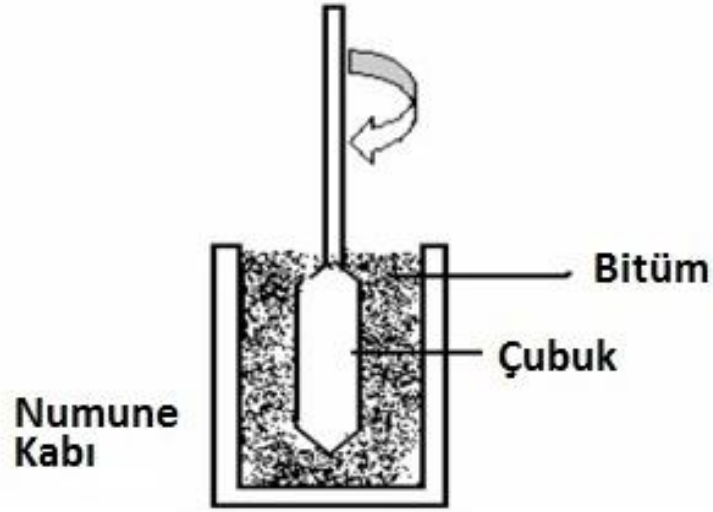
Tablo 5.2' de; katkısız bitümlü bağlayıcılara 3 tip vaksın eklenmesi PI değerlerini yükselterek sıcaklığa karşı direnci arttırmıştır. En yüksek PI değeri % 4 S de görülmüştür. Tablo 5.3' de; polimerle modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcılara 3 tip vaksın eklenmesi PI değerlerini düşürerek sıcaklığa karşı direnci azaltmıştır. PI değerlerine göre vaks ile modifiye edilmiş tüm katkısız bitümlü bağlayıcıların, polimerle modifiye edilmiş haline göre sıcaklığa karşı dirençlerinin daha az olduğu görülmektedir. Vaks ile modifiye edilmiş polimer modifiyeli bitümlü bağlayıcıların PI değerlerindeki değişimin, katkısız bitümlü bağlayıcılara göre daha az olduğu görülmüştür.

5.2.3. Viskozimetre Deneyi

Dönel viskozimetre deneyi, bitümlü bağlayıcıların yüksek sıcaklıktaki akışkanlık karakteristiklerini belirlemek amacıyla yapılmaktadır. Bu amaçla AASHTO TP48 standardına uygun olarak Brookfield Viskozimetresi kullanılmaktadır. Bağlayıcıların yüksek sıcaklıktaki viskozite değerleri, pompalama ve karıştırma sırasında bağlayıcıların yeterince akışkan olduklarının tespiti amacıyla belirlenmektedir. Deneyde, bağlayıcı içerisine 20 rpm hızla dönen silindirik bir çubuğun, sabit bir sıcaklıkta dönmeye karşı gösterdiği direnç ile viskozite değerleri elde edilmektedir. Bitümlü bağlayıcının karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarını tespit etmek amacıyla viskozite değerleri kullanılmaktadır. Bu amaçla 135 °C ve 165 °C sıcaklıklarda RV deneyi uygulanmaktadır. Ancak bu çalışmada PMB de kullanıldığı için 165 °C ve 180 °C’ de de deneyler yapılmıştır. Çizilen sıcaklık–viskozite grafiğinde viskozite değerleri işaretlenerek bu değerler bir doğru ile birleştirilmektedir. Bitümlü bağlayıcının karıştırılmasında $0,170 \pm 20$ Pa.s, sıkıştırılmasında ise $0,280 \pm 30$ Pa.s viskozite değerine sahip olması istenmektedir. Bu viskozite değerlerine karşılık gelen sıcaklık değerleri karıştırma ve sıkıştırma sıcaklığı olarak alınmaktadır. Şekil 5.1’ de dönel viskozimetre aletinin şematik görünümü, Şekil 5.2’ de ise ısıtılmalı kapta viskozite deneyinin işleyişi gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Dönel Viskozimetre Aleti Şematik Görünümü



Şekil 5.2. Isıtmalı Kapta Viskozite Deneyinin İşleyişi

Katkısız ve polimerle modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcıların viskozite ve karıştırma-sıkıştırma sıcaklıkları sırasıyla Tablo 5.4 ve Tablo 5.5’ de verilmiştir.

Tablo 5.4. Vaks Katılarak Modifiye Edilmiş Katkısız Bitümlü Bağlayıcıların Viskozite Değerleri ve Karıştırma-Sıkıştırma Sıcaklıkları

Bitümlü Bağlayıcı Tipi	Katkı Maddesi	Katkı Oranı %	Viskozite		Karıştırma Sıcaklığı °C	Sıkıştırma Sıcaklığı °C
			135 °C	165 °C		
Katkısız 70/100 Bitüm	70/100	Katkısız	0,3100	0,0929	154,3	139,1
	+ PW	4	0,3510	0,1030	156,9	143,6
	+ MW	2	0,2660	0,0840	150,8	132,7
	+ MW	4	0,2270	0,0742	146,2	124,6
	+ S	2	0,2680	0,0830	150,9	133,1
	+ S	4	0,2330	0,0750	147,0	126,1

Tablo 5.5. Vaks Katılarak Modifiye Edilmiş Polimerle Modifiyeli Bitümlü Bağlayıcıların Viskozite Değerleri ve Karıştırma-Sıkıştırma Sıcaklıkları

Bitümlü Bağlayıcı Tipi	Katki Maddesi	Katki Oranı %	Viskozite		Karıştırma Sıcaklığı °C	Sıkıştırma Sıcaklığı °C
			165 °C	180 °C		
Polimerle Modifiye edilmiş 70/100 Bitüm	70/100	Katkısız	0,3500	0,1965	182,6	171,8
	+ PW	4	0,3820	0,2175	184,3	174,3
	+ MW	2	0,3032	0,1777	180,9	167,8
	+ MW	4	0,2683	0,1567	178,2	163,4
	+ S	2	0,3107	0,1768	180,8	168,4
	+ S	4	0,2640	0,1562	178,1	162,8

Tablo 5.4 ve Tablo 5.5’ de katkısız ve polimerle modifiye edilmiş 70/100 bitümlü bağlayıcı numuneleri üzerine yapılan viskozite deneyi sonuçlarına göre % 4 PW katkı maddesinin kullanılması viskozite değerini arttırmıştır. S ve MW katkı maddelerinin kullanılması ise viskozite değerlerini düşürmüştür.

Tablo 5.4’ de katkısız bitümlü bağlayıcılara; % 4 oranında PW katkısı katıldığında karıştırma sıcaklığının 2.6 °C, sıkıştırma sıcaklığının 4.5 °C arttığı, % 2 oranında MW katkısı katıldığında karıştırma sıcaklığının 3.5 °C, sıkıştırma sıcaklığının 6.4 °C azaldığı, % 4 oranında MW katkısı katıldığında karıştırma sıcaklığının 8.1 °C, sıkıştırma sıcaklığının 14.5 °C azaldığı, % 2 oranında S katkısı katıldığında karıştırma sıcaklığının 3.4 °C, sıkıştırma sıcaklığının 6.0 °C azaldığı, % 4 oranında S katkısı katıldığında ise karıştırma sıcaklığının 7.3 °C, sıkıştırma sıcaklığının 13.0 °C azaldığı görülmüştür. En düşük karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları % 4 MW katkısı kullanıldığında, en yüksek karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları ise % 4 PW katkısı kullanıldığında elde edilmiştir.

Tablo 5.5’ ten polimerle modifiye edilmiş katkısız bitümlü bağlayıcılara; % 4 oranında PW katkısı katıldığında karıştırma sıcaklığının 1.7 °C, sıkıştırma sıcaklığının 2.5 °C arttığı, % 2 oranında MW katkısı katıldığında karıştırma sıcaklığının 1.7 °C, sıkıştırma sıcaklığının 4.0 °C azaldığı, % 4 oranında MW katkısı katıldığında karıştırma sıcaklığının 4.4 °C, sıkıştırma sıcaklığının 8.4 °C azaldığı, % 2 oranında S katkısı katıldığında karıştırma sıcaklığının 1.8 °C, sıkıştırma sıcaklığının 3.4 °C azaldığı, % 4 oranında S katkısı katıldığında ise karıştırma

sıcaklığının 4.5 °C, sıkıştırma sıcaklığının 9.0 °C azaldığı görülmüştür. En düşük karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları % 4 S katkısı kullanıldığında, en yüksek karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları ise % 4 PW katkısı kullanıldığında elde edilmiştir.

Katkısız bitümlü bağlayıcılardaki karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarında azalma, polimerle modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcılara göre daha fazladır. Karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarındaki azalma enerji tasarrufu sağlayabilecek ve beton asfalt üretimi sırasındaki açığa çıkan zararlı emülsiyon gazlarının salınımını düşürerek çevre kirliliğini azaltabilecektir.

5.2.4. Durgun (Sesil) Damla Deneyi

Yüzey enerjilerinin belirlenmesinde, 14 farklı bitümlü bağlayıcı içeren numunelerden her biri için üçer adet deney yapılacaktır. Toplamda 42 adet cam tabaka üzerine bitümlü bağlayıcılar dökülmüş ardından bitümlü bağlayıcı filmi oda sıcaklığında soğutulup tozdan korunması için üzeri kapatılmıştır. Çalışmamızda su, diodometan ve etilenglikol sıvıları kullanılmıştır. Deney çalışmamızda toplam 42 adet üzerinde bitümlü bağlayıcı bulunan cam tabakaya 3'er farklı sıvı damlatılmak koşuluyla su, diodometan ve etilenglikol sıvılarıyla 21'er adet olmak üzere toplamda 126 adet deney yapılmıştır. Çalışmamızda kullanılan sıvıların kimyasal özellikleri Tablo 5.6' da verilmiştir.

Tablo 5.6. Sıvıların Kimyasal Özellikleri

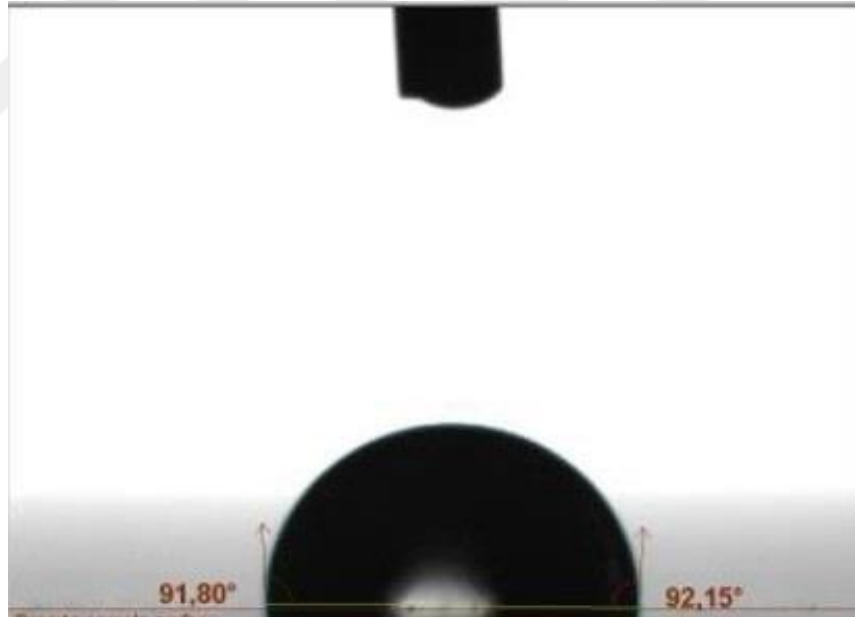
Sıvı	γ^{tot} [mN/m]	γ^d [mN/m]	γ^+ [mN/m]	γ^- [mN/m]	ρ [g/cm ³]
Su	72,80	21,80	25,50	25,50	0,998
Diodometan	50,80	50,80	0	0	3,325
Etilenglikol	48,00	29,00	3,00	30,10	1,113

Tablo 5.6' da sıvıların yüzey enerjisini veya yüzey gerilimini γ^{tot} , yüzey geriliminin dağıtıcı bileşenini γ^d , yüzey geriliminin asit bileşenini γ^+ , yüzey geriliminin baz bileşenini γ^- ve yoğunluğu ρ simgeleri ile ifade edilmektedir.

Yapacağımız deney için cihazın ayarlanmasından sonra, kameranın doğru çekim yapabilmesi için numuneler uygun konumda yerleştirilmiştir. Numunenin üzerinde

bulunan hassas şırınga sayesinde cam yüzeyindeki bitümlü bağlayıcı üzerine 3 farklı sıvının her birinden farklı noktalara olmak üzere sıvılar damlatılmıştır. Damlacığın gonyometre cihazı tarafından kaydedilen görüntüsü görüntü analiz yazılımı ile analiz edilmiştir ve bu görüntü analiz sürecinde yazılım Young-Laplace denklemini kullanarak temas açısına göre bitümlü bağlayıcıların yüzey enerjilerini hesaplamıştır. Şekil 5.3’ de temas açısı ölçümü görülmektedir.

Bahramian (2012), bitümlü bağlayıcıların yüzey enerjilerini Owens-Wendt ve Asit-Baz modellerine göre incelemiş ve Owens-Wendt modelinin daha iyi sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur. Bu nedenle çalışmamızda bitümlü bağlayıcıların yüzey enerjileri Owens-Wendt modeliyle belirlenmiştir. Deney sonucunda katkısız ve polimerle modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcılar üzerinde ölçülen ortalama temas açısı değerleri ve hesaplanan yüzey enerji değerleri sırasıyla Tablo 5.7 ve Tablo 5.8’ de verilmiştir.



Şekil 5.3. Temas Açısı Ölçümü

Tablo 5.7. Katkısız 70/100 Penetrasyonlu Bitümlü Bağlayıcı Numunelerine Uygulanan Durgun Damla Deneyi Sonuçları.

Katkısız 70/100 Penetrasyonlu Bitümlü Bağlayıcı								
Ortalama		70/100 KB	KB + % 2 PW	KB + % 4 PW	KB + % 2 MW	KB + % 4 MW	KB + % 2 S	KB + % 4 S
Temas Açısı(°)	Su	105,91	104,44	103,93	105,05	104,24	104,88	103,78
	Diodometan	63,81	57,92	59,09	64,66	67,37	66,00	66,26
	EtilenGlikol	81,42	80,89	81,21	82,51	82,95	81,55	82,39
Toplam Yüzey Enerjisi (mN/m)		25,94	28,82	28,13	22,35	23,89	24,78	24,47

Tablo 5.8. Polimerler Modifiye Edilmiş Katkısız 70/100 Penetrasyonlu Bitümlü Bağlayıcı Numunelerine Uygulanan Durgun Damla Deneyi Sonuçları.

Polimerle Modifiye Edilmiş 70/100 Penetrasyonlu Bitümlü Bağlayıcı								
Ortalama		70/100	PMB + % 2 PW	PMB + % 4 PW	PMB + % 2 MW	PMB + % 4 MW	PMB + % 2 S	PMB + % 4 S
Temas Açısı (°)	Su	95,42	97,21	95,85	96,66	102,09	100,29	97,47
	Diodometan	54,26	60,50	58,80	64,25	67,54	61,11	66,34
	EtilenGlikol	77,70	79,41	79,23	80,71	82,59	80,90	80,08
Toplam Yüzey Enerjisi (mN/m)		26,88	25,27	25,95	24,84	22,76	24,42	24,12

Tablo 5.7’ de katkısız bitümlü bağlayıcıya PW katkısı eklenmesi temas açısı değerlerini azaltırken, yüzey enerjisi değerlerini arttırmıştır. Katkısız bitümlü bağlayıcıya MW ve S katkılarının eklenmesi su ile olan temas açısı değerlerini azaltırken, diodometan ve etilenglikol sıvıları ile olan temas açısı değerlerini arttırmıştır, ancak yüzey enerjisi değerlerini azaltmıştır.

Tablo 5.8’ de görüldüğü üzere polimerle modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcıya 3 tip vaksın eklenmesi su, diodometan ve etilenglikol sıvıları ile olan temas açısı değerlerini arttırırken, yüzey enerjisi değerlerini azaltmıştır.

Yüzey enerjisinin azalması düşük yapışma özelliğine sahip bitümlü bağlayıcının nem hasarına karşı direncinin daha az olduğunu göstermektedir. Katkısız bitümlü bağlayıcıya MW ve S katkılarının eklenmesi, polimerle modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcıya ise PW, MW ve S katkılarının eklenmesi yüzey enerjilerini azalttığı için

yapışkanlığı düşürmüş ve böylece neme karşı direnci azaltmıştır. Katkısız bitümlü bağlayıcıya PW eklenmesi ise yüzey enerjisini arttırırken bu değişiklik hidrofilik bitümlü bağlayıcı yüzeyi oluşturur ve bu şekilde yapışkanlık ve ıslanabilirlik artar. Bu durum neme karşı direncin artmasına, yani nem hasarının azalması anlamına gelmektedir.

Taşdemir ve ark. (2015), aynı bitümlü bağlayıcılar üzerine 4 farklı tipte agrega kullanarak AASHTO T-283 deneyi yapmışlardır. Yapılan çalışmalarda tablo 5.9 ve 5.10 da verilen sonuçları elde etmişlerdir. Tablo 5.9 ve 5.10' da katkısız ve modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcılarla 4 farklı agrega tipi katılarak üretilen bitümlü karışım numunelerinin dolaylı çekme dayanımı ve çekme dayanımı oranları verilmiştir [40].

Tablo 5.9. Katkısız Bitümlü Bağlayıcı İçerisine 4 Farklı Agrega Tipi Katılarak Üretilen Numunelerin Dolaylı Çekme Dayanımı ve Çekme Dayanımı Oranları [40].

Agrega Tipi	Katkı maddesi	ITS_{yaş}	ITS_{Kuru}	ITSR
AG1	KB	870,86	942,32	0,92
	KB+ % 4 MW	831,65	966,77	0,86
	KB+ % 4 S	891,65	925,14	0,96
AG2	KB	814,80	1047,95	0,78
	KB+ % 4 MW	715,76	1008,77	0,71
	KB+ % 4 S	803,38	1068,20	0,75
AG3	KB	849,67	962,05	0,88
	KB+ % 4 MW	902,58	1109,00	0,81
	KB+ % 4 S	844,40	1128,83	0,75
AG4	KB	724,17	1038,17	0,70
	KB+ % 4 MW	872,52	1118,73	0,78
	KB+ % 4 S	753,63	989,93	0,76

Tablo 5.10. Polimerle Modifiye Edilmiş Bitümlü Bağlayıcı İçerisine 4 Farklı Agregatı Katılarak Üretilen Numunelerin Dolaylı Çekme Dayanımı ve Çekme Dayanımı Oranları [40].

Agregatı Tipi	Katkı maddesi	ITS _{yaş}	ITS _{kuru}	ITSR
AG1	PMB	1262,49	1274,21	0,99
	PMB + % 4 MW	1221,12	1243,04	0,98
	PMB + % 4 S	1253,97	1316,11	0,95
AG2	PMB	1304,94	1392,15	0,94
	PMB + % 4 MW	1281,52	1331,77	0,96
	PMB + % 4 S	1335,13	1376,05	0,97
AG3	PMB	1174,82	1231,05	0,95
	PMB + % 4 MW	1357,38	1375,26	0,99
	PMB + % 4 S	1249,57	1322,12	0,95
AG4	PMB	1165,82	1303,24	0,89
	PMB + % 4 MW	1204,27	1347,07	0,89
	PMB + % 4 S	1032,23	1348,84	0,77

Tablo 5.9 ve 5.10’ da ITSR, dolaylı çekme dayanımı oranını ifade etmekte olup, ITS_{yaş}, koşullandırılmış numunelerin ortalama dolaylı çekme dayanımını (kPa), ITS_{kuru}, koşullandırılmamış numunelerin ortalama dolaylı çekme dayanımını (kPa) göstermektedir. 0.80’den daha az çekme dayanımı oranına sahip karışımların nem karşı direnci az olup, 0.80’den daha büyük oranlı karışımların nem zararına karşı direnci daha yüksek olmaktadır.

Katkısız bitümlü bağlayıcı içerisine; AG1 tipi agregat katılarak hazırlanmış karışıma % 4 oranında MW katkısı katılması çekme dayanımı oranını düşürürken nem hasarına karşı direnci azaltmıştır, % 4 oranında S katkısı katılması çekme dayanımı oranını yükseltirken nem hasarına karşı direnci arttırmıştır. AG2 ve AG3 tipi agregatlar katılarak hazırlanmış karışıma % 4 oranında MW ve % 4 oranında S katkılarının katılması çekme dayanımı oranını düşürürken nem hasarına karşı direnci azaltmıştır. AG4 tipi agregat katılarak hazırlanmış karışıma % 4 oranında MW ve % 4 oranında S katkılerinin katılması çekme dayanımı oranını yükseltirken nem hasarına karşı direnci arttırmıştır.

Polimerle modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcı içerisine; AG1 tipi agrega katılarak hazırlanmış karışıma % 4 oranında MW ve % 4 oranında S katkılarının katılması çekme dayanımı oranını düşürürken nem hasarına karşı direnci azaltmıştır. AG2 tipi agrega katılarak hazırlanmış karışıma % 4 oranında MW ve % 4 oranında S katkılarının katılması çekme dayanımı oranını yükseltirken nem hasarına karşı direnci arttırmıştır. AG3 tipi agrega katılarak hazırlanmış karışıma % 4 oranında MW katkısının katılması çekme dayanımı oranını yükseltirken nem hasarına karşı direnci arttırmıştır, % 4 oranında S katkısının katılması çekme dayanımı oranında da değişikliğe sebep olmamıştır. AG4 tipi agrega katılarak hazırlanmış karışıma % 4 oranında MW katkısı katılması çekme dayanımı oranında değişikliğe sebep olmazken, % 4 oranında S katkısı katılması çekme dayanımı oranını düşürürken nem hasarına karşı direnci azaltmıştır.

Durgun damla yönteminde katkısız bitümlü bağlayıcıya % 4 oranlarında katkı katılması sonucu hesaplanan yüzey enerjilerinin büyüklüğü sırasıyla KB >S>MW olarak ortaya çıkmıştır. Bu durum katkısız bitümlü bağlayıcıya AG2 tipi agrega katılarak hazırlanmış karışımla benzer sonuçları ortaya çıkartırken, AG1, AG3 ve AG4 tipi agrega katılarak hazırlanan karışımlarda farklı sonuçlar elde edilmiştir. Polimerle modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcıya % 4 oranlarında katkı katılması sonucu hesaplanan yüzey enerjilerinin büyüklüğü sırasıyla PMB > S > MW olarak ortaya çıkmıştır ancak polimerle modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcıya AG1, AG2, AG3 ve AG4 tipi agregalar katılarak hazırlanmış karışımlarda farklı sonuçlar ortaya çıkmıştır.

Bu sonuçlar bitümlü bağlayıcının nem hasarına karşı direnci üzerinde katkı maddesi kullanımının da etkin olabileceğini göstermiştir. Ancak durgun damla ve AASHTO T-283 deney sonuçları kıyaslanacak olursa bitümlü bağlayıcıların nem hasarına karşı direnci üzerinde agrega türünün katkı maddesi türünden daha etkili olabileceği görülmüştür.

6. SONUÇ

Yapılan çalışma da 70/100 penetrasyona sahip katkısız ve polimerle modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcıya; FT vaks (Sasobit), Montan vaks ve Polietilen vaks % 2 ve % 4 oranlarında katılarak katkılı bitümlü bağlayıcılar hazırlanmıştır. Öncelikle penetrasyon, yumuşama noktası ve viskozimetre deneyleri ile bitümlü bağlayıcının geleneksel karakteristik özellikleri belirlenmiştir. Daha sonra durgun damla yöntemi kullanılarak hazırlanan bitümlü bağlayıcıların neme karşı dayanımları belirlenmiştir. Çalışmalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Katkısız ve polimerle modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcılara PW, MW ve S katkılarının eklenmesi bitümlü bağlayıcıların penetrasyon değerlerini azaltmıştır yani sertliğini arttırmıştır. Aynı penetrasyona sahip polimerle modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcının ise katkısız bitümlü bağlayıcıya göre daha sert olduğu belirlenmiştir. Üç tip katkı maddesi arasında penetrasyonu en düşük çıkan % 4 oranında S katkısı olduğu için çok yüksek sıcaklıklardaki uygulamalar da kullanılmasının uygun olabileceği görülmüştür.
2. Katkısız bitümlü bağlayıcıya katkı maddelerinin eklenmesi; yumuşama noktası değerlerini arttırmıştır, en yüksek yumuşama noktası değeri ise % 4 oranında S katkısında görülmüştür. Polimerle modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcıya; PW katkısı eklenmesi yumuşama noktası değerlerini düşürürken, S ve MW katkılarının eklenmesi yumuşama noktası değerlerini arttırmıştır. Katkısız bitümlü bağlayıcıya 3 tip vaksın eklenmesi PI değerlerini yükselterek sıcaklığa karşı duyarlılığı azaltmıştır. Polimerle modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcıya 3 tip vaksın eklenmesi ise PI değerlerini düşürerek sıcaklığa karşı duyarlılığı arttırmıştır.
3. Dönel Viskozimetre deneyine göre katkısız ve polimerle modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcıya PW katkısının eklenmesi viskozite değerlerini artırırken, MW ve S katkılarının eklenmesi viskozite değerlerini düşürmüştür. Katkısız ve polimerle modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcıya PW katkısının eklenmesi, karıştırma ve sıkıştırma sıcaklığını artırırken, S ve MW katkılarının

eklenmesi karıştırma ve sıkıştırma sıcaklığı azaltmıştır. Karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarındaki azalma sonucu daha fazla enerji tasarrufu sağlanabilecek ve asfalt üretimi sırasındaki açığa çıkan zararlı emülsiyon gazlarının salınımı azaltılabilecektir bu da çevre kirliliğinin azalmasına neden olacaktır.

4. Katkısız bitümlü bağlayıcıya PW katkısının eklenmesi temas açısı değerlerini azaltmıştır, MW ve S katkılarının eklenmesi diodometan ve etilenglikol ile olan temas açısı değerlerini arttırırken, su ile olan temas açısı değerini azaltmıştır. Katkısız bitümlü bağlayıcıya PW katkısının eklenmesi yüzey enerjisini arttırırken, MW ve S katkılarının eklenmesi yüzey enerji değerlerini düşürmüştür. Polimerle modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcıya üç tip vaksın eklenmesi temas açısı değerlerini arttırırken yüzey enerjilerini azaltmıştır. Yüzey enerjisindeki artış, diğer ifadeyle temas açısındaki azalma, ıslanabilirliğin ve yapışabilirliğin artmasına böylelikle nem hasarının azalmasına neden olmaktadır. Sonuç olarak sadece katkısız bitümlü bağlayıcıya PW katkısı eklenmesi temas açısı değerlerini azaltırken, yüzey enerjisi değerlerini arttırarak nem hasarına karşı direnci arttırabileceği görülmüştür.

5. Bu çalışmada durgun damla yönteminde katkısız ve polimerle modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcıya % 4 oranlarında katkı katılmasıyla yüzey enerjilerinin büyüklüğü sırasıyla $KB > S > MW$ ve $PMB > S > MW$ olarak ortaya çıkmıştır. Taşdemir ve ark. (2015), daha önce aynı katkısız ve polimerle modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcılarla hazırlanmış bitümlü karışımların neme karşı direncini belirlemek amacıyla AASHTO T-283 deneyini yapmışlardır. Taşdemir ve arkadaşlarının katkısız bitümlü bağlayıcı içerisine AG2 tipi agrega katarak yaptıkları deney sonuçlarıyla, durgun damla yöntemiyle katkısız bitümlü bağlayıcı üzerine yapılan deney sonuçları benzer çıkarken, AG1, AG3 ve AG4 tipi agregalar ile yaptıkları deney sonuçları farklılık göstermiştir. Taşdemir ve arkadaşlarının polimerle modifiye edilmiş katkısız bitümlü bağlayıcıların içerisine AG1, AG2, AG3 ve AG4 tipi agregalar katarak yaptıkları deney sonuçları durgun damla yöntemindeki

polimerle modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcılar üzerinde yapılan deney sonuçlarından tamamen farklı değerler vermiştir. Yapılan deney sonuçlarına göre nem hasarına karşı direnci artırma konusunda agrega türünün katkı maddesi türünden daha etkili olabileceği görülmüştür.



KAYNAKLAR

1. TÜTEV Kurucular Kurulu Üyesi ve (E) Karayolları Etüt Kontrol Teknisyeni, Ünal KESKİN
2. TMH – Türkiye Mühendislik Haberleri Sayı 427 - 2003/5
3. Karayolları Ulaşım İstatistikleri, Türkiye İstatistik Kurumu Ulaştırma İstatistikleri (2014 TUİK),
4. Görkem, İ. Ç., Orta Sıcaklıktaki Asfalt Karışımlarının Performanslarının Değerlendirilmesi, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 2014
5. SHRP A-417. (1994). Accelerated performance related tests for asphalt aggregate mixes and their use in mix design and analysis system. Strategic Highway Research Program.
6. Agar, E., Umar, F., 1991. Yol Üstyapısı, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, İstanbul.
7. Arık, A., 1998. Balıkesir ili Çevresindeki Karayollarında Esnek Üstyapı Bozulmalarının Arastırılması, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, 86s.
8. Arıkan, E., 1997. Sathi kaplamalarda su etkisi altında, agrega ile bitümlü bağlayıcı arasındaki yapışma yeteneğinin, kullanılan malzemelere bağlı olarak incelenmesi, Ankara
9. Ilıcalı, M., Tayfur, S., Özen, H., Sönmez, İ., Eren, K., “Asfalt ve Uygulamaları”, İstanbul Büyükşehir Belediyesi İstanbul Asfalt Fabrikaları Sanayi ve Ticaret A.S., İstanbul, 37-46, 91-97 (2001).
10. Whiteoak, D., “Shell Bitüm El Kitabı”, Editörleri, Abdullah Hilmi Lav, M. Aysen Lav, İstanbul Büyükşehir Belediyesi İstanbul Asfalt Fabrikaları Sanayi ve Ticaret A.S., İstanbul, 33-34, 47, 50, 101-114, 123, 133-136, 148, 150-159 (2004).
11. Keyvanklıoğlu, N., (1996). Köprüler Ve Viyadüklerde Kullanılan Modifiye Asfalt Bazlı Yalıtım Örtüsü, 1. Asfalt Sempozyumu, pp.176-183, Ankara.
12. Gürü, M., Tekeli, S., Çubuk, M. K. ve Çubuk, M. (2005). Recycling of scrap vehicle tyre as elastic surface material. The First Jordanian International Conference of Materials Science and Engineering Journal, 1 (1), 39-44.
13. Bull, A. L., and W. C. Vonk. 1984 "Thermoplastic rubber/bitumen blends for roof and road." Shell Chemicals Technical Manual TR 8:15
14. Vonk, W.C and G. Van Gooswilligen. 1989. Improvement of paving grade bitumens with SBS polymers. Proceeding of the 4th eurobitume, Vol.1, p.299. Madrid.

15. Necdet T., Bitümlü Kaplamalar Uygulama Kitabı
16. Gürü, M., (2004). Improvement of adhesion of bitumen-aggregate coatings by additives. *Journal of Cellulose Chemistry and Technology*, 38 (2), 129-140.
17. Wolfmeier, U., et al., Waxes, pp. 27459-27521, *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, Vols. 1 to 39, Wiley-VCH, 2002
18. Edwards, Y., *Influence of Waxes on Bitumen and Asphalt Concrete Mixture Performance*, KHT Architecture and The Built Environment, Stockholm, 2005.
19. 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.
20. 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.
21. Hirsch, V., *Warm Mix Asphalt Technologies*, BAST, Presentation to WMA Scan Team, Germany, 2007.
22. <http://www.fhwa.dot.gov/pavement/asphalt/wma.cfm>
23. Großhans, D., Schwäbe, F., Abraham J., Verbesserung der Verarbeitbarkeit von Splittmastixasphalt durch Zusatz eines Montanwachsproduktes, *Strasse+Autobahn*, Heft 4, 2002.
24. 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.
25. 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.
26. Nölting, M., 10 Years of Sasobit Technology Experiences, Application and Outlook, BAST, Presentation to WMA Scan Team, Germany, 2007.
27. Butz, T., Rahimian, I., Einfluss der Zugetzten Paraffine und Deren Struktur auf die Eigenschaften von Bitumen, *Bitumen*, 4, 1997.
28. Damm, K-W., et al., Asphaltverflüssiger als "Intelligenter Füller" für den Heisseneinbau—ein neues Kapitel in der Asphaltbauweise—Teil 1, *Bitumen*, 1, 2002.

29. Damm, K-W., et al., Asphaltverflüssiger als “Intelligenter Füller” für den Heisseneinbau–ein neues Kapitel in der Asphaltbauweise–Teil 2, Bitumen, 2, 2002.
30. Kristjansdottir, O., Warm Mix Asphalt for Cold Weather Paving, Master of Science in Civil Engineering, University of Washington, Washington, 2006.
31. Gönül, N., (2000),Yüzey Kimyası ve Kolloidler, Ankara
32. Aydar, A.Y., 2012. Determination of Contact Angle of Olive oil and Canola Oil on a PTFE surface at Elevated Temperatures. Master of Science Thesis, NCSU.
33. Adamson, A.W., 1990. Physical Chemistry of Surfaces 5th Edition; Wiley Interscience; New York, pp 777
34. Zhang, Z., Chen, H., Zhong, J., Saraf, G., Lu, Y., 2007. Fast and reversible wettability transitions on ZnO nanostructures. Journal of Electronic Materials 36: 895-899.
35. 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.
36. AASHTO T-182, Coating and Stripping of Bitumen-Aggregate Mixtures, American Association of State Highway and Transportation Officials, 1998.
37. ASTM D-1075, Standart Test Methods for Effect of Water on Compressive Strength of Compacted Bituminous Mixtures, 2004
38. AASHTO T-283 Resistance of Compacted Bituminous Mixture to Moisture Induced Damage, American Association of State Highway and Transportation Officials,1998.
39. Kutluhan, S., Agar, E., “Bitümlü sıcak karışımlarda tekerlek izi oluşumunun incelenmesi”, 4. Ulusal Asfalt Sempozyumu, Ankara, 213-223 (2004).
40. Taşdemir ve ark., Agregaların Polimer İle Modifiye Edilmiş Bitümlü Ilık Karışımların Suyu Bağlı Bozulmaları Üzerindeki Etkisi, Bilimsel Araştırma Projesi, Bozok Üniversitesi, Yozgat, 2015

ÖZGEÇMİŞ

Tuncay CANSEVER, 1985 yılında Yozgat' ta doğmuştur. İlköğrenimini Yozgat Erdoğan Akdağ İlköğretim Okulu'nda, ortaöğrenimini ve lise öğrenimini ise Yozgat Anadolu Lise' nde tamamlamıştır.

2004 yılında Gaziantep Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü kazanmış ve 2009 yılında mezun olmuştur. 2010 yılında Yozgat İl Özel İdaresi'nde İnşaat Mühendisi olarak göreve başlamıştır.2012 yılında Yozgat Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim dalında Prof. Dr. Yüksel TAŞDEMİR' in danışmanlığında yüksek lisansa başlamıştır.

CANSEVER halen Yozgat İl Özel İdare'si Yol ve Ulaşım Hizmetleri Müdürlüğünde İnşaat Mühendisi olarak görev yapmaktadır.

İletişim Bilgileri

Adres : Yozgat İl Özel İdaresi / YOZGAT

Telefon : 0507 761 66 77

e-mail : tuncay_66@hotmail.com