



**SATHİ KAPLAMALARDA SICAK AGREGA
KULLANIMININ ADEZYON ÖZELLİKLERİNE
OLAN ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mohammad Babour RAHMANY

Danışman

Doç. Dr. Cahit GÜRER

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

Haziran 2019

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SATHİ KAPLAMALARDA SICAK AGREGA KULLANIMININ
ADEZYON ÖZELLİKLERİNE OLAN ETKİSİNİN
ARAŞTIRILMASI

Mohammad Babour RAHMANY

Danışman
Doç. Dr. Cahit GÜNER

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

Haziran 2019

TEZ ONAY SAYFASI

Mohammad Babour RAHMANY tarafından hazırlanan “SATHİ KAPLAMALARDA SICAK AGREGA KULLANIMININ ADEZYON ÖZELLİKLERİNE OLAN ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 11/06/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Cahit GÜRER

Başkan : Prof.Dr.Hüseyin AKBULUT
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

imza

Üye : Dr.Öğr.Üyesi Meltem SAPLIOĞLU
Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

imza

Üye : Doç.Dr.Cahit GÜRER
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

imza

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
...../...../..... tarih ve
.....sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. İbrahim EROL
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

11/06/2019

Mohammad Babour RAHMANY

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SATHİ KAPLAMALARDA SICAK AGREGA KULLANIMININ ADEZYON ÖZELLİKLERİNE OLAN ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Mohammad Babour RAHMANY

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Cahit GÜRER

Ekonomik oluşları, hızlı bir şekilde yapılabilimleri, kısa sürede trafiğe açılabilimleri, kayma direnci yüksek düzgün bir yüzey sağlamaları gibi belli başlı avantajlarından dolayı Türkiye’de en çok kullanılan asfalt kaplama türüdür Sıkıştırılmış granüler temel üzerine yapılan sathi kaplamalar Türkiye, Güney Afrika, Avustralya, Yeni Zelanda, İngiltere vb. gibi ülkelerde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Özellikle Türkiye'nin 67333 km’yi bulan karayolu ağının 39333 km’lik önemli bir kısmı sathi kaplamalı yollardan oluşmaktadır. Sathi kaplamalar aynı zamanda bitümlü sıcak karışım kaplamalar için koruyucu ve iyileştirme amaçlı olarak da yaygın kullanılan bir kaplama türüdür. Sathi kaplamaların performansı, yapım öncesinde ve sonrasında, bitümlü sıcak karışımlardan farklı olarak çok sayıda faktör tarafından etkilenebilmektedir. Sathi kaplamalarda agreganın yapışma performansı yapıldığı yolun trafik hacmi, konumu, tatbik edilen agreganın nominal boyutu ve yapım yöntemi vb. faktörlerden önemli ölçüde etkilenebilmektedir. Bu tez çalışmasında üç tür agrega, Poli Fosforik Asit (PPA) ile modifiye edilmiş iki farklı cins bağlayıcı bitüm (B50/70, B160/220) kullanılarak agregaların dört farklı sıcaklıkta (0 °C, 80 °C , 90 °C, 100 °C, 120 °C) ısıtılması sonucu sathi kaplamalardaki adezyon performansına olan etkisi Vialit yapışma ve Nicholson soyulma deneyleri ile araştırılmıştır. Deney sonuçlarında PPA katkısı ve agregaların ısıtılmasının sathi kaplama adezyon performansına olumlu etki yaptığı gözlenmiştir.

2019, x + 57 sayfa

Anahtar Kelimeler: Sathi kaplama, Adezyon, Sıcak Agrega, Bitüm, Vialit Deneyi.

ABSTRACT

M.Sc.Thesis

INVESTIGATION THE USING HEATED AGGREGATE IN CHIP SEALS ON THE EFFECT OF ADHESION PROPERTIES

Mohammad Babour RAHMANY

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Cahit GÜRER

Chip seals (CS) are one of the mostly used asphalt pavement type in Turkey because of the advantages of low cost, quickly construct and opened to traffic, high friction and smooth surface properties and etc. Chip seals which was constructed on unbound granular base's surface is widely used some countries such as Turkey, South Africa, Australia, New Zealand, England and etc. Especially in Turkey, 39333 km of 67333 km highway network is constructed by chip sealed road pavement. Chip seals are also widely used as a preventive maintenance application for bituminous hot mix pavements. Performance of chip seals on unbound granular base can be affected by number of factors before and after the construction different from bituminous hot mix pavements. The adhesion performance of the aggregate in chip seals is significantly influenced by factors such as traffic volume, location, nominal size of the applied aggregate, and construction method. In this thesis, the effect on adhesion performance in chip seals was investigated by Vialit adhesion and Nicholson stripping tests used three types of aggregates at four different temperatures (0 °C, 80 °C, 90 °C, 100 °C, 120 °C) and two different types of bitumen modified with Poly Phosphoric Acid (B50 / 70, B160 / 220) (PPA). The results of test showed that PPA addition and heating of the aggregates has a positive effect on the chip seal's adhesion performance.

2019, x + 57 pages

Keywords: Chip Seal, Adhesion, Heated Aggregate, Bitumen, Vialite Test.

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım ve ailem gibi gördüğüm elinden gelen tüm desteğini esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Cahit GÜNER'e, laboratuvar çalışmalarımda başlangıçtan sonuna kadar yardımlarını esirgemeyen değerli Arş. Grv. Burak Enis KORKMAZ'a, İnşaat Müh.4sınıf lisans öğrencileri Tahsin ARSLAN ve Oğuzkan KAYA'ya her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm tüm hocalarıma ve arkadaşlarıma ,

Bu tez çalışmasını 16.KARİYER.183 numaralı proje ile AKÜ-BAP tarafından destekleyen Afyon Kocatepe Üniversitesine, KOLSAN firmasına, Afyonkarahisar Belediyesi Asfalt Üretim Tesisleri ve Afyonkarahisar İl Özel İdaresine,

Eğitim hayatım boyunca bu günlere gelmemi sağlayan, maddi ve manevi desteği olan anne ve babama, bu yoğun çalışma sürecinde hep yanımda olup Manevi desteklerini esirgemeyen eşime, evimin neşesi kızım Ayesina'ya şükranlarımı sunarım.

Mohammad Babour RAHMANY

AFYONKARAHİSAR, 2019

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
RESİMLER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	2
2.1 Asfalt Kaplamalarda Adezyon.....	20
2.2 Yapışma Teorileri	21
2.2.1 Kimyasal Reaksiyon.....	21
2.2.2 Yüzey Enerjisi	22
2.2.3 Moleküler Oryantasyon	22
2.2.4 Mekanik Adezyon	22
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	24
3.1 Materyal	24
3.2 Yöntem.....	26
3.2.1 X Işını Floresans (XRF) Yöntemiyle Elementel Bileşim Tayini	26
3.2.2 X Işını Difraktometre (XRD) Analizi.....	27
3.2.3 Mineral Agrega Numunelerinin Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi	27
3.2.4 Kaba ve İnce Agregalar İçin Özgül Ağırlık Deneyleri.....	27
3.2.5 Sıkışık ve Gevşek Birim Hacim Ağırlık Deneyleri.....	29
3.2.6 Los Angeles Aşınma Dayanımının Tespiti.....	30
3.2.7 Agrega Darbelenme Değerinin Tayini	32
3.3 Kullanılan Bitüm Numuneleri İçin Yapılan Deneyler	33
3.3.1 Penetrasyon Deneyi	33
3.3.2 Yumuşama Noktası Deneyi.....	35
3.3.3 Dönel Viskosite (RV) Deneyi.....	35
3.3.4 Vialit Yapışma Deneyi	37
3.3.5 Nicholson Soyulma Deneyi.....	38
4. BULGULAR	40

4.1 Kimyasal Analiz Sonuçları	40
4.2 XRD Sonuçları.....	40
4.3 Vialit Yapışma Deneyi Sonuçları	42
4.4 Nicholson Soyulma Deneyi Sonuçları	45
4.5 Maliyet Hesabı	47
5. SONUÇ VE TARTIŞMA.....	50
6. KAYNAKLAR.....	52
ÖZGEÇMİŞ.....	57



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

°C	Santigrat derece
cP	Centipoise
Gr	Gram
dk.	Dakika
°F	Fahrenheit
Kg	Kilogram
km	Kilometre
kN	Kilo Newton
M	Metre
Mpa	Mega Paskal
t/m ³	Ton / metreküp
Ppm	Percent Per Million (Milyonda bir oran ifadesi)
R ²	Determinasyon katsayısı

Kısaltmalar

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
ACMA	American Composites Manufacturers Association (Amerikan Kompozit Üreticiler Birliği)
ANOVA	ANalysis Of VARIance (Varyans Analizi)
ASTM	American Society for Testing and Materials (Amerikan Deney ve Malzeme Kurumu)
B50/70 Bitüm	Penetrasyon Sınıfı
BSK	Bitümlü Sıcak Karışım
CS	Chip Seal (Sathi Kaplama)
DAL	Akredite Doğaltaş Analiz Laboratuvarı
HCR	Hidrokarbon Reçinesi
KTŞ	Karayolları Teknik Şartnamesi
pen.	Penetrasyon
PPA	Poli Fosforik Asit
SK	Sathi Kaplama
SBR	Styrene bütadiene rubber (Stiren bütadiyen kauçuğu)
SBS	Poly-strene-poly butadine-poly strene
TUAM	Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi
RAP	Reclaimed Asphalt Pavement (Dönüştürülmüş asfalt kaplama)
US	United States (Birleşik Devletler)
YN	Yumuşama Noktası
XRD	XRD X Ray Difraktometresi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 Sathi kaplamalı ve asfalt betonu kaplamalı yol üstyapı tabakaları ve gerilme dağılımları (Gürer 2010).	2
Şekil 2.2 Sathi Kaplama Performansına Doğrudan veya Dolaylı Olarak Etkidiği Düşünülen Parametreler (Karaşahin ve Gürer 2007).	3
Şekil 2.3 Agreg a gömülmesini etkileyen faktörler (Senadheera <i>et al.</i> 2006).	4
Şekil 2.4 Micro deval deneyinden sonra üretilen ve kalan toz miktarları (Gürer 2010)..	6
Şekil 2.5 Agreg a toz içeriği ve gömülmesinin 21 °C (70 °F) ve 60 °C (140 °F) sıcaklıklardaki yol yüzeyinde oluş an agreg a kayıpları üzerindeki etkisi (Gürer 2010).	7
Şekil 2.6 Orta derecede toz oranında ve 3 dk'lık silindirme gecikmesi için farklı yüzey sıcaklıkları ve oturmalarına karş ılık, yol yüzeyinde oluş an agreg a kayıpları (Gürer 2010).	8
Şekil 2.7 Adezyon teorilerinin mikrodalga enerji iyeleştirilmesiyle geliş imi (Terrel and Swailmi 1989).	23
Şekil 2.8 Adezyon teorilerinin mikrodalga enerji iyeleştirilmesiyle geliş imi (Terrel and Swailmi 1989).	23
Şekil 3.1 Tez çalış masına ait yöntem akış ş eması.	26
Şekil 3.2 Vialit deney aş amaları, a) Agreg aların hazırlanması. b) Karış ım iş lemi. c) Hazırlanan modifiye bitüm numunesi. d) Etüvde plaka üzerindeki bitümün yayılması. e) Mekanik sericiye agreg aların yerleştirilmesi. f) Sericiye plakanın yerleştirilmesi.	37
Şekil 3.3 Vialit deney aş amaları, g) Numunenin silindirlenmeden önce klavuzlanması. h) Termometre ile sıcaklık kontrolü. ı) Silindirme. j) Numunelerin 35 °C sıcaklığına ulaş ana kadar bekletilmesi. k) Su banyosuna numunelerin yerleştirilmesi. l) Bilya düşürme.	38

Şekil 3.4 Nicholson soyulma deneyi aşamaları. a) Agreganın hazırlanması. b) Bitümün hazırlanması. c) Agrega ve bitümün karıştırılması. d) Hazırlanan karışımların Petri kaplarına aktarılması.....	39
Şekil 4.1 Dere agregasının yüzeyine ait XRD spektrumu.....	41
Şekil 4.2 Bazalt agregasının yüzeyine ait XRD spektrumu.	41
Şekil 4.3 Kireçtaşı agregasının yüzeyine ait XRD spektrumu.	42
Şekil 4.4 Modifiye edilmemiş B50/70 Bitüm numunesi için Vialit yapışma deneyi sonuçları.	42
Şekil 4.5 Modifiye edilmemiş B160/220 Bitüm numunesi için Vialit yapışma deneyi sonuçları.	43
Şekil 4.6 Modifiye edilmiş B50/70 Bitüm numunesi için Vialit yapışma deneyi sonuçları.	44
Şekil 4.7 Modifiye edilmiş B160/220 Bitüm numunesi için Vialit yapışma deneyi sonuçları.	44
Şekil 4.8 Modifiye edilmemiş B50/70 bitümü ile yapılan Nicholson soyulma deneyi sonuçları.	45
Şekil 4.9 Modifiye edilmemiş B160/220 bitümü ile yapılan Nicholson soyulma deneyi sonuçları.	46
Şekil 4.10 Modifiye edilmiş B 50/70 bitümü ile yapılan Nicholson soyulma deneyi sonuçları.	46
Şekil 4.11 Modifiye edilmiş B 160/220 bitümü ile yapılan Nicholson soyulma deneyi sonuçları.	47

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Bitüm-Agrega adezyonunu arttıran katkı maddeleri (Aksoy 2002).....	5
Çizelge 2.2 Bitüm/agrega bağını etkileyen dış etkiler ile malzeme özellikleri (Whiteoak 1990).	12
Çizelge 3.1 Agregaların fiziksel ve mekanik özellikleri.	25
Çizelge 3.2 Çalışmada kullanılan modifiye edilmiş bitümün özellikleri.	25
Çizelge 4.1 Kullanılan agreg ve iletken bileşenlerin kimyasal analiz sonuçları.	40
Çizelge 4.2 Hesaplamalarda sabit ve değişken olarak alınan değerler.....	48
Çizelge 4.3 Fayda/maliyet hesabı.....	48

RESİMLER DİZİNİ

Sayfa

Resim 2.1 North Carolina State Üniversitesinde geliştirilen laboratuvar tipi agrega serici (Lee and kim)	16
Resim 2.2 Adezyon arttırmada kullanılan HCR-105 hidrokarbon reçinesi (İnt. Kynk.2).	18
Resim 3.1 Çalışmada kullanılan agrega numunelerinin temin edilmesi.	25
Resim 3.2 Los Angeles aşınma deneyi aşamaları, a) Agregaların ve Bilyaların Los Angeles Cihazına yerleştirilmesi. b) Cihaz kapağının kapatılması ve çalıştırılması. c) Cihazdaki agregaların eleme işlemi. d) Agregaların tartılması.	31
Resim 3.3 Agrega darbelenme değeri Tayini için deney cihazı.....	32
Resim 3.4 Bitüm penetrasyon cihazı.....	34
Resim 3.5 Yumuşama noktası cihazı.	35
Resim 3.6 Dönel (Brookfield) viskozimetre (RV) deney cihazı (AKÜ Ulaştırma Laboratuvarı).....	36

1. GİRİŞ

Granüler temel üzerine yapılan sathi kaplamaların performansına yapım öncesinde ve yapım sonrasında olmak üzere onlarca faktör etki edebilmektedir. Yapım öncesinde sathi kaplama, temel ve alttemel malzemeleri için uygun malzeme seçimi, yolun geometrisi, yapımda kullanılacak ekipmanlar ve bu ekipmanların kalibrasyonu, yapım sırasında sırasıyla mevcut yüzey üzerindeki hareketli parçaların süpürülmesi, bitüm, agrega serimi ve silindirme işlemlerinin doğru yapılıp yapılmadığı, yapım esnasındaki hava sıcaklıkları ve nem oranları, yüzey sıcaklıkları, yüzeysel ve yüzey altı drenaj yapıları, yeni sathi kaplamalı yolun kontrollü olarak trafiğe açılıp açılmadığı, yapım aşamasında çalışan teknik elemanların deneyimi, yapımdan sonraki aşamada yolun ağır trafik ve eşdeğer hafif trafik hacmi ve daha da çoğaltılabilecek birçok parametre sathi kaplamaların yapım öncesinde performansını etkileyen parametrelerdir. Yapım sonrasında sathi kaplamanın maruz kaldığı ağır trafik hacmi, iklim koşulları ve bakım önlemleri vb. birçok parametre sathi kaplamaların yapım sonrasında performansını dolayısıyla konforlu servis ömrünü olumsuz veya olumlu olarak etkileyebilmektedir.

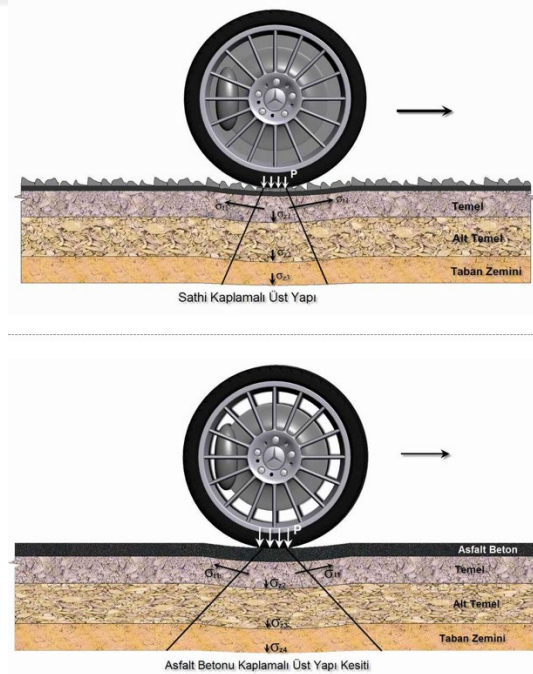
Bu çalışmanın en önemli amacı modifiye bitüm kullanarak sathi kaplamalardaki bitüm - agrega arasındaki adezyon özelliklerini geliştirmektir. Ayrıca agregaların ısıtılmasının adezyon performansına iyileşmeye olan etkisini araştırmaktır. Adezyonda iyileşme sayesinde sathi kaplama imalat sezonunun uzatılması ve bu tip sathi kaplamalardan daha yüksek verim alınmasının sağlanmasıdır. Sathi kaplamalarda yapışma performansının artmasıyla bakım ve onarım giderlerinin azalmasına da katkı sağlamış olacaktır.

Bu amaçla üç farklı tür agrega ve modifiye edilmiş iki farklı tür bağlayıcı kullanılarak dört farklı agrega sıcaklığında toplam 180 numune üretilerek Vialit yapışma deneyleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar kendi içerisinde karşılaştırılarak ısıtılmış agrega uygulamasının adezyon üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

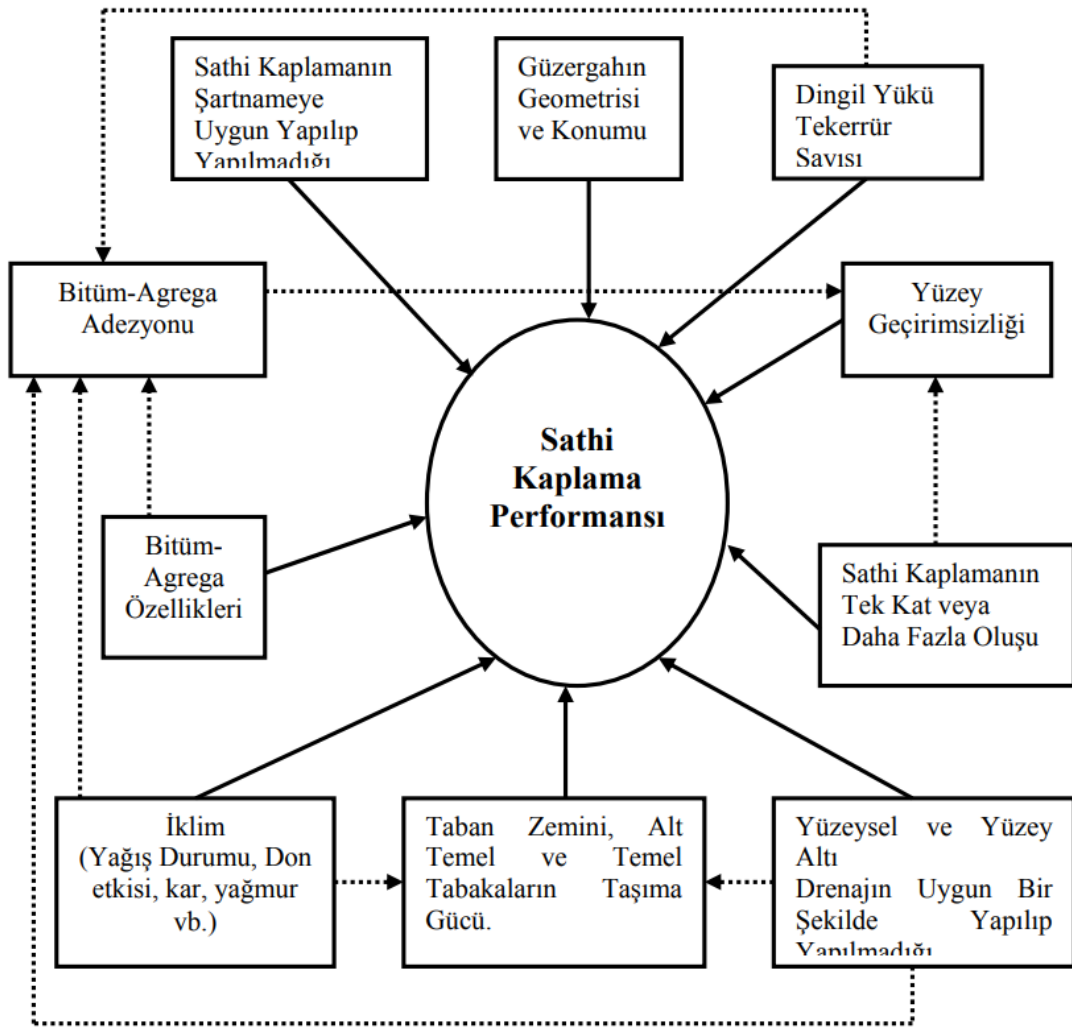
Sathi kaplama, temel tabakası üzerine püskürtülen bitüm yapıştırma veya astar tabakası üzerine bitüm ve agrega tabakasının tek kat veya çift kat serilip, sıkıştırılması ile yapılan, alt tabakalar için geçirimsiz bir yüzey, araçlar için kayma direnci yüksek ve düzgün bir yuvarlanma yüzeyi sağlayan, üstyapıyı trafik ve iklimin aşındırıcı etkilerinden koruyan ekonomik bir asfalt kaplama tipidir (Whiteoak 1990, Griffith and Hunt 2000, Karaşahin ve Ağar 2004, Wood and Olson 2007, Karaşahin vd. 2009a, Gürer 2010).

Bu tip kaplamalar Türkiye, Güney Afrika, Avustralya ve Yeni Zelanda gibi ülkelerde bağlayıcısız granüler temel üzerine yapılmaktadırlar (Distin 2008, Holtrop 2008, Gürer 2010). Özellikle Türkiye'nin 67333 km'yi bulan karayol ağının 39333 km'lik önemli bir kısmı sathi kaplamalı yollardan oluşmaktadır (İnt. Kyn. 1). Şekil 2.1'de sathi kaplamalı ve asfalt betonu kaplamalı yol üst yapı tabakaları ve bu üst yapı tabakalarında meydana gelen gerilme dağılımları görülmektedir.



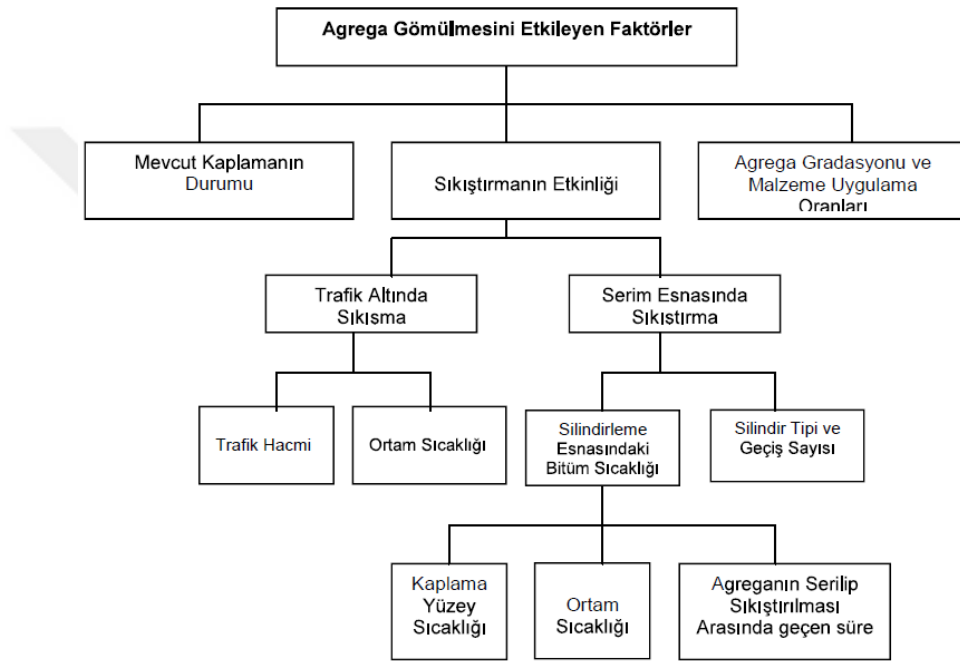
Şekil 2.1 Sathi kaplamalı ve asfalt betonu kaplamalı yol üstyapı tabakaları ve gerilme dağılımları (Gürer 2010).

Şekil 2.1’de görüleceği üzere sathi kaplamalarda, kaplamanın taşıma gücü olmadığından temel, alt temel ve taban zemini tabakalarının kaplama performansına olan etkisi bitümlü karışımlarla oluşturulan kaplamalara göre daha büyük olmaktadır. Özellikle ülkemiz yol kaplamalarının %80’ne yakınının sathi kaplama olduğu göz önünde bulundurulursa bu kaplamaların performansına etki eden parametrelerin uygulama mühendisleri tarafından iyi bilinmesi gerekmektedir. Ülkemiz sathi kaplamaların performansına doğrudan veya dolaylı olarak etki ettiği düşünülen parametreler Şekil 2.2’de özetlenmiştir.



Şekil 2.2 Sathi Kaplama Performansına Doğrudan veya Dolaylı Olarak Etkilediği Düşünülen Parametreler (Karaşahin ve Gürer 2007).

Senadheera vd. (2006), yapmış oldukları çalışmada agrega gömülme derinliği üzerinde etkili olan faktörleri incelemişlerdir. Genellikle agreganın asfalta gömülmüş olan kısmı agrega gömülme derinliği olarak bilinir. Agrega gömülmesi ve ortalama en küçük agrega boyutu arasındaki oran yüzde gömülme olarak ifade edilir. Sathi kaplama gömülme derinliğini belirleyen en önemli faktörler, agrega ve bitüm uygulama oranları, mevcut yüzeyin durumu, agrega gradasyonu ve silindirle sıkıştırmanın etkisidir. Şekil 2.3'te agrega gömülmesini etkileyen faktörler görülmektedir.



Şekil 2.3 Agrega gömülmesini etkileyen faktörler (Senadheera *et al.* 2006).

Aksoy bitüm reolojik yapısının bitümün yaşlanmasına ve kaplamanın performansına olan etkisini incelemiş ve bitümlü bağlayıcılarda kullanılan adezyon artırıcı katkıları ve bunların bazı olumlu ve olumsuz özelliklerini belirtmiştir (Çizelge 2.1).

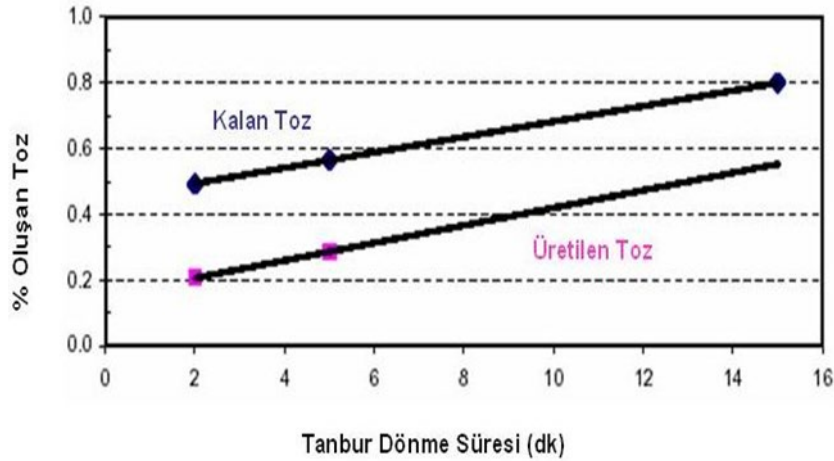
Çizelge 2.1 Bitüm-Agrega adezyonunu arttıran katkı maddeleri (Aksoy 2002).

<i>Katkının Türü</i>	<i>Düşünceler</i>
Hidrate Olmuş Kireç, Portland Çimentosu (Kütlece %1-2 Oranında)	Soyulmayı Azaltmakta, Islak Ve Soğuk Agregalar İçin İyi Sonuçlar Sağlamakta
Asit	Türü ve Niceliği Tam Olarak Belirlenmemiş Durumda
Polar Malzemeler (Organik Asitler Veya Alkoller)	Bağlayıcıya Katıldıklarında Teorik Açından İyi Sonuç Veriyor Ancak Deneyler Yetersiz Olduklarını Gösteriyor
Yüzey Aktif Kimyasallar (Sabunlar, Kalsiyum, Kurşun, Demir)	Adezyonu Geliştirebilirler. Ancak Sık Sık Yetersiz Kalmaktalar.
Katyonik Yüzey Aktif Ajanlar	Bağlayıcı ve Agregası Arasına Güçlü Bir Şekilde Emilmekte ve Adezyonu Güçlendirmekte,
Organik Aminler	Sathi Kaplamada Etkili, İsveç Ve Büyük Britanya’da Yaygın Bir Şekilde Kullanılmakta, Minimum Uygulanma Miktarı Belirli Değil, Güçlü Katyonik Yüzey Aktif Ajanlar,
Uzun Zincirli Hidrokarbon Zincire Sahip Aminler Veya Diaminler	Maksimum Faydalı Yüzdesi Kütlece %1.5, Daha Fazlası Adezyonu Azaltır.
Yol Katranı, Kütlece %10 Petrol-İs (Soot, Yüzeyde İnce)	Adezyonda Hafif Bir İlerleme Sağlar. Halen Araştırılmakta,
Uçucu Kül	Sorgulanmakta,
Agregayı Silikonla Veya Metal Tuz Çözeltilisi İle Önceden Kaplama	Adezyonu Geliştirmekte, Bağlayıcıya Katyonik Katkılarının Katılmasına Göre Daha Ekonomik Olabiliyor Ancak Arazi Uygulamaları İle Doğrulanmaya İhtiyacı Bulunmakta
Dizel Yağıyla Ve %1 Oleik Asit, Naftanik Asit, Katran Veya Bitümle Çözeltilisi İle Agregayı Kaplama	Ayrılma Testinde Adezyonu Önemli Ölçüde Geliştirmekte
Seyreltilmemiş Bitüm Veya Katranla 250 °C’de Kütlece %1 oranında Agregayı Kaplama	Laboratuar Ayrılma Testinde %100 Adezyon Sağlamak İçin En Emniyetli Yöntem
Bağlayıcıya Stearin Zifti, Oleik Asit Veya Naftanik Asit Katmak	Ayrılma Direncini Artırmakta

Adezyon artırıcı katkı maddeleri her zaman beklenen etkiyi göstermeyebilir. Dolayısıyla agregaların ısıtılması gibi yöntemler adezyon açısından faydalı olabilir.

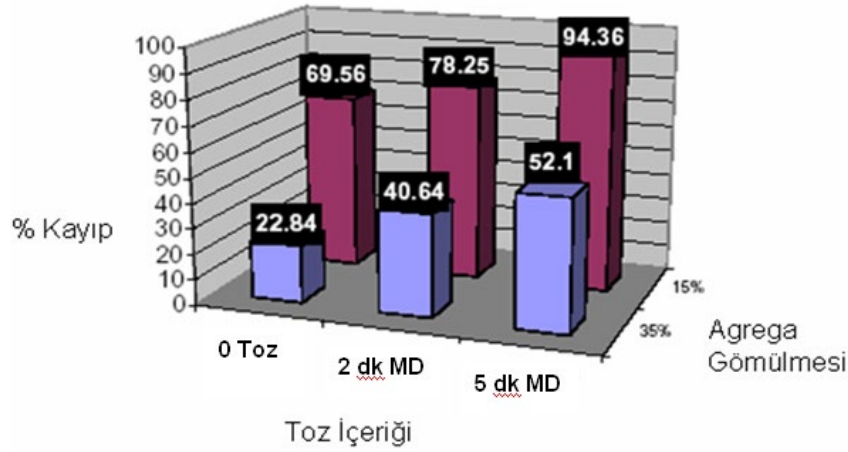
Senadheera vd.’ne (2006) göre, yol yüzeyinden agregası kaybına yol açarak sathi kaplamanın performansına etkiyen önemli problemlerden birisi de tozdur. Agregası,

özellikle kireçtaşı kökenli kırmataş ve hafif agregalarda, ocakta üretilirken yıkanmasına rağmen önemli miktarda toz da taşıma ve agregaların işlenmesi sırasında açığa çıkar. Senadheera vd. tozun agregaya ve bitüm arasındaki yapışma özelliklerine olan etkisini araştırmak için tozsuz, orta tozlu ve yüksek oranda tozlu üç farklı toz oranında olmak üzere sathi kaplama numunesi hazırlamışlardır. Deneyde agregaların işlenmesi sırasında açığa çıkan tozun oluşumu gözlenmiştir. Bunun için mikro deval deney cihazı içerisindeki çelik bilyaları çıkartılmak suretiyle kullanılmıştır. Tamburun dönme süresi toz oluşum sürecini hızlandırmıştır. Şekil 2.4’de 2, 5 ve 15 dk.’lık tambur dönüşleri sırasında açığa çıkan toz oranları görülmektedir. Üç nokta lineer bir doğru oluşturmuştur. Bu denemeden sonra farklı toz içeriğindeki numuneler 0, 2 ve 5 dk.’lık tambur dönüşleri için değerlendirilmiştir. Daha sonra agregaya yüzeyine yapışmadan tambur içerisinde üretilen toz miktarı belirlenmiş, daha sonra agregaya yüzeyine yapışık olarak kalan toz miktarı kalan toz miktarı olarak grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 2.4 Micro deval deneyinden sonra üretilen ve kalan toz miktarları (Gürer 2010).

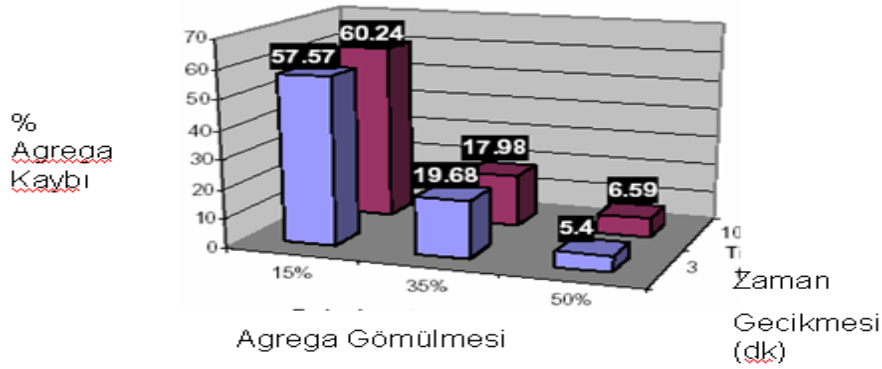
Bu deneysel çalışmanın bir parçası olarak 21 °C (70 °F) ve 60 °C (140 °F) iki farklı yüzey sıcaklığı seçilmiştir. Agregaya aplikasyonu bağlayıcı yüzey sıcaklığına kadar soğuyuncaya kadar geciktirilmiştir. Agreganın sıkıştırılıp serilmesi 3 ve 10 dk. olmak üzere iki farklı zamanda yapılmıştır. Şekil 2.4’te agregaya toz içeriği ve gömülmesinin 21 °C (70 °F) ve 60 °C (140 °F) sıcaklıklardaki yol yüzeyinde oluşan agregaya kayıpları üzerindeki etkisi görülmektedir.



Şekil 2.5 Agregat toz içeriği ve gömülmesinin 21 °C (70 °F) ve 60 °C (140 °F) sıcaklıklardaki yol yüzeyinde oluşan agregat kayıpları üzerindeki etkisi (Gürer 2010).

Şekil 2.5’de agregat gömülme yüzdesi ve 60 °C sıcaklıklardaki agregat serilip sıkıştırılması arasındaki zaman gecikmesine karşılık, yol yüzeyinde meydana gelen agregat kaybı görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi %15 ve %35 agregat gömülmelerine karşılık oluşan yüzey agregat kayıpları arasında bariz bir fark görülmektedir. Agregat kaybı, gömülme derinliğinin artmasıyla eksponansiyel olarak gelişmektedir. Bununla birlikte, 60 °C yüzey sıcaklığında ve orta derecede yüzey toz durumunda, silindirmenin 3 ila 10 dk. arasında yapılmasının, agregat gömülmesi üzerine bariz bir etkisi olmamıştır.

Şekil 2.6’da ise orta derecede toz oranında ve 3 dk’lık silindirme gecikmesi için farklı yüzey sıcaklıkları ve oturmalarına karşılık, yol yüzeyinde oluşan agregat kayıplarını göstermektedir. Buna göre gömülme derinlikleri %15 ve %35 oranlarında iken 21 °C (70 °F) ve 60 °C (140 °F) sıcaklıklarında aynı trendi gösterirken, %35 ve %50 gömülme oranlarında aynı trendi gösterememiştir. Bu aşamada agregat-bitüm bağı farklı seviyedeki gömülme oranlarında, sıcaklık değişimlerine karşı yüksek hassasiyet göstermiştir. Dolayısıyla agregat ve bitüm arasındaki bağı gömülme yüzdesi ve yüzey sıcaklığına büyük oranda bağlı olduğunu, bu nedenle uygulama mühendislerinin agregaların hızlı bir şekilde serilip sıkıştırılmasına, özellikle düşük yüzey sıcaklıklarında iyi performans elde edilebilmesi için dikkat edilmesi gerektiğini belirtmişlerdir.



Şekil 2.6 Orta derecede toz oranında ve 3 dk’lık silindirme gecikmesi için farklı yüzey sıcaklıkları ve oturmalarına karşılık, yol yüzeyinde oluşan agregat kayıpları (Gürer 2010).

Karayolunun su ile teması, uzun vadede karayolu yapısında; çatlak oluşumları, deformasyon, yüzey kaplamasından agregat kayıpları, yüzey tabakasında oluşan aşınma gibi hasarlara yol açar. Bu durum, yapısal mukavemet kaybına, donma-çözülmeden oluşan bozulmalara ve yüzeyde oluşacak kırılmalara karşı hassasiyete neden olur. Bunun gibi sorunların ortaya çıkmasının altında yatan temel neden de, bitüm ile agregat yüzeyi arasında ortaya çıkan yapışma kaybıdır (Akzo Nobel 2010).

Sathi kaplama agregalarının yüzeyindeki tozun varlığı, agregat ve bağlayıcı arasında iyi bir yapışmaya izin vermediğinden agregat kaybının diğer yaygın bir nedenidir. Bu sorunun üstesinden gelmek için benimsenen en yaygın çözüm, önceden kaplanmış agregaların kullanılmasıdır. Önceden kaplanmış agregat, sathi kaplama işleminden önce, genellikle ağırlıkça %0.5 ila %1.5 arasında çok ince bir bitümlü bağlayıcı film ile kaplanır (Kandhal and Motter 1987). Bitümlü bağlayıcılar, kirli veya tozlu agregalara yapışmakta güçlük çekerek, trafiğe açıldıktan sonra agregaların yerinden çıkmasına neden olmaktadır (McLeod 1969).

Sıcak havalarda, bağlayıcı daha yumuşak bir kıvama sahip olduğunda, trafik sürekli olarak agregaları sıkıştırır, bu da daha yüksek gömme derinliklerine ve daha iyi agregat tutulmasına neden olur. Ancak, yüksek ortam ve yüzey sıcaklıkları, agregat tutma viskozitesinin olumsuz etkilendiği bir problem olabilir (Wegman 1991).

Louw vd. (2004), bağlayıcıların düşük sıcaklık performansını ve Vialit deneyinin uygunluğunu değerlendirmek amacıyla bir dizi bağlayıcı üzerinde çeşitli sıcaklıklarda bir dizi detaylı deneysel çalışma gerçekleştirmiştir. Deney sonuçları, agregalar önceden kaplanmışsa, aynı zamanda geleneksel ve modifiye edilmiş bağlayıcılar arasında yapışmada belirli bir farklılık olduğunda, agregaya bağının da iyileştiğini göstermektedir.

Sıcak agregaya ile sathi kaplama uygulaması Yeni Zelanda karayolları idaresi tarafından uygulanan bir yöntemdir. Sıcak agregaya tekniği sadece agregaya sökûlmelerinin meydana geldiği küçük yol kesimlerini iyileştirmek için kullanılabilir ve genellikle bağlayıcı hala yumuşak olduğundan ve adezyon kolay bir şekilde elde edilir. Bu nedenle yapım hatalarının erken iyileştirilmesi için kullanılabilir. Bu sistemin bir avantajı, gelecekteki kuma riskini en aza indiren bağlayıcı içerisinde daha az seyreltici veya kesicinin gerekli olmasıdır. Sıcak agregaya bir sıcak karışım asfalt tesisinden elde edilir. Üretim sıcaklığı, tesis ile kaplama serim yeri arasındaki mesafeye bağlıdır ancak normal olarak 160-190 ° C aralığındadır. Agregaya önceden kaplanmışsa, sıcaklığın yaklaşık 170 ° C'nin üzerine çıkmasına izin verilmemelidir. Bu sıcaklığın üstünde, önceden kaplanmış bitüm çok hızlı bir şekilde oksitlenebilir ve bu kadar yüksek sıcaklıklarda tutulursa, 1 ila 2 yıla eşdeğer olan yaşlanma birkaç saat içinde oluşabilir. Kaplanmamış sıcak agregaya önemli miktarda toza sahip görünüyorsa ve agregaya yüksek temizlik değerine sahip olsa bile, toz kaynağı sıcak karışım asfalt tesisi olabilir. Eğer öyleyse, kurutucu tambur değirmeninin iyi temizlendiğinden emin olmak için tesis kontrol edilmelidir. Bazı durumlarda yolda normalden fazla bağlayıcı kaldığında, sıcak agregaya yola serilerek de doğrudan (bağlayıcı olmadan) kullanılabilir. Bununla birlikte, yerinde bağlayıcının yeterli olmasına rağmen tozla aşırı kirlendiği durumlarda bu şekilde uygulama iyi sonuç vermez. Sıcak agregaya ayrıca katbek veya bir emülsiyon bağlayıcı uygulamasıyla da kullanılabilir. Bazı durumlarda emülsiyon, sıcak bitümden daha düşük uygulama oranlarına daha uygun olduğundan tercih edilen seçenek olabilir. Ekstra bağlayıcı uygulanırsa, onarımın aşırı bağlayıcı nedeniyle kuma bozulması meydana gelmemesi için yalnızca gerekli olan minimum değer kullanılmalıdır. Sıcak agregaya için agregaya gradasyonu seçimi, önceden serilmiş olan agregaya gradasyonuna, trafik hacmine ve fazla bağlayıcı miktarına bağlı olarak değişir. Agreganın bağlayıcıya tam olarak gömülmesini sağlamak için her zaman silindirilmesi gerekir (TNZ 2005).

Gransberg (2006), ayrı ayrı sathi kaplama performans derecelendirmelerini bu derecelendirmeleri elde ettiği bildirilen inşaat uygulamalarıyla ilişkilendirmeyi amaçlamıştır. Çalışma neticesinde birkaç güçlü korelasyon bulunmuştur. En önemlisi, ortam hava sıcaklığının, mükemmel veya iyi sathi kaplama performansı rapor edenlerde genel olarak [ortalama 60 ° F (15 ° C)] daha yüksek olmasıdır. Aynı eğilim, tam hızlı trafiğin yeni kapatılmış bir yoldan geçmesine izin verilmesinden önceki ortalama süre ile gözlemlenmiştir, en iyi performans sathi kaplamanın trafiğe açılması için bekleme süresi 28 saattir. En iyi performans gösteren sathi kaplamaları bildiren katılımcılar daha ayrıntılı hazırlık önlemleri ve daha ayrıntılı trafik kontrol önlemleri kullanmışlardır. Aynı katılımcılar yeni yapılan bir sathi kaplamalı yola karartma uygulaması gerektirmeyen yapım prosedürlerinin başarısını doğrulamışlardır.

Hoffman and Potgieter. (2007), Güney Afrika'da bitümlü kauçuk ve püskürtme sathi kaplamaları 1982'den beri ve çoğunlukla yol iyileştirme projelerinde başarılı bir biçimde kullanılmaktadır. Bitümlü kauçuk sathi kaplamaların standart bir bağlayıcı üzerinde olan başlıca avantajı, üstün su geçirmezliği ve aynı zamanda yeni yerleştirilen sathi veya asfalt kaplamalarında meydana gelen aksettirici çatlakları engelleyebilme ve ömrünü uzatmaktır. Yüksek püskürtme oranı ile bitümlü kauçuk modifiyeli bağlayıcıların daha iyi özellikleri, aşağıdaki ilave faydaları sağlamaktadır. İş sıcaklık aralığını genişletme, Sıcaklık hassasiyetini azaltma, tekerlerde bulunan antioksidanlardan meydana gelen cilalara karşı uzun ömür, daha iyi yapışma, gerilmeyi emme özellikleri, yüksek B-R rijitliği nedeniyle daha iyi Ortalama En küçük Boyut (ALD) agrega tutumu, daha yüksek yumuşama noktası olduğundan daha az taş gömmesi, bağlayıcı emmeye karşı direnç, daha az önişlem, üstün elastisite ve yorulma. Bu makalenin amacı, Güney Afrika'da geniş çapta başarıya ulaşmış tasarım ve prosedürlerini sunmaktır. Bu makale bitümlü kauçuk kaplama ve püskürtme sathi kaplamaların en yeni metodunu inşaat prosedürleriyle birlikte anlatmaktadır. Performans tarihini anlatmak için örnek çalışmaları da sunulmuştur. Son olarak, özellikle ağır bir şekilde tahribata uğramış yollarda ve normal bağlayıcıların etkisiz olduğu yerlerde, bitümlü kauçuk kaplamasının uygun ve başarılı bir seçenek olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Shao-peng vd. (2008), bitüm-agrega adezyonu üzerinde sıcaklık hassasiyeti üzerine bir araştırma yapmışlardır. Bitüm-agrega yapışma özelliklerinin asfalt kaplama performansına büyük bir etkisi olduğu bilinmekte olup, tek agreg-a-agrega temas yüzeyleri arasındaki bitümlü bağlayıcının temel özelliklerinin belirlenmesinde sıcaklık önemli bir rol oynamaktadır. Bitümlü sıcak karışım kaplamalardaki bozulmaların anlaşılmasında sıcaklık duyarlılığının, özellikle de bitüm-agrega adezyonunu etkilemesi açısından, çok önemli olduğu düşünülmektedir. Bitüm-agrega yapışmasının sıcaklık duyarlılığının bitümlü sıcak karışım tasarımında çok önemli olduğu bilinmelidir. Yapılan araştırmanın amacı, sıcaklığın asfalt filminin agreg-a ve bitüm arasındaki yapışma ve kohezyon üzerindeki etkisini ölçmektir. Tek agreg-a-agrega temasları arasında bitüm filmin adezyon / kohezyon başarısızlığı, dinamik mekanik analiz cihazı kullanılarak kuvvet-kontrol modu ile dinamik gerginlik stres testi altında incelenmiştir, daha sonra kırık yüzeyi bir Polarizan Mikroskop ile analiz edilmiştir. Farklı sıcaklıklarda SBS modifiye edilmiş bitüm üzerinde karşılaştırmalı deneyler yapılmıştır. Deneysel çalışma sonuçları sıcaklığın artışıyla birlikte adezif bozulma alan yüzdesinin azaldığını göstermiştir. Bununla birlikte maksimum gerilme seviyesinin artmasıyla adezif bozulma yüzdesi artmaktadır.

Bitümün ana işlevlerinden birisi de agregaları birbirlerine bağlayan bir yapışkan özelliği göstermesidir. Bu özellik 70 yıldan fazla süredir İngiltere'deki yollarda başarıyla uygulanmaktadır ve iyi sıkıştırılmış bitümlü karışımlarda yapışma özelliğinin ortadan kalkması problemine az rastlanılmaktadır. Bununla birlikte yine de, yapışkan bağın bozulduğu ve malzeme mukavemetinin ciddi derecede azaldığı durumlara raslanmaktadır. Bitüm/agrega bağını etkileyen dış etkenler ile malzeme özellikleri Çizelge 2.2'de verilmiştir. Çizelge 2.2'den de görüleceği gibi sıcaklık adezyonu etkileyen dış etken parametre olarak sınıflandırılmıştır (Whiteoak 1990).

Çizelge 2.2 Bitüm/agrega bağıını etkileyen dış etkiler ile malzeme özellikleri (Whiteoak 1990).

Agrega Özellikleri	Bitüm Özellikleri	Karışım Özellikleri	Dış Etkiler
Mineroloji Yüzey Dokusu Porozite Toz Dayanıklılık Yüzey Alanı Absorpsiyon Nem Oranı Şekil Hava koşullarına maruz kalma	Reoloji Elektriksel Polarite Kimyasal yapı	Boşluk oranı Permeabilite Bitüm oranı Bitüm tabakası Kalınlığı Filler türü Agrega Gradasyonu Karışım tipi	Yağış miktarı Nem Suyun pH değeri Tuz varlığı Sıcaklık Sıcaklık değişimleri Trafik Tasarım İşçilik Drenaj

Rahman vd. (2012), sathi kaplamalarda agregaların kaplama yüzeyine bağlanmalarını araştırmışlardır. Sathi kaplamalar esnek üstyapılarda koruyucu bakım amaçlı olarak yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tip sathi kaplamalardaki en önemli bozulma sebeplerinden birisi, özellikle de agreg ve bitüm emülsiyonu yeni serilmiş sathi kaplamalardaki gevşek agregalardır. Çalışma kapsamında kireçtaşı, kırılmış çakıl, sentetik hafif agreg ve geri dönüştürülmüş asfalt kaplama (RAP) malzemeler iki farklı polimerle modifiye edilmiş emülsiyon ile kullanılarak maksimum agreg bağlanması ile sonuçlanacak agreg-emülsiyon kombinasyonu bulunmaya çalışılmıştır. Her bir agreg-emülsiyon kombinasyonunun deneyleri ASTM D7000 süpürme deney yöntemine göre yapılmıştır. Hafif agregalar ve çakıl numunelerinin deneyleri, süpürme deney yöntemini benzeştiren yeni deney yönteminde de gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları hafif agregaların çakıl agregalara göre daha iyi performans sergilediğini göstermiştir. Hafif agreg kaynakları agreg tutunması üzerinde oldukça önemli rol oynamaktadır. Emülsiyon agreg kayıplarını etkileyen en önemli faktördür. ANOVA analiz sonuçlarında agreg ve emülsiyon tipi ve agreg-emülsiyon etkileşiminin agreg tutunmasını etkileyen önemli faktörler olduğu görülmüştür. Agregaların bitümle kaplanması ve emülsiyon türü ile etkileşimleri, agreg bağlanması söz konusu olduğunda, önemsiz faktörlerdir.

Akıllı vd. (2012), sathi kaplamalı yolların en çok kullanılan kaplama türlerinden birisi olduğunu belirtmişler ve bu tip kaplamalarda agreg-bitüm adezyonunun performans üzerindeki en etkili parametre olduğunu söylemişlerdir. Çalışmalarında Vialit adezyon deneyine alternatif bir deney yöntemi olan ve Süleyman Demirel Üniversitesinde

geliştirilen Pull-Out deney yöntemi ile adezyon özelliğini araştırmışlardır. Bu çalışmada, 24 saat sonra çelik levha üzerindeki bitüm numunelerine gömülü agregalar numuneleri üzerinde çekme testi gerçekleştirilmiştir. Agregaların maksimum kopma kuvvetleri, çekme gerilmeleri ve bitüm film uzamaları belirlenmiştir. Çalışma kapsamında 13 farklı agregalar ve dört farklı bitüm numunesi ile deneyler gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış, agregalar ve bitüm değişkenlerinin adezyon üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Deney sonuçları agregalar tipinin adezyon üzerinde etkili olduğunu aynı zamanda modifiye bitüm numuneleri de adezyon özelliklerini geliştirmiş bununla birlikte farklı modifikatörlerin adezyon üzerinde farklı etkileri olduğu belirlenmiştir.

Aktaş ve Karasahin. (2013), sathi kaplama performansını katkısız ve polimer modifiye bitümlü bağlayıcı kullanarak değerlendirmişlerdir. Bu sathi kaplama numuneleri, farklı agregalar kombinasyonları ile üretilerek hızlandırılmış sathi kaplama simülasyon cihazında, soğuk iklim koşullarında, sökülme davranışları incelenmiştir. Düşük sıcaklıklarda üç agregalar türü, katkısız ve modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcının agregalar toplam tutunma performansını karşılaştırmak için kullanılmıştır. Sonuç olarak polimer modifiye bitümlü bağlayıcının agregalar tutunma performansını geliştirdiği görülmüştür. Tüm bunlara ilave olarak, sonuçlar sıcaklıktaki düşüş toplam agregalar kayıplarını daha da arttırmıştır.

Wasiuddin vd. (2013), halen, bitümlü emülsiyonla uygulanmış sathi kaplama numunelerinin (ASTM D7000) süpürme deneyi için standart test metodunun kapsamı sadece emülsiyon bazlı sathi kaplamalar ile sınırlıdır. Bu amaçla, yapılan çalışmanın amacı, hem emülsiyonlar hem de sıcak asfaltlar için süpürme testinin, agregalar mineralojik özellikleri, agregaların bitümle önceden kaplanmış olmasına, nem içeriğine, bitümlü bağlayıcı tipine ve bitümlü bağlayıcının uygulama oranlarına göre duyarlılığını değerlendirmektir. Yerinde değerlendirme için 9 dönümlük bir otopark alanı içerisinde üç farklı bitümlü bağlayıcı ve beş farklı agregalar kullanılarak 15 farklı sathi kaplama test kesimi hazırlanmıştır. Yapımdan iki yıl sonra, 15 kesimin her biri toplam agregalar kaybı ve kasma bozulması açısından görsel olarak kontrol edilmiştir. Her bölüme bir bozulma derecesi verilmiştir. Süpürme testinden elde edilen toplam kayıp, daha sonra kesim

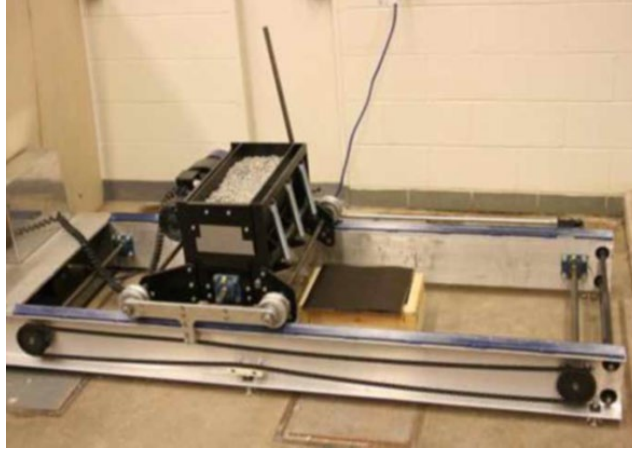
bozulma derecesiyle karşılaştırılmıştır. Hem laboratuvar hem de saha testleri, genel olarak genleşmiş şeyl hafif agregaların kırma taşlardan daha iyi olduğunu gösterirken, kil hafif agregaları bu çalışmada test edilen beş agregada arasında en kötü performansı sergilemiştir. Önceden kaplanmış genleşmiş şeyl hafif agregada, % toplam agregada kaybına göre, kaplanmamış şeyl hafif agregalardan daha iyi performans göstermiştir. İki sıcak asfalt arasında PAC-15, AC20-5TR'den daha iyi performans göstermiştir. Sıcak asfalt durumunda, etüv kurusu, havada kuru ve doygun yüzey kuru agregalarda nem içeriği arttıkça % agregada kaybının arttığı görülmüştür. Bununla birlikte, emülsiyon için, havada kurumuş agregalar en iyi sonucu vermiştir. Hem emülsiyon hem de sıcak asfalt için, bitümlü bağlayıcı uygulama oranındaki bir artış, toplam agregada kaybını önemli ölçüde azaltır. PAC-15 kesimi hariç tüm 15 kesimdeki bozulma sıralaması, süpürme testi sonuçlarıyla uyumludur. Genel olarak, sonuçlar hem emülsiyon hem de sıcak asfalt kullanılarak yapılan süpürme testinin sathi kaplamaların performansının değerlendirilmesinde etkili bir araç olabileceğini göstermektedir.

Aktaş ve Karaşahin. (2013), farklı bağlayıcı ve agregada türlerinin hem laboratuvar hem de yerinde sathi kaplama performansı üzerindeki etkisinin belirlenmesine odaklanmışlardır. Tercih edilen kaplama koruma tekniği olarak mevcut asfalt betonu üzerine sekiz farklı sathi kaplama test kesimi yapılmıştır. Test bölümlerinde iki farklı bağlayıcı, CRS-2L modifiyeli emülsiyon ve B100 / 150 penetrasyonlu sıcak asfalt çimentosu kullanılmıştır. Ayrıca iki tip agregada, kireçtaşı ve bazalt kullanılmıştır. Test bölümlerinde düzenli olarak kum yama testi ve görsel değerlendirmeler gerçekleştirilmiştir. Fiziksel ve kimyasal özelliklerin yanı sıra, kullanılan malzemelerin yapışma direnci laboratuvarında belirlenmiş ve test bölüm sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Agregada kaybı, her test bölümündeki kuma bozulmaları, bağlayıcı ve agregada tipine göre zamana bağlı olarak değerlendirildi. Sonuçlar, sathi kaplama yapımından sonra, mevcut asfalt betonunun makro dokusunun önemli ölçüde arttığını göstermektedir. CRS-2L ile yapılan sathi kaplama B100 / 150 sıcak asfalt çimentosundan daha iyi performans gösterdiği de tespit edilmiştir. Sathi kaplama için kullanılan agregada tipine göre, kireçtaşı bazalt ile karşılaştırıldığında, daha iyi sökölme performansı göstermiştir. Ek olarak, test bölümlerinde, sağ ve sol şerit, değişen şerit trafik dağılımlarından dolayı farklı bozulma şiddet dereceleri ortaya çıkarmıştır. Ayrıca makro dokunun sathi kaplama performansını

belirlemek ve zaman içindeki ilerlemesini takip etmek için en iyi parametrelerden biri olduğu da görülmüştür.

Gürer ve Karaşahin. (2014), sathi kaplama agregalarının adezyon özelliklerini araştırmışlardır. Sathi kaplamaların performansı büyük ölçüde agregaya ile bitüm arasındaki adezyona bağlıdır. Agregaya ile bitüm arasındaki uygun bağ kuvvetinin sağlanması yüzeyden agregaya sökümelerinin azalarak sathi kaplama performansının artması ile sonuçlanır. Sathi kaplamalardaki en önemli bozulmalar yağmur suyu ve trafiğin etkisi ile bitüm filminin agregaya üzerinden soyulması ve bunun sonucu olarak agregaya parçalarının yüzeyden kopması şeklinde oluşmaktadır. Agregaya parçalarının kopması sonucu yüzeyde geçirimli kısımlar oluşmakta bu bölgelerden temel tabakasına sızan su sathi kaplamalı yollarda daha ağır bozulmaların oluşmasına yol açmaktadır. Agregaların yapıştığı bitümden soyularak kopmasına neden olan en önemli nedenlerden birisi agregaya üzerindeki toz ve nemdir. Bu çalışmada sathi kaplama yapımında kullanılan 5 farklı agregaya numunesi kullanılmıştır. Agregaların bitümle olan yapışma özellikleri temiz, tozlu ve nemli halleriyle Vialit yapışma, Modifiye yapışma yöntemiyle ve Nicholson soyulma deneyleri yapılarak laboratuvar şartlarında deneysel olarak incelenmiş ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

Lee and Kim. (2014), modifiye edilmemiş emülsiyon (CRS-2) ile yapılan sathi kaplamalara karşı polimer modifiyeli emülsiyon (PME; CRS-2L) ile oluşturulan sathi kaplamaların performansını karşılaştırmışlardır. Genel performans değerlendirmesi toplam agregaya tutma performansına dayanmaktadır. Emülsiyonların yapışması, farklı kür süreleri ve sıcaklık koşulları ile Vialit yapışma deney yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Sathi kaplamaların toplam tutma performansını değerlendirmek için Vialit testi, ters çevirme (Felp-Over Test) testi ve üç ölçekli Model Mobil Yükleme Simülatörü (MMLS3) kullanılmıştır. Numunelerin hazırlanmasında North Carolina State Üniversitesinde geliştirilen laboratuvar tipi agregaya serici kullanılmıştır (Resim 2.1). Bu testlerden elde edilen sonuçlar PME'nin (CRS-2L) toplam tutma performansını arttırdığını ve bu artışın erken aşamalarda ve düşük sıcaklıklarda önemli miktarlarda olduğu görülmüştür.



Resim 2.1 North Carolina State Üniversitesinde geliştirilen laboratuvar tipi agrega serici (Lee and Kim 2014).

Vidal vd. (2015), bitümlü bağlayıcıların adezif kapasitesini (kohezyon ve yapışma kapasitesi) yeni mekanik parametrelerle karakterize etmek için yeni bir metodoloji oluşturmayı amaçlayan bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu metodoloji, son zamanlarda İspanya'da geliştirilen Fenix testine dayanmaktadır. Bu yöntem, asfalt karışımlarının çatlama direncini değerlendirir ve asfalt bağlayıcıların bağlanma gücünü karakterize etmek üzere uyarlanmıştır. Bu prosedürle elde edilen ana parametreler, bu malzemeler gerilme stresine maruz kaldıklarında, bitümlü bağlayıcı ve agrega arasındaki kopma sırasında yayılan enerji ile ilgilidir; bunlar bitümlü bağlayıcıların yapıştırıcı kapasitesi ile ilgili temel parametrelerdir. Bu araştırmadaki deneysel aşamaların sonuçları, önerilen metodolojinin agrega-bağlayıcı matrisi içerisindeki farklı sıcaklık, su ve yaşlanma etkilerine göre davranışını analiz edecek şekilde, agregaların aynı kökenli oldukları ve farklı şekillerde oldukları hesaba katılarak uyarlanmıştır. Sonuçlar, bu yeni metodolojiden elde edilen parametrelerin farklı koşullardaki bitümlü bağlayıcının adezif kapasitesinin değerlendirilmesine izin verdiğini göstermektedir.

Paliukaite vd. (2016)'a göre mineral agregalar ve bitüm arasındaki yapışma, asfalt karışımının kalitesini, asfalt kaplama performansını ve bozulmalara karşı direncini tanımlayan önemli bir kriterdir. Yapışma eksikliği, önemli asfalt kaplama hasarlarına yol açabilir. Bitüm ve agrega arasındaki bağ, iki malzemenin temasına dayanan bir olaydır. Terrel and Shute (1989), asfalt ve agrega arasındaki yapışmayı açıklamak için

sıklıkla kullanılan dört teoriyi tanımlamaktadır: kimyasal reaksiyon, yüzey enerjisi, moleküler yönelim ve mekanik yapışma. Bu teorilerin etkilendiği birkaç faktör vardır: bitüm ve agreganın yüzey gerilimi, bitüm ve agreganın kimyasal bileşimi, bitüm viskozitesi, agreganın yüzey dokusu, agrega gözenekliliği, agrega temizliği, agrega nem içeriği ve bitüm ile karıştırma anındaki sıcaklığıdır.

Lantieri vd. (2017), dönen şişe soyulma deneyi sonuçlarını görüntü analizi ile değerlendirme üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir. Asfalt karışımları için bitüm ve agrega arasındaki yapışma oldukça önemlidir, çünkü zayıf bir yapışma kuvveti kaplamanın erken bozulmasına yol açtığı bilinmektedir. Birinci kategori arasında EN 12697-11 bölüm a'da standardize edilmiş olan dönen şişe soyulma deneyi yöntemi çok yaygındır. Agregası ve bitüm arasındaki yapışmanın ve karışımın soyulmaya karşı duyarlılığı üzerindeki etkisinin bir göstergesi için basit, hızlı ve düşük maliyetli bir deneyi temsil eder. Araştırmacılar yaptıkları çalışmada referans standardı tarafından öngörülen görsel analizin sınırlarını ve eksikliklerini aşarak, döner şişe soyulma deney sonuçlarını değerlendirmek için iki boyutlu görüntü analizinin kullanılmasını önermişlerdir. Geniş bir malzeme yelpazesine uygulanabilirliğini göstermek için, bu prosedür vaks ile modifiye edilmiş bir bağlayıcı ile karıştırılarak hem açık hem de koyu renkli agregalara uygulanmıştır. Görsel ve yarı otomatik tahmin arasında bir karşılaştırma yapıldığında, ikincisinin çok daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Doğrulukları, sınıflandırma sürecinde yapılan hataların belirlenmesine izin veren karışıklık matrisleriyle belirlenmiştir. Sonuç olarak agrega ve bitüm arasındaki yapışma, katkısız bitüm ile elde edilen yapışmaya kıyasla, vaks içeriğinin arttırılmasıyla geliştiği rapor edilmiştir. Adezyon gelişmesinin varlığı vaks ve agregaya bağlıdır.

Estonya'da, hidrokarbon reçinesi HCR-105 üreten Novotrade Invest, bitüm modifikatörü olarak kullanılabilecek malzeme üzerinde araştırmalar yaptı. Hidrokarbon reçinesi HCR- 105, hidrokarbon fraksiyon C9'un termal polimerizasyonu ile elde edilmiştir. HCR-105'in viskoz bitüme ağırlıkça% 5, 10 ve 15 oranında eklenmesi, penetrasyonu azaltır ve yumuşama noktası sıcaklığını artırır, mineral maddelere bitüm yapışmasını eşit şekilde artırır (İnt. Kyn. 2).



Resim 2.2 Adezyon arttırmada kullanılan HCR-105 hidrokarbon reçinesi (İnt. Kyn. 2).

Buss et al (2018), sathi kaplama agregalarının değerlendirilmesi ve başarılı yol koruma uygulaması üzerine bir çalışma yapmışlardır. Birleşik Devletler Federal Karayolu İdaresi'nin günlük hesaplamaları (EDC) zamandan, kaynaklardan ve harcamalardan tasarruf etmeye odaklanmaktadır. Sathi kaplamalar uygun maliyetli bir kaplama koruma stratejisidir ve kurumlar koruma programlarını finanse etmek için mücadele ederken, performans yararlarını doğrulayan çalışmalara da devam edilmektedir. Araştırmacıların yaptığı bu çalışma, iyi malzemeler, iyi inşaat ve iyi ajans gözetiminde birlikte çalıştığı zaman sathi kaplamaların etkinliğini belgelemektedir. Sathi kaplamalar, kaplamaların servis ömrünü ortalama 5-6 yıl uzatır. Yapılan bu çalışmada, Oregon'da inşa edilen sathi kaplama projelerinden iki yıllık saha performansı verileri (Haziran 2014 - Haziran 2016) toplanmıştır. Veriler, yapımda kullanılan sathi kaplama malzemelerini değerlendirmek için laboratuvar ve saha testlerini içerir ve hem emülsiyon hem de sıcak uygulanmış bitümle yapılan sathi kaplamalarının performansını içermektedir. Bulgular, iyi kalitede malzemelerle yapılan sathi kaplamaların, yüzey dokusu özelliklerini geliştirdiğini ve çoğu bölüm için iki yıllık izleme süresi boyunca bozulmaları azalttığını göstermiştir.

Liu vd. (2018), sonlu elamanlar modeline göre agregaların yüzeye tutunmasında etkili olan faktörleri araştırmışlardır. Araştırmacılara göre sathi kaplama uygulamalarında, agregaların yol yüzeyine tutunması, kaplama performansı açısından kritik bir öneme sahiptir. Agreganın tutulması üzerine yapılan çoğu değerlendirme bitüm-agrega adezyonuyla ilgili laboratuvar deneylerine odaklanmıştır, ancak, bütün bir resim olarak araştırılması gereken birçok başka faktör vardır. Bu nedenle, araştırmacıların yaptığı bu çalışma, agreganın bitüm ara yüzeyinin iki boyutlu sonlu elemanlar modeline dayanan agreganın tutulması üzerindeki etkilerin anlaşılması için mekanik bir bakış açısı sunar. Arayüzdeki yatay gerilme ve kesme gerilmesi, bitüm tipi, sıcaklık, yükleme seviyesi, yatay yükleme, agreganın şekli ve arayüz bağlama koşulları gibi altı faktör açısından değerlendirilmiştir. Kritik yanıt için etki eden faktörlerin varyans analizi (ANOVA) de gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar agregaların yüzeye tutulma davranışında kesme gerilmesinin yatay şekil değiştirmeden daha önemli olduğunu göstermiştir. Bitüm-agrega arayüzündeki kesme şekil değiştirmesinde altı faktörün etkisi oldukça etkilidir. Bunlar arasında en önemli etki sıcaklıktır; bunu yatay yükleme, bitüm tipi, yükler, agreganın şekli ve arayüz adezyon koşulları izler. Bu çalışmanın sonuçları sathi kaplama tasarımcılarına agreganın yüzeyde tutunabilmesi için mekanistik bir bakış açısı sağlamıştır.

You vd. (2019), bitüm-agrega kombinasyonunun ve donma-çözülme döngüsünün sathi kaplama dayanıklılığı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Bitüm-emülsiyon ve agreganın yapışmasını düşük sıcaklıkta araştırmak için Vialit yapışma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneyler emülsiyon esaslı sathi kaplamalarda -10, -22 ve -26 °C sıcaklıklarda yapılmıştır. Ek olarak, Michigan Tech'in Arayüz deneyi (IBT) de farklı sıcaklıklarda ve çeşitli donma - çözünme döngüleri altında sathi kaplama tabakası ile asfalt kaplama arasındaki arayüz bağ kuvvetini değerlendirmek için yapılmıştır. Her iki deney de asfalt agreganın kombinasyonlarının ve donma-çözünme döngüsünün sathi kaplamanın durabilitesi üzerinde önemli bir etkisi olduğunu göstermiştir. Emülsiyon ve agregadaki kombinasyon, sathi kaplama uygulamasında göz ardı edilemez. Elde edilen sonuçlar, sathi kaplamanın erken bozulmasının kısmen kullanılan ham maddeler ve çoklu donma-çözülme döngülerinden kaynaklandığını göstermiştir. Bu nedenle, özellikle soğuk hava koşullarında sathi kaplama kullanımı düşünüldüğünde uygun

agrega ve asfalt emülsiyon kombinasyonunun seçilmesi en önemli şarttır.

Yapılan literatür taraması göstermiştir ki tez konusu ile daha önce benzer bir çalışma bulunmamaktadır. Bu yüzden çalışma literatürde önemli bir yer teşkil edecektir.

2.1 Asfalt Kaplamalarda Adezyon

Tüm asfalt kaplamalar temel olarak iki ana bileşeni olan agrega ve bitümden oluşurlar. Genellikle kaplamanın % 4-7 temsil eden bitüm, agrega iskeletinin arasında yeterli iç yapışmayı sağlayan bir bağlayıcı olarak hareket etmektedir. Dolayısıyla bitüm, agrega yüzeyinde güçlü bir bağa (yapışmaya) sahip olduğundan hayati önem taşımaktadır (Akzonobel 2010).

Bitüm ve agrega arasındaki adezyon bir yüzeysel etkileşim olayıdır. Bu olay, iki ayrı malzeme arasındaki yakın temasa ve karşılıklı yüzey etkileşimine bağlıdır (Upeks 2010).

Yol kaplamalarının yapımında hammadde seçimi, yol yapısındaki dayanım ve adezyon üzerindeki parametreler kaplama üzerinde oldukça etkilidir. Normal kaplama yapımında nem hasarına hassas olan parametreler;

- Agreganın özünde yapışma özelliğinin düşük olması,
- Bitümün yapışma özelliğinin düşük olması,
- Bitüm ve agreganın uyumsuz kombinasyonları,
- Karışım tasarımında düşük bağlayıcı,
- İnce bitüm filmi,
- Yetersiz sıkıştırma sonucunda kaplama üzerinde derin çukur oluşumu,
- Yetersiz yeraltı drenajı,
- Agregada kil içeriğinin yüksek olması ve yüzeyin tozlu olması,
- Agregaların tam olarak kuru olmaması,
- Karışımın ayrışması,
- Higroskopik katkıların bulunması

olarak sıralanabilir (Akzo Nobel 2010).

2.2 Yapışma Teorileri

Yapışmanın teorileri, yapışmanın etkisinin gözlemlendiği;

- Bitüm ve agreganın yüzey gerilimi,
- Bitüm ve agreganın kimyasal bileşimi,
- Bitüm viskozitesi,
- Toplam yüzey dokusu,
- Toplam porozite,
- Toplam temizlik,
- Agreganın nem içeriği ve asfalt çimento karıştırma sırasında sıcaklık

faktörleri etrafında gelişmiştir. Tek bir teori yapışma teorisini tamamen açıklayamaz. Büyük olasılıkla iki veya daha fazla mekanizma, bir karışımda aynı anda meydana geldiği zaman yapışma kaybına neden olur. Geliştirilmiş olan bu teoriler;

- Kimyasal reaksiyon
- Yüzey enerjisi
- Moleküler oryantasyon
- Mekanik adezyon

olmak üzere sınıflandırılmıştır (Terrel and Shute 1994).

2.2.1 Kimyasal Reaksiyon

Kimyasal reaksiyon asfalt çimento ve agreganın yüzeyleri arasındaki yapışma için olası bir mekanizma olarak kabul edilmektedir. Kimyasal bir yapışma formu, bir asfalt agregası karışımının sıyırmaya direnmesini sağlar(Williams). Pek çok araştırmacı iyi bir tutunmanın asidik agreganın yerine bazik agreganın ile var olabileceğini tespit etmişlerdir (Terrel and Swailmi 1989).

2.2.2 Yüzey Enerjisi

Yüzey enerji teorisi agrega yüzeylerinin asfalt ve su ile göreceli ıslanabilirliğini açıklamak, diğer bir deyişle asfalt veya suyun agrega parçacıklarını ne kadar iyi kavradığı tanımlayabilmek amacıyla kullanılır. Su, asfaltdan daha iyi bir ısıtma aracıdır, çünkü su düşük bir viskozite ve düşük yüzey gerilimine sahiptir. Asfalt agregayı kapladığı zaman, yapışma gerilimi olarak adlandırılan, asfalt çimentosu ve agreganın karşılıklı ilişkisi ile alakalı bir enerji değişimi oluşur (Terrel and Swailmi 1989).

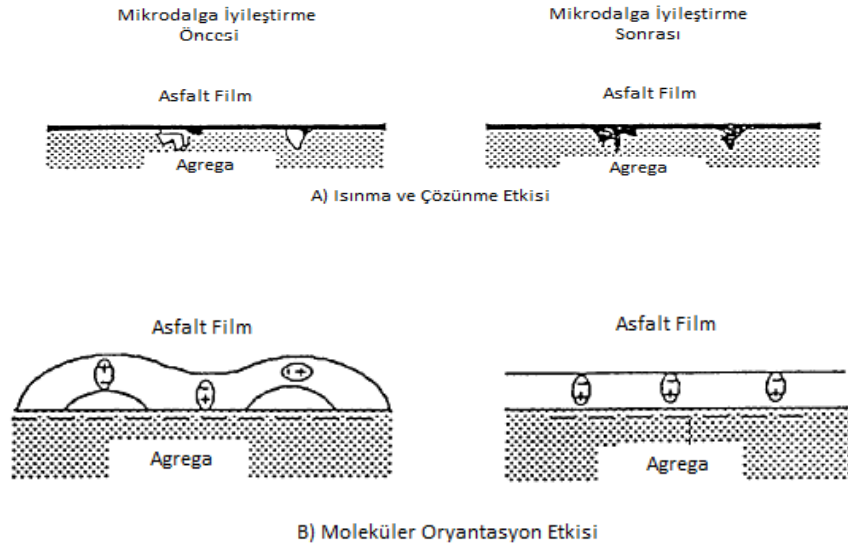
2.2.3 Moleküler Oryantasyon

Moleküler oryantasyon teorisi agrega yüzeyindeki tatminsiz elektrik yüklerinin, asfalt molekülleri ile kendilerini uyumlaştırmasını önerir. Sadece asfalttaki bazı moleküller dipolardır, ancak su tamamen dipolardır ve bu fark agrega yüzeyinde asfalt yerine su tercih edilmesinin açıklanmasında yardımcı olabilir (Terrel and Swailmi 1989).

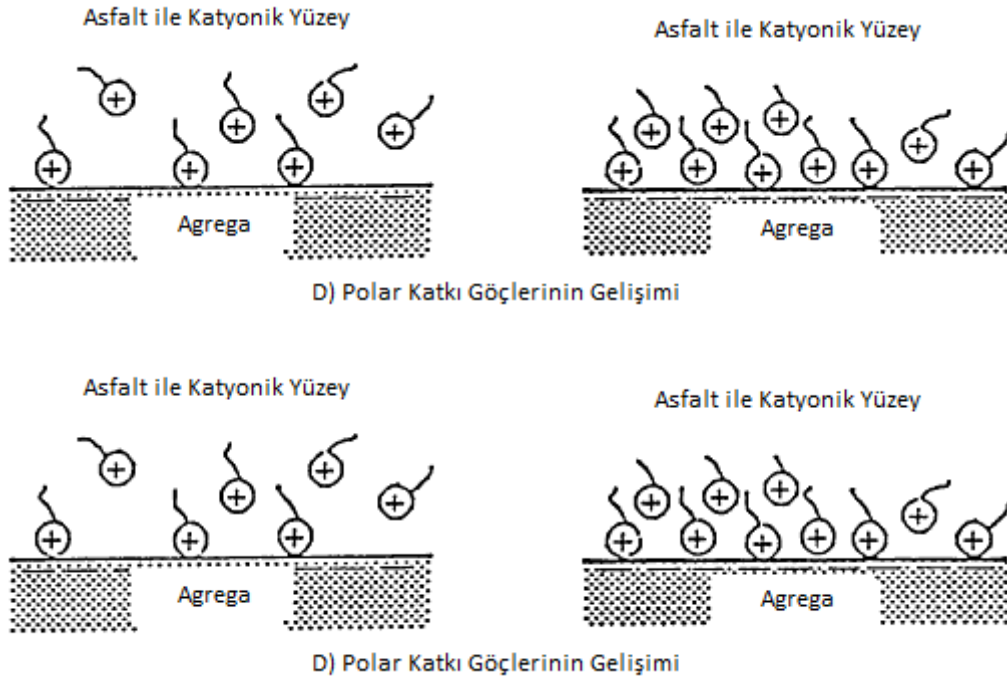
2.2.4 Mekanik Adezyon

Mekanik yapışma, yüzey dokusu, porozite, emilme, yüzey kaplaması yüzey alanı ve parçacık boyutu gibi çeşitli agrega fiziksel özelliklerinin bir fonksiyonudur. Genel anlamda, gözenekli yapıya sahip kaba agrega ve asfalt arasında güçlü bir kenetlenme sağlar (Williams 2010).

Bütün bu mekanizmalar asfalt – agrega sisteminde bir ölçüde çıkabilir. Şekil 2.7 ve 2.8 de Al-Ohaly ve Terrel'in (1989) mikrodalga etkisi üzerine yapmış olduğu araştırmaların bir parçası olan çeşitli mekanizmalar gösterilmiştir. Yapılmış olan bu çalışmada mikrodalga ısıtma etkilerinin mekanik kilit, moleküler oryantasyon ve kutuplaşma gibi özellikler üzerinde iyileştirme yapıldığı görülmektedir (Terrel and Swailmi 1989).



Şekil 2.7 Adezyon teorilerinin mikrodalga enerji iyeleştirilmesiyle gelişimi (Terrel and Swailmi 1989).



Şekil 2.8 Adezyon teorilerinin mikrodalga enerji iyeleştirilmesiyle gelişimi (Terrel and Swailmi 1989).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1 Materyal

Çalışmada bağlayıcı malzeme olarak B50/70 ve B160/220 türü penetrasyon sınıfı bitümlere farklı oranlarda (%0, 0.5, 1, 1.5) Poli Fosforik Asit (PPA) katılarak bitüm modifiye edilmiştir. Optimum bitüm oranı olarak B50/70 bitüm için % 1 PPA B160/220 bitüm için % 1.1 PPA kullanılmıştır. Kullanılan bitümler TÜPRAŞ İzmir-Aliaga Rafinerisinde üretilmiş olup Afyonkarahisar Belediyesi Asfalt Üretim Tesisleri ve Afyonkarahisar İl Özel İdaresinden alınmıştır. Çalışmada 19-12.5 mm elekler arasında kalan, Vialit deneyine uygun kübik şekilli kireçtaşı, bazalt ve dere agregası olmak üzere üç farklı agrega kullanılmıştır. Kireçtaşı kökenli agregalar KOLSAN firmasından, bazalt agregaları Afyonkarahisar Asfalt Tesislerinden ve dere agregası da Afyonkarahisar'dan temin edilmiştir. Agregaların fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 3.1'de ve karışımlarda kullanılan modifiye edilmiş bitümün özellikleri ise Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Poli Fosforik asit (PPA), $H_n + 2P_nO_{3n} + 1$ jenerik bileşimine sahip olan bir sıvı mineral polimerdir. PPA, minimum iki fosfor atomuna ve minimum ortalama 258 moleküler ağırlığa sahiptir. PPA'nın asfalta eklenmesi, asfaltenler ağı içinde daha fazla etkileşime katkıda bulunmakta ve böylece elastik davranışı arttırmaktadır. Tipik olarak bitümlü bağlayıcıya eklenen PPA miktarı, % 0.5-1.5 arasındadır, bu da bitümlü bağlayıcı maddenin PG derecesinde bir artışa neden olur. Yapılan tez çalışmasında da PPA bu yüzdeler arasında kullanılmıştır. Araştırmacılar, saf PPA ile modifiye edilmiş bitüm için, artan PPA içeriğine sahip olarak, yumuşama noktasının arttığını ve penetrasyonun buna bağlı olarak azaldığını, bu da bitümün yüksek sıcaklık özelliklerinin PPA tarafından geliştirilebileceğini göstermektedir. PPA modifikasyonunun, bağlayıcı sertliğini arttırdığı ve bağlayıcıların ara ve düşük sıcaklık performansını düşürdüğü de gözlenmiştir (Zorn *et al.* 2011).



Resim 3.1 Çalışmada kullanılan agrega numunelerinin temin edilmesi.

Çizelge 3.1 Agregaların fiziksel ve mekanik özellikleri.

Agrega	Özgül Ağırlık ve Su Emme Değerleri					Birim Hacim Ağırlık (g/cm ³)		Los Angeles Aşınma (%)
	Zahiri Özgül Ağırlık	Hacim Özgül Ağırlık	Yüzey Kuru Suya Doygun Özgül Ağırlık	Efektif Özgül Ağırlık	Su emme (%)	Gevşek	Sıkışık	
Dere	2,62	2,52	2,56	2,57	1,62	1,36	1,45	31,43
Bazalt	2,81	2,65	2,70	2,73	2,12	1,49	1,58	12,69
Kireçtaşı	2,72	2,69	2,70	2,71	0,39	1,39	1,52	23,55

Çizelge 3.2 Çalışmada kullanılan modifiye edilmiş bitümün özellikleri.

Özellikler	Bitüm Cinsi ve Katkı Oranları (PPA)							
	B 50/70				B 160/220			
	0	0,5	1	1,5	0	0,5	1	1,5
Penetrasyon (0,1 mm), (25 °C'de, 100 g, 5 s)	55,2	40,1	37,3	26,3	178,3	100	91	84
Yumuşama Noktası (°C)	49,1	53,9	57,4	60,5	37,9	41,2	44,8	48,1
Penetrasyon İndeksi (PI)	-1,200	-0,767	-0,179	-0,288	-1,494	-2,079	-1,135	-0,380
Viskozite (cP) (135°C)	250	325,0	437,5	612,5	125,0	175,0	212,5	275,0
Viskozite (cP) (165°C)	67,8	104,4	123,1	170,4	42,5	56,1	75,7	76,2

3.2 Yöntem

Bitüm sınıflarına farklı oranlarda PPA katılarak (%0, 0.5, 1, 1.5) 160 °C karıştırma sıcaklığında ve 1500 devir/ dakika hızında 60 dakika boyunca karışım işlemine tabii tutulmuştur. Karışım işleminden sonra 100 °C etüvde 20 dakika dinlendirilmiştir. Hazırlanan karışımlar üzerinde optimum katkı oranını belirlemek için penetrasyon, yumuşama ve viskozite deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalara ait yöntem akış şeması Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1 Tez çalışmasına ait yöntem akış şeması.

3.2.1 X Işını Floresans (XRF) Yöntemiyle Elementel Bileşim Tayini

Agrega numuneleri için ana oksit, iz ve nadir element analizleri yapılmıştır. Agreganın numunelerinden 120’şer gramlık temsili numuneler seçilip yıkanarak kurutulmuşlar, No:200 elekten geçecek şekilde öğütülmüşlerdir. Ana oksit, iz ve nadir element analizi AKÜ Maden Mühendisliği, Doğal Taş Analiz Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Ana elementler % ağırlık, iz elementler (ppm) olarak ölçülmüştür.

3.2.2 X Işını Difraktometre (XRD) Analizi

X-Işını Kırınım yöntemi (XRD), her bir kristalin fazın kendine özgü atomik dizilimlerine bağlı olarak, X-ışınlarını karakteristik bir düzen içerisinde kırması esasına dayanır. Her bir kristalin faz için bu kırınım profilleri bir nevi parmak izi gibi o kristali tanımlar. X-Işını Kırınım analiz metodu, analiz sırasında numuneyi tahrip etmez ve çok az miktardaki numunelerin dahi analizlerinin yapılmasını sağlar. X-Işını Kırınım cihazıyla kayaçların, kristalin malzemelerin, ince filmlerin ve polimerlerin nitel ve nicel incelemeleri yapılabilir (İnt. Kyn. 3). Çalışmada kullanılan agrega numunelerinin XRF analizleri AKÜ TUAM Laboratuvarında gerçekleştirilmiş ve agrega içerisindeki ağırlıklı mineral bileşimleri belirlenmiştir.

3.2.3 Mineral Agrega Numunelerinin Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi

DeneySEL çalışmanın konusu oluşturan sıcak sathi kaplama uygulmasını araştırmak için üç farklı agrega numunesi kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Numuneler üzerinde özgül ağırlık ve su absorpsiyonu, Los Angeles aşınma, agrega darbelene dayanımı, gevşek ve sıkışık birim hacim ağırlık deneyleri olmak üzere standart kırmatas deneyleri yapılmıştır.

3.2.4 Kaba ve İnce Agregalar İçin Özgül Ağırlık Deneyleri

ASTM C 127 metodu kullanılarak kaba agrega su absorpsiyonu ve özgül ağırlığı belirlenmiştir. Bu deneyde numunenin karışım gradasyonunu temsil etmesine dikkat edilmiştir. Hazırlanan numune yıkanarak su içinde 24 saat bekletilmiştir. Su içerisinde çıkarılan numune emici özelliğe sahip olan bir bez üzerine yayılarak agrega daneleri teker teker kurulanmıştır. Yüzey kuru-suya doymun hale gelmiş agrega numunesi tartılmıştır (B_k). Tel sepete konulan agrega numunesinin 25 ± 1 °C sıcaklıktaki suda tartımı yapılmıştır (C_k). Numune tel sepet içinden bir tepsiye boşaltılarak 110 ± 5 °C'lik etüvde sabit ağırlığa kadar kurutulmuştur. Etüvden çıkartılan numune 1 ile 3 saat arasında oda sıcaklığında soğutularak tartılmıştır (A_k). Özgül ağırlık değerleri ve su absorpsiyon yüzdesi aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Hacim Özgöl Ağırlığı} = \frac{A_k}{(B_k - C_k)} \quad (3.1)$$

$$\text{Zahiri Özgöl Ağırlık} = \frac{A_k}{(A_k - C_k)} \quad (3.2)$$

$$\text{Absorpsiyon (\%)} = \frac{(B_k - A_k)}{A_k} \quad (3.3)$$

Burada :

A_k =Kuru numune ağırlığı (gr)

B_k =Yüzey Kuru-Suya Doygun numune ağırlığı (gr).

C_k = Yüzey Kuru-Suya Doygun numunenin sudaki ağırlığı (gr).

ASTM C 128 metodu kullanılarak ince agrega su absorpsiyonu ve özgül ağırlığı belirlenmiştir. Karışım gradasyonunu temsil edecek şekilde en az 1000 gr agrega kullanılmıştır. 200 nolu elekten yıkanan malzeme bir tepsi içine alınarak üzeri su ile kaplanılmış ve 24 saat bekletilmiştir. Daha sonra ince malzeme kaybına neden olmayacak şekilde suyu süzölmüş ve absortif olmayan düzgün bir yüzey üzerine serilmiştir.

Numuneyi yüzey kuru-suya doymuş hale getirebilmek için sıcak hava akımı karşısında devamlı karıştırılarak kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Bu işleme malzeme serbest dökülebilir hale gelinceye kadar devam edilmiştir. Bu anı tespit etmek için koni metodu uygulanmıştır.

Yüzey kuru suya doymuş hale gelen yaklaşık 500 gr numune piknometre içine konarak tartılmıştır (C_i). Üzerine numune yüzeyini kaplayacak seviyede su ilave edilmiştir. Hava kabarcıklarının çıkması için piknometre her iki yönde 15-20 dakika çalkalanılmıştır. Daha sonra piknometrenin boş kısmı işaret çizgisine kadar su ile doldurulmuştur.

25 ± 1 °C sıcaklıktaki su banyosunda bekletilmiştir. Su ve malzeme sıcaklığı 25 °C'ye ulaştığında piknometre su banyosundan çıkarılıp kurulanıp ve tartılmıştır (D_i). İnce agrega piknometreden bir tepsiye boşaltılmış ve 110 ± 5 °C'lik etüvde sabit ağırlığa kadar kurutulmuştur. Etüvden çıkarılan numune soğutularak tartılmıştır (E_i).

İnce agreganın özgül ağırlık ve su absorpsiyon yüzdesi aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Hacim Özgül ağırlığı} = \frac{E_i}{(B_i - C_i) - (A_i - D_i)} \quad (3.4)$$

$$\text{Zahiri Özgül Ağırlık} = \frac{E_i}{(B_i - E_i - D_i)} \quad (3.5)$$

$$\text{Absorpsiyon (\%)} = \frac{(C_i - A_i - E_i)}{E_i} 100 \quad (3.6)$$

Filler malzemelerinin zahiri özgül ağırlıkları ASTM C 854 metodu kullanılarak belirlenmiştir. 110 ± 5 °C'lik etüvde sabit ağırlığa kadar kurutulan filler malzemesi şişenin üçte biri dolacak şekilde piknometrenin içerisine konularak tartılmıştır (C_f) . Piknometre yarısına kadar su doldurulur ve en az 5 dk, yaklaşık 50 mbar vakum sağlayan desikatör içerisinde bırakılarak havası alınmıştır. Daha sonra piknometre tamamen su ile doldurularak 25 ± 1 °C'lik su banyosunda en az 60 dk bekletilmiştir. Su banyosundan çıkarılıp ve kurularak tartılmıştır (D_f). Fillerin zahiri özgül ağırlığı aşağıdaki formülden hesaplanmıştır (ASTM C 127-88. 1992, ASTM C 128-88. 1992).

$$\text{Zahiri Özgül Ağırlık} = \frac{(C_f - A_f)}{(B_f - A_f) - (D_f - C_f)} \quad (3.7)$$

3.2.5 Sıkışık ve Gevşek Birim Hacim Ağırlık Deneyleri

Sıkışık birim hacim ağırlık deneyinde ağırlığı tartılarak belirlenmiş uygun ölçü kabı üçte birine kadar doldurulur. Bu işlem esnasında yüzeyin her tarafına yapılacak 25 vuruş ile sıkıştırma yapılır. Sıkıştırma işlemi, kap ikinci kez 2/3'ü, üçüncü kez tamamı taşarcasına doldurularak oluşturulan ikinci ve üçüncü tabakalar içinde 25 kez şişlenerek tekrarlanır. Ölçü kabı üst yüzü şişleme çubuğu ile sıyrılarak düzeltilir. Daha sonra ölçü kabı agrega ile birlikte tartılır. Agreganın sıkışık birim ağırlığı aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanır.

$$\Delta_s = \frac{(W_2 - W_1)}{V} (kg / m^3) \quad (3.8)$$

Burada:

Δ_s : Sıkışık birim hacim ağırlık (kg/m³).

W_2 : Sıkışık agregası ile dolu ölçü kabı ağırlığı (gr).

W_1 : Ölçü kabı boş ağırlığı (gr).

V : Ölçü kabının iç hacmi (dm³).

Gevşek birim hacim ağırlık deneyinde de işlem aynıdır. Ölçü kabı, küreğin ölçü kabı üst yüzeyinden 5 cm 'den daha fazla yükseğe kaldırılmamasına özen gösterilerek, taşarcasına doldurulur. Ölçü kabı üst yüzeyindeki fazla iri agregası elle sıyrılarak düzlenir, sıyırma düzleminden taşan iri agregası varsa yerine elle ince agregası ilave edilir. Ölçü kabı içindeki agregası ile birlikte tartılır. Agregasının gevşek birim hacim ağırlığı aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanır.

$$\Delta_g = \frac{(W_2 - W_1)}{V} (kg / m^3) \quad (3.9)$$

Burada:

Δ_g : Gevşek birim hacim ağırlık (kg/m³).

W_2 : Sıkışık agregası ile dolu ölçü kabı ağırlığı (gr).

W_1 : Ölçü kabı boş ağırlığı (gr).

V : Ölçü kabının iç hacmi (dm³).

3.2.6 Los Angeles Aşınma Dayanımının Tespiti

Bu deney aşınma ve darbelenme etkileri sonucu mineral agregasının standart gradasyonunun bozulmasının ölçümü deneyidir. Deney, 14 mm deney eleğinden geçen ve 10 mm deney eleğinde kalan agregalara uygulanmıştır. Deney kısmının kütlesi (5000 ± 5) gr'dır. Deney için 31 devir/dk ile 33 devir/dk arasında dönme yapabilen, 11 adet çelik bilya ile aşındırma yapabilen bir tambur kullanılmıştır.



Resim 3.2 Los Angeles aşınma deneyi aşamaları, a) Agregaların ve Bilyaların Los Angeles Cihazına yerleştirilmesi. b) Cihaz kapağının kapatılması ve çalıştırılması. c) Cihazdaki agregaların eleme işlemi. d) Agregaların tartılması.

Tamburun iinin temizliği kontrol edildikten önce bilyalar daha sonra agrega numunesi tambur içine yerleştirilmiş ve tamburun kapağı sıkıca kapatılmıştır. 500 devir dönme işlemi tamamlandıktan sonra, tamburun açıklık kısmı tepsinin tam ortasına getirilerek agregalar tepsiye dökülmüştür. Tambur temizlenmiş, ince tanelerin raf etrafında kalmamasına dikkat edilmiştir. Bilyalar tepside alandıktan sonra 1,6 mm’lik elek kullanılarak ıslak eleme yapılmıştır. 1,6 mm elekte kalan kısım $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ ’deki etüvde sabit kütleye gelinceye kadar kurutulmuştur. Resim 3.2’de tipik bir Los Angeles Aşınma test cihazı, ve bir numunenin deneyden önce ve deneyden sonraki halleri gösterilmiştir. Los Angeles aşınma kaybı LA aşağıdaki eşitlikten hesaplanır.

$$LA = \left(\frac{5000 - M}{5000} \right) \quad (3.10)$$

Burada;

$M=1,6 \text{ mm}$ ’lik elek üzerinde kalan fraksiyon ağırlığıdır (gr).

Deney her bir numune için üçer adet yapılmış ve numuneler 500 devirlik aşınma işlemine tabi tutulmuştur. ASTM C 131-89 'a göre yol kaplamalarında kullanılacak malzemelerde aşınma % 35 değerinden küçük olmalıdır.

3.2.7 Agregada Darbelenme Değerinin Tayini

Agreganın ani şok ve çarpma etkilerine karşı dayanımının belirlenmesini sağlayan diğer bir deney türü de agregada darbelenme deneyidir. Bu deney 14 mm BS eleğinden geçip 10 mm BS eleğinde kalan agregalara uygulanır. Agregalar deneyden önce kurutularak yüzey kuru hale getirilir. Darbelenme deneyinde kullanılacak agregada miktarı iç çapı 75 mm ve iç yüksekliği 50 mm olan bir metal mezür yardımıyla belirlenir. Mezür, en fazla 50 mm yükseklikten dökülecek şekilde 1/3'üne kadar doldurulur ve şişleme çubuğu ile 25 defa şişlenir. Mezür daha sonra 2/3'üne kadar sonra da tamamen doldurulur. Doldurma işleminden sonra şişleme çubuğu mezürün üzerinde gezdirilerek çubuğa temas eden agregalar alınacak ve varsa yüzeydeki boşluklar ele alınan uygun agregalarla tamamlanır. Mezüre giren agregada ağırlığı (A) tartılarak kaydedilir ve aynı numuneye ait diğer deneyler için aynı miktarda malzeme kullanılır (EN 1097-2 1998).

Darbelenme deney aleti düzgün ve sağlam bir yüzey üzerine konularak sabitlenmiştir, mezürle ölçülen miktarda agregada kalıp içerisine konulmuş ve kalıp sabitlenmiştir. Daha sonra tokmak ayarlanarak 380 ± 5 mm yükseklikten 15 defa 1 sn'den daha kısa aralıklarla agregada üzerine 13,5 kg'lık bir ağırlık düşürülmüştür. Resim 3.3'de darbelenme deney cihazı gösterilmiştir.



Resim 3.3 Agregada darbelenme değeri Tayini için deney cihazı.

Bu işlemden sonra deneye tabi tutulmuş agrega kalıp içerisinde çıkarılarak bir tepsiye alınmıştır ve 8 nolu elekten elenmiştir. Daha sonra No:8 eleği geçen (B) ve kalan (C), malzemeleri 0,1 gr hassasiyetle tartılmıştır. İnce malzeme yüzdesi (K) (3.11) eşitliğine göre hesaplanmıştır.

$$K = \left(\frac{B}{B+C} \right) 100 \quad (3.11)$$

Aşağıdaki grafikte çalışmada kullanılan numunelere ait agrega darbelenme değerleri görülmektedir. Yüksek kaliteli agregaların darbelenme değeri %18 'den az olmalıdır (Woodside 1998).

3.3 Kullanılan Bitüm Numuneleri İçin Yapılan Deneyler

3.3.1 Penetrasyon Deneyi

Türkiye’de TS 1081 EN 12591 standardında taşınması gereken özellikleri bitümler, 25°C sıcaklıkta yapılan penetrasyon deneyi sonuçlarına göre sınıflandırılmakta ve kullanılmaktadırlar. Penetrasyon bitümleri içerisinde en çok tercih edilenler B 50/70, B 70/100, B 100/150 ve B 160/220 bitümleridir. Bitümlü bağlayıcılar arasında düşük kıvamlı penetrasyon bitümlerinin soğuk iklimli bölgelerde, yüksek kıvamlı bitümlerin ise sıcak iklimli bölgelerde kullanılması tavsiye edilmektedir.

Bitümlü bağlayıcıların kıvamlılığı "Penetrasyon Deneyi" ile tayin edilir. Penetrasyon; standart bir iğnenin belirli yük altında, belirli bir süre içinde, belli sıcaklıktaki bağlayıcıya dikey doğrultuda batma uzunluğudur. Penetrasyon birimi 0.01cm'dir. Penetrasyon cihaz göstergesindeki her taksimat 0.1mm'ye eşittir. Penetrasyon değeri 500'e kadar olan bitümlü bağlayıcılarda numuneye 25°C sıcaklıkta 5 saniye süre ile 100 gr'lık bir yük uygulamaktadır. Penetrasyon değeri 500'ün üzerinde olan numuneler için deney 15°C'de yapılmakta ve yükleme şartları değişmektedir (Resim 3.4).



Resim 3.4 Bitüm penetrasyon cihazı.

Bitüm numunesi yumuşama noktası sıcaklığını geçmeyecek kadar ısıtılıp (Maksimum 90 °C), kap içerisinde hava kabarcığı kalmayacak şekilde iyice karıştırıldıktan sonra numune kabına aktarılır. Numune derinliği iğnenin tahmin edilen batma miktarından en az 10 mm daha fazla olacak şekilde numune kabına doldurulmalıdır. Numuneler 5-30°C ortam sıcaklığı olan bir yerde soğumaya bırakılır.

Soğutma süresi hacmi 180 cm³'e kadar olan numunelerden derinliği 44 mm'ye kadar olanlar 60–90 dakika, derinliği 45–60 mm arasında olanlar 90-120 dakika süreyle soğumaya bırakılırlar. Hacmi 180 cm³/den fazla olan numunelerin soğutma süresi ise her 100 cm³ için 60–90 dakika arasında olmalıdır. Daha sonra numune kapları aktarma kabının içine konularak sabit sıcaklıktaki su banyosuna yerleştirilir ve 1-1,5 sa bekletilir. İçinde numune kabı bulunan aktarma kabı Penetrasyon cihazının tablası üzerine konulur. İstenilen ağırlık ile yüklenmiş iğne numune yüzeyine temas edecek şekilde ayarlanır. Bir ışıkla numune yüzeyi aydınlatılır. İğnenin ucu ve numunenin yansıma yüzeyi üzerinde uç uca temas edecek fakat numuneye batmayacak şekilde numune deneye hazır hale getirilir.

Numune üzerinde kabın kenarına ve birbirine 1 cm'den daha yakın olmayan noktalardan en az üç deneme yapılmalıdır. Bu denemeler 2 dakika içinde yapılamaz ise numune ve aktarma kabı yeniden su banyosuna konulur ve ölçümler yeniden yapılır. İğne her deneyden önce temizlenmelidir (TS 118 EN 1426 2002).

3.3.2 Yumuşama Noktası Deneyi

Bitümlerin sıcaklık değişimlerine karşı olan duyarlılıklarını ölçmek için en kısa ve en basit yöntem yumuşama noktası deneyidir (yüzük ve bilya yöntemi). Yumuşama noktası çok yüksek bitümlerin viskozitesi de yüksek olduğundan, sıcak karışım yapım sıcaklıkları da yüksek olmaktadır (ASTM D36/D36M-09 2009). Bir su banyosu içine yerleştirilmiş, üzerinde bir bilya bulunan, standart bir kalıp içindeki bitümlü malzemenin belli bir hızla ısıtılmasıyla, yumuşayan malzemenin tabana değdiği anda termometrede okunan sıcaklıktır (Resim 3.5).



Resim 3.5 Yumuşama noktası cihazı.

3.3.3 Dönel Viskosite (RV) Deneyi

Dönel viskozimetre (RV) deneyi, bitümlü bağlayıcıların yüksek sıcaklıktaki akışkanlık karakteristiklerini belirlemek amacıyla yapılmaktadır. Bu amaçla AASHTO TP48 standardına uygun olarak “Brookfield Viskozimetresi” kullanılmaktadır (Resim 3.6).



Resim 3.6 Dönel (Brookfield) viskozimetre (RV) deney cihazı (AKÜ Ulaştırma Laboratuvarı).

Bağlayıcıların yüksek sıcaklık viskozite değerleri, pompalama ve karıştırma sırasında bağlayıcıların yeterince akışkan olduklarının tespiti amacıyla belirlenmektedir. Deneyde, bağlayıcı içerisinde 20 rpm hızla dönen bir milin, dönmeye karşı gösterdiği direnç ile viskozite değerleri elde edilmektedir. Orijinal bağlayıcılar üzerinde uygulanan RV deneyinde 135°C'deki viskozite değerlerinin 3 Pa.s'yi (3000 cP) aşmaması istenmektedir. Deney için bağlayıcıdan yaklaşık olarak 30 gr. numune alınmakta ve sıcaklığı 150°C'den daha düşük olan etüvde ısıtılarak akışkan hale getirilmektedir. Bu malzemeden yaklaşık olarak 11 gr. numune bölmesine doldurulmakta, numune bölmesi sıcaklığı sabit değere ulaşmış sıcaklık kontrollü kaba yerleştirilmektedir. Numune 15 dakika sabit sıcaklıkta bekletildikten sonra deney yapılmaktadır. Yaklaşık olarak eşit viskozite değerlerine erişildikten itibaren üç adet okuma yapılmakta ve bu üç değer ortalamasından bağlayıcının viskozitesi elde edilmektedir. Bitümlü sıcak karışımların (BSK) karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarını tespit etmek amacıyla viskozite değerleri kullanılmaktadır. Bu amaçla 135°C ve 165°C sıcaklıklarda RV deneyi uygulanmaktadır. Çizilen sıcaklık-viskozite grafiğinde viskozite değerleri işaretlenerek bu değerler bir doğru ile birleştirilmektedir. BSK'ların karıştırılmasında bitümlü bağlayıcının $0,170 \pm 20$ 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 (Kuloğlu vd. 2008, ASTM D4402 2015).

3.3.4 Vialit Yapışma Deneyi

Sathi kaplamalarda agrega-bağlayıcı arasındaki adezyonun su etkisiyle azalmasını belirlemek amacıyla yapılan deneysel bir yöntemdir. Bu deney ile agregalarda soyulma ile ilgili de fikir verebilir. 19-12.5 mm elek arasında kalan agregalar elendikten sonra yıkanmış ve 100 °C’lik etüvde 24 saat kurutulmuştur. Bu suretle toz, nem gibi adezyonu olumsuz etkileyebilecek faktörlerin tüm numuneler için elimine edilmesi sağlanmıştır. Temiz ve kuru numuneler içerisinde şekli kübik olan 100 adet agrega seçilir. Mekanik sericiye her gözüne birer adet kübik agrega numunesi yerleştirilir. Serici içerisindeki agregaların silindirme sıcaklıklarına (80, 90, 100 ve 120 °C) ulaşması için etüve konur. Ayrıca kullanılacak bitüm ve çelik deney levhaları deneye başlamadan önce 180 °C’lik sıcaklıktaki etüvde ısıtılır. 40 gr asfalt ısıtılan levhalar üzerine döküldükten sonra bitüm levhanın her tarafına düzgün bir şekilde yayılana kadar etüve konur. Bitüm yayılmış deney levhası mekanik sericiye yerleştirildikten sonra, agrega gözlerinin altındaki metal plaka süratle çekilmesi ile agregaların, 20×20 cm’lik metal plaka üzerindeki asfalt tabakası üzerine serbestçe düşmesi sağlanır. Numuneler silindirme sıcaklıklarına ulaşıldığında silindirme işlemi yapılır. Silindirme, lastik bandajlı silindir kullanılarak, iki farklı yönde üçer defa olmak üzere toplamda 6 geçiş yapılır. Şekil 3.2’de Vialit deneyi aşamaları görülmektedir.



Şekil 3.2 Vialit deney aşamaları, a) Agregaların hazırlanması. b) Karışım işlemi. c) Hazırlanan modifiye bitüm numunesi. d) Etüvde plaka üzerindeki bitümün yayılması. e) Mekanik sericiye agregaların yerleştirilmesi. f) Sericiye plakanın yerleştirilmesi.



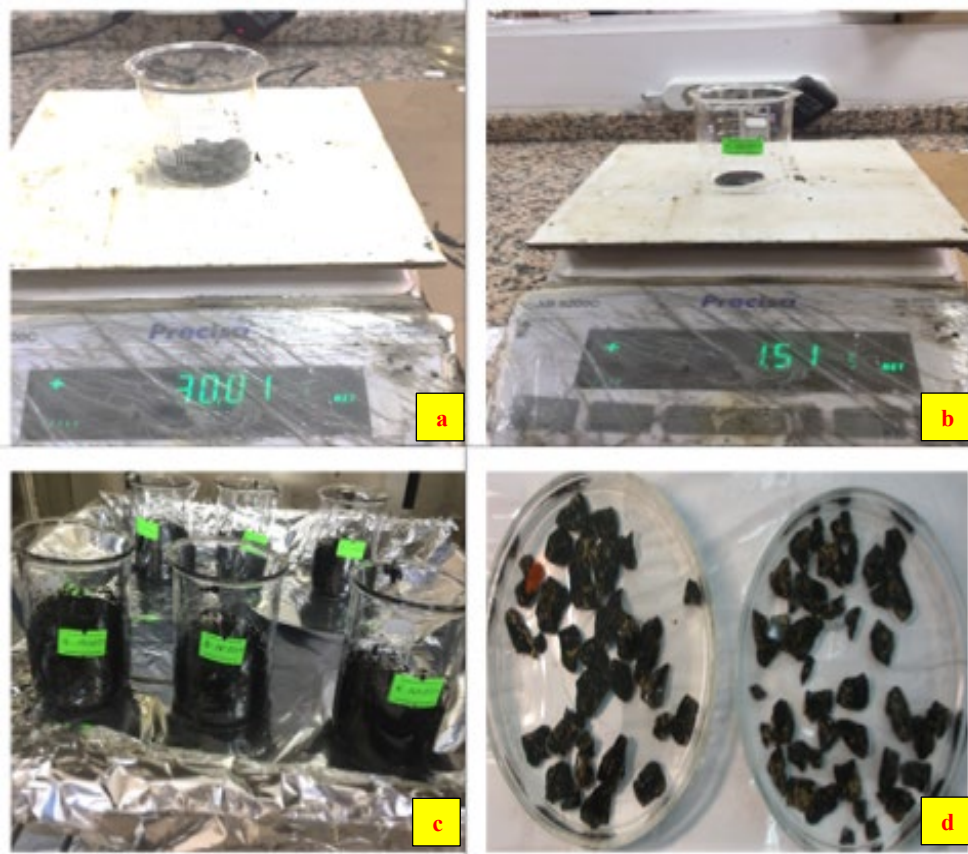
Şekil 3.3 Vialit deney aşamaları, g) Numunenin silindirlemeden önce klavuzlanması. h) Termometre ile sıcaklık kontrolü. ı) Silindirme. j) Numunelerin 35 °C sıcaklığına ulaşana kadar bekletilmesi. k) Su banyosuna numunelerin yerleştirilmesi. l) Bilya düşürme.

Silindirilen numuneler 35 °C sıcaklığa düşene kadar oda sıcaklığında bekletilir ve daha sonra sıcaklığı 35 °C olan su banyosunda 24 saat bekletilir. Numuneler bilya düşürme platformuna, ters çevrilerek platforma düzgün bir şekilde yerleştirilir. Platformda bütünleşik olarak yer alan 50 cm yükseklikte hafif eğimli bilya düşürme kısmından bilya 10 saniye ara ile toplamda 3 defa numune üzerine düşürülme işlemi gerçekleştirilir. Numune üzerinden düşen agreg miktarı sayılır. Düşen agreg sayısı 12’den küçük olmalıdır.

3.3.5 Nicholson Soyulma Deneyi

Agrega yüzeyindeki bitümün su etkisi ile meydana gelen soyulma hakkında fikir elde etmek için yapılan deneysel bir yöntemdir. Nicholson deney yöntemi için 9,5-4,75 mm

arasında kalan yıkanıp kurutulmuş agregalardan $30 \pm 0,5$ gr alınarak 110°C lik etüvde yaklaşık 1 saat ısıtılır. Aynı zamanda 100 cm^3 beher içerisine $1,5 \pm 0,1$ gr bitüm konulduktan sonra 110°C lik etüvde cam baget ile birlikte bekletilir. Isıtılmış agrega beher içerisine dökülür ve ısıtıcı üzerinde tüm agrega yüzeyleri bitüm ile kaplanıncaya kadar cam baget ile karıştırılır. Numune 60°C sıcaklıktan etüvde 24 saat kür işlemi yapılır. Daha sonra beher içerisindeki numuneler çapı 10 cm olan Şekil 3.3'te petri kaplarına hızlı ve düzgün bir şekilde aktarma işlemi yapılır. Şekil 3'te petri kabına aktarılmış numuneler görülmektedir. Yaklaşık 10 dakika oda sıcaklığında bekletilen numuneler petri kaplarına su doldurulup kapağı kapatılarak 60°C 'lik etüvde 24 saat bekletilir. Petri kaplarının içerisindeki su yenilendikten sonra ışık altında karışımın üst yüzündeki soyulmamış yüzey oranına bakılarak gözlem yapılır. Karayolları Teknik Şartnamesine göre soyulmadan kalan agrega en az % 50 olmalıdır (Gürer ve Karaşahin 2014).



Şekil 3.4 Nicholson soyulma deneyi aşamaları. a) Agreganın hazırlanması. b) Bitümün hazırlanması. c) Agrega ve bitümün karıştırılması. d) Hazırlanan karışımların Petri kaplarına aktarılması.

4. BULGULAR

4.1 Kimyasal Analiz Sonuçları

Tez çalışması kapsamında kullanılan agrega ve iletken bileşenlerin kimyasal analizleri AKÜ DAL Laboratuvarında X-ışını floresans spektrometresi (XRF) yöntemine göre gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Kullanılan agrega ve iletken bileşenlerin kimyasal analiz sonuçları.

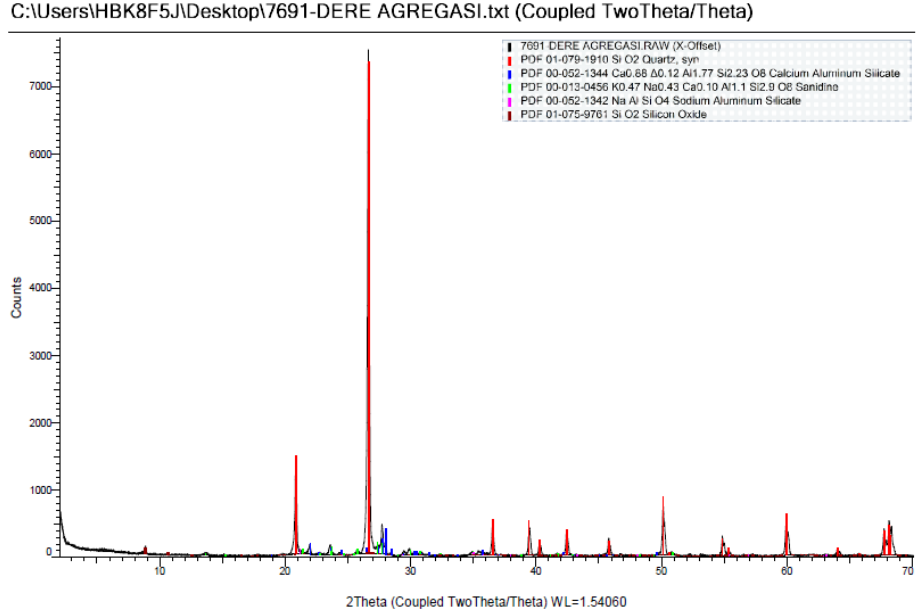
Bileşen	Dere Agregası (%)	Bazalt (%)	Kireçtaşı (%)
*LoI	1.6282	3.416	42.593
Na ₂ O	0.9082	2.336	0.042
MgO	0.4140	4.115	1.590
Al ₂ O ₃	6.0111	16.119	0.175
SiO ₂	85.0372	50.573	0.407
P ₂ O ₅	0.1693	0.371	0.005
SO ₃	0.0783	0,076	0.028
Cl	0.0166	-	-
K ₂ O	2.2221	2.269	0.025
CaO	1.2916	9.757	55.035
TiO ₂	0.1556	0.941	-
V ₂ O ₅	-	-	-
Cr ₂ O ₃	0.0232	0.021	-
MnO	0.1210	0.188	-
Fe ₂ O ₃	1.7050	9.018	0.074
CuO	-	-	-
ZnO	0.1675	0.013	-
SrO	0.0157	0.153	0.026
ZrO ₂	0.0111	0.023	-
Nb ₂ O ₅	-	-	-
BaO	-	0.160	-
WO ₃	-	-	-
Rb ₂ O	0.0135	0.013	-
As ₂ O ₃	0.0048	0.008	-

*Kızdırma kaybı

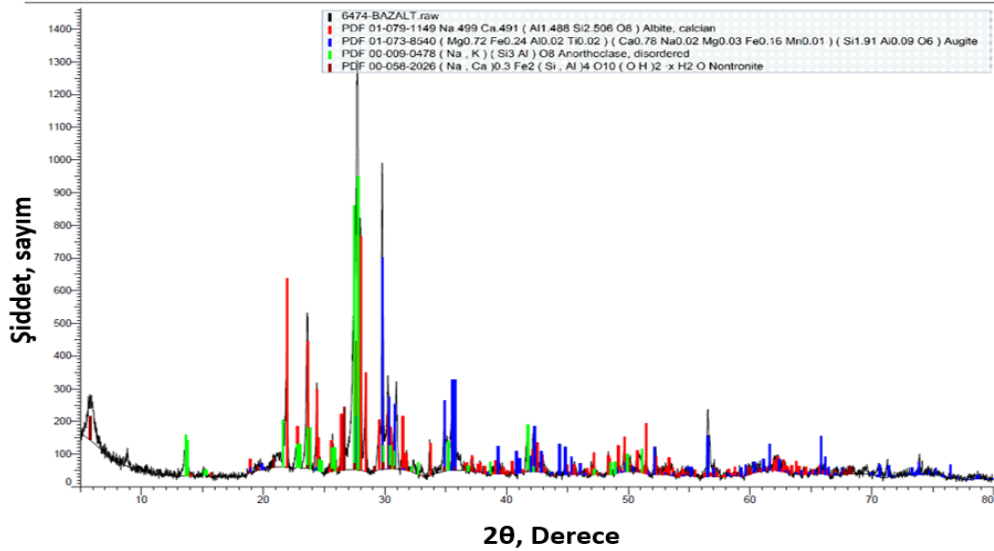
4.2 XRD Sonuçları

Dere, bazalt ve kireçtaşı numunelerine ait AKÜ TUAM Laboratuvarlarında yapılan XRD sonuçları sırasıyla Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3 ’te verilmiştir. Yapılan XRD analizi neticesinde kireçtaşı numune içerisinde ağırlıklı olarak magnezyum oksit (MgO), kalsit (CaCO₃) ve az miktarda dolomit [CaMg(CO₃)₂] tespit edilmiştir. Bazalt numuneler içerisinde ise ağırlıklı olarak sırasıyla albit [NaCa(AlSi₂O₈)], ojit [(Ca,Na)(Mg,Fe,Al,Ti)(Si,Al)₂O₆], anortoklaz [(Na,K)AlSi₃O₈] ve nontronit [(CaO_{0.5},Na)_{0.3}Fe₃+2(Si,Al)₄O₁₀(OH)₂·nH₂O] belirlenmiştir. Dere agregası

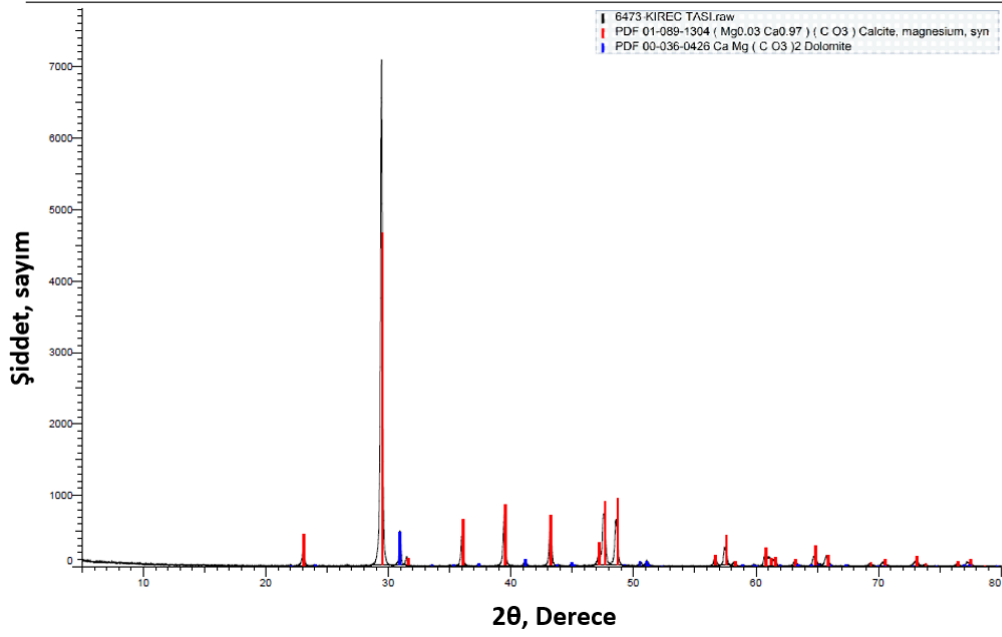
numunelerinde ise ağırlıklı olarak sırasıyla kuartz (SiO_2), kalsiyum aliminyum silikat (CaOAlSiO_8), sanidin (KNaCaOAlSiO_8), sodyum aliminyum silikat (NaAlSiO_4) ve silikon oksit (SiO_2) tespit edilmiştir.



Şekil 4.1 Dere agregasının yüzeyine ait XRD spektrumu.



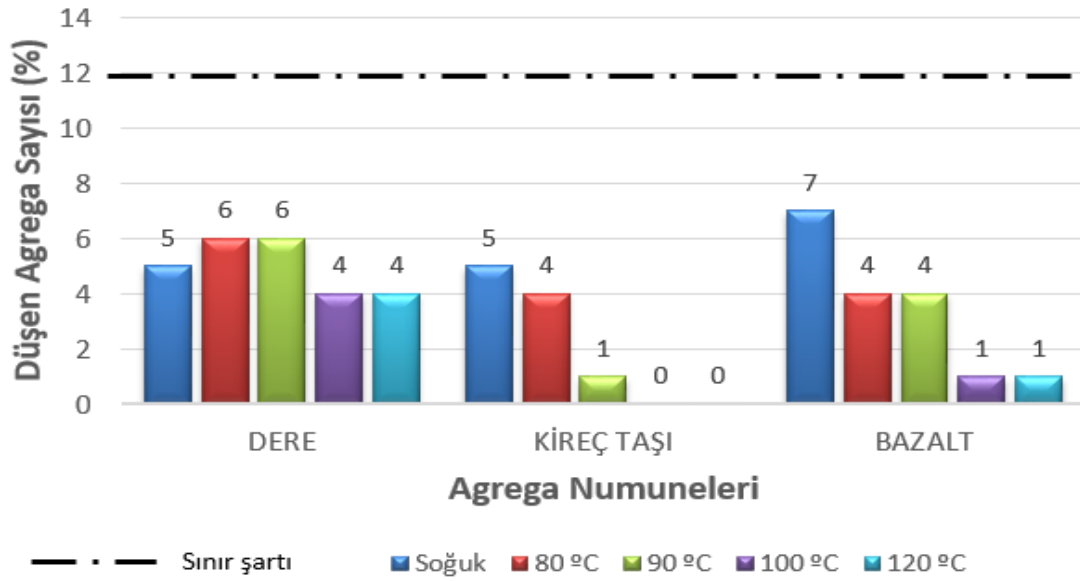
Şekil 4.2 Bazalt agregasının yüzeyine ait XRD spektrumu.



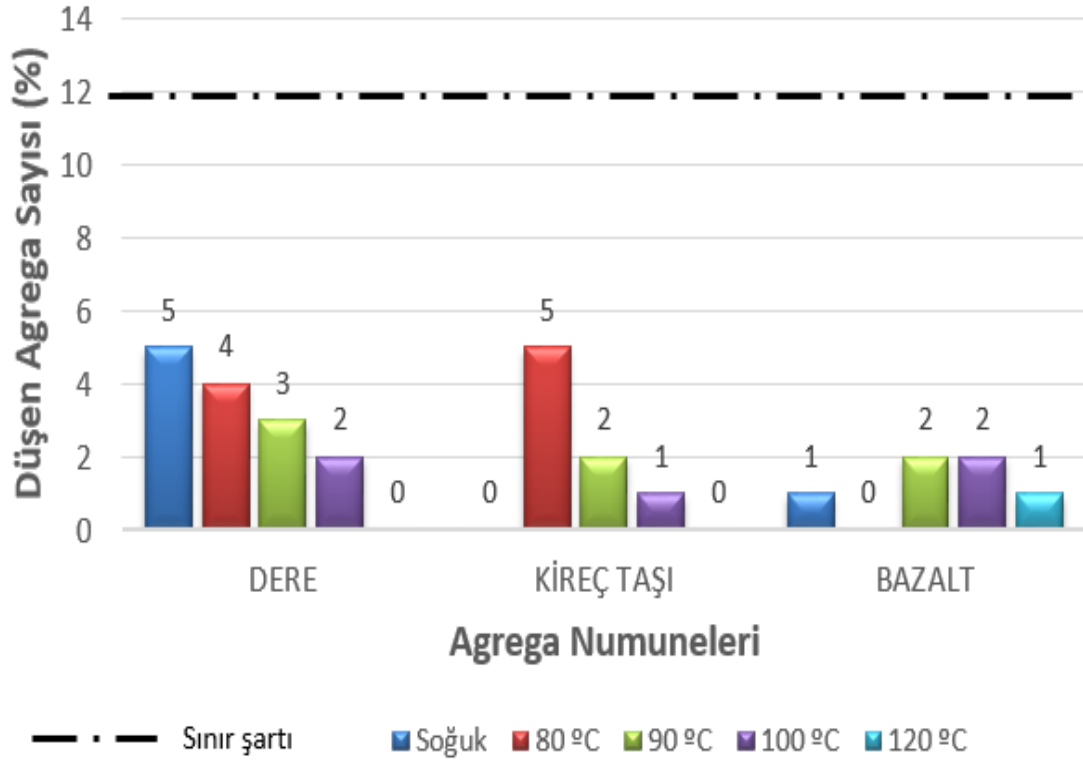
Şekil 4.3 Kireçtaşı agregasının yüzeyine ait XRD spektrumu.

4.3 Vialit Yapışma Deneyi Sonuçları

Beş farklı sıcaklık, üç farklı agrega ve modifiye edilmemiş iki farklı bitümün Vialit yapışma deney sonuçları Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'te modifiye edilmiş iki farklı bitümün vialit deney sonuçları ise Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de gösterilmiştir.

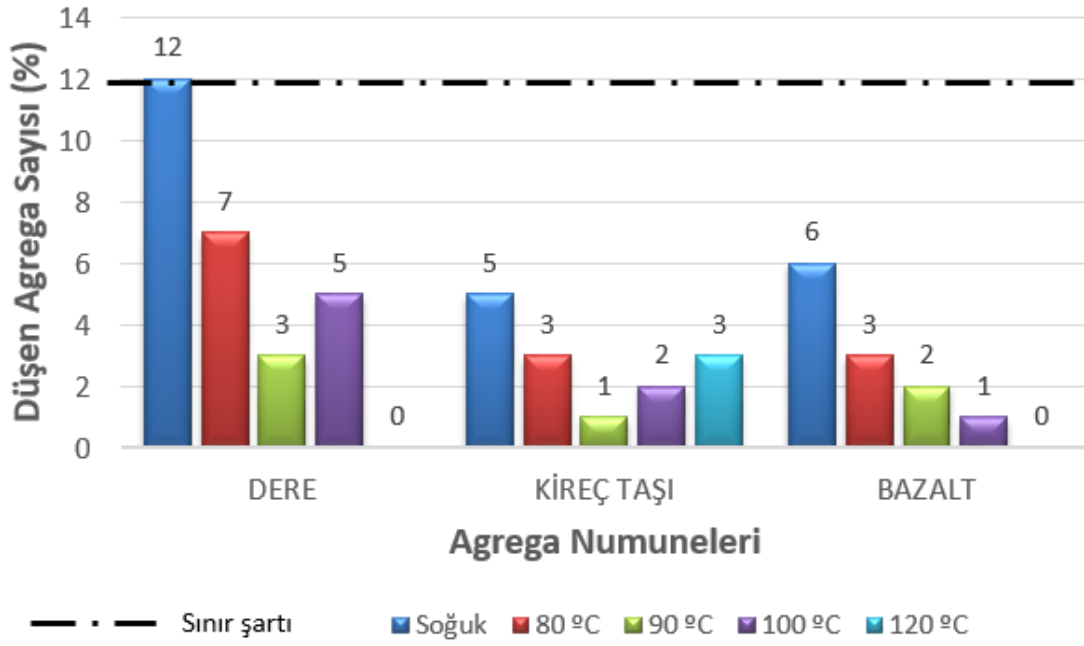


Şekil 4.4 Modifiye edilmemiş B50/70 Bitüm numunesi için Vialit yapışma deneyi sonuçları.

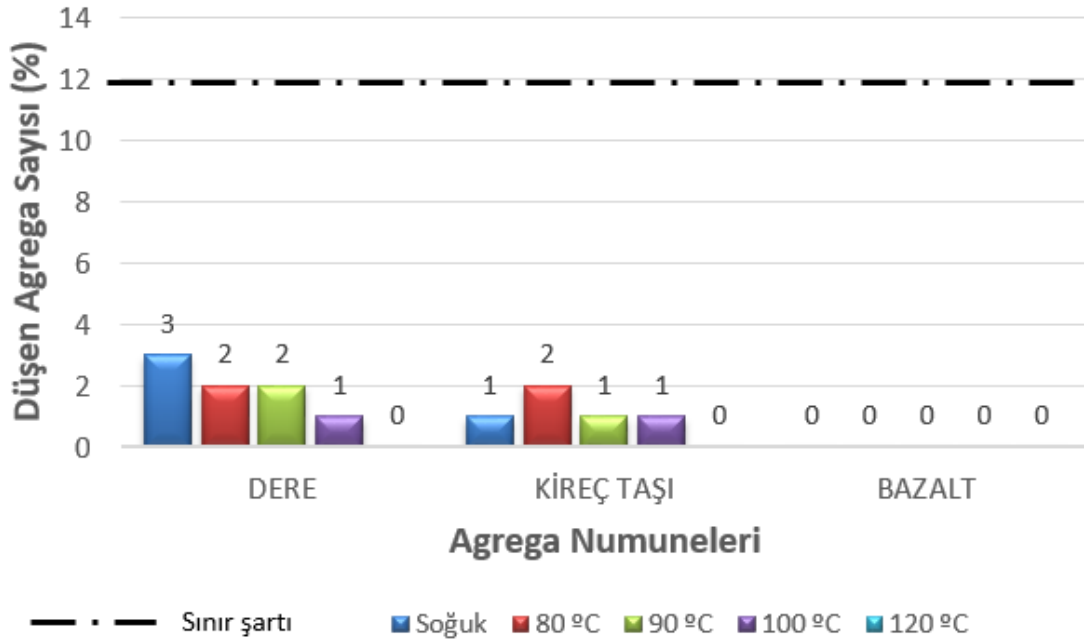


Şekil 4.5 Modifiye edilmemiş B160/220 Bitüm numunesi için Vialit yapışma deneyi sonuçları.

Modifiye edilmemiş vialit deney sonuçlarına bakıldığında B160/220 bağlayıcısının B50/70 bağlayıcısına göre yapışmada daha etkili olduğu görülmüştür. Agregaların ısıtılmasının B160/220 bağlayıcısı kullanılarak yapılan deneylerde B50/70 bağlayıcısına göre daha etkili sonuçlar verdiği görülmüştür. B160/220 bağlayıcısı ile bazalt agregası ile yapılan deneylerde bir kararlılık elde edilememiştir. Silis içeriği yüksek olan dere agregasında genelde her iki bağlayıcı türünde düşen agregası sayısı en yüksek değerdedir. Deney sonuçları bitümlü bağlayıcı türünün, agregası cinsinin ve agregaların ısıtılmasının adezyon üzerinde oldukça etkili olduğunu göstermiştir.



Şekil 4.6 Modifiye edilmiş B50/70 Bitüm numunesi için Vialit yapışma deneyi sonuçları.



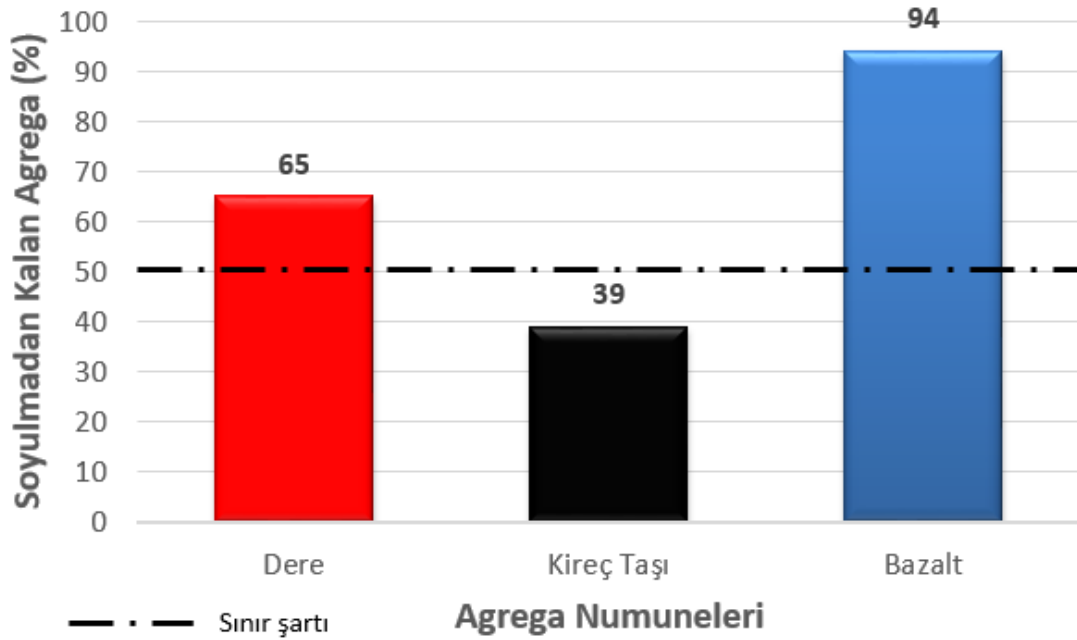
Şekil 4.7 Modifiye edilmiş B160/220 Bitüm numunesi için Vialit yapışma deneyi sonuçları.

Modifiye edilmiş vialit deney sonuçlarına bakıldığında ise modifiye edilmemiş bitüme benzer olarak B160/220 bağlayıcısının B50/70 bağlayıcısına göre daha iyi performans

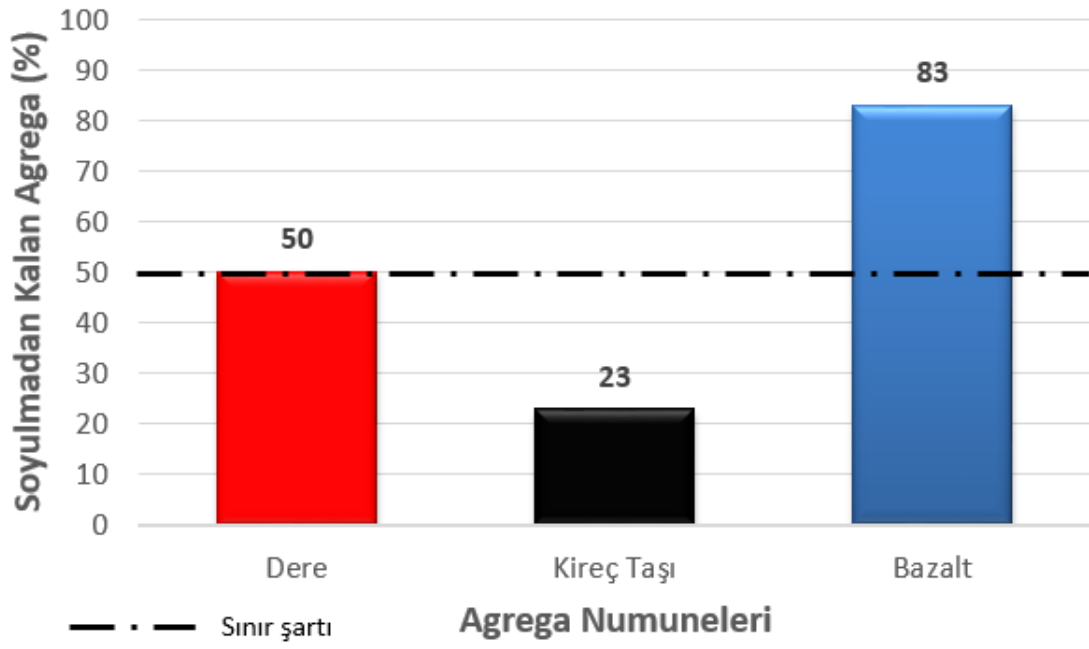
sağladığı görülmüştür. B160/220 için dere agregasının ısıtılmasında kararlılık gözlenirken, kireçtaşı ve bazaltın ısıtılması çok etkili bir sonuç vermemiştir. B50/70 için ise bazaltta kararlılık gözlemlenirken, diğer agrega türlerinde kararsızlık mevcuttur. Dere agregasında silis içeriğinin fazla olması her iki bağlayıcı türünde de agrega-bitüm arasındaki adezyonu zayıflatarak düşen agrega sayısını artırdığı gözlenmiştir. Deney sonuçlarına bakıldığında modifiye bitümün adezyon performansını iyileştirdiği, agrega türünün ve agrega ısıtılmasının da adezyonu etkileyen faktörler olduğu görülmüştür.

4.4 Nicholson Soyulma Deneyi Sonuçları

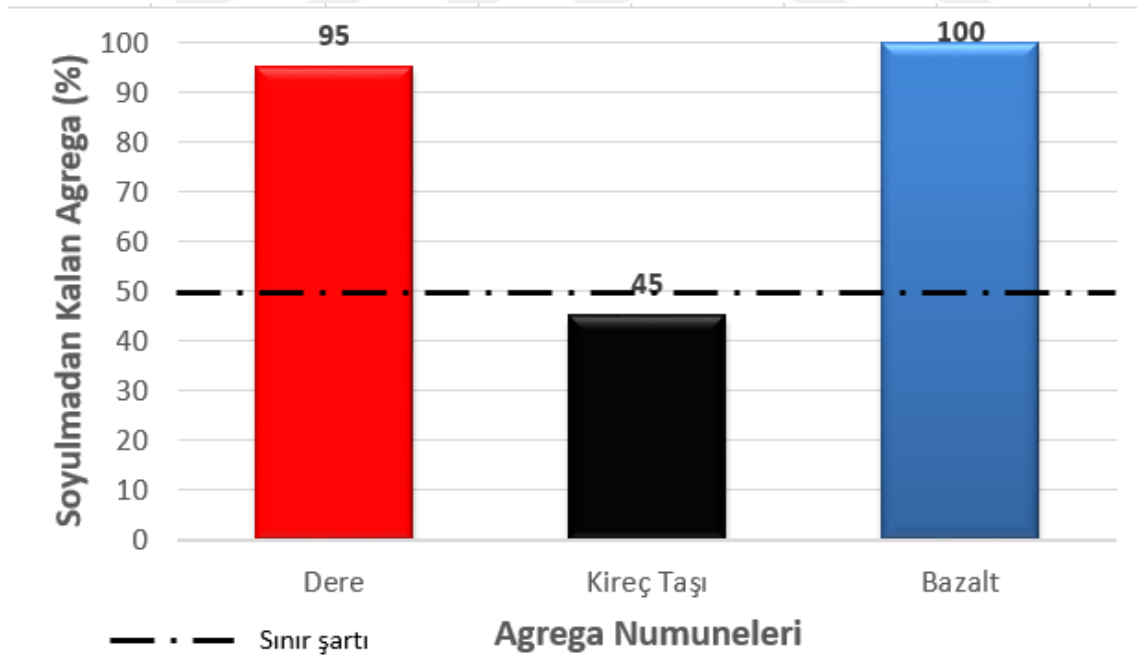
Kullanılan iki farklı modifiye edilmemiş ve edilmiş bitüm ve üç farklı agrega numunesi için üçer tane Nicholson soyulma deneyi gerçekleştirilerek elde edilen sonuçlar, aritmetik ortalaması alınarak sütun grafiği halinde Şekil 4.8, Şekil 4.9, Şekil 4.10, Şekil 4.11 'de verilmiştir.



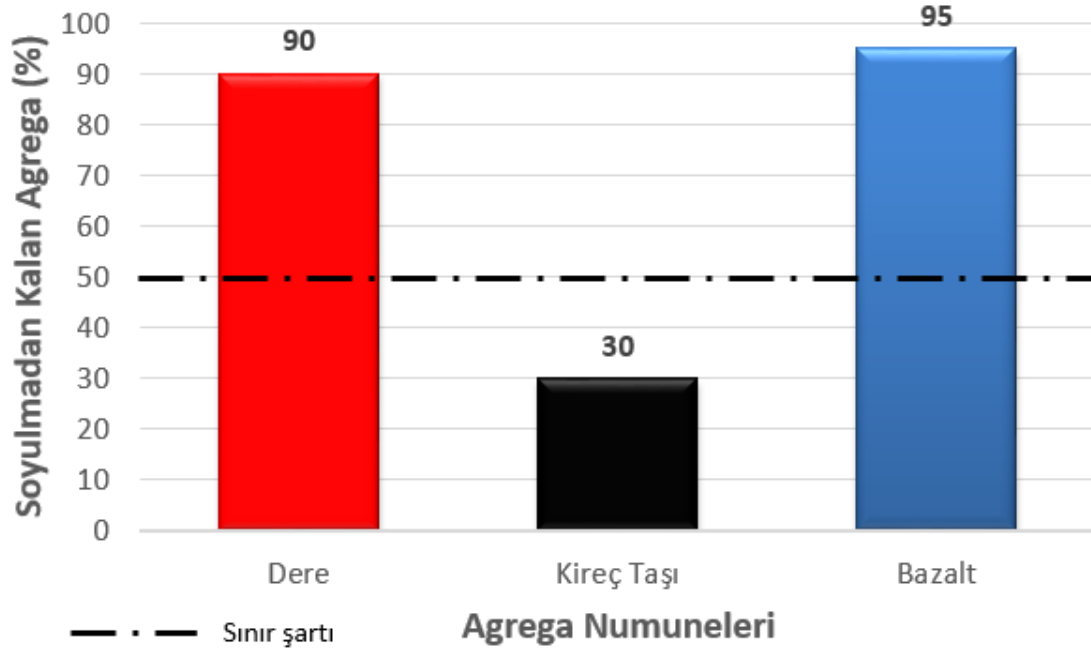
Şekil 4.8 Modifiye edilmemiş B50/70 bitümü ile yapılan Nicholson soyulma deneyi sonuçları.



Şekil 4.9 Modifiye edilmemiş B160/220 bitümü ile yapılan Nicholson soyulma deneyi sonuçları.



Şekil 4.10 Modifiye edilmiş B 50/70 bitümü ile yapılan Nicholson soyulma deneyi sonuçları.



Şekil 4.11 Modifiye edilmiş B 160/220 bitümü ile yapılan Nicholson soyulma deneyi sonuçları.

Elde edilen sonuçlara göre her iki modifiye edilmiş/edilmemiş bitüm sınıfı için kireçtaşı numunelerinin şartname değerlerinin üstünde bir soyulma sergilendikleri görülmüştür. Dere ve bazalt agregaları ise şartname değerlerini karşılamışlardır. Dere ve bazalt agregalarının her ikisi de yüksek oranda silis bulunmakla beraber soyulma yüzdeleri düşüktür. Dere ve bazalt agregâ yüzeylerinin pürüzlü olmasının daha az soyulma olmasında etkili olduğu düşünülmektedir.

4.5 Maliyet Hesabı

Bu bölümde sathi kaplama uygulamasında agregaların ısıtılması ve bitümün PPA ile modifiye edilmesi sonucu adezyon açısından iyileşmesinin fayda/maliyet analizi açısından değerlendirilmiştir. Analizlerde agregâ olarak kireç taşı, bitüm olarak %1 PPA modifiye edilmiş ve edilmemiş B50/70 penetrasyon sınıfı bitüm esas alınmıştır.

Agreganın ısıtılmasında kullanılacak olan e-mak marka DRY-17-781 tipi kurutucu seçilmiş olup, kapasitesi 155 ton/h'dır (Int. Kyn. 4). Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da görüleceği üzere kireç taşının 90 °C ısıtılması sonucu %80'lik bir adezyon performansında iyileşme

değeri fayda olarak alınmıştır. Isı formülü olarak ise denklem (4.1) kullanılmıştır. Kireç taşı kökenli agreganın özgül ısı değeri (c) literatürden 0,22 joule/gr°C alınmıştır.

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t \quad (4.1)$$

Q = Alınan veya verilen ısı (joule)

m = Maddenin kütlesi (gr)

c = Özısı (joule/gr°C)

Δt = Sıcaklık farkı (°C)

Hesaplamalarda sabit ve değişken olarak alınan değerler Çizelge 4.2’de verilmiş olup sabit olan değerler her iki uygulama için (agrega ısıtılması ve PPA katkı maddesi kullanımı) maliyete olan etkisi diğer değişkenlere göre az olduğundan hesaba katılmamıştır. Hesaplarda agrega ısıtılması ve PPA katkı maddesi kullanımı ayrı ayrı ele alınmış olup fayda/maliyet analizinin detaylı hesabı Çizelge 4.3’de belirtilmiştir.

Çizelge 4.2 Hesaplamalarda sabit ve değişken olarak alınan değerler

Sabit Değerler	Değişken Değerler
Bitümün ısıtılması	Agrega ısıtılması
Bitüm fiyatı	PPA Katkı Maddesi
Agrega fiyatı	
İşçilik maliyeti	
Elektrik sarfiyatı	

Çizelge 4.3 Fayda/maliyet hesabı

Detaylar	Isıtma	PPA
Agrega Isıtılması	✓	-
PPA Katkı Maddesi Kullanımı	-	✓
Fayda (düşen agrega sayısındaki iyileşme oranı %)	80	80
Agregaların Isıtılma Maliyeti (TL/kg)	0.00322	0
PPA katkı maliyeti (TL/kg)	0	5.6
Maliyet (1000 kg malzeme için)	3.22	56
Fayda/Maliyet (F/M)	24.8	1.4

Çizelge 4.3'den de görüleceği üzere, agrega ısıtılması PPA katkı malzeme kullanımına göre daha yüksek F/M değeri sağladığı görülmüştür. Bunun en önemli nedeni olarak PPA katkı malzemesinin birim maliyetinin yüksek oluşu görülmektedir. Adezyon iyileştirmesi için kullanılan diğer kimyasal maddelerde de benzer sonuçlar elde edilebileceği düşünülmektedir. Bu açıdan bakıldığında sathi kaplama uygulamalarında sıcak agrega kullanımı, adezyonu kimyasal katkı maddelerine göre onlara eşit veya daha fazla oranda iyileştirebilir.



5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Agregaların ısıtılmasının, kullanılan bağlayıcının, PPA katkı maddesinin ve agreganın yapışma davranışlarını nasıl etkileyeceğini belirlemek için yapılan deneyler sonucunda şu sonuçlara ulaşılmıştır:

- Deneysel çalışmada görüldüğü gibi hem modifiye edilmemiş hem de modifiye edilmiş B160/220 bitümü B50/70 bitümünden daha iyi adezyon performansı geliştirdiği gözlemlenmiştir.
- Adezyon üzerinde agreganın cinsi kadar kullanılan bağlayıcı, agreganın sıcaklığı ve PPA katkı maddesinin agreganın bitümü arasındaki yapışabilirlik performansını değerlendirmede oldukça etkili parametreler olduğu görülmüştür.
- Vialit deneyinin yapılması esnasında agregaların boyutu, şekli, tozlu veya nemli olup olmaması durumu, plaka-bitüm arayüzündeki pürüzlülük, agregaların serimi, sıkıştırılması ve numune üzerine bilye düşürülmesi gibi değişken parametrelerin bazı deney sonuçlarında kararsızlığa neden olduğu düşünülmektedir.
- Nicholson deney sonuçlarına göre her iki modifiye edilmiş/edilmemiş bitüm sınıfı için kireçtaşı numunelerinin şartname değerlerinin üstünde bir soyulma sergilendikleri görülmüştür. Dere ve bazalt agregaları ise şartname değerlerini karşılamışlardır. Dere ve bazalt agregalarının her ikisi de yüksek oranda silis bulunmakla beraber soyulma yüzdeleri düşüktür. Dere ve bazalt agregalarının yüzeylerinin pürüzlü olmasının daha az soyulma olmasında etkili olduğu düşünülmektedir.
- Adezyonda iyileşme sayesinde sathi kaplama imalat sezonunun uzatılması ve bu tip sathi kaplamalardan daha yüksek verim alınması sağlanacaktır. Sathi kaplamalarda yapışma performansının artmasıyla bakım ve onarım giderlerinin azalmasına da katkı sağlamış olacaktır.

- Sonuç olarak; yapılan deneysel çalışmalar neticesinde agregaların ısıtılması ve PPA katkısının adezyon üzerinde iyileştirici rol oynadığı anlaşılmıştır.
- Adezyon performans değerlendirmesinde Vialit yapışma deneyinin yanında diğer Texas agregatutunma testi (Tex-216-F), AustRoads pull-out testi (RTA T-238), Pennsylvania agregatutunma testi veya Sweep testi (ASTM D7000) gibi deneylerin yapılması önerilmektedir.
- Agregatısıtılması PPA katkı malzeme kullanımına göre daha yüksek F/M değerini sağladığı görölmüştür. Bunun en önemli nedeni olarak PPA katkı malzemesinin birim maliyetinin yüksek oluşu görölmektedir. Adezyon iyileştirmesi için kullanılan diğer kimyasal maddelerde de benzer sonuçlar elde edilebileceği düşünölmektedir. Bu açıdan bakıldığında sathi kaplama uygulamalarında sıcak agregatutunması, adezyonu kimyasal katkı maddelerine göre onlara eşit veya daha fazla oranda iyileştirebilir.

6. KAYNAKLAR

- AASHTO TP48 (1997). Standard Test Method for Viscosity Determination of Asphalt Binder Using Rotational Viscosimeter.
- Akıllı, A. Saltan, M. Karaşahin, M. and Güner, C. (2012). Investigation of adhesion properties in chip seals with pull out test. 5th Eurasphalt & Eurobitume Congress İstanbul.
- Akzo Nobel (2010). Adhesion Prometers
- Aksoy, A. (2002). Bitüm Reolojik Yapısının Bitümün Yaşlanmasına ve Kaplamanın Performansına Olan Etkisinin İncelenmesi.
- Aktaş, B., Karaşahin, M. (2013). Chip seal adhesion performance with modified binder in cold climates. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* No. **2361**: 63-68.
- ASTM C 127-88. (1992). Test Method for Specific Gravity and Adsorption of Coarse Aggregate. Annual Book of ASTM Standards USA .
- ASTM C 128-88. (1992). Test Method for Specific Gravity and Adsorption of Fine Aggregate. Annual Book of ASTM Standards USA.
- ASTM C 131-89. (1992). Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregates by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine. Annual Book of ASTM Standards USA.
- ASTM C 854, 1992. Test Method for Specific Gravity and Adsorption of Mineral Filler. Annual Book of ASTM Standards USA.
- ASTM D36/D36M-09 (2009). Standard test method for softening point of bitumen (ring-and-ball apparatus). In Annual Book of ASTM Standards, West Conshohocken, PA.
- ASTM D4402 (2015). Standard test method for viscosity determination of asphalt at elevated temperatures using a rotational viscometer, In Annual Book of ASTM Standards, West Conshohocken, PA.
- Buss, A., Guirguis, M., Gransberg, D. (2018). Chip seal aggregate evaluation and successful roads preservation. *Construction and Building Materials*. **180**: 396-404.
- Distin, T. (2008). Spray sealing practice in South Africa. *1st Sprayed Sealing Conference*. Adelaide Australia.

- EN 1097-2 (1998). Tests for mechanical and physical properties of aggregates— part 2: methods for the determination of resistance to fragmentation. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium
- Gransberg, D. (2006). Correlating chip seal performance and construction methods *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. **1958**: 54-58.
- Griffith, A. and Hunt, E. (2000). Asphalt cement chip seals in Oregon. Oregon Department of Transportation. State Research Project No:546. Pp:1.Oregon, US.
- Gürer, C. (2010) Sathi Kaplamaların Performansına Etki Eden Parametrelerin İncelenmesi ve Performans Modeli Geliştirilmesi. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Gürer, C. and Karaşahin, M. (2014). Sathi kaplama agregalarının adezyon özelliklerinin araştırılması. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, **10**(2), 1-11.
- Hoffmann, P. and Potgieter, C. J. (2007). Bitumen rubber chip and spray seals in South Africa. SATC 2007.
- Holtrop, W. (2008). Sprayed sealing practice in Australia. 1st *Sprayed Sealing Conference*. Adelaide Australia.
- Kandhal, P.S. and Motter, J.B. (1987) Criteria For Accepting Precoated Aggregates For Seal Coats And Surface Treatments. Final Report. No. FHWA/PA-87-007+83-198401-8706.
- Karaşahin, M., Aktaş, B., Güngör, A.G., Orhan, F., Gürer, C. Laboratory and in situ investigation of chip seal surface condition improvement. *Journal of Performance of Constructed Facilities*. **29** (2):
- Karaşahin, M. ve Ağar, E. (2004). Sathi Kaplamalar üzerine bir değerlendirme. 4.Ulusal Asfalt Sempozyumu, Ankara, 131-140.
- Karaşahin, M., Gürer, C., (2007). Sathi Kaplamalarının Performansına Etki Eden Parametrelerin İncelenmesi ve Bir Performans Modeli Geliştirilmesi, Karayolları Genel Müdürlüğünde Verilmiş Brifing Notları.
- Karasahin, M. Saltan, M. Gürer, C. Aktas, B. Uz, V.E. Çetin, S. ve Taciroğlu, M.V. (2009a) Chip seal applications in turkey and world. In: Proceedings of the 5th national asphalt symposium. Ankara, Turkey; p. 153–62

- Gürer, C., ve Karaşahin, M. (2014). Sathi Kaplama Agregalarının Adezyon Özelliklerinin Araştırılması. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, **10**(2), 1-11.
- Kuloğlu, N., Yılmaz, M., Kök, B.V. (2008). Farklı penetrasyon derecelerine sahip asfalt çimentolarının kalıcı deformasyona karşı dayanımlarının ve işlenebilirliklerinin incelenmesi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **13**(1): 81-91.
- Lantieri, C., Lamperti, R., Simone, A., Vignali, V., Sangiorgi, C., Dondi, G., Magnani, M. (2017). Use of image analysis for the evaluation of rolling bottle tests results. *International Journal of Pavement Research and Technology*. **10**: 45-53.
- Lee, J., Kim, R.Y. (2014). Evaluation of polymer-modified chip seals at low temperatures. *International Journal of Pavement Engineering*. **15** (3): 228-237.
- Liu, L. Xie, W. Wang, Y. and Wu, S. (2018). Evaluation of significant factors for aggregate retention in chip seals based on mesostructured finite element model. *International Journal of Pavement Research and Technology*. Article in press.
- Louw, K., Rossmann, D., Cupido, D. (2004). The Vialit adhesion test: Is it an appropriate test to predict low temperature binder/aggregate failure. Proceedings of the 8th Conference on Asphalt Pavements for Southern Africa (CAPSA'04). Sun City. South Africa.
- McLeod, N.W. (1969). A general method of design for seal coats and surface treatments.
- Önal, M.A. Kahramangil, M. (1993), Bitümlü Karışımlar Laboratuvar El Kitabı. T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü, Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- Paliukaite, M. Vorobjovas, V. Bulevicius, M. and Andrejevas, V. (2016). Evaluation of different test methods for bitumen adhesion properties. *Transportation Research Procedia* **14**: 724-731.
- Rahman, F. Islam, M.S. Musty, H. and Hossain, M. (2012). Aggregate retention in chip seal, TRB 2012 Annual Meeting, Washington DC, US.
- Senadheera, S. Wm.Tock, R. Hossain, M.S. Yazgan, B. Das, and S. Jan. (2006). A Testing and Evaluation Protocol to Assess Seal Coat Binder-Aggregate Compatibility. Texas Tech University, Center for Multidiciplinary Research in Transportation. Project Summary Report 0-4362-S, Project 0-4362.

- Shao-peng, W., Yue, X., Quan-tao, L., Ting-Wei, C. (2008) Temperature sensitivity of asphalt-aggregate adhesion via dynamic mechanical analysis. *Key Engineering Materials* **385-387**: 473-476.
- Terrel, R.L. Shute, J.W. (1989). Summary Report on Water Sensitivity. Report SHRP-A/IR-89- 003. Strategic Highway Research Program, National Research Council, Washington, D.C.
- Terrel, R.L. and Al-Swailmi, S. (1989). Summary Report on Water Sensitivity, Strategic Highway Research Program, SHRP-A/IR-89-003, Washington, D.C., USA.
- Terrel, R.L. and Shute, J.W. (1994). Water Sensivity of Asphalt- Aggregate Mixes : Test Selection, Strategic Highway Research Program, SHRP-A-403, Washington, D.C., USA.
- Transit New Zealand (TNZ), (2005). Road Controlling Authorities, Roothing New Zealand, Chipsealing in New Zealand. Wellington, New Zealand, 524 p.
- TS 1081 EN 12591 (2009) Bitumen and bituminous binders— specification for paving grade bitumens. Turkish Standards Institution, Ankara
- TS 118 EN 1426. (2002). Bitümler ve bitümlü bağlayıcılar iğne batma derinliği tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Türkiye Cumhuriyeti Karayolları Genel Müdürlüğü. (2013). “Karayolları Teknik Şartnamesi”. Ankara.
- Upeks (2010). Adezyon Katkıları, Teknik Bülten, Ankara, 9 s.
- Vidal, G.V. Reguero, A.M. and Recasens, R.M. (2015) Assessment of the adhesive capacity of asphalt binders in the aggregate-binder bonds by means of new methodology. *Revista de la Construcción*, **14**(1): 96-76
- Wasiuddin, N. M., Marshall, A., Saltibus, N. E., Saber, A., Abadie, C., and Mohammad, L. N. (2013). Use of Sweep Test for emulsion and hot asphalt chip seals: Laboratory and field evaluation. *Journal of Testing and Evaluation*. **41** (2): 289-298.
- Wegman, D. (1991) Design and Construction of Seal Coats, Minnesota DOT Report No. MN/RD-91/02,
- Whiteoak, D. (1990). The Shell Bitumen Handbook. Shell Bitumen, pp-287-290. England.

- Williams, C. (2010). Evaluation of Hot Mix Asphalt Moisture Sensitivity Using the Nottingham Asphalt Test Equipment, Iowa State University, Ames.
- Woodside, A. R., Lyle, P., Woodward, W., D., H., Perry, M.,J.,(1998). Possible problems with high PSV aggregate of the gritstone trade group. Advances in Aggregates and Armoustone Evaluation, Geological Society, *Engineering Geology Special Puplications*, vol:13, p:159-167,London.
- Wood, T. and Olson, R. (2007). Rebirth of chip sealing in Minnesota. Transportation Research Record: *Journal of the Transportation Research Board*, 1989 (1), 260-264.
- You, L., You, Z., Dai, Q., Xie, X., Washko, S., Gao, J. (2019). Investigation of adhesion and interface bond strength for pavements underlying chip-seal: Effect of asphalt-aggregate combinations and freeze-thaw cycles on chip-seal. *Construction and Building Materials* **203**: 322-330.
- Zorn, S., Mehta, Y., Dahm, K., Batten, K., Nolan, E., Dusseau, R. (2011). Rheological Properties of the Polymer Modified Bitumen with Emphasis on SBS Polymer and its Microstructure. *Road Materials and New Innovations in Pavement Engineering*. **223**: 41-48.

İnternet Kaynakları

- 1) <http://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Kurumsal/YolAgi.aspx>, 19.02.2018
- 2) https://www.worldhighways.com/categories/asphalt-paving-compact_on-testing/features/hydrocarbon-resin-bitumen-modifier-enhances-adhesion/, 04.10.2018
- 3) <http://www.merlab.metu.edu.tr/tr/x-isini-difraktometresi>, 19.11.2018
- 4) <https://www.e-mak.com/tr/haberler/katalog-ve-brosurler>, 06.07.2019

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mohammad Babour RAHMANY
Doğum Yeri ve Tarihi : AFGANİSTAN 12.10.1990
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta) : babour.bic@gmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Khorasan Haigh School, (2003-2006)
Ön lisans : Auto Mechanical Institute of Kabul , (2007-2008)
Lisans : Kocaeli Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, (2011-2017)
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, (2017-2019)