

T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ATIK BETON ASFALT AGREGASININ SATHİ KAPLAMA PERFORMANSININ
DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HALİS ERDOĞAN

TEZ DANIŐMANI
DR. ÖĞR. ÜYESİ HASAN BOZKURT

BİLECİK, 2023

10544501

T.C.
BİLECİK ŐEHY EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ATIK BETON ASFALT AGREGASININ SATHI KAPLAMA PERFORMANSININ
DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HALİS ERDOĞAN

TEZ DANIŐMANI

DR. ÖĞR. ÜYESİ HASAN BOZKURT

BİLECİK, 2023

10544501

BEYAN

Koruyucu Sathi Kaplama Performansının Araştırılması, adlı yüksek lisans tezinin hazırlık ve yazımı sırasında bilimsel araştırma ve etik kurallarına uyduğumu, başkalarının eserlerinden yararlandığım bölümlerde bilimsel kurallara uygun olarak atıfta bulunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, tezin herhangi bir kısmının Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunulmadığımı, aksinin tespit edileceği muhtemel durumlarda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Bu çalışmanın, Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP), TÜBİTAK veya benzeri kuruluşlarca desteklenmesi durumunda; projenin ve destekleyen kurumun adı proje numarası ile birlikte, ETİK KURUL onayı alınması durumunda ise ETİK KURUL tarih karar ve sayı bilgilerinin beyan edilmesi gerekmektedir.			
DESTEK ALINMIŞTIR		DESTEK ALINMAMIŞTIR	X
Destek alındı ise;			
Destekleyen kurum;			
Desteğin Türü		Proje Numarası	
1- BAP (Bilimsel Araştırma Projesi)			
2- TÜBİTAK			
Diğer;			
ETİK KURUL onayı var ise;			
ETİK KURUL karar tarih/sayı:			

Halis ERDOĞAN

Tarih

25.05.2023

İmza

ÖN SÖZ

Tez çalışmamın tüm aşamalarında bilgilerini, tecrübelerini, maddi ve manevi desteğini ile hoşgörüsünü hiç esirgemeyen danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Hasan BOZKURT 'a en içten dileklerle teşekkürlerimi sunarım.

Tezime jüri üyeliği yapan Prof. Dr. Murat KARACASU ve Dr. Öğr. Üyesi Murat ARAS 'a katılımları, bilgi ve birikimlerini tezime aktardıkları için teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışması sürecinde tecrübe ve bilgi birikimini esirgemeyen, malzeme temini aşamasında hiç çekinmeden yardımlarını sunan yüksek inşaat mühendisi Öner AŞMA 'ya teşekkür ederim.

Tez sürecim boyunca maddi ve manevi destekleriyle hep yanımda olan babam İlhan ERDOĞAN, annem Gülnaz ERDOĞAN ve kardeşim Ayşenur ERDOĞAN 'a sonsuz teşekkür ederim.

Tez sürecimde çalışma aşamalarında yanımda olan manevi desteklerini hiç esirgemeyen Sevim KARAKOYUN 'a ve çalışmalarım bana yardım eden Samet BABAOĞLU, Ömer ÇİMAN, Hakan ETÇİ ve Muhammed KARAARSLAN 'a teşekkür ederim.

Halis ERDOĞAN

ÖZET

ATIK BETON ASFALT AGREGASININ SATHI KAPLAMA PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Sathi kaplamalar maliyetinin düşük olması ve kolay uygulanabilir olması sebebiyle ülkemizde ve dünyada yaygın olarak kullanılmaktadır. Sathi kaplamalar genel olarak sırayla bağlayıcı ve agrega uygulanması ile oluşturulmaktadır. Kayma direncini artırmak, geçirimsiz bir yüzey elde etmek ve mevcut yol yüzeyinin onarımı gibi nedenlerle oluşturulmaktadır. Ülkemizde yer alan karayolu ağının yaklaşık % 53'ünü sathi kaplamalı yollar oluşturmaktadır. Ülkemizde karayolu taşımacılığının fazla olması ve artan trafik miktarları nedeni ile sathi kaplama kullanımı giderek azaldığı görülmektedir. Sathi kaplama tabakasının taşıyıcılığının az olması ve gelen trafik yüklerine karşı koyamaması bu durumun ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Sathi kaplama tabakasının istenilen performans sahip olması için bulunduğu bölgenin iklim değerleri, trafik değerleri ve yapımında kullanılacak malzemelerin bölgeye uygunluk durumu oldukça önemlidir.

Tez çalışmasında sathi kaplama tabakasında kireçtaşı, bazalt ve atık asfalt betonu agregası kullanılmıştır. Deneylerde tek tip agrega kullanımının yanında farklı oranlarda (%25, %50, %75) birbirleri ile karıştırılarak da kullanılmıştır. Bağlayıcı olarak 4 farklı penetrasyon sınıfına bitüm (B 50/70, B 70/100, B 100/150, B 160/220) kullanılmıştır. B 100/150 ve B 160/220 bitümleri yalnızca Nicholson soyulma deneyinde kullanılmıştır. Tez çalışması kapsamında sathi kaplama performansında malzeme farklılıklarının yapışma kuvveti üzerindeki etkisi için vialit deneyi gerçekleştirilmiştir. Kış aylarında yaşanan sıcaklık farklılıklarının sathi kaplama tabakasındaki etkisi modifiye vialit deneyi ile araştırılmıştır. Deneyde nem varlığının tabaka üzerindeki etkisi de araştırılmıştır. Ülkemiz standartlarında yer almayan süpürme testi yurt dışı kaynaklarda yer alan çalışmalara göre gerçekleştirilmiştir. Deney ile birlikte süpürme sonucu oluşan kayıplar malzeme farklılıklarına göre belirlenmiştir.

Deneyler sonucunda atık asfalt beton agregası soyulma ve yapışma performansı yüksek olmasının yanında süpürme performansının düşük olduğu görülmüştür. Bazalt agregasının soyulma ve yapışma performansı düşük olmasına karşı süpürme performansı yüksektir. Deneyler sonucunda daha yumuşak kıvama sahip bitümlerin yapışma, soyulma ve süpürme değerlerinin yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Kış aylarında yaşanan nem ve düşük sıcaklıklar sathi kaplama performansını olumsuz etkilediği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Sathi Kaplama, Sıcaklık Farklılıkları, Nem, Süpürme Deneyi

ABSTRACT

EVALUATION OF CHIP SEAL PERFORMANCE OF WASTE ASPHALT AGGREGATE CONCRETE

Chip seals are widely used in our country and around the world due to their low cost and easy applicability. Chip seals are generally formed by applying binder and aggregate in sequence. They are created for reasons such as increasing skid resistance, obtaining an impermeable surface and repairing the existing road surface. Approximately 53% of the highway network in our country consists of chip sealed roads. In our country, it is seen that the use of chip seals is gradually decreasing due to highway transportation and increasing traffic volumes. The low bearing capacity of the chip seal layer and its inability to withstand the incoming traffic loads cause this situation to occur. In order for the chip seal layer to have the desired performance, the climatic values of the region, traffic values and suitability of the materials to be used in its construction are very important.

In the thesis study, limestone, basalt and waste asphalt aggregate concrete were used in the chip seal. In addition to the use of a single type of aggregate in the experiments, different proportions (25%, 50% and 75%) were mixed with each other. Bitumen with four different penetration classes (B 50/70, B 70/100, B 100/150 and B 160/220) was used as a binder. B 100/150 and B 160/220 bitumen were used only in the Nicholson peel test. Within the scope of the thesis study, a vialite test was carried out to determine the effect of material differences on the adhesion force in chip seal performance. The effect of temperature differences during the winter months on the chip seal layer was investigated with a modified vialite test. The effect of the presence of moisture on the layer was also investigated in the experiment. The sweep test, which is not included in the standards of our country, was carried out according to studies from foreign sources. In the experiment, sweeping losses were determined according to material differences.

As a result of the experiments, it was observed that waste asphalt aggregate concrete has high peeling and adhesion performance but low sweeping performance. Basalt aggregate has low peeling and adhesion performance but high sweeping performance. As a result of the experiments, it was observed that bitumen with a softer consistency had high adhesion, peeling and sweeping values. Humidity and low temperatures in the winter months had a negative impact on the performance of the chip seal.

Keywords: Chip Seal, Temperature Differences, Humidity, Sweep Test

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖN SÖZ.....	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
TABLolar LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
GRAFİKLER LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışma Özeti	3
2. SATHİ KAPLAMA.....	5
2.1. Sathi kaplama tipleri	5
2.1.1. Tek katlı sathi kaplama	5
2.1.2. Çift katlı sathi kaplama	6
2.1.3. Gömme tip sathi kaplama	6
2.1.4. Sandviç tip sathi kaplama	7
2.2. Sathi kaplama performansına etki eden parametreler	7
2.3. Sathi kaplamada oluşan bozulmalar.....	12
2.3.1. Sökülme, ayrışma ve parçalanma.....	13
2.3.2. Çukur oluşumu.....	14
2.3.3. Kusma	16
2.3.4. Tekerlek izi, kabarma ve çökme.....	17
2.3.5. Kayma direnci kaybı.....	18
2.3.6. Timsah sırtı çatlaklar	19

2.4. Sathi kaplama oluşumunda kullanılan malzemeler ve özellikleri.....	20
2.4.1. Agregas	20
2.4.2. Bitümlü bağlayıcılar	22
2.4.2.1. Bitüm	23
2.4.2.2. Katbek bitümleri (Sıvı petrol bitümler)	25
2.4.2.3. Bitüm emülsiyonları	26
2.5. Sathi Kaplama Dizaynı	27
2.5.1. Tek Katlı Sathi Kaplama Dizaynı	28
2.5.1.1. Seydişehir-Yalnhüyük arası tek katlı sathi kaplama dizaynı.....	28
2.5.1.2. Ceylanpınar- Viranşehir arası tek katlı sathi kaplama dizaynı.....	33
2.5.2. Çift Katlı Sathi Kaplama dizaynı	38
3. LİTERATÜR ÖZETİ	40
3.1. Nicholson soyulma ve vialit deneyi ile ilgili literatürde yer alan diğer çalışmalar	40
3.2. Süpürme deneyi ile ilgili literatürde yer alan diğer çalışmalar	44
4. MATERYAL VE YÖNTEM	49
4.1. Materyal	49
4.2. Yöntem.....	49
4.2.1. Sathi Kaplama Agregas Deneyleri	49
4.2.1.1. Elek Analizi	49
4.2.1.2. Los Angeles (Aşınma kaybı) deneyi	51
4.2.1.3. Kaba agregas özgül ağırlık deneyi	53
4.2.1.4. Agregas birim hacim ağırlık deneyi	55
4.2.1.5. Yassılık indeksi deneyi	58
4.2.1.6. Kimyasal donma- çözülme deneyi	59
4.2.2. Sathi Kaplama Bitüm Deneyleri.....	61
4.2.2.1. Penetrasyon deneyi.....	61

4.2.2.2. Yumuşama noktası deneyi.....	61
4.2.2.3. Parlama noktası deneyi.....	62
4.2.2.4. Bitümlü bağlayıcı özgül ağırlık deneyi.....	63
4.2.3. Soyulma ve Yapışma Özelliklerinin Saptanması İçin Uygulanan Deneyler....	63
4.2.3.1. Nicholson soyulma deneyi.....	63
4.2.3.2. Vialit yapışma deneyi.....	64
4.2.3.3. Modifiye vialit deneyi.....	66
4.2.3.4. Süpürme testi.....	68
4.2.4. Birim Maliyet Hesabı.....	69
5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	72
5.1. Agrega Deneyi Sonuçları.....	72
5.1.1. Elek analizi sonuçları.....	72
5.1.2. Los Angeles (Aşınma kaybı) deneyi sonuçları.....	72
5.1.3. Kaba agrega özgül ağırlık deneyi sonuçları.....	73
5.1.4. Agrega birim hacim ağırlık deneyi sonuçları.....	74
5.1.5. Yassılık indeksi deneyi sonuçları.....	74
5.1.6. Kimyasal donma çözünme deneyi sonuçları.....	75
5.2. Bitüm Deneyi Sonuçları.....	75
5.3. Soyulma ve Yapışma Özelliklerinin Saptanması İçin Uygulanan Deney Sonuçları.....	76
5.3.1. Nicholson deney sonuçları.....	76
5.3.2. Standart vialit deneyi sonuçları.....	78
5.3.3. Modifiye vialit deneyi sonuçları.....	80
5.3.4. Süpürme testi sonuçları.....	82
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	85
KAYNAKÇA.....	88

TABLULAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 1.1. 1 Ocak 2023 itibari ile ülkemizdeki kaplama cinsine göre yol ağı	2
Tablo 2.1. Agrega gradasyon limitleri	20
Tablo 2.2. Çift kat sathi kaplama uygulaması gradasyon limitleri	21
Tablo 2.3. Sathi kaplama agregası sahip olması gereken özellikler	22
Tablo 2.4. Bitümlerin penetrasyon sınıfları	24
Tablo 2.5. Kaşak vd.'e (2004) göre sathi kaplamada iklim değerlerine göre bitüm seçimi	25
Tablo 2.6. Sıvı petrol asfaltı çeşitleri	25
Tablo 2.7. Katyonik bitüm emülsiyonlarının kullanım alanları	27
Tablo 2.8. Dizaynda kullanılan agrega gradasyon limiti	28
Tablo 2.9. Seydişehir- Yalınhüyük yıllık ortalama günlük proje trafikleri	30
Tablo 2.10. Seydişehir- Yalınhüyük taşıt başına düşen eşdeğer günlük trafik, ŞEGT	30
Tablo 2.11. İklim düzeltme tablosu	31
Tablo 2.12. Dizaynda kullanılan agrega gradasyon limiti	34
Tablo 2.13. Ceylanpınar- Viranşehir arası trafik verileri	35
Tablo 2.14. Ceylanpınar- Viranşehir taşıt başına düşen eşdeğer günlük trafik, ŞEGT	36
Tablo 4.1. Deney numunelerinin isimlendirilmesi	49
Tablo 4.2. Elek açıklıkları	50
Tablo 4.3. Los Angeles deneyinde kullanılacak numune miktarları	52
Tablo 4.4. Los Angeles deneyinde kullanılacak bilye sayıları ve miktarları	53
Tablo 4.5. Agrega birim hacim ağırlık deneyi kullanılacak numune miktarları	56
Tablo 4.6. Yassılık indeksi elek çapına göre numune miktarları	58
Tablo 4.7. Vialit deneyi agrega boyutuna göre bitüm miktarı	65
Tablo 4.8. Birim maliyet hesabı	70
Tablo 5.1. Elek analizi sonuçları	72

Tablo 5.2. Özgül ağırlık deneyi sonuçları ve su emme yüzdeleri	73
Tablo 5.3. Yassılık deneyi sonuçları	74
Tablo 5.4. Penetrasyon deneyi sonuçları	75
Tablo 5.5. Bitüm deneyi sonuçları.....	76
Tablo 5.6. Süpürme testi sonuçları	83

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Tez çalışması yol haritası.....	4
Şekil 2.1. Tek katlı sathi kaplama	6
Şekil 2.2. Çift katlı sathi kaplama	6
Şekil 2.3. Gömme tip sathi kaplama	7
Şekil 2.4. Sandviç tip sathi kaplama	7
Şekil 2.5. Su etkisi ile sathi kaplamada yaşanan soyulma	11
Şekil 2.6. Sathi kaplamada meydana gelen bozulma modeli	13
Şekil 2.7. Sathi kaplama agrega sökülmesi	14
Şekil 2.8. Sathi kaplama çukur oluşumu	15
Şekil 2.9. Kusma bozulması.....	17
Şekil 2.10. Tekerlek izi oluşumu	18
Şekil 2.11. Makro ve mikro pürüzlülük özellikleri	19
Şekil 2.12. Bitümlerin oluşum mekanizması	24
Şekil 2.13. Seydişehir- Yalılıyük arası trafik değerleri	29
Şekil 2.14. Ceylanpınar- Viranşehir arası bitüm performans sınıfı	34
Şekil 4.1. Elek analizi	51
Şekil 4.2. Los Angeles deneyi.....	52
Şekil 4.3. Kaba agrega özgül ağırlık deneyi	54
Şekil 4.4. Birim hacim ağırlık deneyi,	57
Şekil 4.5. Yassılık deneyi elekleri.....	59
Şekil 4.6. Kimyasal donma çözülme deneyi	60
Şekil 4.7. Penetrasyon deneyi	61
Şekil 4.8. Parlama noktası deney aleti	62
Şekil 4.9. Nicholson soyulma deneyi	64

Şekil 4.10. Vialit deneyi.....	65
Şekil 4.11. Vialit deneyi numunelerinin kontrolü.....	66
Şekil 4.12. Modifiye vialit deneyi.....	67
Şekil 4.13. Süpürme testi	68
Şekil 5.1. Vialit deneyi numuneleri görünümleri.....	78
Şekil 5.2. Süpürme testi numuneleri önceki ve sonraki halleri.....	82

GRAFİKLER LİSTESİ

	Sayfa
Grafik 2.1. Dane dağılımı grafiğinden OB bulunması.....	29
Grafik 2.2. Temel bitüm miktarı belirleme abağı.....	31
Grafik 2.3. Yüzey dokusu düzeltme grafiği.....	32
Grafik 2.4. Dane dağılımı grafiğinden OB bulunması.....	35
Grafik 2.5. Temel bitüm miktarı belirleme abağı.....	36
Grafik 2.6. Yüzey dokusu düzeltme grafiği.....	37
Grafik 5.1. Los Angeles deneyi sonuçları.....	73
Grafik 5.2. Birim hacim ağırlık deneyi sonuçları.....	74
Grafik 5.3. Kimyasal donma çözünme deneyi sonuçları.....	75
Grafik 5.4. Nicholson soyulma deneyi sonuçları.....	77
Grafik 5.5. Standart vialit deneyi sonuçları.....	79
Grafik 5.6. Modifiye vialit deneyi suda koşullandırılan numunelerin sonuçları.....	81
Grafik 5.7. Modifiye vialit deneyi havada koşullandırılan numunelerin sonuçları.....	81
Grafik 5.8. Süpürme deneyi süre bazında kayıp.....	84

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

%: Yüzde

°C: Santigrat Derece

η : Şerit Dağıtma Faktörü

Δ_1 : İklim Düzeltmesi

Δ_y : Yüzey Dokusu Düzeltme Faktörü

A: Atık asfalt beton agregası

AASHTO: American Association Of Stata Highway And Transportation Officials

ASTM: Amerika Test ve Malzeme Kurumu

B: Bazalt

Bd: Şerit Başına Düşen Dizayn Bitüm Bağlayıcı Miktarı

BS: British Standart

BSK: Bitümlü Sıcak Karışım

Bt: Temel Bitüm Miktarı

CM: Santimetre

Da: Dekar

EBO: En Küçük Boyutlar Ortalaması

EFK: El İle Fırçalama Sonucu Oluşan Kayıp

Fm: Bitüm Faktörü

GR: Gram

H: Hız Faktörü

İ: Trafik Yönü Sayısı

İnch: İnç

K: Kireçtaşı

Kg: Kilogram

KGM: Karayolları Genel Müdürlüğü

Kg: Kilogram

Km: Kilometre
KTk: Kümülatif Toplam Kayıp
KTŞ: Karayolları Teknik Şartnamesi
L: Litre
LA: Los Angeles
M: Metre
Md: Dizayn Agrega Miktarı
MDE: Agrega Aşınma Direnci
Mm: Milimetre
MS: Agrega Donma Kaybı
OB: Agrega Ortalama Boyutu
PG: Bitüm Performans Sınıfı
PSV: Agrega Cilalanma Değeri
PVC: Poli Vinil Klorür
R: Kalıntı Bitüm Oranı
SSOK: Süpürme Sonucu Oluşan Kayıp
ŞEGT: Şerit Başına Düşen Eşdeğer Yıllık Ortalama Günlük Trafik
t₀: İlk Trafik Değeri
t_t: Son Trafik Değeri
T_{8,2}: Toplam Standart Dingil Yüğü Tekerrür Sayısı
TEF: Taşıt Eşdeğerlik Faktörü
TS EN: Türk Standartları Enstitüsü
Yg: Agrega Gevşek Birim Hacim Ağırlığı,
YI: Yassılık İndeksi
YOGT: Yıllık Ortalama Günlük Trafik
WA: Agrega Su Emme Miktarı

1. GİRİŞ

Sathi kaplamalar mevcut bulunan yol yüzeyine ya da temel tabakası üzerine uygulanan bir veya iki tabakadan oluşan kaplama türüdür. Sathi kaplamalar, yol yüzeyinde geçirimsiz bir tabaka oluşturmak, yol yüzeyinde aşınmaya karşı direnç kazandırmak veya mevcut yol yüzeyinin onarımında kullanılmaktadır. Sathi kaplama tabakası hazırlanan yüzeye bağlayıcı uygulamasının ardından agrega uygulaması ile oluşturulmaktadır. Kolay uygulanabilirliği ve maliyetinin bitümlü sıcak karışımlara (BSK) göre düşük olması kullanım oranını artırmaktadır. Fakat kaplama tabakasının taşıyıcılığının düşük olması sebebi ile trafik değerinin yüksek olduğu ve ağır taşıt trafiğinin yüksek olduğu yollarda kullanımı uygun değildir. Bu tür yollarda kullanımı halinde kolaylıkla bozulmalar meydana gelebileceği için kaplama kısa sürede hizmet ömrünü tamamlayacaktır. Hizmet ömrünü tamamlaması halinde yeniden oluşturulması sonucunda ekstra maliyetler ortaya çıkacaktır.

Sathi kaplamaların ömrü ortalama 6-8 yıl arasında değişmektedir. Fakat sathi kaplamayı oluşturan malzemelerin doğru seçimi, uygulaması sırasında düşük hata oranı ve kür işlemleri sonucunda sathi kaplamanın ömrü 20 yıla kadar ulaşabilmektedir. Aksi halde neredeyse yapımında sonraki ilk yıl içerisinde kaplamanın bozulması mümkündür. Sathi kaplama tabakasından istenilen performansın alınabilmesi ve kaplamanın her sene tekrardan oluşturulup ortaya çıkan maliyetlerin düşürülebilmesi için kaplama oluşturulması özenli çalışma gerektirmektedir (Chang vd. 2021: 1).

Sathi kaplama tabakası oluşturulmadan önce dizayn işlemi oldukça önemlidir. Bu nedenle trafik değerleri, ağır taşıt trafiği, uygulanacağı bölgedeki iklim koşulları, kullanılacak malzeme özellikleri önceden saptanarak kaplama dizaynının yapılması gerekmektedir. Ülkemizde 2020 yılına kadar dizayn işlemi farklı ülkelerdeki dizayn metotlarının ülkemiz koşullarına uyarlanması ile gerçekleştirilmiştir. Fakat bu yıldan sonra Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) tarafından KGM Sathi Kaplama Dizayn Metodu oluşturulmuştur. Dizayn metodu ile birlikte ülkemiz koşullarına uygun dizayn işlemleri gerçekleştirilerek sathi kaplama performansı artırılmıştır.

Ülkemizde devlet ve il yollarında sathi kaplamalar maliyet düşüklüğü, kolay uygulanabilir ve yolun hızlı trafiğe açılabilmesi nedeni ile tercih edilme oranı oldukça yüksektir. Karayolları Genel Müdürlüğü'nün 1 Ocak 2023 tarihli verilerine (Tablo 1.1)

bakıldığında devlet yollarının %35,13'ü, il yollarının ise %74,21'ini sathi kaplamalar oluşturmaktadır. Genel yol ağı değerlendirildiğinde ise sathi kaplamalar ülkemizdeki yol ağının % 52,68 oran ile yarıdan fazlasını oluşturmaktadır. Fakat geçmiş birkaç yıla bakıldığında sathi kaplama kullanımının azalma görülmektedir. Bunun nedeni olarak ülkemizde karayolu taşımacılığının fazla olması ve artan trafik miktarıdır. Çünkü sathi kaplamanın ağır taşıt trafiği çok olan ve yüksek trafik değerine sahip yollarda kullanımı uygun değildir. Sathi kaplama uygulamasının maliyeti bitümlü sıcak karışıma oranla düşük olsa da ülkemizde karayolu üzerinden yapılan yolcu ve yük taşımacılığı oranının fazla olması sathi kaplamada bozulmalara sebep olmaktadır. Bu nedenle sathi kaplamalar ağır taşıt trafiğinin olduğu yerlerde uygun görülmemektedir. Aksi halde yüksek bakım onarım maliyetleri ortaya çıkacaktır.

Tablo 1.1. 1 Ocak 2023 itibari ile ülkemizdeki kaplama cinsine göre yol ağı

Kaplama tipi	Otoyol	Devlet yolu	İl yolu	Toplam (km)
Asfalt betonu	3633	19701	5844	29178
Sathi kaplama	-	10869	25317	36184
Diğer	-	370	2957	3327
Toplam (km)	3633	30940	34116	68689

Kaynak: (KGM, 2023)

Gerçekleştirilen tez çalışması ile birlikte sathi kaplama performansına etki eden parametreler değerlendirilmek istenmiştir. İlk olarak farklı türde agrega (Kireçtaşı, bazalt ve atık asfalt beton agregası) ve farklı penetrasyon sınıfına sahip bitümler (B 50/70, B 70/100, B 100/150, B 160/220) kullanılarak Nicholson soyulma deneyi gerçekleştirilmiştir. Farklı malzeme türü ile oluşturulan Nicholson numuneleri kendi aralarında değerlendirilerek farklı türde malzeme kullanımının soyulma performansı üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Nicholson deneyinde kullanılan agregalar ve 2 farklı penetrasyon değerine sahip bitüm (B 50/70, B 70/100) kullanılarak standart vialit yapışma deneyi gerçekleştirilmiştir. Deney ile birlikte agrega ve bitüm farklılıklarının sathi kaplama yapışma performansı üzerindeki etkisi belirlenmiştir.

Gerçekleştirilen standart vialit testinde yüksek yapışma değerine sahip numuneler belirlenerek numunelere modifiye vialit deneyi uygulanmıştır. Modifiye vialit deneyi ile birlikte sathi kaplama tabakasında kış aylarında meydana gelen bozulmaların nedenleri araştırılmak istenmiştir. Bu nedenle kış aylarında yaşanan gece gündüz arasındaki sıcaklık farkı

laboratuvar ortamına aktarılmıştır. İklimlendirme kabini kullanılarak sıcaklık farkına maruz bırakılan numunelerin yapışma performansı değerlendirilmiştir. Deney ile birlikte yalnızca sıcaklık farkı değil nemin etkisi de gözlemlenmiştir.

Ülkemiz standartlarında yer almayan süpürme testi yurt dışında literatürde yer alan kaynaklara göre kendi imkânlarımız ile uyarlanarak gerçekleştirilmiştir. Deney ASTM D 7000 standardına göre gerçekleştirilmektedir. Deneyde kullanılan malzeme türleri vialit testindeki malzemeler ile aynıdır. Deney ile malzeme türündeki farklılıkların süpürme sonucu oluşacak kayıp üzerindeki etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Tüm deneyler ve sonuçlar değerlendirilerek önerilerde bulunulmuştur.

1.1. Çalışma Özeti

Tez çalışmasının ilk bölümünde sathi kaplama ile ilgili giriş bölümü ve ülkemizdeki yeri ile birlikte yapılan çalışmanın kısaca ödevi yer almaktadır.

Çalışmanın ikinci bölümünde sathi kaplama hakkında genel bilgiler ve sathi kaplama tipleri oluşumu hakkında bilgiler verilmiştir. Sathi kaplama performansına etki eden parametreler değerlendirilerek olası sathi kaplama bozulmaları hakkında bilgiler verilmiştir. Bozulmaların meydana gelme şekilleri, birbirleri aralarındaki etkiler değerlendirilmiştir. Sathi kaplama oluşumunda kullanılan malzemeler ve özellikleri hakkında bilgiler bu bölümde değerlendirilmiştir. Bu bölümde örnek olarak sathi kaplama dizaynı gerçekleştirilmiştir. Dizayn işleminde veriler ülkemiz koşullarına göre seçilmiş ve sathi kaplama dizaynına etki eden parametreler değerlendirilmiştir.

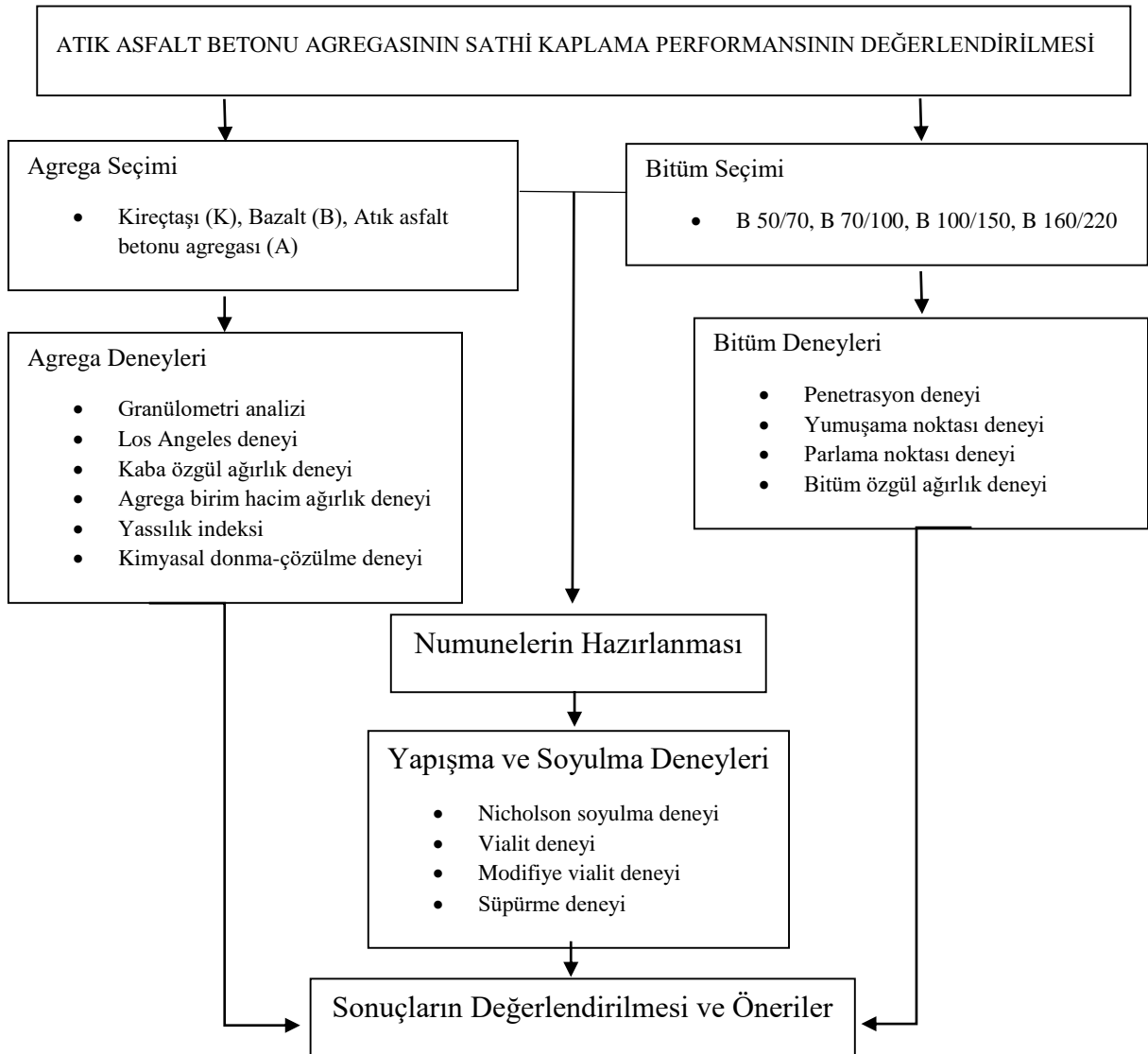
Tezin üçüncü bölümünde literatürde yer alan çalışmalarda gerçekleştirilen Nicholson soyulma deneyleri, vialit yapışma deneyleri ve süpürme deneyleri hakkında bilgiler verilmiştir. Literatürde yer alan çalışmaların gerçekleştirilme şekilleri, kullanılan malzemeler ve elde edilen veriler bu bölümde yer almaktadır.

Dördüncü bölümde tez çalışmasında gerçekleştirilen deneylerde kullanılan agrega ve bitümlerin genel özellikleri hakkında bilgiler verilmiştir. Ardından tez çalışmasında gerçekleştirilen agrega, bitüm ve sathi kaplama deneylerinin gerçekleştirilme şekilleri hakkında bilgiler yer almaktadır. Burada deneylerin yapılışı, malzemelerin uygulama miktarları ve uygulama sıcaklıkları gibi parametreler hakkında bilgiler yer almaktadır. Tez çalışmasında kullanılan agrega farklılıkları sonucunda oluşan maliyet farklılıkları bu bölümde değerlendirilmiştir.

Beşinci bölümde tez çalışmasında gerçekleştirilen agrega, bitüm ve sathi kaplama deneylerinin sonuçları yer almaktadır. Sonuçlar neticesinde malzemelerin kendi içerisinde sonuçları değerlendirilerek çıkarımlarda bulunulmuştur.

Son bölümde ise tez çalışmasında elde edilen tüm veriler değerlendirilerek sathi kaplama tabakasında kullanılan malzemelerin uygunluk özellikleri değerlendirilmiştir. Burada tez çalışmasında elde edilen verilere bakılarak önerilerde bulunulmuş ve çalışma sonlandırılmıştır.

Aşağıda yer alan Şekil 1.1'de tez çalışmasının yol haritası yer almaktadır. Burada kullanılan malzemeler, uygulanan deneyler ve verilerin değerlendirilme aşamaları yer almaktadır.



Şekil 1.1. Tez çalışması yol haritası

2. SATHİ KAPLAMA

Bitümlü sathi kaplama, yolun en üst yüzeyine uygulanan temel veya mevcut yol üzerinde yer alan taşıyıcılığı neredeyse bulunmayan bitümlü kaplama tabakasıdır. Sathi kaplama uygulanacağı yüzeye ilk olarak bitümlü bağlayıcı uygulanması ardından agrega tabakasının serilip sıkıştırılması ile oluşmaktadır. Bu nedenle sathi kaplamalar oluşturulması kolay ve ekonomik kaplamadır. Sathi kaplamalar genellikle trafik değerleri düşük ve orta dereceli yollarda geçirimsiz yani suya karşı direnci yükseltmek, kayma direncinin artmasını sağlamak, düzgün bir yuvarlanma yüzeyi sağlayan bir yapıyı elde etmek amacı ile uygulanmaktadır (KTSŞ, 2013: 403/1).

Sathi kaplamalar oluşturulma amacına uygun olarak yukarıda da belirtildiği gibi birtakım olumlu anlamda etkileri beraberinde getirmektedir. Bunlara ek olarak sathi kaplama uygulaması sonrasında karşılaşılan olumsuzlukları da beraberinde getirmektedir. Olumsuzlukları maddeler halinde sıralayacak olursak:

- Bitümlü sıcak karışımlara göre daha pürüzlü bir yapıya sahip olduğu için sürüş konforu düşük ve tekerlek ile yol arasındaki sürtünmeden dolayı gürültü fazladır.
- Yüksek sürtünme kuvveti ile birlikte tekerlek aşınması ve yakıt tüketimini artırmaktadır.
- Agregaların kopması ve tekerleklerden sıçraması sonucu diğer araçlara zarar verme ihtimali yüksektir.
- Taşıma gücü yok denecek kadar az olması sebebi ile taşıt trafiğinde ağır taşıt oranının fazla olduğu ve ağır dingil yüküne sahip yollarda kullanımını uygun değildir.
- Sık bakım ve onarıma ihtiyaç duyar ve kısa ömürlüdür (Yücel, 2011: 5).

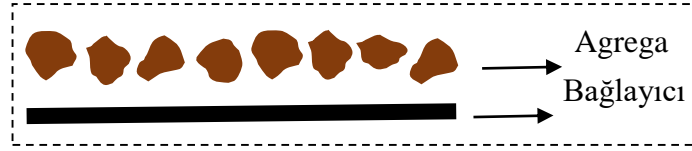
2.1. Sathi kaplama tipleri

Sathi kaplamalar bilindiği üzere astarlı temel tabakası, mevcut bitümlü asfalt kaplama ya da eski sathi kaplama üzerine koruyucu veya geçirimsiz düz bir yüzey elde etmek amacı ile oluşturulan tabakadır. Sathi kaplamalar amacına yönelik olarak farklı tiplerde uygulanmaktadır (KGM Sathi kaplama dizayn rehberi, 2020: 1).

2.1.1. Tek katlı sathi kaplama

Tek katlı sathi kaplamalar hazırlanmış mevcut yol yüzeyi ya da temel üzerine yerleştirilen ilk olarak tek kat bağlayıcı ve ardından tek kat agreganın serilip sıkıştırılması ile oluşturulan sathi kaplama tipidir. Kaplamada çoğunlukla üniform gradasyona sahip agregalar kullanılmaktadır. Sathi kaplamalar arasında en ekonomik ve kolay oluşturulan kaplama tipidir.

Bu nedenle ülkemizde yaygın olarak kullanılmaktadır. Fakat tek katlı sathi kaplamalar yüksek trafik yüküne sahip yollarda kullanılması uygun değildir. Çoğunlukla orta ve düşük trafikli yollarda kullanılmaktadır. Tek katlı sathi kaplamayı oluşturan tabakalar Şekil 2.1’de görülebilmektedir (KGM Sathi kaplama dizayn rehberi, 2020: 5).

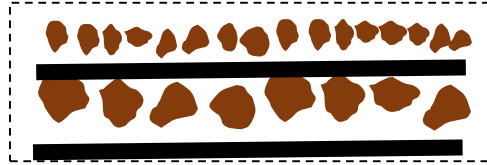


Şekil 2.1. Tek katlı sathi kaplama

Kaynak: (Sarıoğlu ve Saltan, 2021: 465)

2.1.2. Çift katlı sathi kaplama

Ülkemizde yaygın olarak kullanılan kaplama türlerinden bir diğeri çift katlı sathi kaplamalar (Şekil 2.2) tek katlı sathi kaplamaların üst üste gelmesi ile oluşan kaplama tabakasıdır. Tek katlı sathi kaplamaya göre daha dayanıklı ve suya karşı geçirgenliği daha düşüktür. Üste uygulanan tabakadaki agregası boyutu daha küçük olduğu için tek katlı sathi kaplamaya göre gürültü oluşumu daha düşüktür. Genellikle ağır taşıt trafiğine sahip yollarda kullanılmaktadır (Gürer, 2010: 10).



Şekil 2.2. Çift katlı sathi kaplama

Kaynak: (Sarıoğlu ve Saltan, 2021: 465)

2.1.3. Gömme tip sathi kaplama

Gömme tip sathi kaplamalar tek kat bağlayıcı uygulamasının ardından sırayla çift kat agregası uygulaması ile gerçekleştirilmektedir. İkinci kata serilen agregalar ilk kata göre daha küçük boyuta sahip olduğu için büyük agregalar arasındaki boşlukları doldurmaktadır. İlerleyen zamanlarda ince agregalar trafik yükleri ile boşluklara daha iyi yerleşeceği için yol kesitinde bulunan kurpta yaşanan agregası kopmaları azalmaktadır. Ek olarak gömme tip sathi kaplamalar trafik hızının ve ağır taşıt trafiğinin fazla olduğu yollarda tercih edilme oranı yüksektir (Gransberg and James, 2005: 17).

Şekil 2.3'de gömme tip sathi kaplama kesiti görülebilmektedir.

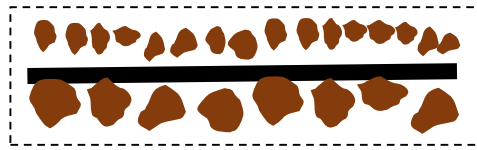


Şekil 2.3. Gömme tip sathi kaplama

Kaynak: (Sarioğlu ve Saltan, 2021: 465)

2.1.4. Sandviç tip sathi kaplama

Sandviç tip sathi kaplama, gömme tip sathi kaplamadan farklı olarak bağlayıcının iki farklı gradasyona sahip agregaların arasında uygulanması şeklinde oluşturulmaktadır (Şekil 2.4). Bu tip kaplamada sökülme oranı düşük olduğu için sökülme miktarının fazla olduğu yerlerde kullanılmaktadır. Kaplama türünün zayıf yönünden bahsetmek istersek orta ve yüksek trafik hacmine sahip yollarda kullanımının uygun olmadığı söylenebilmektedir (Sarioğlu, 2019: 12).



Şekil 2.4. Sandviç tip sathi kaplama

Kaynak: (Sarioğlu ve Saltan, 2021: 465)

2.2. Sathi kaplama performansına etki eden parametreler

Sathi kaplamada iyi performans elde edebilmek adına yol trafiğe açıldığı anda agrega sökülmelerinin olmaması için bağlayıcının agregayı tutması ve çok soğuk havalarda çatlamaması gerekir. Bağlayıcının oranının da en iyi şekilde ayarlanması agregaların yapışması açısından önemlidir. Ayrıca bağlayıcı oranı kaplama yüzey dokusunun yüksek performansta olması için bağlayıcının agregalar arasındaki boşluklara dolmaması gerekmektedir (Yücel, 2011: 6).

Sathi kaplamaların performansına etki eden birçok parametre bulunmaktadır. Genel olarak kaplamanın altındaki tabakaların (temel, alt temel veya mevcut kaplama) durumu, iklim faktörleri, kullanılacak malzemelerin oranları ve kalitesi, trafik hacmi ve ağır taşıt oranı, yol geometrisi ve uygulama sırasında yapılan hatalar kaplama performansını etkileyen parametreler

olarak sıralanabilir. Kaplamanın oluşturulacağı mevcut durumu üzerine yapılacak sathi kaplama performansını etkilemektedir. Dolayısıyla mevcut kaplamanın durumunun kontrol edilmesi büyük önem taşımaktadır. Mevcut kaplamada meydana gelen deformasyonlar tahribatsız testler ile kontrol edilerek sathi kaplama uygulanmalıdır. Kaplamada meydana gelmiş çatlaklar ileri boyutta ise bu kesime sathi kaplama uygulamasının uzun vadede bir çözüm sağlamayacağı ve yapılan kaplamanın gereken performansı göstermeyeceği bilinmektedir. Mevcut kaplamada bulunan çatlak genişliğinin 7 mm aştığı durumlarda, kaplama üzerinde çok sayıda çukur bulunması durumunda ve tekerlek izinin 15 mm'yi aştığı durumlarda sathi kaplama uygulamasının yapılamayacağını yani belirtilen durumlarda sathi kaplama performansının olmayacağını belirtmiştir. Sathi kaplama oluşturulmadan önce yolun trafik özelliklerine dikkat edilmelidir. Trafiğin hacmi, trafik içerisindeki ağır taşıt oranı ve trafik hızı sathi kaplama performansını etkilemektedir. Trafik hacmi direkt olarak agregaların gömülme derinliğini etkilemektedir. Ek olarak yavaş akan trafik kaplama yüzeyinde gerilmeleri artırıcı etkide bulunarak kuma oluşumuna etki ederken hızlı trafik ise agregaların kolaylıkla kopmasını sağlamaktadır. Kaplamada kullanılan agregaların gradasyonunun, şeklinin, temizliğinin ve nem içeriğinin performansa etkisi oldukça yüksektir. Agregaların kaba olması gömülme miktarını olumsuz yönde etkilemektedir. Kaba agregalardan oluşan agregalar birbirleri ile kenetlenme sorunu oluşturacağı için kaplamanın performansını düşürücü etkide bulunacaktır. Ek olarak kaba agrega kullanımı ile birlikte bağlayıcı kullanımı artırmaktadır. İnce gradasyona sahip agregaların kullanımında ise bitüm miktarının özenli bir şekilde ayarlanması gerekmektedir. Kaplamanın performansına yol güzergâhında yer alan iniş ve çıkış eğimlerinde düz kesimlere nazaran araç hızları farklı olacağı için performansa etkisi farklıdır. Çıkış eğiminde araçların hızları düşük olduğu için gerilme artışı ile birlikte kuma oluşumu ile performans düşüşleri yaşanmaktadır. İniş eğimlerinde ise araç hızları yüksek olacağı için agrega sökülme riski yaşanabilmektedir. Dönüş, yavaşlama- hızlanma olaylarının görüldüğü kavşak ve yolun kurp kesimlerinde kaplama performansı düşmektedir. Bu kesimlerde araç hızları ve frenleme etkisi ile yol yüzeyinde sökülme ve kumalar meydana gelebilmektedir. Kavşak ve kurplarda araçların kontrollü hızlarda seyretmeleri sağlanarak performans düşüşüne neden olan etkiler azaltılabilir. Kaplamada kullanılacak agregaların silindirleme ve trafik yükleri altına kırılmaya karşı dayanımının düşük olması performansı olumsuz olarak etkilemektedir. Ek olarak agregaların donma-çözünme ve çevresel etkilere karşı dayanıklı olmaması agrega kaybı ile birlikte parçalanma sonucu değişen gradasyon ile birlikte kuma sorunları oluşabilmektedir. Kullanılan bağlayıcıda önemli performans etkilerinden birisi de bağlayıcının viskozite değeridir. Düşük viskoziteye sahip bitümler sıcak iklim kuşaklarında ve yolun eğimli

kesimlerinde akma sonucunda agregaları tutmayacaktır ve kaplamanın performansı düşecektir. Yüksek viskoziteye sahip bitümlerde ise agrega gömülmesi düşük olacaktır. Performans açısından soğuk kesimlerde düşük viskoziteli, sıcak kesimlerde ise yüksek viskoziteli bitümlerin tercih edilmesi performansı artırmaktadır. Adezyon kuvveti agrega serimi sırasında yaşanan bitüm sıcaklığının düşmesinden etkilenmektedir. Bitümün uygulandığı yüzeyin sıcaklığının düşük ve hava sıcaklığında yaşanan ani sıcaklık düşüşü sonucunda uygulanan bitümde sertleşme yaşanacaktır. Yani bitümün viskozitesi artacak ve agrega adezyon kuvveti düşecektir. Bu etkilere dikkat edilmez ise kaplamada performans düşüşü ile birlikte bozulmalar meydana gelecektir (Aktaş 2012: 30).

Kullanılan bağlayıcı ve agrega özellikleri, agrega yüzeyinin temizliği (yüzeyde kir, toz bulunması) ve uygulanması sırasında oluşan sıcaklık değişimi ve hava koşulları etki etmektedir. Sathi kaplamalarda performansa etki eden en önemli özelliklerden birisi de agregaların gömülme oranıdır. Gömülme oranı ise taşıtların hızına, miktarına ve dingil yüküne göre değişmektedir. Trafığın yoğun olduğu şeritlerde ve trafik hızının yavaş olduğu kesimlerde gömülme fazladır. Gömülmenin fazla olduğu yerlerde kuma sorunları oluşabilir buda kaplama performansını olumsuz yönde etkilemektedir. Ek olarak sathi kaplamayı kullanan trafikteki araçlar hafif ve hızlı araçlar ise buda kaplamadan agrega kopmalarının yaşanmasına sebep olmaktadır. Kopmaların artması ile kaplama performansı düşmekte ve kaplamanın ömrü azalmaktadır. Sathi kaplamanın performansına etki eden bir başka trafik etkisi ise trafiğin yönlere göre dağılımıdır. Ağır taşıtın kullandığı sağ şeritte yüksek dingil yükü ve düşük hızlar sebebi ile gömülmeye bağlı olarak kuma bozulması yaşanma olayı yüksektir. Sol şeritte yani hızlanma şeridinde ise araç hızları yüksek ve düşük dingil yükleri sebebi ile agrega sökülmeleri yaşanmaktadır. Agregalar sıkışma ile birlikte en uzun kenarlarına doğru yönelmektedir. Eğer yassı agrega oranı yüksek ise kaplamada kuma sorunları ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenle kaplama performansının yüksek olabilmesi için kübik agregaların kullanımı önemlidir. Yukarıda da belirtildiği gibi kaplamada kullanacağımız agregaların gradasyonunun iyi derecelendirilmiş olması gerekmektedir. Bunun yanında agregaların silindir ile sıkıştırılması da önemlidir. Silindireme sonrasında agregaların %30 gömülme oranına sahip olması öngörülür. Ardından trafik etkisi ile agregaların %60-70 gömülme oranına sahip olması beklenir. Gömülme oranı %30'un altında kalırsa agrega sökülmeleri, %60-70'in üzerine çıkması halinde ise kuma sorunları meydana gelmektedir. Sıcak havalarda bitümün yumuşaması ile birlikte kuma ve fazla gömülme sorunları ortaya çıkacaktır. Soğuk havalarda ise bitümün sertleşmesi sonucunda agrega kopması ve bitümün çatlaması sorunları kaplama performansını

düşürecektir. Bu nedenle bölgenin iklim koşulları göz önünde bulundurularak bağlayıcı tercihi ve oranı belirlenerek oluşabilecek performans düşüşleri ortadan kaldırılacaktır. Kaplama uygulaması sırasında bölgede oluşan sıcaklık düşüşü ve rüzgâr sonucunda uygulanan bağlayıcının sıcaklığında düşüş yaşanacak ve agrega ile birleşme oranı düşük olacaktır. Tersine bir durumda yani sıcaklık artışı ile birlikte agrega uygulamasından sonra sıkıştırma ve trafik etkisi ile birlikte agrega bitüm içerisine fazla gömülecek ve kuma sorunları ile birlikte performans düşüşleri yaşanacaktır. Bu nedenle sıcak havalarda bitüm miktarını azaltmak, soğuk havalarda ise bitüm miktarını azaltmak performansı artırmak açısından önemlidir (KGM Sathi kaplama dizayn rehberi, 2020: 1).

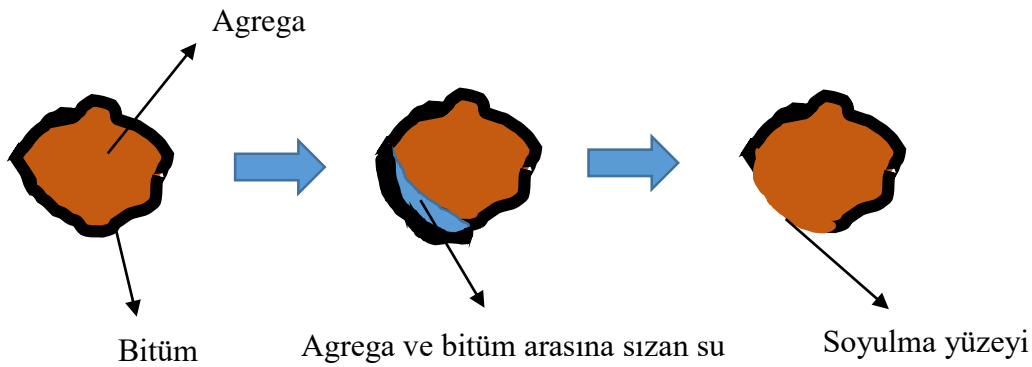
Agregaların temizliği ve nem içeriği de kaplama performansını etkilemektedir. Agregalar yüzeyinde toz ve kir bulunmaması gerekmektedir. Toz ve kirli yüzeye sahip agregalar bitüm ile tam olarak bağlanamayacağı için kolaylıkla sökülecektir. Bu nedenle agregaların temiz olmasına dikkat edilmelidir. Yıkama işlemi yapılabilirse yıkama yapılmalıdır. Yıkama işlemi yapılamaz ise kirli agregadan daha az etkilenen emülsiyon tipi bağlayıcılar kullanılmalıdır. Agregaların nem içeriği ise yüzey kuru suya doymuş şekilde agrega kullanılması sathi kaplamaların performansına en iyi etki eden nem içeriğidir. Sathi kaplama oluşumunda kullanılan malzemelerden diğeri ise bitümlü bağlayıcılardır. Sathi kaplamada son zamanlarda bağlayıcı olarak emülsiyon kullanımı yaygınlaşmıştır. Gelişen teknoloji ile birlikte modifiye edilmiş emülsiyonlar ile kaplamanın performansı artırılmaktadır. Sathi kaplamada hızlı kür olan emülsiyonlar ile birlikte kaplama oluşturulmasının ardından trafiğe açılmaktadır. Eğer yol taşıt trafiğine açılmayacak ise orta hızda kesilen emülsiyonların kullanılması ile iyi performanslar elde edilebilir. Ayrıca orta hızda kesilen emülsiyonlar kirli agregalar ile kullanılması ile oluşabilecek sıkıntılar ortadan kaldırılabilir ve kaplamada performans düşüşleri yaşanmaz (Shuler vd., 2011: 3).

Bitüm ve agrega arasındaki bağ kuvveti sathi kaplamadaki performansa etki eden en önemli etki olarak söylenebilir. Adezyon yani tutunma kuvveti, agreganın yüzey dokusu, gözenekli yapısı ve yüzey kimyası etkili olmaktadır. Agregalar yüzeyinin elektrik yükü ise bağlayıcı seçiminde önemli rol oynamaktadır. Kullanılan agrega yüzeyi pozitif yüklü ise bağlayıcının negatif özelliğe sahip olması agrega ve bağlayıcı arasındaki adezyon kuvvetini belirlemektedir. Adezyon kuvvetinin kaybolması sonucunda agrega kopması ve sökülmesi gibi bozulmalar meydana gelmektedir (Gheni vd., 2018:2 ; Kumbarger vd., 2019: 1).

Adezyon kuvvetinin kaybolmasına neden olacak parametreler aşağıda maddeler halinde verilmiştir. Bunlar:

- Uygulama miktarından daha az bağlayıcı kullanılması,
- Serilme sonrası hava sıcaklığında yaşanan düşüş ve yağış oluşumu,
- Toz, kir ve nem bulunduran agrega kullanımı,
- Agrega ve bağlayıcı arasındaki uygunluk,
- Uygulama sırasında yapılan hatalar (Gürer vd., 2019: 402)

Adezyon etkisinin kaybolmasının nedenlerinden birisi de suyun bağlayıcıya göre agrega ile daha kolay bağ oluşturabilmesidir. Kaplamada oluşan su etkisi ile birlikte polaritesi düşük olan agrega ve su birleşir. Yani su agrega yüzeyine yerleşerek orada bir film tabakası oluşturur ve bağlayıcının agregadan soyulmasını sağlar. Şekil 2.5’de suyun, agrega ve bitüm arasındaki adezyon kuvvetine etkisi görülebilmektedir. Adezyon kuvvetinin bozulmasının ardından kaplamada bozulmalar meydana gelir (Çubuk vd., 2013: 262).



Şekil 2.5. Su etkisi ile sathi kaplamada yaşanan soyulma

Kaynak: (You vd., 2019: 323)

Gheni vd. (2018: 2) sathi kaplamaların sahip olması gereken özelliklerden birisi de su geçirgenliğinin düşük olmasıdır. Bu nedenle tek boyutta agregaların kullanımı daha uygundur. Farklı boyutta agregaların kullanımı farklı gömülme derinliğini ortaya çıkarmakta ve agregaların kopmasını kolaylaştırmaktadır. Böylelikle kaplamanın performansında düşüş yaşanmaktadır.

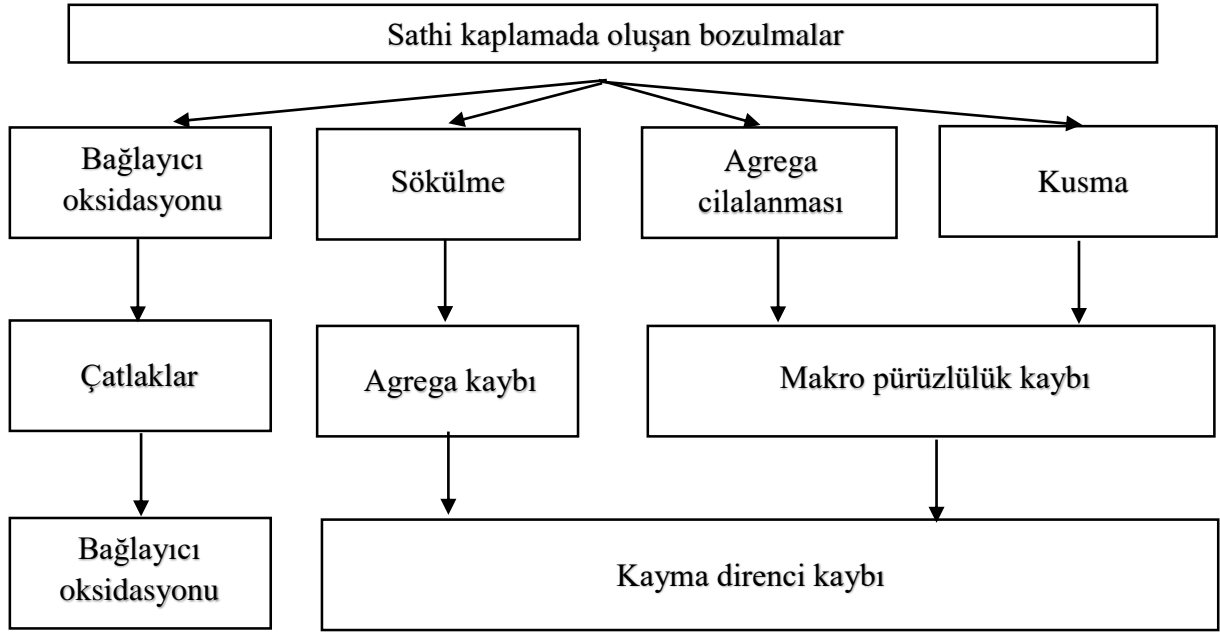
Rahman vd. (2020: 2), sathi kaplamanın, mevcut kaplama yüzeyine uygulanması ile ilgili mevcut kaplamada derin tekerlek izi ve ondülasyonlar olması halinde uygulanması uygun olmadığını söylemiştir. Bu kısımların düzeltilmesinin ardından sathi kaplama uygulamasının yapılması öngörülebilmektedir.

Sathi kaplamada kirli ve tozlu agrega kullanımı ile birlikte agreganın bitümle bağı güçleşecektir. Toz agrega ve bitüm arasına girerek birleşmeyi olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle kaplama performansının düşmemesi adına temiz agrega kullanımı oldukça önemlidir. Bunun yanında adezyon kuvvetini etkileyen diğer koşullardan bahsetmek istersek uygulama sırasında yapılan hatalardır. Uygulama yapılırken bağlayıcı oranının yetersiz olması, yanlış uygulanması ve sıkıştırma sırasında yapılan hatalar adezyon kuvvetini etkileyerek performansı düşürmektedir. Yukarıda yer alan parametrelerin büyük çoğunluğunun yerine getirilmesi ile birlikte oluşturulacak olan kaplamanın servis ömründe büyük ölçüde uzamalar yaşanacaktır. Performansın düşmesi ile birlikte oluşacak olan bozulmalar sonucunda sürüş konforu düşmesi ve daha ileri aşamalarda yaşanacak kazaların önüne geçilebilecektir. Bu nedenle sathi kaplama projelendirilmesinde ve oluşumu sırasında performansı düşürecek parametreler göz önünde bulundurulmalıdır.

2.3. Sathi kaplamada oluşan bozulmalar

Sathi kaplamalarda trafik etkisi (trafik hacmi, ağır taşıt oranı vb.), iklim ve sıcaklık değişimleri etkisi ile meydana gelen yapısal bozukluklar meydana gelmektedir. Belirtilen etkilerle beraber sathi kaplama oluşumunda kullanılan malzeme kalitesi, uygun malzeme ve tasarımın seçilmemesi, uygulama hataları ve rutin bakım işlemlerinin gerçekleştirilmemesi gibi etkilerde kaplamada oluşan bozulmalara etki etmektedir. Sathi kaplamada meydana gelen bozulmalar kuma, agrega kaybı, agrega parçalanması, ayrışma, tekerlek izi, çökme veya kabarma ve kayma direnci olarak karşımıza çıkmaktadır (Yücel, 2011: 43).

Aşağıda Şekil 2.6'de sathi kaplamada meydana gelen bozulmaların oluşumu yer almaktadır. Şekle bakıldığında bozulmaların ortak sonuçlar ortaya çıkarabildiği görülebilmektedir. Kuma sonucunda yol yüzeyindeki makro yapının bozulması ile birlikte kayma direnci kaybı yaşandığı görülebilmektedir. Kayma direnci kaybına neden olan başka faktörlerde bulunduğu görülebilir. Agregaya kaybı ya da agregaların cilalanması da kayma direnci kaybına neden olmaktadır. Kısaca ifade etmek istersek kaplamada meydana gelen farklı bozulmalar aynı sonucu doğurabilmektedir.



Şekil 2.6. Sathi kaplamada meydana gelen bozulma modeli

Kaynak: (Gransberg ve James, 2005: 58)

2.3.1. Sökölme, ayrışma ve parçalanma

Sökölme (agrega kopması), agrega ve bitüm arasındaki adezyon kuvvetinin kaybolması sonucunda gerçekleşmektedir. Adezyon kuvveti trafik etkisi ve yol yüzeyinde oluşan birikintilerin etkisi ile kaybolmaktadır. Agregaların kopması sonucunda yüzeydeki sular kopan agregaların bulunduğu konumdan tabakanın altına sızmaktadır. Yolun alt tabakalarına sızan su yol yapısının bozulmasına neden olmaktadır. İlerleyen aşamada yol yüzeyinde ayrışmalar ve parçalanmalar meydana gelerek yol yapısı ileri düzeyinde ileri düzeyde bozulmalar yaşanmaktadır. Bozulmalar yol yüzeyinde gözle görülebilir şekilde çukurlar olarak görülebilmektedir (Yücel, 2011: 43).

Sökölmeler trafik yüklerinin de etkisin daha fazla olduğu araç lastiklerinin yol yüzeyinde denk geldiği kesimlerde daha çok görüldüğü bilinmektedir. Bu kesimlerde yol yüzeyi oldukça dağınık ve bakımsız bir görünüme sahip olmaktadır (Gransberg ve James, 2005: 58).

Sathi kaplamada yaşanan agrega kopmasının altında birçok neden yatmaktadır. Nedenler aşağıda maddeler halinde sıralanmaktadır.

- Agreg a ve bitümün yanlış sečilmesi,
- Bağlayıcı uygulamasının yetersiz ve sıcaklığının düşük olması,
- Agreg a uygulaması bağlayıcı sıcaklığını kaybettikten sonra uygulanması,

- Agreganın toz kir gibi yabancı maddeler içermesi ve su içeriğinin yüksek olması,
- Sıkıştırma işleminin geç, fazla ya da özensiz gerçekleştirilmesi,
- Sathi kaplama uygulamasından hemen sonra yolun trafiğe açılması,
- Kaplama uygulamasının ardından sıcaklık değişimi ve yağış oluşumu şeklinde sıralanmaktadır (Uluçaylı, 2002: 365).

Yukarıdaki nedenler neticesinde sathi kaplamada agrega kopmaları meydana gelmektedir. Agreganın kopması yolun belirli kesimlerinde yaşanabilmektedir. Şekil 2.7'de Bilecik ilinde bulunan sathi kaplama tabakasında yolun orta kesiminde yani birleşim yerinde yaşanan agreganın kopması görülebilmektedir. Kesişim bölgesinde agregaların neredeyse tamamının kaplamadan ayrıldığı bitüm tabakasının görülür hale geldiği görülmektedir. Tekerleklerin geçtiği noktalarda da agregaların belirli bir kısmının söküldüğü görülebilmektedir.



Şekil 2.7. Sathi kaplama agrega sökülmesi

2.3.2. Çukur oluşumu

Agrega kaybının ilerleyen aşamalarda gözle görülür çukurlar oluşturduğu bozulma türüdür. Çukurların oluşması sonucunda temel tabakası görünür bir hal almaktadır. Çukurlar suyla dolarak daha büyük şiddetteki çukurların oluşumuna kadar ilerlemektedir.

Derinliği 2,5 cm'de ve çapı 10 cm'den kukk olan çukurlar hafif Şiddetli, derinliği 2.5-5 cm ve çapı 10-30 cm arasında olan çukurlar orta Şiddetli ve derinliği 5 cm'den ve çapı 30 cm'den buyk çukurlar buyk Şiddetli olarak sınıflandırılabilir.

Çukurların oluşum nedenleri aşağıda maddeler halinde bulunmaktadır. Bunlar:

- Agregaların araç lastiklerinin etkisi ile kopması,
- Bağlayıcı uygulamasının yetersiz olması
- Agregaların kir ve tozlu olup bağlayıcıyla birleŐmemesi,
- Temel ve alttemel içinde kil bulunması ya da taban zemininden kilin bu tabakalara yükselmesi,
- Kaplamanın drenaj seviyesinin yetersiz olması,
- Silindirin yetersiz sıkıştırma yapması gibi nedenler sonucunda çukur oluşumunu gözlemlenmektedir (etin, 2012: 95).



Şekil 2.8. Sathi kaplama çukur oluşumu

Yukarıda görülen Şekil 2.8'de Konya'nın Seydişehir ilçesinde sathi kaplamada meydana gelen çukur oluşumunu görülebilmektedir. Burada oluşan çukurun gözle görülebilir derecede buyk olduğu söylenilmektedir. Çukurun kenar kısmında sathi kaplama tabakasının tamamen söküldüğü ve alt tabakaların görünür hale geldiği görülebilmektedir.

2.3.3. Kusma

Kusma bozulması bağlayıcının kaplama yüzeyinde gözle görülür şekilde belli olması olarak tanımlanabilmektedir. Agregalar arasındaki boşluklara fazla miktarda bağlayıcı dolması kusma oluşumunun nedeni olduğu söylenmektedir. Bozulma bağlayıcının yüzeye doğru ilerleyerek kaplama üzerinde siyah, düz ve parlak bir şekil alması olayıdır. Kusma genellikle sıcak havalarda gözlemlenen bir bozulma türü olarak karşımıza çıkmaktadır. Bitüm içerisine agregaların olması gerekenden fazla gömülmesi sonucu ortaya çıkmaktadır (Gürer, 2010: 19).

Kusma bozulmasının birçok nedeni bulunmaktadır. Bunlar 4 ana başlık altında toplanabilmektedir.

1. Agregata etkisi

- Zamanla oluşan agregata kaybı,
- Yanlış gradasyonda ve fazla miktarda agregata kullanımı,
- Kullanılan agregatların hafif ve yüzeyinde toz bulunmasıdır.

2. Bağlayıcı etkisi

- Uygun olmayan bağlayıcı seçimi (Çevre şartlarına uygun olmaması ve kalitesi),
- Bağlayıcının gereğinden fazla ya da düşük miktarda uygulanmasıdır.

3. Trafik etkisi

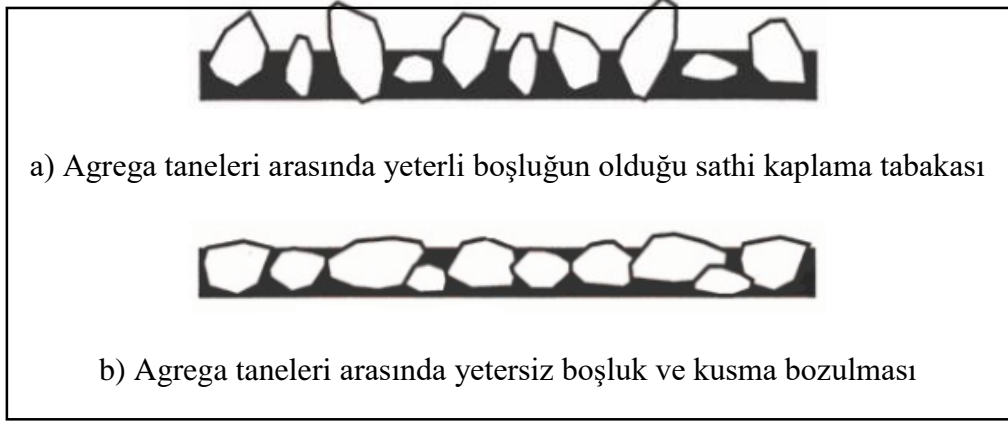
- Trafik hacminin fazla olması,
- Trafiğin içinde bulundurduğu ağır taşıt oranının fazla olması,
- Trafik içerisindeki taşıt hareketleri ve kavşak noktaları etki etmektedir.

4. Çevresel etkiler

- Yüksek ya da düşük sıcaklıklar,
- Ani sıcaklık değişimleri ve nem etki etmektedir (Çetin vd., 2015: 224)

Yukarıda da belirtildiği gibi sathi kaplamada bir ya da birden fazla nedenin bir araya gelmesi sonucunda sathi kaplamada kusma sorunları meydana gelmektedir. Şekil 2.9.a'da yeterli boşluğa sahip sathi kaplama tabakası görülmektedir.

Fakat boşlukların yukarıdaki sebepler neticesinde kaybolması ve bağlayıcının üst katlara ilerlemesi sonucunda Şekil 2.9.b’de görülen durumun meydana geldiği ve kaplamada kuma bozulmasının yaşandığı görülebilmektedir.



Şekil 2.9. Kuma bozulması

Kaynak: (Çetin vd., 2015: 223)

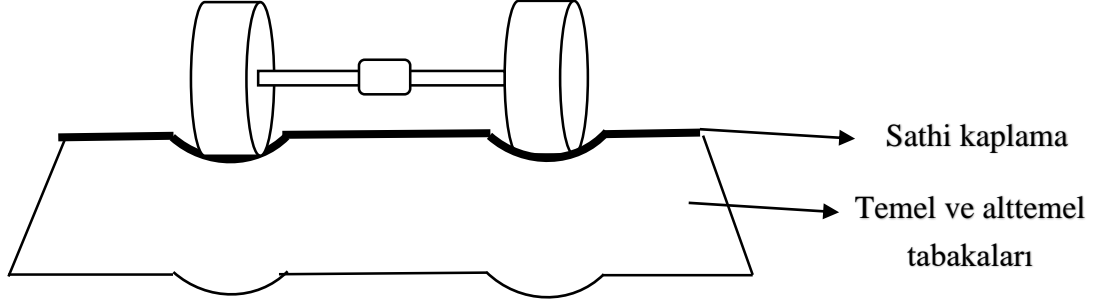
2.3.4. Tekerlek izi, kabarma ve çökme

Tekerlek izi oluşumu yol ekseninde araç lastiklerinin denk geldiği kısımlarda dingil yükleri etkisi ile sathi kaplama altındaki tabakalarda meydana gelen deformasyonlar sonucu ortaya çıkmaktadır. Bu kısımlarda temel tabakasında sıkışma ya da kabarmalar meydana gelmektedir. Sathi kaplamalar, bitümlü sıcak karışımlara göre daha ince ve yük taşıma kapasitesi yok denecek kadar az olması sebebi ile kullanıldığı kesimlerde alt tabakalara gelen gerilmeler daha fazla olmaktadır. Bu nedenle sathi kaplamanın kullanıldığı kesimlerde bozulmaların (tekerlek izi, çökme ve kabarma) görülme ihtimalini artırmaktadır.

Şekil 2.10’da görülen tekerlek izi, çökme ve kabarma bozulmalarının nedenleri aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Sathi kaplama altında yer alan temel ve alttemel tabakalarında kullanılan malzemelerin dayanımının düşük ve tabaka kalınlıklarının yetersiz düzeyde olması,
- Sathi kaplama uygulanacak kesimde kaplama altındaki doğal zemin, temel ve alttemel tabakalarının kompaksiyonunun yetersiz seviyede olması,
- Yolun yan kısımlarındaki şevlerin yetersiz ve tutunamayan malzemedan oluşması,
- Yer altı seviyesinin yüksek olması,

- Kaplama altında kalan tabakalardaki kapiler boşlukların ince malzeme ve kil gibi maddelerle dolması gibi nedenler sonucunda sathi kaplamalarda tekerlek izi ve çökme gibi bozulmalar görülmektedir (Gürer, 2010: 21).



Şekil 2.10. Tekerlek izi oluşumu

Kaynak: (Kutulan ve Ağar, 2009: 182)

2.3.5. Kayma direnci kaybı

Kayma direnci yol yüzeyi ile araç lastiği arasındaki tutunma kuvvetini belirtmektedir. Sathi kaplamanın en önemli özelliklerinden birisi de kayma direncinin yüksek olmasıdır. Bu nedenle araçların lastik tutuşu artacak ve trafikte kazalar daha az yaşanacaktır. Fakat zamanla sathi kaplamalarda kullanılan agregaların cilalanması ya da bitümün yol yüzeyine çıkması sonucunda kayma direnci kaybı yaşanmaktadır. Yol kesiminde kayma direncinin kaybolması kaza riskini artırmaktadır.

Sathi kaplamada kayma direncinin kaybolmasına sebep olan etkiler aşağıda maddeler halinde verilmiştir. Bunlar:

- Kaplamada kullanılan agregaların aşınma dayanımının ve cilalanma değerinin düşük olması,
- Uygun olmayan agrega gradasyonu,
- Yol yüzeyinin dokusu ve buna bağlı olarak agreganın makro ve mikro pürüzlülüğü,
- Araç lastiklerinin durumu,
- Kasma,
- İklim koşulları kayma direncinin kaybolmasına neden olmaktadır (Gürer, 2010: 22)

Makro ve mikro pürüzlülük özellikleri (Şekil 2.11) yol kayma direncini etkilemektedir. Makro pürüzlülük yol yüzeyinde oluşan ince film halindeki suyun araç lastiği ile yol arasına girerek kayma direncinin kaybolmasını sağlar. Kayma direncinin kaybolmaması için buradaki suyun drene edilmesini sağlayan özellik makro pürüzlülük olarak söylenebilmektedir. Mikro

pürüzlülük ise araç ile kaplama arasındaki tutunma özelliğini belirtmektedir. Makro pürüzlülük özelliğine göre daha küçük ölçekli bir yapıya sahiptir. Mikro pürüzlülüğün kaybolmasının sebebi kullanılan agregaların cilalanma değerinin düşük olmasıdır. Bu nedenle kullanılacak agregaların cilalanmaya karşı direncinin yüksek olması istenilen durumdur (Kaçmaz, 2015: 7116).



Şekil 2.11. Makro ve mikro pürüzlülük özellikleri

Kaynak: (Gheni vd. 2017: 1085)

2.3.6. Timsah sırtı çatlaklar

Tekrarlı yükler altında kaplama yüzeyinde oluşan birbiri ile bağlantılı çatlaklar timsah sırtı çatlaklar olarak isimlendirilmektedir. Çatlaklar tekrarlı yüklerin olduğu kesimlerde oluşmaktadır. Gelişen çatlaklar tekrarlı yükler etkisi ile oluştukları için yorulma çatlakları olarak da isimlendirilmektedirler. Oluşumları birbirine paralel çatlakların oluşması ile başladıktan sonra çatlaklar birbirleri ile birleşerek bozulmuş bir yüzey oluştururlar. Timsah sırtı çatlaklardan kaplama altına kolaylıkla su sızabileceği için tespit edilip onarılması önemlidir. Çatlaklar kış aylarında soğğun etkisi ile daha çok görünür hale gelmektedir. Sıcak günlerde kaplama genişeyeceği için çatlakların tespiti daha zor olacaktır. Çatlakların oluşum nedenleri aşağıda maddeler halinde bulunmaktadır. Bunlar:

- Ağır taşıt trafiği ve ağırlığın tekrarı,
- Çevresel etmenler ve iklim
- Kaplamada kullanılan malzemelerin dayanımının düşük olması,
- Tabakaların taşıma gücünün düşük olması ve yetersiz sıkıştırma sonucu timsah sırtı çatlaklar gelişmektedir.

Timsah sırtı çatlaklar bozulmanın büyüklüğüne göre hafif, orta ve büyük şiddette karşımıza çıkmaktadır. Bunlar:

- Hafif şiddette timsah sırtı çatlaklar, kılcal büyüklükteki çatlaklardır. Timsah sırtına benzeyen bir görüntü şeklinde görülmektedir.
- Orta şiddette timsah sırtı çatlaklarda ise kaplama az da olsa parçalanma yaşamaya başladığı bir seviyededir. Boyuna çatlaklar birbirleri ile kesişmeye başlamıştır.
- Büyük şiddetli çatlaklar, tamamen kaplamadaki çatlaklar birbirleri ile kesişmiştir. Kaplama yüzeyine gelen sular alt tabakalara doğru sızma eğilimi göstermeye başlamıştır (Çetin, 2012: 45).

2.4. Sathi kaplama oluşumunda kullanılan malzemeler ve özellikleri

2.4.1. Agregalar

Aşağıdaki Tablo 2.1'de Karayolları Teknik Şartnamesinde (KTS) yer alan sathi kaplamada kullanılacak agregaların sahip olması gereken gradasyon limitleri görülebilmektedir.

Tablo 2.1. Agregalar gradasyon limitleri

Elekler	% Geçen				
	A-Tipi	B-Tipi	C-Tipi	D-Tipi	E-Tipi
1''	100	100			
3/4''	0-20	90-100	100		
1/2''	0-10	0-20	90-100	100	
3/8''		0-10	0-20	90-100	100
1/4''					90-100
No.4	0-2	0-2	0-2	0-20	60-85
No.10				0-2	0-2

Kaynak: (KTS, 2013: 403/1)

Sathi kaplamanın en üst yüzeyini oluşturan agregalar temel ve bağlayıcıyı trafik etkilerine karşı korur. Agregalar bu görevi yerine getirebilmesi için dayanıklı olması gerekmektedir. Bunun yanında agrega yüzeyinde kir, toz ve zararlı maddelerin bulunmaması önemlidir. Aksi halde bağlayıcı ile birleşmesinde sorunlar ortaya çıkacaktır. Bağlayıcı ile birleşebilmesi için temiz olmasının yanında yüzeyinin pürüzlü olması da önemlidir. Yüzeyi düz

kaygan olan agregaların bağlayıcı ile birleşme oranları oldukça düşüktür. Yüzey pürüzlülüğünün yanında agregaların cilalanmaya karşı dayanımlarının da yüksek olması istenmektedir. Kaplama içerisinde kullanılan agregadan istenilen diğer özellikler ise yassı tane oranının düşük, düzgün kübik ve birbirine kenetlenen ve uygun gradasyona sahip olmasıdır (Aşma, 2022: 6).

KTŞ’de yer alan gradasyon tipleri için A ve B tipleri temel tabakasının üzerine tek kat olacak şekilde uygulanması önerilmektedir. Kaplama uygulanacak yol kesiminde önceden sathi kaplama bulunuyorsa ve mevcut sathi kaplamanın performansı artırılmak isteniyorsa A, B, C ve D tipi gradasyona sahip agrega uygulamasının yapılması önerilmektedir. Eğer çift kat sathi kaplama uygulaması yapılmasına karar verilmiş ise şartnamede de belirtildiği gibi üst tabakada yer alan agregaların alt tabakadaki agregalara göre dane boyutlarının daha küçük olması uygundur. Aşağıdaki Tablo 2.2’de yer aldığı gibi birinci ve ikinci kata uygulanacak olan çift kat agrega uygulaması görülebilmektedir.

Tablo 2.2. Çift kat sathi kaplama uygulaması gradasyon limitleri

	Çift kat Tip-1	Çift kat Tip-2	Çift kat Tip-3
1. Kat	A- Tipi	B- Tipi	C- Tipi
2. Kat	C- Tipi	D- Tipi	E- Tipi

Kaynak: (KTŞ, 2003: 403/2)

Sathi kaplamada kullanılacak agregalar şartnamede de yer alan belirli şartları sağlamalıdır. Aksi halde sathi kaplamadan beklenen performansı gerçekleştiremeyecek ve kısa sürede kaplama bozulmalara uğrayacaktır. Aşağıda yer alan Tablo 2.3’de sathi kaplamada kullanılacak agregaların sahip olması gereken özellikler verilmiştir. Tabloya bakıldığında sathi kaplama agregasının kırılmaya karşı direnci yüksek, iklim şartlarına bağlı olarak gerçekleşen donma çözünme olayına karşılık dayanımı yüksek, trafik etkisi altında aşınmasının ve cilalanmasının düşük, daha çok kübik şekle sahip yani yassı tane oranı düşük, su ile bağ yapma ihtimalinin düşük, yüzeyinin temiz ve yabancı maddelerden arındırılmış olması gibi özellikler istenmektedir.

Tablo 2.3. Sathi kaplama agregası sahip olması gereken özellikler

Deneyleer	Şartname limitleri	Standart
Los Angeles, %Kayıp	≤ 30 (LA ₃₀)	TS EN 1097-2 AASHTO T-96
Donma deneyi (MgSO ₄), %Kayıp	≤ 18 (MS ₁₈)	TS EN 1367-2
Aşınma direnci, %Kayıp	≤ 25 (M _{DE} 25)	TS EN 1097-1
Kırılmışlık, %	$\geq 80 - \leq 0$ (C _{80/0})	TS EN 933-5
Soyulma mukavemeti, %	≥ 60	TS EN 12697-11
Yapışma deneyi (Vialit Deneyi), %	≤ 10	-
Cilalanma değeri	≥ 40 (PSV ₄₀)	TSS EN 1097-8
Yassılık indeksi, %	≤ 25	BS 812
	≤ 20 (FI ₂₀)	TS EN 933-3
Su emme, %	$\leq 2,5$ (WA ₂₄ 2.5)	TS EN 1097-6
Kil toprakları ve ufalabilir tane oranı, %	$\leq 0,3$	ASTM C 142 AASHTO T 112

Kaynak: (KTŞ, 2013: 403/3)

2.4.2. Bitümlü bağlayıcılar

Bağlayıcı, temel tabakası veya mevcut yol yüzeyine uygulanan agregaların yüzeye yapışmasını sağlayan siyah renkli malzemedir. Bağlayıcılar katı, yarı katı ve sıvı halde bulunmaktadır. Sıvı haldekiler uygulanacağı çevreye ve projeye uygun ise direkt olarak uygulanırken katı ve yarı katı olanlar ısıtılıp sıvı hale getirilmesinin ardından yol yüzeyine uygulanmaktadır. Bağlayıcılar adezyon ve kohezyon özellikleri ile bağlantılı olarak yapışkan bir yapıya sahiptir. Bağlayıcıdan beklenen agrega sıkıştırılma işleminin ardından agregaları sıkıca kavraması ve sökülme gibi etkilere karşı dirençli olması gerekmektedir. Bağlayıcılar genel anlamda bitümler ve katranlar olmak üzere iki ana alt başlıkta toplanmaktadır (KGM Bitümlü Bağlayıcılar Laboratuvar El Kitabı, 2021: 10).

Sathi kaplama tasarımı yapılırken bağlayıcı olarak bitüm, katbek asfaltlar ve bitüm emülsiyonları kullanılmaktadır. Kullanılan bağlayıcıların istenilen özellikleri yerine

getirebilmesi için sıvı kıvama getirilmesi gerekmektedir. Bitümler ısıtılarak istenilen sıvılığa getirilir. Katbek asfaltlarda ve bitüm emülsiyonlarında ise akıcılık sağlamak adına katbek asfaltlarda inceltici malzemeler (gaz yağı, benzin ve bakiye yağ), bitüm emülsiyonları ise içerisine su ilave edilerek yol yüzeyine uygulanmaktadır. Kaplama kullanılacak bağlayıcıların sahip olması gereken özellikler aşağıda maddeler halinde verilmiştir. Bunlar:

- Bağlayıcı yol yüzeyinin tüm kısımlarına eşit miktarda uygulanacak sıvılıkta olmalıdır.
- Bağlayıcı yoğunluğu agrega uygulamasının ardından agregalara yeterli tutunma yüzeyi olacak şekilde olmalıdır.
- Silindir ve trafik etkisi altında agrega kopmasını engellemek adına agrega tutunmasını sağlamalıdır.
- Uygulandığı yerdeki sıcaklık ve yağış gibi etkilerin oluşturacağı olumsuzluklara karşı direncinin yüksek olması gerekmektedir (Aktaş, 2012: 37).

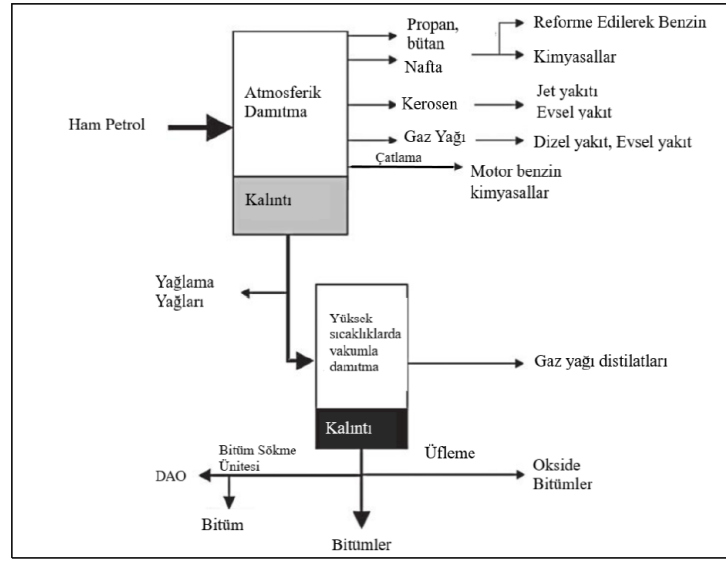
Sathi kaplama uygulaması sırasında ortam koşullarına uygun olarak birçok bağlayıcı tipi kullanılmaktadır. Bağlayıcı seçimi oldukça dikkat edilmesi gereken bir husustur. Yanlış bağlayıcı seçimi sonucunda kaplamada kuma, sökülme gibi bozulmalar meydana gelmesi ile birlikte oluşturulan tabakanın servis ömrü oldukça kısa olacaktır. Sathi kaplamada kullanılan bağlayıcılar ile ilgili bilgiler aşağıda verilecektir.

2.4.2.1. Bitüm

Bitümler petrolün damıtılması sonucu ortaya çıkan bir ürün olarak karşımıza çıkmaktadır. Bitümler, hidrokarbon içeren siyah veya koyu renkli yol yapımında da kullanılan bir malzeme olarak bilinmektedir. Bitümler içeriğinde az miktarda da olsa kükürt, oksijen, azot ve hidrojen içerirler. Bitümler penetrasyona göre sınıflara ayrılmaktadır. Penetrasyon sınıfı petrolün artırılmasındaki değişikliklere bağlı olarak farklılık göstermektedir. Penetrasyon değeri oda sıcaklığında (25 °C) göre 10-300 arasında değerler ile ifade edilmektedir. Bitümlerin oluşumu aşağıdaki Şekil 2.12'de görülebilmektedir (Aktaş 2014: 21).

Şekil 2.12 incelendiğinde bitüm petrolün damıtılması sonucu oluşan malzeme olduğu görülebilmektedir. Bunun yanında bitüm direkt olarak damıtılma sonucu oluşmadığı durumlar sonucunda ise bitüm sökme ünitesi veya üfleme işlemi sonucunda bitümün elde edilebildiği de görülebilmektedir. Bitümler petrolün damıtılması sonucu oluşan gaz yağı, benzin ile birleştirilerek oluşturulan katbek bitümlerin (sıvı petrol bitümler) oluşturulmasında da kullanılmaktadır. Ek olarak bitüm ile suyun belirli oranlarda karıştırılması ile birlikte oluşan

bitüm emülsiyonları da katbek bitümler gibi sathi kaplama tabakasında kullanılan bir malzemedir.



Şekil 2.12. Bitümlerin oluşum mekanizması

Kaynak: (KGM Bitümlü Bağlayıcılar Laboratuvar El Kitabı, 2021: 5)

KGM Bitümlü Bağlayıcılar Laboratuvar El Kitabı'na (2021) göre bitümler termoplastik özelliğe sahip malzemedir. Termoplastik özellik, malzemenin yüksek sıcaklıklarda yumuşama düşük sıcaklıklarda ise sertleşmesini sağlayan özelliktir. Bitümler bu özelliğine bağlı olarak farklı penetrasyon ve yumuşama noktasına sahiptirler. Penetrasyon derecesine bağlı olarak yüksek penetrasyona sahip bitümler daha akıcı özellik göstermektedir. Penetrasyon derecesi düşük bitümlerin ise sertliği daha yüksektir. Aşağıda bitümlerin penetrasyon derecesine göre sınıflandırılması görülebilmektedir. Tablo 2.4'de TS EN 12591-2011'e göre bitümlerin penetrasyon sınıflandırılması ve ASTM D946-09'e göre bitümlerin penetrasyon derecesine göre sınıflandırılması görülmektedir.

Tablo 2.4. Bitümlerin penetrasyon sınıfları

TS EN 12591-2011'e göre bitümlerin penetrasyon sınıflandırılması				
B 40/60	B 50/70	B 70/100	B 100/150	B 160/220
ASTM D 946-09'e göre bitümlerin penetrasyon sınıflandırılması				
40-50	60-70	85-100	120-150	200-300

Kaynak: (KGM Bitümlü Bağlayıcılar Laboratuvar El Kitabı, 2021: 5)

Sathi kaplama tasarımı yapılırken bitüm seçimi oldukça önemlidir. Bitüm seçimi sırasında bölgenin iklim koşulları oldukça önemlidir. Kaşak vd. (2004) daha önce yapılan çalışmalar neticesinde Türkiye'deki bölgelerinin iklim koşullarına göre sathi kaplamada kullanılacak bitüm penetrasyon sınıfı Tablo 2.5'de olduğu gibi belirlenmiştir (Sağlık ve Öztürk, 2014: 690).

Tablo 2.5. Kaşak vd.'e (2004) göre sathi kaplamada iklim değerlerine göre bitüm seçimi

Bitümün uygulanacağı bölge	Bitüm penetrasyon değeri
Akdeniz iklimine sahip bölgeler ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin güney kısımları.	B 70/100
Karadeniz Bölgesi, Marmara Bölgesi, İç Anadolu Bölgesi, Güneydoğu Anadolu bölgesinin kuzey kesimleri ve Doğu Anadolu Bölgesinin batı kesimleri.	B 100/150
Doğu Anadolu Bölgesi'nin yüksek ve soğuk kesimleri ile ülkemizdeki soğuk kesimler.	B 100/150

Kaynak: (Sağlık ve Öztürk, 2014: 690)

2.4.2.2. Katbek bitümleri (Sıvı petrol bitümler)

Katbek bitümler, ısıtılmış bitümlerin içine benzin, gazyağı ve bakiye yağ karıştırılması sonucu oluşan bağlayıcı malzemelerdir. Katılan malzeme ile birlikte katbek bitümlerin kür olma süreleri de değişmektedir. Benzin eklenerek oluşturulanlar hızlı katbek bitümler en hızlı kür alan türüdür. Gazyağı ilavesi ile oluşturulanlar orta hızda ve bakiye yağ ile oluşturulanlar ise yavaş kür alan katbek bitümler olarak bilinmektedir (KGM Bitümlü Karışımlar Laboratuvarı Çalışmaları, 2012: 10).

Tablo 2.6. Sıvı petrol asfaltı çeşitleri

Katbek bitüm (Sıvı petrol bitümler) çeşitleri			
Fm2B2	Fm2B3	Fm3B2	Fm3B3
Fm3B4	Fm4B2		

Kaynak: (TS EN 15322)

Sıvı petrol bitümleri olarak da adlandırılan katbek bitümler viskozite değerine, oluşturulduğu bitümün türüne ve karıştırılan malzeme ile birlikte oluşan kür süresine bakılarak isimlendirilmektedir. Tablo 2.6'da TS EN 15322'e göre isimlendirilmiş sıvı petrol asfaltı çeşitleri görülebilmektedir.

2.4.2.3. Bitüm emülsiyonları

Bitüm emülsiyonları, bitümün su içerisinde bitümün küçük parçalar halinde homojen olarak dağılması sonucu oluşmaktadır. Normal şartlarda bitüm ve su birbiri ile karışamaz ve çözünemez bu nedenle farklı bir kimyasal kullanılarak iki sıvının birbirine karışması sağlanmaktadır. Karışımın oluşturulmasında kullanılan kimyasal maddeler emülgatör olarak isimlendirilmektedir. Emülgatör maddeler su içerisindeki bitüm kürelerinin etrafında ince bir film tabakası oluşturarak kürelerin birbiri ile yapışmasını engelleme görevini yerine getirmektedir. Emülsiyonlar sathi kaplama uygulamada kullanımı sırasında yola uygulanmasının ardından hızla kesilmesi (kür olması) istenmektedir. Kesilme süreci emülsiyonun uygulanmasının ardından su içerisindeki bitüm küreleri agrega ile birleşir ve ortamdan su buharlaşması ile gerçekleşmektedir.

Bitüm emülsiyonları elektron yüküne göre üç farklı gruba ayrılmaktadır. Bunlar:

- Anyonik bitüm emülsiyonları,
- Katyonik bitüm emülsiyonları,
- Nonyonik bitüm emülsiyonları şeklinde sıralanabilir.

Anyonik bitüm emülsiyonları negatif yüke sahip iken, katyonik bitüm emülsiyonları pozitif yüke sahiplerdir. Pozitif ve negatif yüklerin nedeni bitüm parçacığının dış yüzeyindeki emülgatöre göre değişmektedir. Yüklerin varlığı agrega ile oluşan bağı da etkilemektedir. Pozitif yüke sahip agrega ile negatif bitüm emülsiyonu kullanılması adezyon kuvvetini önemli ölçüde etkilemektedir. Nonyonik bitüm emülsiyonları ise iyonik olmayan bitüm emülsiyonları olarak bilinmektedir. Anyonik ve katyonik bitümler ise kendi içerisinde çabuk, orta ve yavaş kür olan şekilde 3 farklı gruba ayrılmaktadır. Bitüm emülsiyonları isimlendirilirken yükü, kür süresi, bitüm penetrasyon değeri, bitüm yüzdesi ve türü dikkate alınarak isimlendirilmektedir (Wood, 2006: 3.2).

Aşağıda yer alan Tablo 2.7'de ise kullanım alanına göre katyonik bitüm emülsiyonları verilmiştir. Tabloya bakıldığında dikkat edilmesi gereken en önemli hususlardan birisi sathi kaplamada ve yapışma tabakasında kullanılan emülsiyonların kür sürelerinin çabuk olduğu görülebilmektedir. Sathi kaplamalarda kullanılan emülsiyonun çabuk kür olması agrega ve

bitüm arasındaki bağı hızlı şekilde gerçekleşmesine neden olacaktır. Böylelikle yol trafiği daha hızlı açılacaktır.

Tablo 2.7. Katyonik bitüm emülsiyonlarının kullanım alanları

Astar tabakası	C60B9-3, C60B9-4, C60B9-5
Yapışma tabakası	C60B2-3, C60B2-4, C60B2-5 C65B2-3, C65B2-4, C65B2-5
Sathi kaplama	C60B2-3, C60B2-4, C60B2-5 C65B2-3, C65B2-4, C65B2-5
Soğuk karışımda	C60B4-3, C60B4-4, C60B2-5 C60B9-3, C60B9-4, C60B9-5

Kaynak: (KGM Bitümlü Bağlayıcılar Laboratuvar El Kitabı, 2021: 9)

2.5. Sathi Kaplama Dizaynı

Sathi kaplama dizaynı gerçekleştirilirken T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğünün yayınladığı Sathi Kaplama Dizayn Rehberi (2020) dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir.

Dizayn kısaca aşağıda belirtilen adımlar izlenerek gerçekleştirilmektedir.

1. En küçük boyutlar ortalaması (EBO), agrega ortalama boyutu ve yassılık indeksi kullanılarak belirlenir.

2. Şeritlerin her birisi için ayrı ayrı “Şerit Başına Düşen Eşdeğer Yıllık Ortalama Günlük Trafik (ŞEGT) (10 Tonluk Standart Kamyon Trafığı)” değerleri bulunur.

3. Bağlayıcı miktarı yukarıda belirtilen maddelerden elde edilen EBO ve ŞEGT değerleri yardımı ile ilgili abak kullanılarak bulunur.

4. İklim ve yüzey dokusu düzeltmeleri ile modifiye bitüm düzeltme faktörleri kullanılarak dizayn bağlayıcı uygulama miktarı belirlenir.

5. Sathi kaplama tabakasının türüne göre EBO ve gevşek birim ağırlık değerleri yardımı ile kullanılacak agrega miktarı tespit edilir.

2.5.1. Tek Katlı Sathi Kaplama Dizaynı

2.5.1.1. Seydişehir-Yalılıyük arası tek katlı sathi kaplama dizaynı

Sathi kaplama dizaynı Konya ili sınırları içinde yer alan Seydişehir ilçesi ile Seydişehir'e bağlı Yalılıyük Mahallesi arasında bulunan 33 km'lik 2x1 devlet yolunda 10 yıllık bir proje için gerçekleştirilecektir. Dizayn öncesinde elde edilen yolun yapısı, durumu ve kullanılacak malzemelerin özellikleri aşağıda belirtilmiştir. Elde edilemeyen veriler ise ortalama olarak düşünülerek belirlenmiştir.

Makro doku derinliği: 1,3 mm (orta pürüzlü)

Agrega maksimum agreg a çapı: 25 mm

Agrega cinsi, yassılık indeksi (YI), gevşek birim ağırlık(γ): Kireç taşı, %10, 1400 kg/m³

Bağlayıcı türü: B 100/150

Temel bitüm performans sınıfı: PG 58-22 (KGM BSK Kaplamalı Yollar İçin Bitüm Sınıfı seçim haritaları, 2012: 14)

Agrega elek analizi: Dizaynda kullanılan agreg a gradasyon limiti Tablo 2.8'de görülmektedir.

Tablo 2.8. Dizaynda kullanılan agreg a gradasyon limiti

Elekler	Elek çapı	% Geçen	% Geçen
	Mm	B-Tipi	Numune
1''	25	100	100
3/4''	19	90-100	100
1/2''	12,7	0-20	10
3/8''	9,5	0-10	5
No.4	4,75	0-2	2
No.10	2	-	-

Trafik: Şekil 2.13'de görülen Seydişehir- Yalnhüyük arası trafik değerleri sırasıyla otomobil, orta yüklü ticari taşıt, otobüs, kamyon, treyler ve toplam olarak ifade edilebilir.

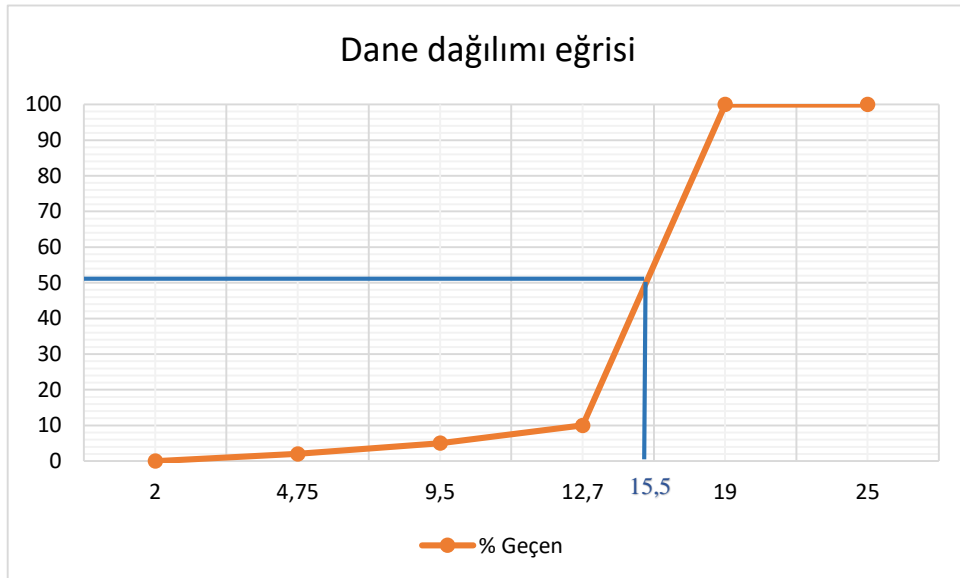


Şekil 2.13. Seydişehir- Yalnhüyük arası trafik değerleri

Kaynak: (KGM 3. Bölge devlet yolları trafik değerleri, 2021)

Verilerin hazırlanmasının ardından aşağıdaki adımlar izlenerek dizayn işlemi gerçekleştirilmiştir.

OB: 15,5 mm olarak bulunmuştur. (Grafik 2.1).



Grafik 2.1. Dane dağılımı grafiğinden OB bulunması

En küçük boyutlar ortalaması denklem 2.1 yardımı ile (EBO)= 12,36 olarak bulunmuştur.

$$EBO (mm) = \frac{15,5}{1,139285 + 0,011506 \times 10} = 12,36 \text{ mm} \quad (2.1)$$

Taşıt grupları için ayrı ayrı Tablo 2.9'da yer alan yıllık ortalama günlük proje trafikleri ile her bir şerit için şerit başına düşen eşdeğer günlük trafik hesaplanır (Tablo 2.10).

Tablo 2.9. Seydişehir- Yalnhüyük yıllık ortalama günlük proje trafikleri

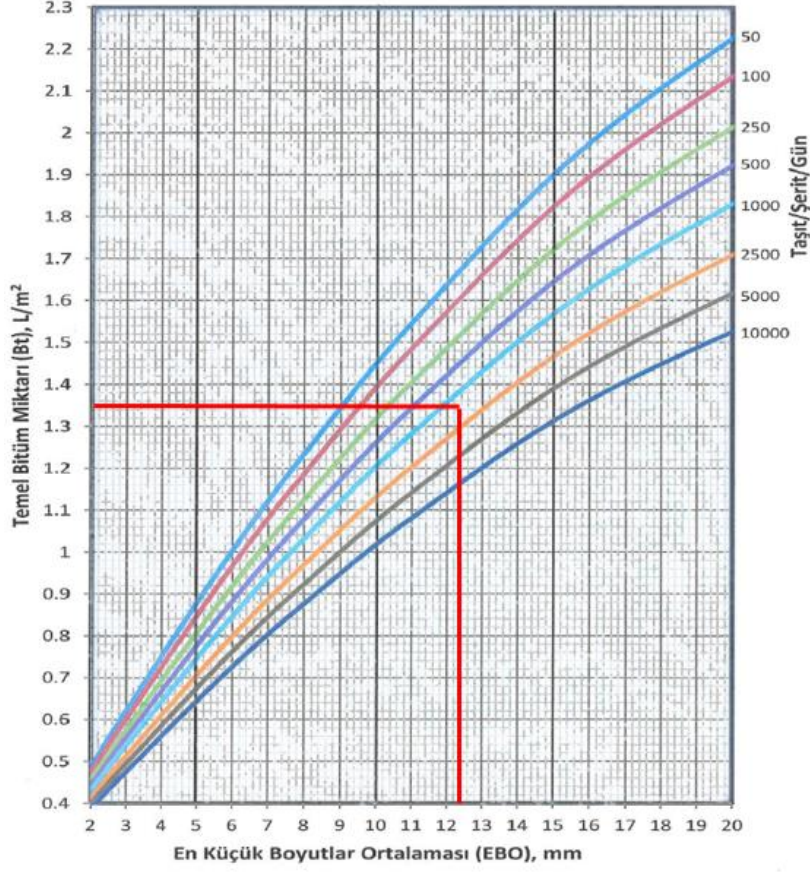
Araç türü	YOGT
Treyler	73
Kamyon	96
Otobüs	3
Orta yüklü ticari taşıt	237
Otomobil	2437

tt (treylar) =108, tt (kamyon)= 142, tt (otobüs)= 5, tt (oytt)= 386, tt (otomobil)= 3970

Tablo 2.10. Seydişehir- Yalnhüyük taşıt başına düşen eşdeğer günlük trafik, ŞEGT

Taşıt kategorisi	YOGT	Taşıt eşdeğerlik faktörü (TEF)	Hız faktörü (h)	Sol şerit		Sağ şerit	
				Şerit dağıtma faktörü (η)	ŞEGT	Şerit dağıtma faktörü (η)	ŞEGT
Treyler	89	6	2	1,0	0,5*89*6*2*1= 534	1,0	0,5*89*6*2*1= 534
Kamyon	118	3	1,8	1,0	0,5*118*3*1,8*1= 319	1,0	0,5*118*3*1,8*1= 319
Otobüs	4	2,5	1,6	1,0	0,5*4*2,5*1,6*1= 8	1,0	0,5*4*2,5*1,6*1= 8
OYTT	305	0,5	1,3	1,0	0,5*305*0,5*1,3*1= 99	1,0	0,5*305*0,5*1,3*1= 99
Otomobil	3141	0,1	1,1	1,0	0,5*3141*0,1*1,1*1= 173	1,0	0,5*3141*0,1*1,1*1= 173
Yaşıtl başına düşen eşdeğer günlük trafik, ŞEGT				1133 taşıt/şerit/gün		1133 taşıt/şerit/gün	

Temel bitüm miktarı Bt: 1,35 L/m² olarak bulunmuştur (Grafik 2.2).



Grafik 2.2. Temel bitüm miktarı belirleme abağı

Kaynak: (Sathi Kaplama Dizayn Rehberi, 2020: 14)

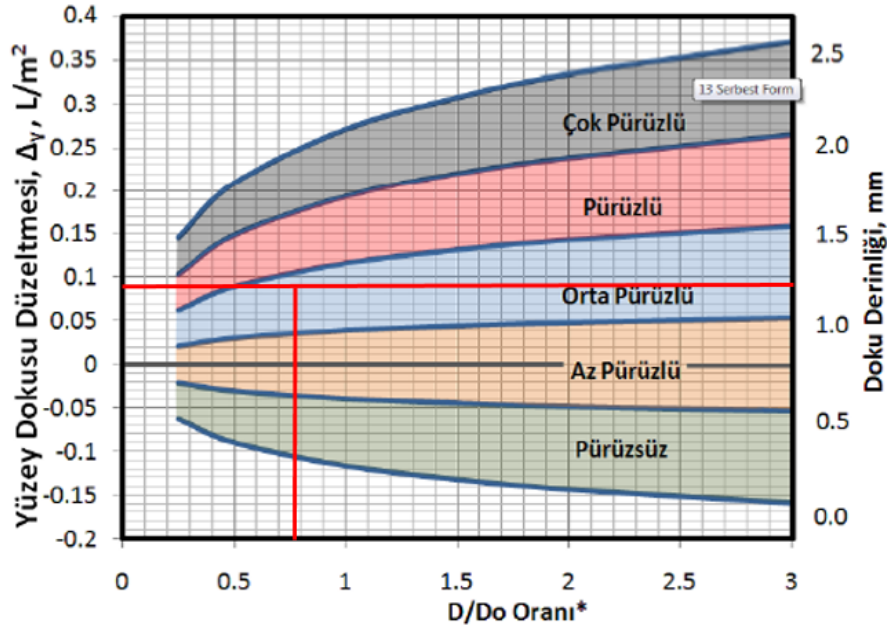
Sathi kaplamanın uygulanacağı yol kesiminde bitüm performans sınıfı PG 58-22 olduğu için iklim düzeltmesi Δ_i : 0,03 L/m² olarak bulunur (Tablo 2.11).

Tablo 2.11. İklim düzeltme tablosu

Temel bitüm performans sınıfı (PG)	70-16	64-16	64-22	64-28	58-16	58-22	58-28
İklim Düzeltmesi, Δ_i (L/m ²)	-0,10	-0,06	-0,03	0	0	0,03	0,06

Kaynak: (Sathi Kaplama Dizayn Rehberi, 2020: 15)

Grafik 2.3 'dan yüzey dokusu düzeltmesi değeri bulunur.



Grafik 2.3. Yüzey dokusu düzeltme grafiği

Kaynak: (Sathi Kaplama Dizayn Rehberi, 2020: 16)

Bulunan iklim ve yüzey dokusu düzeltmeleri kullanılarak ve sathi kaplama imalatında kullanılacak olan bitümlü bağlayıcı normal penetrasyon sınıfı bitüm olduğundan, bitüm faktörü (Fm: 1,0) ve kalıntı bitüm oranı (R: 100) seçilerek sağ ve sol şeritler için dizayn bitümlü bağlayıcı miktarları (B_d) aşağıdaki denklem 2.2 ile hesaplanır.

$$B_d = 100 * \frac{B_t * F_m + \Delta i + \Delta y}{R} = 100 * \frac{1,35 * 1,0 + 0,03 + 0,09}{100} = 1,47 \text{ L/m}^2 \quad (2.2)$$

Sathi kaplama tabakasında kullanılacak agrega uygulama miktarı (M_d) ise aşağıda verilen formüller ile bulunarak dizayn işlemi rapor haline getirilir ve tamamlanır.

Mevcut yüzey astarlı temel tabakası ise;

$$M_d = \frac{EBO * \gamma_g}{1000} \quad (2.3)$$

Diğer durumlarda ise;

$$M_d = \frac{EBO * \gamma_g}{950} \quad (2.4)$$

Denklem 2.3 ve denklem 2.4 kullanılarak hesaplanır.

Sathi kaplamanın uygulanacağı yol yüzeyi durumu diğer durumlar arasında yer aldığı için aşağıdaki denklem 2.5 ile hesaplama yapılarak agrega uygulama miktarı M_d : 18,2 kg/m² olarak bulunur.

$$M_d = \frac{EBO * \gamma_g}{950} = \frac{12,36 * 1400}{950} = 18,2 \text{ kg/m}^2 \quad (2.5)$$

2.5.1.2. Ceylanpınar- Viranşehir arası tek katlı sathi kaplama dizaynı

Konya ili sınırlarında yapılan tek katlı sathi kaplama dizaynından sonra Konya iline nazaran daha sıcak iklime sahip Şanlıurfa ili sınırları içinde yer alan Ceylanpınar ile Viranşehir ilçeleri arasındaki yol kesimine sathi kaplama dizaynı uygulanmıştır. Burada amaçlanan sıcaklık ve trafik farklılıklarının kaplamada kullanılan bitüm miktarı üzerindeki etkilerin gözlemlenmek istemesi olarak belirtilebilir.

Bunun yanında aynı tip agrega fakat farklı gradasyona sahip olmasının da dizayn üzerindeki etkisinin belirlenmesi için KTŞ de (2013) yer alan gradasyon limitlerinden A-tipi seçilerek dizayn yapılmıştır.

Sathi kaplama dizaynı 2x1 devlet yolunda 10 yıllık bir proje için gerçekleştirilecektir. Dizayn öncesinde elde edilen yolun yapısı, durumu ve kullanılacak malzemelerin özellikleri aşağıda belirtilmiştir. Elde edilemeyen veriler ise ortalama olarak düşünülerek belirlenmiştir.

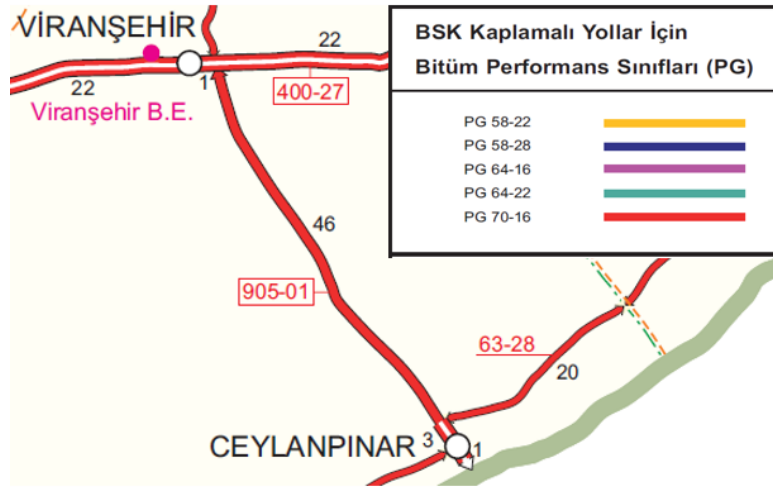
Makro doku derinliği: 1,3 mm (orta pürüzlü)

Agrega maksimum agrega çapı: 25 mm

Agrega cinsi, yassılık indeksi, gevşek birim ağırlık(γ_g): Kireç taşı, %10, 1400 kg/m³

Bağlayıcı türü: KGM sathi kaplamalı yollar için bitüm sınıfı seçim haritasında (2007) belirtildiği üzere daha sıcak bir kesimde olduğu için viskozitesi daha düşük bitüm B 70/100 seçilmelidir.

Temel bitüm performans sınıfı: Şekil 2.14’de yer alan bitüm sınıfı seçim haritasından bitüm performans sınıfı PG 70-16 olarak bulunur.



Şekil 2.14. Ceylanpınar- Viranşehir arası bitüm performans sınıfı

Kaynak: (KGM BSK Kaplamalı Yollar İçin Bitüm Sınıfı seçim haritaları, 2012: 20)

Agrega elek analizi: Dizaynda kullanılan agrega gradasyon limiti Tablo 2.12’de görülmektedir.

Tablo 2.12. Dizaynda kullanılan agrega gradasyon limiti

Elekler	Elek çapı	% Geçen	% Geçen
	Mm	A-Tipi	Numune
1’’	25	100	100
3/4’’	19	0-20	10
1/2’’	12,7	0-10	5
3/8’’	9,5	-	-
No.4	4,75	0-2	2
No.10	2	-	-

Trafik: Ceylanpınar- Viranşehir arası trafik verileri Tablo 2.13’de verilmiştir.

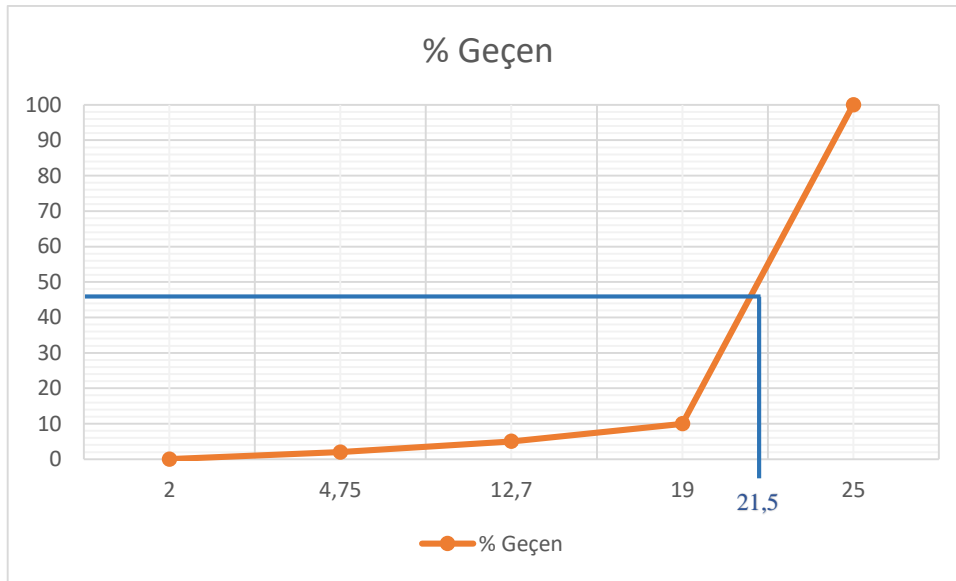
Trafik; Ceylanpınar- Viranşehir arası trafik verileri Tablo 2.13’de verilmiştir.

Tablo 2.13. Ceylanpınar- Viranşehir arası trafik verileri

Araç türü	YOGT
Treyler	262
Kamyon	248
Otobüs	12
Orta yüklü ticari taşıt	449
Otomobil	5145

Verilerin hazırlanmasının ardından aşağıdaki adımlar izlenerek dizayn işlemi gerçekleştirilmiştir.

Agrega ortalama boyutu (OB): 21,5 mm olarak bulunmuştur (Grafik 2.4).



Grafik 2.4. Dane dağılımı grafiğinden OB bulunması

EBO denklem 2.6 yardımı ile aşağıdaki gibi bulunur.

$$EBO \text{ (mm)} = \frac{21,5}{1,139285 + 0,011506 \times 10} = 17,14 \text{ mm} \quad (2.6)$$

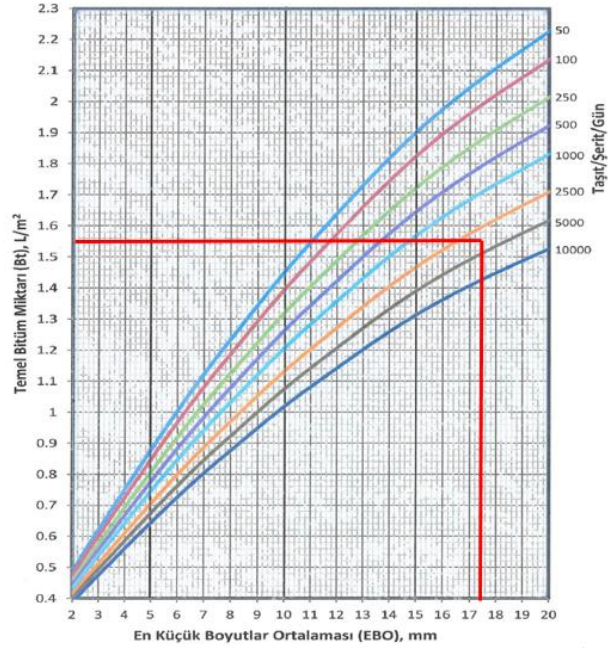
tt (treylar)= 388, tt (kamyon)= 367, tt (otobüs)= 20, tt (oytt)= 731, tt (otomobil)= 8381 olarak bulunur.

Taşıt grupları için ayrı ayrı Tablo 2.13’da yer alan yıllık ortalama günlük proje trafikleri ile her bir şerit için şerit başına düşen eşdeğer günlük trafik hesaplanır (Tablo 2.14).

Tablo 2.14. Ceylanpınar- Viranşehir taşıt başına düşen eşdeğer günlük trafik, ŞEGT

Taşıt kategorisi	YOGT	Taşıt eşdeğerlik faktörü (TEF)	Hız faktörü (h)	Sol şerit		Sağ şerit	
				Şerit dağıtma faktörü (η)	ŞEGT	Şerit dağıtma faktörü (η)	ŞEGT
Treyler	321	6	2	1,0	$0,5*321*6*2*1= 1926$	1,0	$0,5*321*6*2*1= 1926$
Kamyon	304	3	1,8	1,0	$0,5*304*3*1,8*1= 821$	1,0	$0,5*304*3*1,8*1= 821$
Otobüs	16	2,5	1,6	1,0	$0,5*16*2,5*1,6*1= 32$	1,0	$0,5*16*2,5*1,6*1= 32$
OYTT	579	0,5	1,3	1,0	$0,5*579*0,5*1,3*1= 188$	1,0	$0,5*579*0,5*1,3*1= 188$
Otomobil	6632	0,1	1,1	1,0	$0,5*6632*0,1*1,1*1= 365$	1,0	$0,5*6632*0,1*1,1*1= 365$
Yaşıtl başına düşen eşdeğer günlük trafik, ŞEGT				3332 taşıt/şerit/gün		3332 taşıt/şerit/gün	

Temel bitüm miktarı Bt: 1,55 L/m² olarak bulunur (Grafik 2.5).

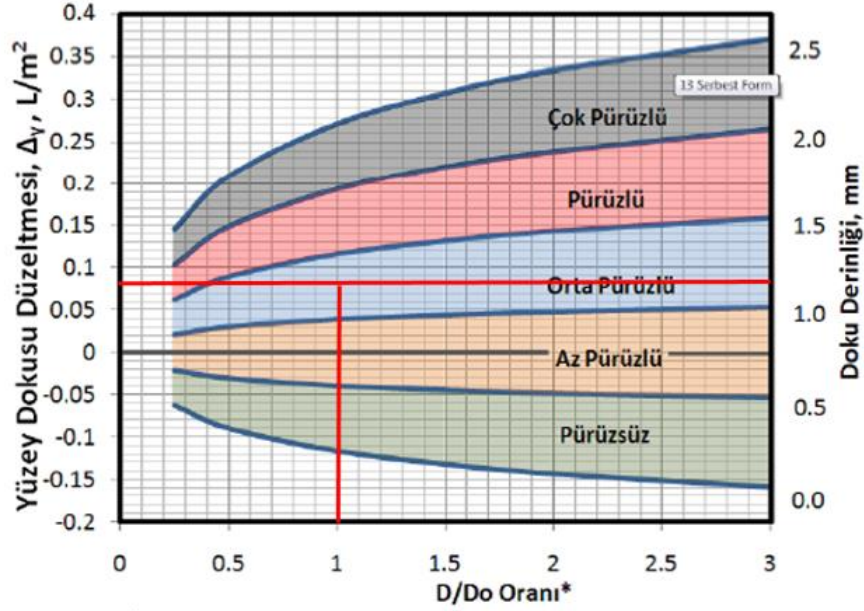


Grafik 2.5. Temel bitüm miktarı belirleme abağı

Kaynak: (Sathi Kaplama Dizayn Rehberi, 2020: 14)

Sathi kaplamanın uygulanacağı yol kesiminde bitüm performans sınıfı PG 70-16 olduğu için iklim düzeltmesi Δ_i : -0,10 L/m² olarak bulunur (Tablo 2.11).

Δ_y : 0,09 L/m² olarak bulunmuştur (Grafik 2.6).



Grafik 2.6. Yüzey dokusu düzeltme grafiği

Kaynak: (Sathi Kaplama Dizayn Rehberi, 2020: 16)

$$B_d = 100 * \frac{1,55 * 1,0 + (-0,10) + 0,09}{100} = 1,54 \text{ L/m}^2 \quad (2.7)$$

$$M_d = \frac{EBO * \gamma_g}{950} = \frac{17,14 * 1400}{950} = 25,3 \text{ kg/m}^2 \quad (2.8)$$

Bitüm uygulama oranı denklem 2.7 ile agrega uygulama oranı ise denklem 2.8 ile bulunmuştur. Yapılan tek katlı sathi kaplama dizaynları dikkate alındığında sathi kaplama dizaynını etkileyen birçok parametrenin olduğu sonucuna varılmıştır. Parametreler dikkate alındığında sıcaklıkla birlikte bitüm performans sınıfının değişmesi bitüm miktarında değişmelere neden olmaktadır. Ülkemizde sıcak kesimlerde bitüm kullanım miktarı bitüm performans sınıfına göre düşmektedir. Fakat gradasyon eğrisine göre daha çok iri dane bulunduran agrega tipi seçimi de kullanılan bitüm miktarını artırmaktadır. Sathi kaplamanın uygulanacağı yüzeyin durumu da kullanılacak bitüm miktarını etkilemektedir. Fazla

pürüzlülüğe sahip yüzeylere gerçekleştirilen kaplamalarda daha çok bitüm kullanılması gerektiği saptanmıştır.

Agrega kullanımını üzerinde ise agreganın özgül ağırlığı, agreganın dane dağılımı, agreganın içerisindeki yassı malzeme miktarı ve uygulanacağı yüzeyin durumu etki göstermektedir. Daha iri dane dağılımına sahip agreganın seçimi kullanılan agreganın miktarını artırmaktadır. Agreganın yassılığının artması agreganın kullanım miktarını azaltmaktadır. Genel olarak farklı koşullarda dizayn işlemi yapılması farklı sonuçları ortaya çıkarabilmektedir.

5.2.2. Çift Katlı Sathi Kaplama Dizaynı

Çift katlı kaplama dizaynı yapılırken tek katlı sathi kaplama uygulanan 6 adımın hepsi iki kat içinde uygulanır. Farklı olarak 7 ve 8. Adımlarda 2. Kat sathi kaplamanın bitüm ve agreganın miktarlarının belirlenmesinde kullanılan formüllerdir.

İlk kat için bitüm miktarının hesaplanmasında aşağıdaki denklem 2.9 kullanılır. Burada tek katlıdan farklı olarak çift katlı sathi kaplamada bitüm kullanım miktarında azaltmaya gitmek için normal değeri %15 miktarda azaltmak için kullanılan katsayıdır.

$$B_{d1} = 100 * \frac{0,85 * B_{t1} * F_m + \Delta i + \Delta y}{R} \quad (2.9)$$

İkinci kat için bitüm miktarının hesaplanması için aşağıdaki denklem 2.10'dan yararlanılır.

$$B_{d2} = 100 * \frac{B_{t2} * F_m}{R} \quad (2.10)$$

Agreganın uygulama miktarı (M_d) ise aşağıda verilen formüller kullanılarak gerçekleştirilir. Tek katlı sathi kaplama dizaynından farklı olarak paydada yer alan katsayıların gösterdiği farklılıktır.

Birinci kat için mevcut yüzey astarlı temel tabakası ise denklem 2.11;

$$M_{d1} = \frac{EBO * \gamma_g}{950} \quad (2.11)$$

Diğer durumlarda ise denklem 2.12;

$$M_d = \frac{EBO * \gamma_g}{900} \quad (2.12)$$

İkinci kat için mevcut yüzey astarlı temel tabakası ise denklem 2.13;

$$M_{d1} = \frac{EBO * \gamma_g}{850} \quad (2.13)$$

Diğer durumlarda ise denklem 2.14;

$$M_d = \frac{EBO * \gamma_g}{800} \quad (2.14)$$

Formülleri kullanılarak agrega kullanım miktarı belirlenerek dizayn işlemi tamamlanmaktadır.

3. LİTERATÜR ÖZETİ

3.1. Nicholson soyulma ve vialit deneyi ile ilgili literatürde yer alan diğer çalışmalar

Gürer ve Kardeşahin (2014) yaptığı çalışmada vialit deneyinde modifiye proktor tokmağını kullanarak çalışma yapmıştır. Deney 41,56 gr ağırlığında 100/150 penetrasyon derecesine sahip bitüm 150 °C'de ısıtılmış. Isıtılan bitüm deneyde kullanılan levha yüzeyine eşit miktarda uygulamıştır. Etüvde 50 °C'de ısıtılan 9,5-19 mm elekleri arasındaki 49 adet agrega 40±2 °C'ye kadar soğutulmuştur. Deney tozlu, yıkanmış (temiz yüzeyli) ve nemli agregalar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Soğutulan agregalar daha sonra bitüm kaplı levhaya düşürülmüştür. Düşürme işleminden sonra numunenin 60 °C'ye kadar soğuması beklendikten sonra silindir yardımı ile sıkıştırılarak deney numuneleri hazırlamıştır. Numuneler oda sıcaklığına kadar beklemeye bırakılmasının ardından 60 °C'de su havuzunda kür işlemine tabi tutmuştur. Kür işlemi sonrasında numuneler modifiye proktor tokmağı yardımı ile 3 kez arka yüzeyinden darbe işlemi uygulanarak adezyon kuvveti kırılmaya çalışılmıştır. Modifiye proktor tokmağı ile gerçekleştirilen deneyde daha çok agrega kaybı yaşandığı, agregaların silis içeriğinin fazla olması, yüzeyinde bulunan toz ve nem içeriği adezyon kuvvetini olumsuz etkilediği yapılan çalışmanın sonuçları olarak belirtilmiştir.

Gürer vd. (2019) gerçekleştirdiği çalışma ile birlikte adezyon kuvvetini iyileştirmeyi amaçlamıştır. Günümüzde adezyon kuvvetinin artırılması adına birçok katkı ve emülsiyon kullanımı bulunmaktadır. Bu tür maliyetlerin azaltılması adına agregayı ısıtarak bu soruna çözüm aramıştır. Sathi kaplama tabakasında adezyon kuvvetinin saptanması adına Nicholson soyulma ve vialit yapışma deneyi gerçekleştirmiştir. Deneylerde kireçtaşı, bazalt ve dere agregası olmak üzere 3 tip agrega kullanmıştır. Bağlayıcı olarak 2 tip bitüm (B 50/70, B 160/220) kullanmıştır. Çalışmada agregalar soğuk halde ve belirli sıcaklıklarda (80 °C, 90 °C, 100 °C, 120 °C) ısıtılarak vialit deneyi uygulanmıştır. Sıcaklığın artması adezyon kuvvetini artırdığı söylenmiştir. Agregası sıcaklığının 100 °C ve üzerine çıkarılması sonucunda daha iyi yapışma sağlandığını görmüşlerdir. Isıtılma sonucunda agrega bitümü daha iyi absorbe etmiştir. Bazalt ve B 160/220 bitümü ile oluşturulan numunelerde sıcaklığın artması ile adezyon kuvvetinin dalgalanma gösterdiği söylenmiştir. Bu iki malzeme ile oluşturulan numunelerde kararlılık elde edilemediği söylenmektedir. Dere agregasının silis içeriğinin yüksek olması diğer agregalara göre yapışma miktarında kötü sonuçlara yol açtığı belirtilmektedir. Agregası farklılığının yanında bitüm farklılığı da adezyon kuvveti üzerinde oldukça etkilidir. Öyle ki B 160/220 bitümünün agregalar ile B 50/70 bitümüne göre yüksek oranda yapışma gösterdiği söylenmektedir.

Karacasu ve Akalın (2019) sathi kaplama tabakasında atık malzeme kullanımının adezyon kuvveti üzerindeki etkisini araştırmak için bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışma ile birlikte dünyada oluşan kirlilik ve kaynak azalmasına çözüm üretilmeye çalışılmıştır. Sathi kaplama tabakası maliyeti ne kadar düşük olsa da bitümlü sıcak karışımlardan dayanımı oldukça düşüktür. İnce ve gözenekli yapısı bozulmalara oldukça müsaittir. Bu nedenle agrega ve bitüm arasındaki adezyon kuvveti bozulmaların önüne geçebilmek adına önemli olduğu söylenmektedir. Çalışmada agrega olarak kireçtaşı ve bazalt cinsi agregalar, bağlayıcı olarak B 50/70 ve B 70/100 bitümleri kullanılmıştır. Adezyon kuvvetinin artırmak adına atık malzeme olarak % 10 oranında atık lastik ve % 1 oranında Polivinil Klorür (PVC) kullanmıştır. Atık lastikler araç lastiğinin yumuşak ve telsiz kısmından alıp öğütülme sonucu kullanmışlardır. Polivinil Klorür (PVC) ise kapı pencere yapımında kullanılan bir malzemedir. Çalışmada iki malzeme bitüm ile 60 dakika boyunca 163 °C karıştırıp kullanılmıştır. Daha sonra numuneler oluşturularak vialit yapışma ve Nicholson soyulma deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Deneyler sonucunda bazalt agregasının B 70/100 bitümüyle, kireçtaşı agregası ise B 50/70 bitümü ile daha iyi yapışma sağladığı söylenmiştir. Genel anlamda kireçtaşı agregası yüzeyi daha pürüzlü olduğu için bazalt agregasına göre yapışma miktarı yüksektir. Kullanılan atık malzemelerin adezyon kuvvetini arttırmaktadır. Fakat lastik atığı, Polivinil Klorüre (PVC) göre daha yüksek olumlu etkiye sahiptir. Atık malzemeler yapışma değeri düşük olan bazalt agregasının yapışma değerinin olumlu yönde etkilediği söylenmektedir. Atık malzemeler daha yumuşak kıvamlı B 70/100 bitümü ile homojen olarak karıştığı ve daha iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir. Her iki atık malzemenin kullanımı ile birlikte adezyon kuvveti artmış ve bitüm modifikasyonu maliyetleri atık malzeme kullanımı ile düşeceği belirtilmiştir.

Karadağ ve Saltan (2021) yaptığı çalışmada agrega ve bitüm arasındaki adezyon kuvvetini artırmayı hedeflemiştir. Çalışmada Cocamide Diethanolamide kimyasalı, bitüm modifikasyonunda kullanılarak adezyon kuvveti artırılmaya çalışılmıştır. Cocamide Diethanolamide, 1 saat boyunca 165 °C'de 2000 devir/dakika hızda döndürülerek homojen olarak B 50/70 bitüm ile karıştırılmıştır. Kimyasal, bitüm içine % 1, %3, %5, %7 ve %9 oranlarında karıştırılmıştır. Daha sonra elde edilen modifiye bitüm ve kireçtaşı agregası kullanılarak yapışma ve soyulma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda kimyasal malzemenin adezyon üzerindeki etkisi gözlemlemek istemişlerdir. Kimyasal, bitümün içine %9 oranda karıştırıldığında bitümün penetrasyon derecesinin %100 oranında artırdığı söylenmiştir. Penetrasyon derecesinin artması soğuk iklim bölgelerinde kullanımına olanak sağladığı belirtilmiştir. Bununla birlikte kimyasal oranındaki artış yumuşama noktasını düşürmektedir.

Uygulanan vialit yapışma deneyinde ise kimyasal oranının artması yapışma miktarını % 87,5 oranında artırdığı söylenmektedir. Gerçekleştirilen Nicholson ve Kaliforniya soyulma deneylerinde %5 kimyasal kullanılan numunelerden sonra soyulma değerlerinin düştüğü belirtilmektedir. Soyulma deneylerinde 60 °C kür işlemi sonucunda bu sıcaklıkta neme ve suya karşı hassas olduğu belirtilmiştir. Tüm deneyler ve sonuçlar dikkate alındığında kimyasal malzemenin sathi kaplama tabakasında kullanımının uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Aşma (2022) sathi kaplama tabakasında atık malzeme kullanımının adezyon üzerindeki etkisini araştırmıştır. Çalışmasında 4 tip agrega (kireçtaşı, bazalt, asfalt freze atığı ve mermer atığı) ve penetrasyon derecesine göre 4 tip bitüm (B 50/70, B 70/100, B 100/150 ve B 160/220) kullanmıştır. Belirtilen malzemeler kullanılarak Nicholson soyulma ve vialit yapışma deneyleri gerçekleştirmiştir. Deneyler sonucunda kullanılan atık malzemelerin (asfalt freze atığı ve mermer atığı) soyulma ve yapışma değerlerinin artırdığı belirtilmiştir. Atık malzemeler, kireçtaşı ve bazalt ile farklı oranlarda (%25, %50, %75) karıştırılması sonucunda soyulma ve yapışma miktarını artırdığı söylenmektedir. Adezyon artırmak adına gerçekleştirilen ekstra maliyetler atık malzeme kullanımı ile ortadan kaldırılacağı belirtilmiştir. Atık malzemelerin geri dönüşümü sonucunda oluşacak kirlilikte ortadan kaldırılacaktır. Çalışmada vialit deneyinde agregalar 40 °C, 80 °C, 120 °C ısıtılmasının ardından B 100/150 ve B 160/220 bitümleri ile numuneler oluşturulmuştur. Isıtılan agregalarla oluşturulan numunelerde yapışma değerinin sıcaklığın artması ile arttığı söylenmiştir.

Sathi kaplama performansına etki eden en önemli özelliklerden birisi agrega ve bağlayıcı arasında oluşan adezyon kuvvetidir. Bu kuvvetin saptanması için vialit deneyi uygulanmaktadır. Agreganın bağlayıcıya yapışmasının tam olarak sağlanabilmesi için agrega yüzeyinin kir ve tozdan arındırılmış olması gerekmektedir. Agregası ve bağlayıcı arasındaki adezyon kuvvetini etkileyen bir diğer etki ise kaplamanın zaman içerisinde suya maruz kalmasıdır. Aşağıda deney uygulamasında numunenin belirli süre su içerisinde bekletilmesi suyun adezyon üzerindeki etkisini laboratuvar ortamına taşımak için gerçekleştirilmektedir. Saha koşullarında sathi kaplamanın karşılaştığı etkileri simüle etmek adına vialit deneyini modifiye ederek uygulamışlardır. Vialit deneyinde yer alan bilye yerine modifiye proktor tokmağı kullanarak agregaların bitüm ile bağı mekanik olarak koparılmaya çalışılmıştır. Deneyde 6*6 inç (15,24*15,24 cm) alüminyum levhaların etrafı bant ile kaplanarak bitümün dışarı sızması engellenmektedir. Her bir plaka için serim sıcaklığına kadar ısıtılan 41,56 gr bitüm uygulaması yapılmaktadır. Bitüm uygulamasından sonra kullanılacak agregalar serme sıcaklığına kadar ısıtılmasının ardından 236 kg ağırlığındaki silindir ile sıkıştırılmaktadır.

Numuneler oluşturulduktan sonra numuneleri 25 °C'de farklı sürelerde (0, 24, 48, 72, 96 ve 120 saat) şartlandırma işlemine tabi tutulmuş ve numunelere hangi saat sonunda şartlandırma yapılmış ise o saatten sonra 24 saat aralıklarla aynı numune tekrar teste tabi tutulmuştur. Bir başka şartlandırma durumu ise numuneler 16 saat boyunca 25 °C'de daha sonra 8 saat -25 °C'de toplamda 24 saat boyunca şartlandırılmış ve bu şartlandırmanın en etkili şartlandırma olduğu belirtilmiştir. Numuneler belirlenen saatler sonunda ters çevrilerek modifiye proktor tokmağı kullanılarak adezyon kuvvetini koparmak adına mekanik enerji oluşturulmuştur. (Senadheera vd. 2006).

Ahn ve Lee (2016) gerçekleştirdiği vialit deneyinde BSI EN 12272-3 standardını kullanmıştır. Deneyde 7 tip agrega (Yüksek fırın cürufu, kumtaşı, kırılmış çakıl, dolomit, kaya, kireçtaşı ve çelik cürufu) ve 3 tip emülsiyon (AE-90S, RS-2P ve CRS-2P) kullanılarak deney numuneleri hazırlamıştır. Deney numuneleri oluşturulma işlemi ilk olarak 410 cm² alana sahip 2,5 cm kenarları yükseltilmiş levhaya 60 °C'ye ısıtılmış 2,5 L/m² emülsiyon uygulaması yapmıştır. Ardından 196 adet agrega emülsiyon üzerine dizilmiş ve 35 kg ağırlığındaki silindir kullanılarak sıkıştırma işlemine tabi tutmuştur. Hazırlanan numunelere 45 °C fırında 24 saat süre kür işlemi uygulamıştır. Kür işleminden sonra numuneler 2 °C, -10 °C, -17 °C, -25 °C ve -30°C sıcaklıklarda şartlandırma işlemine tabi tutulup numune ters çevrilerek bilye düşürme aparatına koyulduktan sonra 3 kez bilye düşürülerek deneyi sonlandırmıştır. Deney sonucunda hazırlanan tüm numunelerde sıcaklık düştükçe yapışma oranının düştüğü belirtilmiştir. Sıcaklığın düşüşü ile birlikte en yüksek oranda adezyon kaybı CRS-2P emülsiyonu ile oluşturulan numunelerde görülmektedir. En iyi yapışma sonuçları ise AE-90S emülsiyonunda görülmüştür.

Gheni vd. (2018) British Standart 12272-3 kullanılarak vialit deneyi gerçekleştirmiştir. Çalışmada bağlayıcı olarak CRS-2P ve CHFRS-2P emülsiyonları ile 2 tip bitüm kullanmıştır. Agregada olarak dere çakılı, kırılmış kayaç ve kauçuk kullanılarak numuneler oluşturulmuştur. Deney asfalt emülsiyonunun 60 °C veya bitümün 160 °C'ye kadar ısıtılıp 20* 20 cm boyutlarındaki çelik levhaya eşit miktarda uygulanmaktadır. Bağlayıcı kaplı levhaya 2 gün önce 60 °C etüvde bekletilen 100 adet ortalama boyutları 9.5 mm olan agregaların bitüm üzerine 10*10 boyutundaki ızgara yardımı ile düşürülmektedir. Oluşan vialit numunelerini 30 dakika boyunca 25±5°C'de soğumaya bırakılmıştır. Son olarak numuneler 0°C'nin altında 30 dakika boyunca donma kabini bekletilmiş ve 10 saniye içerisinde ağırlığı 500±5 g ağırlığındaki çelik bilyenin 50 cm yükseklikten 3 kez düşürülmesi ile deneyi sonlandırmıştır. Yapılan çalışmada yukarıda belirtilen standarda göre deney gerçekleştirildikten sonra her iki emülsiyon

kullanılarak gerçekleştirilen deneylerde agrega kaybının yaşanmadığı söylenmiştir. Agregada olarak kauçuk kullanılan numunelerde adezyon kuvveti 3 kez bilye düşümü ile bozulmamıştır. Bu nedenler göz önüne alınarak bilye düşüm sayısı 30 ve 40'a çıkarılarak deney modifiye edilmiştir. Bilye sayısının artırılması dere çakılı ve kırılmış kayaç agregalarının emülsiyonlar ile olan bağını koparmıştır. Fakat kauçuk malzeme ile bağlayıcılar arasındaki adezyon kuvvetinin bozulmadığı belirtilmiştir.

You vd. (2019) yaptığı çalışmada yukarıda bahsedilen Ahn ve Lee'nin (2016) çalışmasında olduğu gibi BS EN 12272-3 standardını rehber alarak vialit deneyini uygulamıştır. Ahn ve Lee'nin çalışmasından farklı olarak numunelerde 100 agrega ve plaka üzerine uygulanacak bitüm oranı 1,9 L/m² olarak belirlenmiştir. Diğer bir farklılık olarak numuneler 25 °C'de 12 saat boyunca kür işlemine tabi tutulmuştur. Her iki çalışmada da olduğu gibi kür işlemi sonrasında numuneler eksi derecede koşullandırılmıştır. Fakat burada numuneler -10°C, -22°C ve -26°C'de şartlandırma işlemine tabi tutulmasının ardından 3 kez 500 gr ağırlığındaki bilye ters çevrilen plaka üzerine düşürülmüş ve kopan agregaların sayımını yapmışlardır. Çalışma ile birlikte sıcaklığın düşüşü ile birlikte adezyon kuvvetinin daha fazla oranda kaybolduğu görülmüş ve bunun nedeni olarak bitümün düşük sıcaklıklarda gevrek yani kırılğan yapıya sahip olması olarak belirtilmiştir.

3.2. Süpürme deneyi ile ilgili literatürde yer alan diğer çalışmalar

Gheni vd. (2018), yaptıkları çalışmada koruyucu sathi kaplama yapımında kullanılan süpürme işlemi simüle edebilmek adına süpürme testi uygulamıştır. Süpürme testinin yapılma amacı kürleme işleminden sonra agrega ve bağlayıcı arasındaki adezyon kuvvetinin test edilmesi amacı ile gerçekleştirildiğini belirtmişlerdir. Deneyde CRS-2P ve CHFRS-2P emülsiyonları ile 3 tip agrega (Dere çakılı, kırılmış kayaç ve kırıntı kauçuk) kullanılmıştır. Numuneler asfalt keçe disk üzerine bağlayıcı 83± 5 g olacak şekilde uygulanmış ve daha sonra agregalar bitüm üzerine her noktaya eşit miktarda dağılacak şekilde uygulanmıştır. Agregalar 9.5-6.5 mm arası ve 6.5- 4.75 mm arası olacak şekilde iki farklı dane büyüklüğünde kullanılmıştır. Deney numuneler hazırlandıktan sonra bir plaka yardımı ile sıkıştırılmış ve ardından fırın kullanılarak 35 derecede kür işlemi uygulamışlardır. İlk olarak numune dik tutularak kopan agregalar el ile hafifçe süpürülmüş daha sonra cihaz yardımı ile 1 dakika boyunca süpürme işlemine tabi tutularak deney gerçekleştirilerek deney sonlandırılmıştır. Son olarak kaydedilen agrega ağırlıkları aşağıdaki denklem 3.1 yardımı ile süpürme sonucu oluşan kayıp yüzde olarak hesaplanmıştır. Kırıntı kauçuk malzeme ile oluşturulan numunelerin süpürme dayanımı diğer iki agregaya göre daha düşüktür. Dere çakılının süpürme dayanımı en

yüksek sonuçları vermiştir. Fakat dere çakılı ile kırıntı kauçuk % 50 oranlarda karıştırılarak oluşturulan numunelerin süpürme dayanımının düştüğü söylenmektedir. Yani kırıntı kauçuk oranının artması süpürme dayanımını düşürmektedir. Deneyde CRS-2P emülsiyonunu ile oluşturulan numunelerin CHFRS-2P emülsiyonundan daha düşük süpürme dayanımı verdiğini görmüşlerdir. Bunun nedeni olarak CHFRS-2P emülsiyonunun mekanik bağ gücünün yüksek olması ve daha akışkan kıvama sahip olması olarak dile getirilmiştir. Deney standardında kür işlemi 1 saat olduğu söylenmektedir. Fakat çalışmada kürleme işlemi 3, 6, 24 ve 72 saat sürelerle gerçekleştirilerek kür işleminin etkisi araştırılmıştır. Sonuçlar değerlendirildiğinde kür süresinin uzaması süpürme dayanımını arttırdığı söylenmektedir.

$$KTK= 100* \frac{W_{s1} - W_{s2}}{W_{s1}} \quad (3.1)$$

Burada;

W_{s1} : El ile hafif süpürme sonucu oluşan numune ağırlığı,

W_{s2} : Süpürme testi sonucunda oluşan numune ağırlığı olarak ifade edilmektedir.

Kumbargeri vd. (2019) tarafından gerçekleştirilen süpürme testinde AASHTO MP27-16 Tip B gradasyonuna sahip tek tip agrega ve tek çeşit modifiye bağlayıcı PG 70-28 kullanılmıştır. Deneyde agrega ve bağlayıcı oranları değiştirilerek numuneler hazırlanmıştır. 1. Grup olarak oluşturulan numunelerde agrega uygulama oranı 18 lb/yd² oranı sabit tutulmuş ve bağlayıcı uygulama oranı 0.25, 0.3, 0.35 ve 0.4 Gal/yd² olarak değiştirilerek kullanmışlardır. 2. Grupta ise bağlayıcı uygulama oranı 0.3 Gal/yd² sabit tutulmuş ve agrega oranı 16, 18, 20, 22 lb/yd² kullanılarak numuneleri oluşturmuşlardır. Numuneler 150 mm çapında ve 30 mm yüksekliğinde asfalt numunesi üzerine bitüm ve ardından agrega uygulama işlemi ile oluşturulmuştur. Asfalt numuneler yoğurmalı sıkıştırıcı ile oluşturulmuş ve yüzeylerinin pürüzsüz ve tutuş özellikleri dikkate alınmıştır. Ardından bitüm 175 °C ve agregalar 45 °C ısıtma işlemi uygulandıktan sonra el yoğurma kompaktörü ile 2 yönde de üçer yarım tur şeklinde sıkıştırılmıştır. Bu işlemden sonra sahada kullanılan sıkışma simüle edilebilmek adına Malzeme Test Sistemi (MTS) adı verilen sistem ile ek sıkıştırmaya tabi tutulmuştur. Superpave Döner Kompaktörde 600 kPa basınç altında 25 döngü için 0.1 Hz frekansta sıkıştırma işlemi uygulanmıştır. Sıkıştırma işleminin ardından numuneler 25 °C'de 1 saat boyunca kür uygulaması yapılmıştır. Çalışmada gerçekleştirilen modifiye süpürme testi ASTM D7000 standardında yer alan parametreler dikkate alınarak uygulanmıştır. Kür işlemi uygulanan

numuneler saniyede 0,83 devirlik hızdaki fırça ile 1 dakika boyunca süpürme testine tabi tutulmuştur. Daha sonra çalışmada aşınma miktarı 3 farklı şekilde ele alınmıştır. El ile fırçalama sonucu, süpürme testi sonucu ve toplam kayıp olarak ifade edilmiştir.

Elle fırçalama sonucu kayıp, ASTM D7000 standardında yer alan süpürme testinin bir aşaması olan elle süpürme işlemi kür olan numunenin dik hale getirildikten sonra hafif bir kuvvetle bitüme yapışmayan agregaların fırçalanarak düşürülmesi esasına dayanmaktadır. El ile fırçalama sonucu (EFK) oluşan kayıp aşağıdaki denklem 3.2 ile ifade edilmektedir.

$$EFK = \frac{A - B}{A - C} \quad (3.2)$$

Burada;

A: Fırçalama öncesi numune ağırlığı

B: Fırçalama sonrası numune ağırlığı

C: Alt tabaka ve uygulanan bitüm ağırlığı

Süpürme testi sonucu oluşan kayıp, El ile süpürme işleminden sonra süpürme cihazına yerleştirilen numune saniyede 0,83 devir hızda 1 dakika boyunca süpürme işlemine tabi tutulmuştur. Süpürme işlemi devam ederken aşağıdaki denklem 3.3 de yer alan değerler tespit edilmiş ve süpürme sonucu oluşan kayıp (SSOK) saptanmıştır.

$$SSOK = 100 * \frac{B - D}{B - C} \quad (3.3)$$

Burada:

B ve C: yukarıdaki denklemdeki değerler ile aynıdır.

D: Süpürme testinden sonraki numune ağırlığı

Kümülatif toplam kayıp (KTK), El ve süpürme testi sonucu oluşan toplam kayıp olarak ifade edilmiş ve aşağıdaki denklem 3.4 ile kayıp yüzdesi sayısal olarak ifade edilmiştir.

$$KTK = 100 * \frac{A - D}{A - C} \quad (3.4)$$

El ile fırçalama sonucunda oluşan kayıp bitüm oranının artması ile azalmaktadır. Agreganın artması ile birlikte süpürme kaybının arttığı belirtilmiştir. Süpürme işlemi sonucunda kümülatif olarak süpürme testinde agrega miktarının artırılması ve bağlayıcı miktarının azaltılması numuneler üzerinde agrega kayıp miktarının artmasına sebep olduğu belirtilmiştir. Kaplamaya istenilenden az bağlayıcı uygulamak agregaların bitüme yapışma oranını düşürecektir. Fazla agrega uygulaması ile birlikte üst kısımdaki fazla agreganın bağlayıcıya tutunamayacağı belirtilmiştir.

Rahman vd. (2020), uyguladığı süpürme testinde bağlayıcı olarak kırıntı kauçuk modifiye edilmiş CRS-2TR emülsiyonu, AC20-TR emülsiyonu, polimer ile modifiye edilmiş CRS-2P emülsiyonu, CRS-2 modifiye emülsiyonu kullanmıştır. Deneyle emülsiyonlar arasında değerlendirmenin yanında farklı dizayn metodundaki oranlarda kullanılarak numuneler oluşturulmuştur. Numunelerin hazırlama işlemi ilk olarak 300 mm çapında asfalt keçe diskleri düzleştirmek amacı ile 50°C’de 48 saat fırında bekletilmesinin ardından 24 saat oda koşullarında soğumaya tabi tutulması ile gerçekleştirilmektedir. Daha sonra kesilmiş keçeler aynı boyutlardaki ahşap üzerine yapıştırılmasının ardından spatula yardımı ile 60°C ısıtılmış emülsiyon eşit bir şekilde uygulanmıştır. Ardından üzerine agregaların serilmesi ve sıkıştırıldıktan sonra numuneler 4 saat 35°C’de bırakılmıştır. Yani iki deneyinde numuneleri aynı şekilde hazırlanmıştır. Hazırlanan numune üzerindeki yapışmayan agregalar hafifçe süpürülerek numuneden ayrılması sağlanmıştır. Daha sonra ağırlığı tartılarak kaydedilmiştir. Çalışmada süpürme işleminin simüle edilmesi için A 120 Hobart Mikserin uç kısmına fırça takılarak bu işlemin gerçekleştirilmesi sağlanmıştır. Süpürme işlemi saniyede 0,83 dönüş hızında uygulanmıştır. Daha sonra kopan tüm agregalardan arındırılan numune tartılarak değer kaydedilmiştir. Agreganın kayıp oranını saptanması için aşağıdaki denklem 3.5 kullanılmıştır. Deney 3 adet numuneye uygulanarak ortalama değerler alınmıştır.

$$\text{Agrega kaybı (\%)} = [(A-B) / (A-C)] * 100 * 1,33 \quad (3.5)$$

Burada;

A: İlk numune ağırlığı,

B: Son numune ağırlığı,

C: Asfalt keçe diskin ağırlığı olarak ifade edilmektedir.

Süpürme deneyi sonucunda en düşük süpürme kaybının AC20-TR emülsiyonunda olduğu görülmüştür. Nedeni olarak AC20-TR emülsiyonun daha yüksek sıcaklıkta oluşturulması ve yüksek trafiğe sahip yollarda kullanılması olduğu belirtilmiştir. En fazla

süpürme kaybı ise CRS-2 emülsiyonunda olduğu görülmüştür. İki bitüm arasında birbirine yakın süpürme kaybı değeri gösteren CRS-2TR ve CRS-2P emülsiyonları farklı dizayn metotlarına göre farklı oranlarda uygulanarak bağlayıcı uygulama oranının süpürme kaybı üzerindeki etkisi araştırmaya çalışılmıştır. Bağlayıcı uygulama oranının artmasının süpürme sonucunda oluşan agrega kaybını azalttığı söylenmiştir.

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. Materyal

Tez çalışmasında kullanılan kireçtaşı agregası İz Grup Madencilik Bilecik'te yer alan ocağından, atık asfalt beton agregası İz Grup Madencilik tarafından Bilecik- Bozüyük arasında freze yardımı ile kazınması sonucunda ve bazalt agregası Kütahya Gökkuşluğu Madencilikten temin edilmiştir. Deneylede kullanılan B 50/70 bitümü Bilecik İl Özel İradesi plentinden, B 70/100 bitümü Karayolları 3. Bölge Müdürlüğü Pınarbaşı deposundan temin edilmiştir. B 100/150 ve B160/220 bitümleri ise Karayolları 14. Bölge müdürlüğü AR-GE laboratuvarından temin edilmiştir.

Oluşturulan numunelerde kullanılan agrega ve agrega oranlarına göre isimlendirmeler aşağıdaki Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Deney numunelerinin isimlendirilmesi

Kullanılan agrega	İsimlendirme
% 100 Kireçtaşı	100K
% 100 Bazalt	100B
% 100 Atık asfalt betonu agregası	100A
% 75 Kireçtaşı- % 25 Atık asfalt betonu agregası	75K25A
% 50 Kireçtaşı- % 50 Atık asfalt betonu agregası	50K50A
% 75 Kireçtaşı- % 25 Bazalt	75K25B
% 50 Kireçtaşı- % 50 Bazalt	50K50B
% 75 Atık asfalt betonu agregası- %25 Bazalt	75A25B
% 50 Atık asfalt betonu agregası- %50 Bazalt	50A50B

4.2. Yöntem

4.2.1. Sathi Kaplama Agrega Deneyleleri

4.2.1.1. Elek Analizi

Elek analizi deneyi kullanılacak agregaların dane boyutu dağılımının saptanarak standartlar içerisinde yer alıp almadığının kontrolü amacı ile yapılan bir deney olarak

bilinmektedir. Deneyde kare deliklere sahip elekler yardımı ile gerçekleştirilmektedir. Eleme işlemi en büyük açıklığa sahip elekten başlanarak daha küçük gözlü eleklerle doğru ilerlemektedir. Tablo 4.2’de karayollarında kullanılan agregaların dane dağılımında kullanılan eleklerin boyutları görülebilmektedir (Bozkurt, 2017: 43).

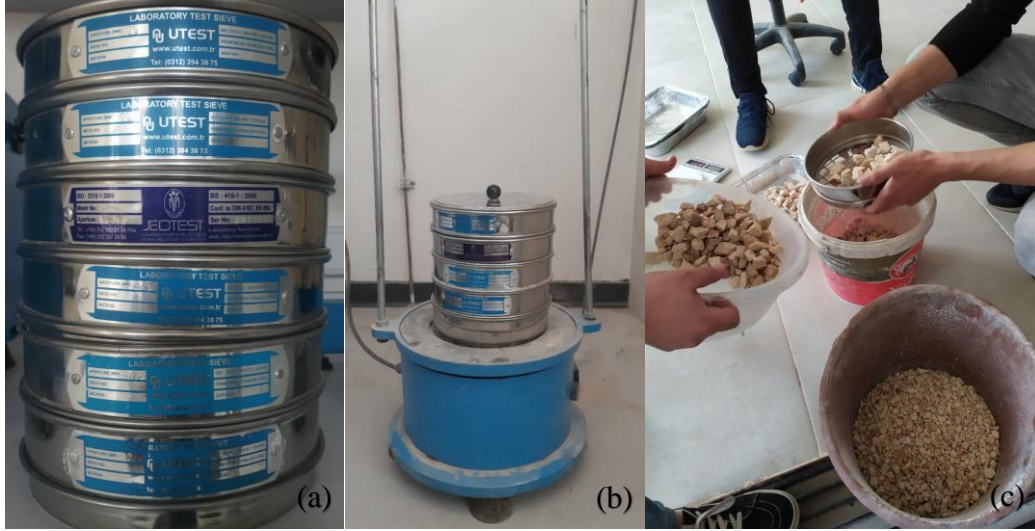
Elek analizi deneyi TS EN 933-1 standardına göre gerçekleştirilmektedir. Elek analizi yapılmadan önce alınan numune iyice karıştırıldıktan sonra bölgeç ya da çeyrekleme yöntemi kullanılarak elek analizi gerçekleştirilmektedir. Alınan numune 4 eşit parçaya ayrılır ya da numune yere daire şeklinde yayıldıktan sonra 4 eşit parçaya ayrılarak karşılıklı olan numunelere elek analizi uygulanmaktadır. Bölgeç numuneyi 2 eş ve birbirine yakın dane boyutuna bölecek şekilde olmalıdır. Numune döküldüğünde her iki tarafa da eşit miktarda numune gitmesi sağlanmalıdır. Numunenin yere serilerek 4 parçaya ayrılma işlemine çeyrekleme ismi verilmektedir. Çeyrekleme işlemi yapılırken numunenin iri ve ince tane dağılımlarının her çeyrek için birbirine yakın tane boyutunda olması istenmektedir. Tane boyutunun özenle ve eşit miktarda dağıtılmaması sonucunda numunelerin agregada dağılımları birbirinden farklı olacaktır. Bu nedenle deney sonuçları gerçeği yansıtmayacaktır.

Tablo 4.2. Elek açıklıkları

Elek açıklığı	
Mm	İnch
75	3
50	2
37.5	1.5
25.0	1
19	3/4
12.7	1/2
9.5	3/8
4.75	No.4
2.00	No.10
0.425	No.40
0.177	No.80
0.075	No.200

Kaynak: (KTŞ, 2013: 401/1)

Elek analizi yapılacak numunenin seçilmesinin ardından numune 24 saat boyunca 110 °C'deki etüve koyularak kurutulur. Bu işlem sonucunda agregalar değişmez bir ağırlığa sahip hale gelmektedir. Etüvden çıkarılan numune el ile ya da elek sarsma cihazı yardımı ile büyük açıklıklı elekten küçük açıklıklı eleğe doğru sarsma işlemine tabi tutulur. Deneyde kullanılan elekler Şekil 4.1.a'de görülebilmektedir.



Şekil 4.1. Elek analizi, a) Deney elekleri, b) Elek sarsma cihazı, c) Elle yapılan eleme işlemi

Sarsma işlemi cihazda yapılıyor ise 2 dakika boyunca devam ettirmelidir (Şekil 4.1.b). El ile eleme yapılıyor ya da sarsma cihazında eleme yetersiz görülmüş ise eleğin altına düşen malzemenin elek üstündeki malzemeye göre %1 oranda olması durumuna kadar sarsma işlemine devam edilmelidir (Şekil 4.1.c). İşlem sonunda eleklerin üzerinde kalan malzemeler tartılarak aşağıdaki denklem 4.1 yardımı ile elek üzerindeki kalan malzeme oranı hesaplanarak şartname limitleri arasında olup olmadığı saptanmaktadır.

$$Ps = \frac{Ws}{Wi} * 100 (\%) \quad (4.1)$$

Ps: Elek üzerinde kalan malzeme yüzdesi

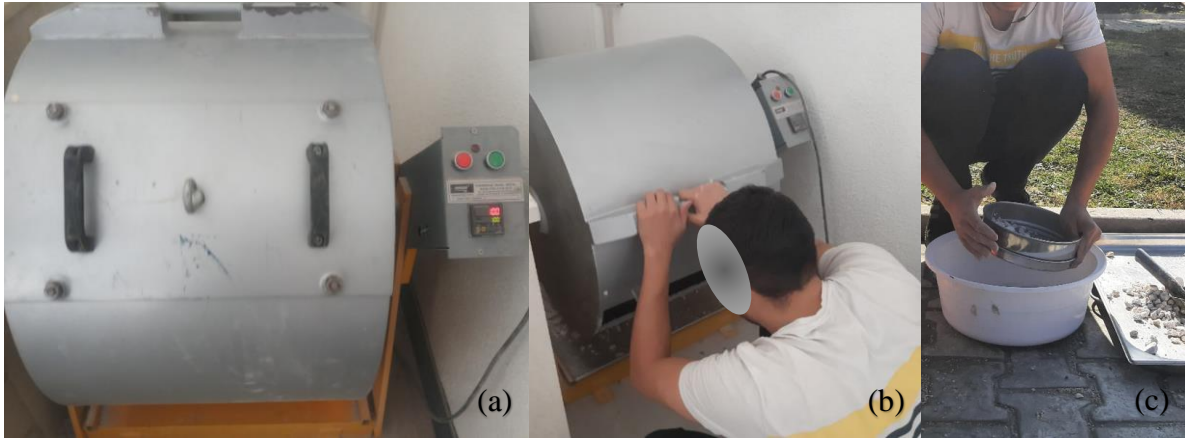
Ws: Elek üzerinde kalan malzeme miktarı (gr)

Wi: Toplam deney numunesi (gr)

4.2.1.2. Los Angeles (Aşınma kaybı) deneyi

Koruyucu sathi kaplamada agregaların sıkıştırma esnasında ve hizmet ömrü boyunca karşılaşılabilecek yükler altında kırılması ve aşınması istenmeyen bir durumdur. Bu nedenle kaplamada aşınma dayanımı yüksek agregaların kullanılması gerekir.

Şekil 4.2’de aşamaları görülen Los Angeles Deneyi ile agregalarda aşınma kaybının tayini gerçekleştirilmektedir. Deney TS EN 1097-2 standardına göre gerçekleştirilmektedir.



Şekil 4.2. Los Angeles deneyi, a) Los Angeles deney aleti, b) Deney numunelerinin cihaz içerisinde alınması, c) Deney sonunda agrega numunesinin 1,6 mm elekten elenmesi

Deney uygulama olarak Şekil 4.2.a’de gösterildiği gibi çelik saçtan imal edilmiş dakikada 30-35 devir dönüş yapabilecek şekilde tasarlanmış Şekil 4.2.b’de görülen silindirik bir hazne barındıran cihaz ile gerçekleştirilmektedir. Deneyin uygulanacağı farklı dane sınıfına sahip numune tipleri (Tablo 4.3) ile agregalar numune tipine göre belirlenmiş metal bilyeler (Tablo 4.4) ile birlikte cihazın silindirine atılır. Silindir 100 devir yapacak şekilde cihaz çalıştırılır. Dönme işlemi sonunda Şekil 4.2.c’da görüldüğü gibi numune bir kaba alınır. Son olarak numuneler Şekil ‘de görüldüğü üzere 1,6 mm elekten elenir ve elek üzerinde kalan malzeme tartılır.

Tablo 4.3. Los Angeles deneyinde kullanılacak numune miktarları

Dane sınıfı (mm)	Numune tipleri ve miktarları (gr)						
	A	B	C	D	E	F	G
90.0- 63.0					2500		
63.0-45.0					2500		
45.0- 31.5					5000		
31.5- 22.4	1250					5000	
22.4- 16.0	1250					5000	
16.0- 11.2	1250	2500					5000
11.2- 8.0	1250	2500					5000
8.0- 5.6			2500				
5.6- 4.0			2500				
4.0- 2.0				5000			
Toplam	5000±10	5000±10	5000±10	5000±10	10000±100	10000±75	10000±50

Kaynak: (Karacasu, 2016: 29)

100 devirin ardından elek üzerinde kalan malzeme numune tipine göre tekrar deney cihazına koyularak A, B, C, D tipleri 400 devir; E, F, G tipleri ise 900 devir daha aşındırma işlemine tabi tutulur. Daha sonra numune tekrar 1.6 mm elekten elenerek elek üzerinde kalan agregalar tartılır.

Tablo 4.4. Los Angeles deneyinde kullanılacak bilye sayıları ve miktarları

Numune tipi	Bilye sayısı	Bilyelerin toplam ağırlığı (gr)
A	12	5000±25
B	11	4584±25
C	8	3330±20
D	6	2500±15
E	12	5000±25
F	12	5000±25
G	12	5000±25

Kaynak: (Karacasu, 2016: 30)

Deney sonunda aşağıdaki denklem 4.2 ve denklem 4.3 kullanılarak aşınma miktarı hesaplanır (Tunç ve Alyamaç, 2020: 4).

$$LA_1 = \frac{W_1 - W_2}{W_1} * 100 (\%) \quad (4.2)$$

$$LA_2 = \frac{W_1 - W_3}{W_1} * 100 (\%) \quad (4.3)$$

LA₁: 100 devir sonucu oluşan aşınma oranı

LA₂: 500 veya 1000 devir sonucu oluşan aşınma oranı

W₁: Numunenin ilk ağırlığı

W₂: 100 dönüş sonunda 1.6 mm elek üzeri kalan numune

W₃: 500 veya 1000 dönüş sonunda 1.6 mm elek üzeri kalan numune

4.2.1.3. Kaba agrega özgül ağırlık deneyi

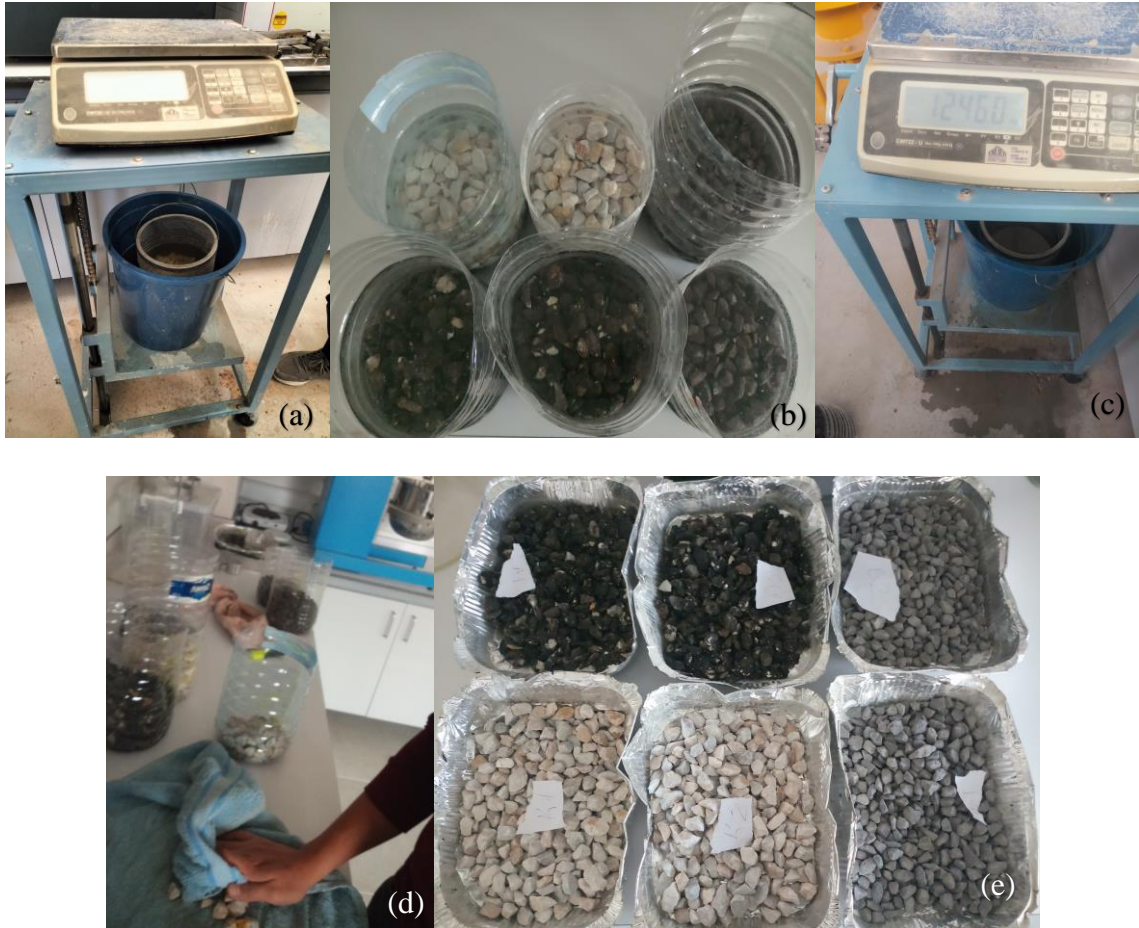
Kaplamada 4.75 mm elek üzerinde kalan agregalar kaba agregalar olarak isimlendirilir. Kaba agregaların özgül ağırlıkları ve su emme miktarlarının tayininde uygulanan bir deneydir.

Deney TS EN 1097-6 standardına göre gerçekleştirilmektedir. Özgül ağırlığı kısaca tanımlamak istersek agregaların birim hacimdeki ağırlığının aynı hacimde 25 derecedeki suyun ağırlığına oranı olarak ifade edilebilir. Özgül ağırlık karşımıza 3 farklı şekilde çıkmaktadır.

Zahiri Özgül Ağırlık (SGa), belirli bir sıcaklıkta agreganın geçirimsiz boşluklarını içeren birim hacminin havadaki ağırlığının, aynı sıcaklıkta ve aynı hacimdeki havası alınmış destile suyun ağırlığına oranıdır.

Hacim Özgül Ağırlığı (SGb), belirli bir sıcaklıkta agreganın geçirgen olan ve olmayan boşluklarını içeren birim hacminin havadaki ağırlığının, aynı sıcaklık ve hacminin havadaki ağırlığının, aynı sıcaklıkta ve aynı hacimdeki havası alınmış destile suyun ağırlığına oranıdır.

Efektif Özgül Ağırlık (SGssd), belirli bir sıcaklıkta agreganın geçirimli boşlukları hariç geçirimli ve geçirimsiz boşluklarının içeren birim hacminin havadaki ağırlığının, aynı sıcaklık ve hacimdeki havası alınmış destile suyun ağırlığına oranıdır.



Şekil 4.3. Kaba agrega özgül ağırlık deneyi a) Özgül ağırlık sehpası, b) Numunelerin 24 saat su içerisinde bekletilme işlemi c) Su içerisinde agrega ağırlığı tartımı, d) Agregaların yüzey kurulama işlemi, e) Etüvden çıkarılmış kuru agregalar

İri agrega özgül ağırlık deneyi Şekil 4.3.a'de bulunan özgül ağırlık sehпасı ile gerçekleştirilmektedir. Genel anlamda özgül ağırlık sehпасı agregaların koyulması için tel sepet, terazi ve kovadan oluşmaktadır. Numune dane dağılımını temsil edecek şekilde 2 kg ağırlığında alındıktan sonra agregalar kir ve tozdan arındırılmak için yıkama işlemi uygulanır. Yıkanan agregalar Şekil 4.3.b'de görüldüğü gibi 24 saat su içerisinde bekletilip özgül ağırlık sehпасında tel sepet su altında 5 cm kalacak şekilde tartma işlemi (Şekil 4.3.c) uygulanarak agregaların su altındaki ağırlığı (Ms) ölçülür. Ardından agregalar suyun içinden çıkarılır ve yüzeyleri bir havlu yardımı ile Şekil 4.3.d'de de görüldüğü gibi kurulanır.

Yüzeyi kurulan agregalar suya doygun yüzey kuru haldeki ağırlığının (MSSD) saptanması için agregalar tartılır. Son olarak agregaların kuru ağırlığının (Mk) saptanması için agregalar 110 °C'de etüvde bekletilir ve içerisindeki suyun buharlaşması sağlanır. Şekil 4.3.e'de agregaların kuru halleri görülebilmektedir (Şeker, 2020: 28).

Değerlerin saptanmasının ardından aşağıdaki denklem 4.4, 4.5, 4.6 ve 4.7 yardımı ile özgül ağırlık değerleri ve su emme miktarı saptanır.

$$SGa = \frac{Mk}{Mk - Ms} \quad (4.4)$$

$$SGb = \frac{Mk}{MSSD - Ms} \quad (4.5)$$

$$SGSSD = \frac{MSSD}{MSSD - Ms} \quad (4.6)$$

$$\text{Su emme miktarı (SE)} = \frac{MSSD - Mk}{Mk} \quad (4.7)$$

4.2.1.4. Agrega birim hacim ağırlık deneyi

Sathi kaplama tabakasında kullanılacak agregaların birim hacim ağırlıklarının saptanması için kullanılan deney yöntemidir. Deney agregaların sıkı ve gevşek olarak işgal edeceği hacmin saptanması adına gerçekleştirilmektedir. Deneyde hacmi belirli, su geçirgenliği olmayan ve malzeme ilavesi ile şekil değişikliğine uğramayan bir kap kullanılmaktadır. Bunun

yanında 0,1 gr hassaslıkta ve yeterli ağırlığı tartabilecek terazi ile malzemeyi şişleyecek 60 cm boya ve 1,6 cm çapta paslanmaz çelik çubuk kullanılmaktadır. Çubuğun uç kısmının yuvarlanmış olması gerekmektedir. Deneyde kullanılacak numune miktarı en büyük tane büyüklüğüne göre değişiklik göstermektedir. Tablo 4.5’de tane büyüklüğüne göre deney numunesi miktarları görülebilmektedir.

Tablo 4.5. Agrega birim hacim ağırlık deneyi kullanılacak numune miktarları

En büyük tane büyüklüğü (mm)	0.25	0.50	1	2	4	8	16	31.5	63	90	125
Numune miktarı (kg)	5	5	5	5	5	5	5	25	25	50	50

Kaynak: (Karacasu, 2016: 35)

4.2.1.4.1. Sıkışık birim hacim ağırlık

Deneyde kullanılacak ve hacmi sabit kabın ağırlığı (W_i) tartılarak saptanır (Şekil 4.4.a). Deney numunesinin alınmasının ardından numune deney kabına 3 tabaka Şekil 4.4.b’de görüldüğü gibi kürek yardımı ile doldurulur ve her tabakada numuneye 25 defa şişleme uygulanarak numune deney kalıbına yerleştirilir (Şekil 4.4.c). Şişleme işlemi 31.5 mm den küçük agregalar için yapılır. Eğer agregaların boyutu 31.5 mm den büyük ise şişleme yerine kap yanlarında bulunan saplardan tutularak sarsılır. Son olarak Şekil 4.4.e’de görüldüğü gibi kalıbın üstünde kalan fazla agregalar düzlenerek alınır (Rahmany, 2019: 29).

Bu işlemler sonucunda agrega doldurulan kabın ağırlığı (W_s) tekrar saptanır. Ağırlığın belirlenmesinin ardından aşağıdaki denklem 4.8 yardımı ile sıkışık birim hacim ağırlık saptanır.

$$BHA_s = \frac{(W_s - W_i)}{V} \quad (4.8)$$

Burada:

BHAs: Agrega sıkışık birim hacim ağırlığı

V: Kabın hacmi (cm^3)



Şekil 4.4. Birim hacim ağırlık deneyi, a) Hacmi belli kabın ağırlığının saptanması, b) Kürek yardımı ile agregaların kaba doldurulması, c) Kaba doldurulan agregaların şişleme işlemi, d) Kabın üst kısmındaki agregaların alınması

4.2.1.4.2. Gevşek birim hacim ağırlık

Deney TS EN 1097-3 standardına göre gerçekleştirilmektedir. Gevşek birim hacim ağırlık bulunurken sıkışık birim hacim ağırlıktan farklı olarak numuneye şişleme işlemi uygulanmamaktadır. Numune kaba kürek yardımı ile doldurulur ve üzeri düzeltilir. Ardından ağırlığı (W_s) tartılır. Daha sonra aşağıdaki denklem 4.9 ile gevşek birim hacim ağırlık hesaplanır (Rahmany, 2019: 30).

$$BHA_g = \frac{(W_s - W_i)}{V} \quad (4.9)$$

Burada:

BHA_g: Agreganın gevşek birim hacim ağırlığı

V: Kabın hacmi (cm³)

4.2.1.5. Yassılık indeksi deneyi

Genel olarak asfalt kaplamalarında yassı haldeki agregaların fazla olması istenmeyen bir durumdur. Nedeni ise yassı ve uzun tanelerin ince kısımlarından kolaylıkla kırılabilir olmasından gelmektedir. Sathi kaplama tabakasında TS EN 933-3'e göre agregaların yassılık indeksinin %20'den düşük olması istenmektedir. Agregalar arasında en küçük boyutun en büyük boyuta oranı 0,6'dan küçük olan agregalar yassı agrega olarak kabul görmektedir. Deney boyutu 80 mm'den büyük ve 4 mm'den küçük agregalara uygulanmamaktadır. Yassılık indeksinin tayininde kullanılan elekler Şekil 4.5'de görülmektedir. Elek seti 633-63 mm arasında değişen farklı boyutta eleklerden oluşmaktadır. Deneyde kullanılacak numune miktarı elek açıklıklarına göre değişmektedir. Elek açıklığına göre deneyin uygulanacağı numune miktarı Tablo 4.6'de görülmektedir.

Tablo 4.6. Yassılık indeksi elek çapına göre numune miktarları

Dane büyüklüğü dağılımı, di/Di (mm)	Numune miktarı (kg)
63/80	50
50/63	25
37.5/50	18
35/37.5	8
19/25	2.5
12/19	1
9.5/12	0.5
6.3/9.5	0.25
Di: Büyük elek çapı, di: Küçük elek çapı	

Kaynak: (Karacasu, 2016: 32)

Alınan deney numuneler Şekil 4.5'de görüldüğü gibi uygun elekten elenerek yassılık indeksi temin edilir. Yassılık indeksi her elek açıklığı için ayrı ayrı hesaplanabildiği gibi toplam yassılık indeksi de hesaplanabilir. Hesaplamalar aşağıdaki formüller kullanılarak yapılabilmektedir. Hesaplamalar en son tam sayıya yuvarlanmalıdır (Toprak Ve Stabilizasyon Laboratuvar El Kitabı, 2021: 133).



Şekil 4.5. Yassılık deneyi elekleri

Tek elek açıklığı için yassılık indeksi hesabı denklem 4.10;

$$FI_i = \frac{W_s}{W_i} * 100 (\%) \quad (4.10)$$

FI_i: Seçilen elekler (d_i/D_i) arası yassılık indeksi

W_s: Seçilen elekler (d_i/D_i) arası kalan malzeme miktarı, gr

W_i: Yassılık indeksi uygulanan elekten geçen malzeme miktarı (Yassı malzeme miktarı), gr

Toplam yassılık indeksi denklem 4.11;

$$FI = \frac{W_s}{W_i} * 100 (\%) \quad (4.11)$$

FI: Kümülatif yassılık indeksi

W_s: Toplam elenen malzeme miktarı, gr

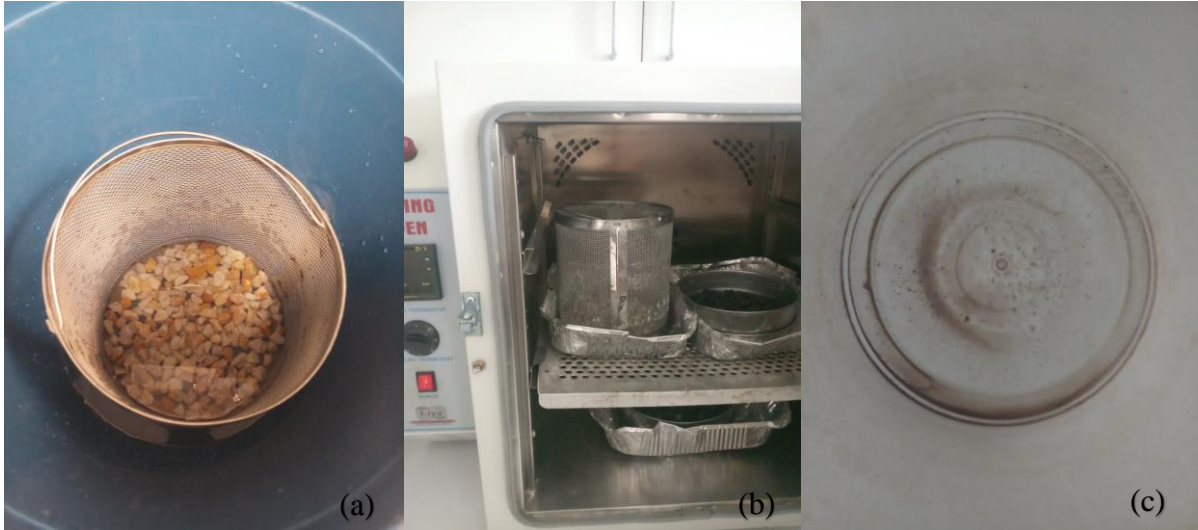
W_i: Tüm elek açıklıkları için geçen yassı malzeme miktarı, gr

Kullanılarak hesaplanır.

4.2.1.6. Kimyasal donma- çözülme deneyi

Donma- çözülme deneyi sathi kaplama tabakasında kullanılacak agregaların tekrarlı olarak donma çözünmeye maruz kalmaları sonucunda meydana gelecek değişimlerin saptanması adına gerçekleştirilen bir deneydir. Böylelikle agregalarda meydana gelebilecek kayıplar önceden tespit edilebilmektedir. Deney Na₂SO₄ veya MgSO₄ kimyasalları kullanılarak

gerçekleştirilir. Deney TS EN 1367-2 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Deneyde ilk olarak agregaların içerisine koyulacağı çözelti hazırlanmalıdır. Çözelti 1 L suya 350 gr MgSO₄ ilave edilerek oluşturulmaktadır. Deney genellikle 10-14 mm elekler arasında kalan agregalara uygulanmaktadır. Fakat bazı durumlarda aşağıdaki Tablo 'da yer alan elek açıklıklarına sahip numune miktarlarından 2 adet numune alınarak deney gerçekleştirilmektedir. Alınan numuneler 5 cm çözelti içerisinde kalacak şekilde tel sepet içerisinde çözelti içinde 17± 0,5 saat bekletilir (Şekil 4.6.a). Çözeltide bekletilmesinin ardından numuneler etüvde 2± 0.25 saat 110± 5 °C'de bekletilir (Şekil 4.6.b). Etüvde bekletilme süresinin ardından oda sıcaklığında 5 ± 0.25 saat numuneler beklemeğe bırakılır. Bu işlemlerin tamamı 5 kez aynı sıra ile tekrarlanır. Son kez tekrarın ardından numuneler yıkanır ve etüvde 110 ± 5 °C'de içerisindeki suyu tamamen kaybedene kadar yani değişmez ağırlığa gelene kadar bekletilir. Şekil 4.6.c'de deney uygulamasından sonra agrega yüzeyinden kopan parçalar görülebilmektedir.



Şekil 4.6. Kimyasal donma çözülme deneyi, a) Tel sepet içinde çözültide bekletilen numune, b) Numunenin etüvde bekletilmesi, c) Donma çözülme sonucu oluşan kayıp

Son olarak kalan numune belirlenerek aşağıda bulunan denklem 4.12 yardımı ile donma- çözülme kaybı (FTR) saptanır (Karacasu, 2016).

$$FTR = \frac{W_i - W_s}{W_i} * 100 (\%) \quad (4.12)$$

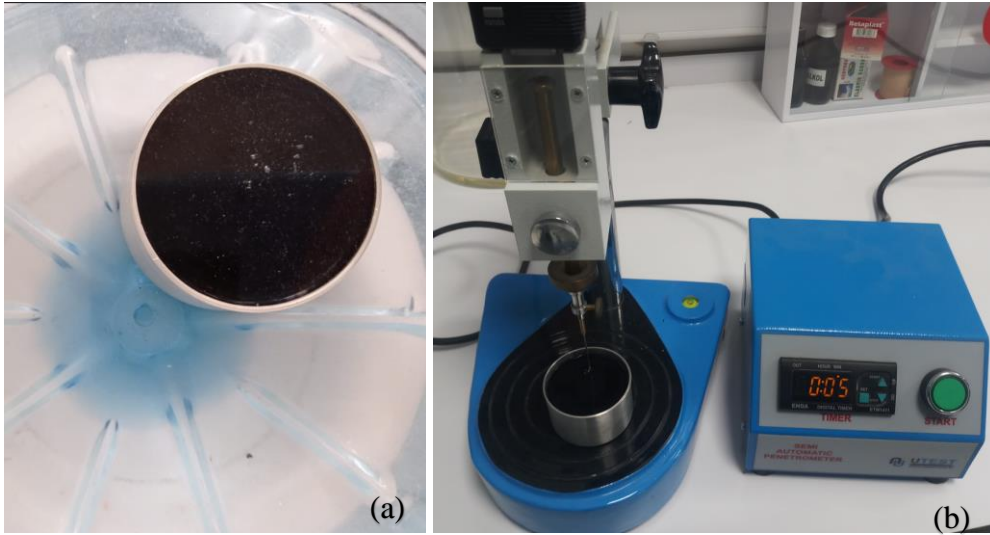
W_s: Donma- çözülme deneyi sonunda tartılan agrega miktarı (gr)

W_i: Deney için alınan ilk numune miktarı (gr)

4.2.2. Sathi Kaplama Bitüm Deneyleri

4.2.2.1. Penetrasyon deneyi

Bitüm ve bitümlü bağlayıcıların kıvam ve sertliğini belirlemek için gerçekleştirilen penetrasyon deneyi TS EN 1426 standardı baz alınarak gerçekleştirilmiştir. Deney kısaca oda koşullarında deney cihazında yer alan iğnenin batma miktarı olarak ifade edilebilir. Deneye tabi tutulacak bitüm 100 °C sıcaklıkta ısıtılmasının ardından numune kabına dökülür. Bitüm içinde toz kir ve hava kabarcığı olmamasına ve kap içerisindeki yüksekliğinin minimum 10 mm olmasına dikkat edilmelidir. Kaba yerleştirilen numune oda sıcaklığında (25 °C) yaklaşık 60-90 dakika bekletilmesinin ardından numune 25 °C’de Şekil 4.7.a’da görüldüğü gibi su içerisinde de 60- 90 dakika arasında bekletilir ve deney cihazında bulunan iğnenin altına yerleştirilir. Deney cihazında bulunan iğne numune yüzeyine sabitlendikten sonra batma miktarını ölçmek için düzeç sıfırlanır. Ardından 100 gram ağırlığa sahip iğne 5 saniye boyunca bitüm içerisine batacak şekilde sabit bırakılır. Bu işlem 3 kez numunenin farklı noktalarına iğne temizlenerek uygulanır. Batma miktarları kaydedilir ve ortalaması alınarak penetrasyon değeri elde edilir. Şekil 4.7.b’de penetrasyon deneyinde kullanılan cihaz ve numune görülebilmektedir (Aşma, 2022: 35).



Şekil 4.7. Penetrasyon deneyi, a) Su içinde bekletilen penetrasyon numunesi, b) Penetrasyon deney cihazı

4.2.2.2. Yumuşama noktası deneyi

Bitüm yumuşama noktası deneyi, bitümlerin sıcaklık karşısında davranışının saptanması için uygulanmaktadır. TS EN 1427 standardına göre kap içerisinde metal bir bilye bulunan metal yüzüğe dökülen bitümün yumuşayarak kap tabanına ulaştığı sıcaklık değeri

olarak ifade edilmektedir. Deneyde kullanılan 2 adet pirinç halka yapışma önleyici madde sürülen plaka üzerine koyulur ve içine 100 °C'yi geçmeyecek sıcaklıktaki bitüm ısıtılıp dökülür ve soğumaya bırakılır. Sıcaklığı 5 °C olan saf su deney kabına koyulur ve içerisine bilyelerin yerleştirildiği deney düzeneği ve suyun sıcaklığını ölçmek üzere kullanılacak termometre yerleştirilir. Deney numunelerinin içinde bulunduğu su dolu beher her dakikada sıcaklığı 5 °C artırılabilecek şekilde ısıtılarak bitümün aşağıya doğru hareket etmesi sağlanır. Bitüm numunesi beherin alt yüzeyine ulaştığında deney sonlandırılır ve su sıcaklığı termometre yardımı ile ölçülür. Daha sonra ölçülen değerlerin ortalaması alınarak bitümün yumuşama noktası tayin edilir (Geçkil ve Seloğlu, 2019: 206).

4.2.2.3. Parlama noktası deneyi

TS EN 22592 standardına göre gerçekleştirilen parlama noktası deneyi, bitümün yanma ve parlama sıcaklığının saptanması için gerçekleştirilen bir deneydir. Deney uygulamasından önce deneyin yapılacağı ortamda fazla ışık ve hava akımı olmaması deney sonuçlarının doğruluğu için önemli etkilere sahiptir. Deney aleti Şekil 4.8'de görülmektedir. Uygun ortam koşullarının sağlanmasının ardından bitüm 140-160 °C sıcaklıkta numune kabına yerleştirilir. Numune üzerinde hava kabarcığı olmamasına dikkat edilmelidir. Yerleştirilen numune ısıtılmaya başlar. Parlama noktasının tahmini değerine daha hızlı ulaşabilmek adına numune dakikada 14-17 °C ısıtılır. Tahmini değere yaklaşıldığı andan itibaren ısıtma hızı 5-6 °C'ye düşürülür. Aynı zamanda her 3 °C sıcaklık artışında numune üzerinden 1 saniye süreyle alev geçirilerek numune üzerindeki parlama gözlemlenir. Parlama süresi 5 saniye sürdüğü anda ise numune sıcaklığı termometre ile okunarak deney numunesinin parlama sıcaklığı tespit edilmiş olur (Melikoğlu, 2019: 41).



Şekil 4.8. Parlama noktası deney aleti

4.2.2.4. Bitümlü bağlayıcı özgül ağırlık deneyi

Piknometre yöntemi ile gerçekleştirilen özgül ağırlık deneyi TS EN 15326+A1 standardı baz alınarak uygulanmaktadır. Kısaca bağlayıcının özgül ağırlığı 25 °C sıcaklıktaki, hacminin havadaki ağırlığının aynı sıcaklık ve aynı hacimdeki havası alınmış distile suyun ağırlığına oranı olarak ifade edilmektedir. İlk olarak piknometre boş olarak tartılır. Ardından deneyde kullanılan su ile doldurulan piknometre ağırlığı saptanır. Kurulanan piknometre içine yerleşebilecek akıcılığa kadar ısıtılmış bitüm numunesi piknometre içine dökülür. Bitüm ile dolu piknometrenin geri kalanı su ile doldurulur 30 dakika boyunca 25 °C su banyosuna koyulan numune süre sonunda tartılır. Kaydedilen tüm değerler aşağıdaki denklem 4.13 yazılarak bağlayıcının özgül ağırlığı saptanır (Aktaş, 2014: 48).

$$\text{Bitüm özgül ağırlığı (Gb)} = \frac{C - A}{(B - A) - (D - C)} \quad (4.13)$$

A: Boş piknometre ağırlığı (gr)

B: Su+ piknometre ağırlığı (gr)

C: Bitümlü bağlayıcı+ piknometre ağırlığı (gr)

D: Su+ bitümlü bağlayıcı+ piknometre ağırlığı (gr)

4.2.3. Soyulma ve Yapışma Özelliklerinin Saptanması İçin Uygulanan Deneyler

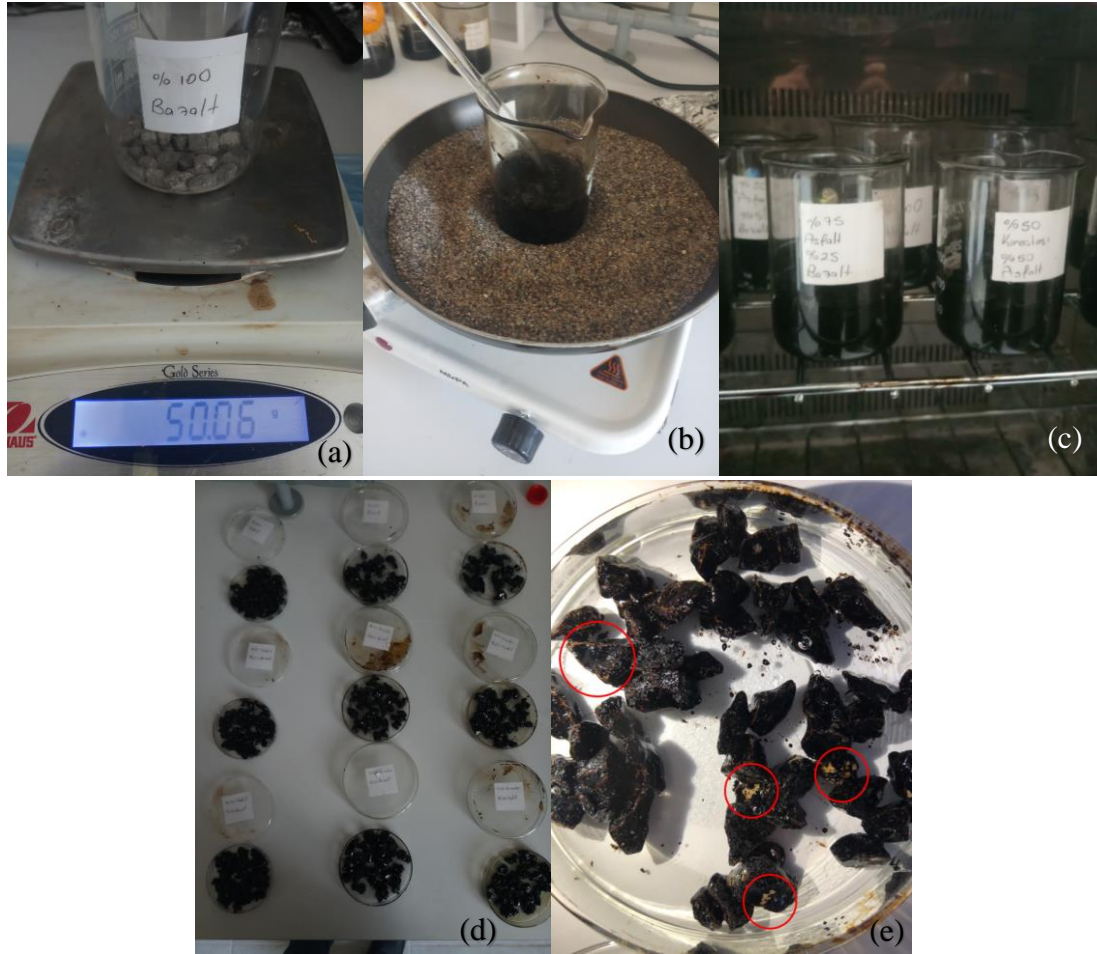
Sathi kaplama tabakasında agrega ile bitüm arasındaki soyulma ve yapışma özelliklerinin saptanması adına deneyler gerçekleştirilmiştir. Bunun yanında sathi kaplama oluşturulduktan sonra süpürme işlemi sonucunda oluşan agrega kaybının saptanabilmesi için süpürme testi uygulanmıştır.

4.2.3.1. Nicholson soyulma deneyi

Nicholson soyulma deneyi agrega ve bitüm arasındaki soyulma mukavemetinin yani adezyon kuvvetinin saptanması için gerçekleştirilen bir deneydir. Deney TS EN 12697-11 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Deney 9,5-4,75 mm elekleri arasında kalan agregalara uygulanmaktadır. Belirtilen elek aralıklarından alınan 200 gr numune yıkandıktan sonra 110 °C etüvde kuruması beklenir. Etüvde kurutulan numune içinden Şekil 4.9.a'de görüldüğü gibi 50±5 gr numune alınarak 1 saat boyunca 140-150 °C etüvde bekletilir. Deneyde kullanılacak 2,5±0,5 gr bitüm behere eklenir ve beher kum banyosuna koyularak baget yardımı ile karıştırılır (Şekil 4.9.b). Tüm yüzeyleri bitüm ile kaplanmış olmasına dikkat edilmelidir. Beher ile birlikte

numuneler 60 °C’de 24 saat bekletilir (Şekil 4.9.c). Daha sonra numuneler 10 cm çapındaki petri kaplarına alınır ve petri kabı saf su ile doldurulduktan sonra kaplar 24 saat süre ile 60 °C etüvde bekletilir (Şekil 4.9.d). Etüvden çıkarılan petri kabı içindeki su yenilendikten sonra agrega yüzeylerine ışık tutup göz ile kontrol edilerek soyulma miktarı yüzde olarak belirlenir. Şekil 4.9.e’de soyulma yüzeyleri görülebilmektedir (Karacasu ve Akalın, 2020: 130).

KTŞ (2013)’ de TS EN 12697-11 standardına göre soyulma mukavemeti deneyinin sonucunda agrega kaplı yüzeylerin %60 ve üzerinde değerlere sahip olması istenmektedir.



Şekil 4.9. Nicholson soyulma deneyi, (a) 50 gr agrega, (b) Kum banyosunda karıştırma işlemi, (c) Numunelerin havada etüvde bekletilmesi, (d) Numunelerin soyulma miktarı kontrolü, (e) Örnek soyulma yüzeyleri

4.2.3.2. Vialit yapışma deneyi

Sathi kaplama tabakasında bağlayıcı ve agrega arasındaki adezyon kuvvetinin saptanması adına gerçekleştirilen bir deneydir. Deney 100 adet agreganın bağlayıcı ile birleşenlerin sayısı saptanarak gerçekleştirilmektedir. Deney TS EN 12272-3 standardına göre gerçekleştirilmiştir.

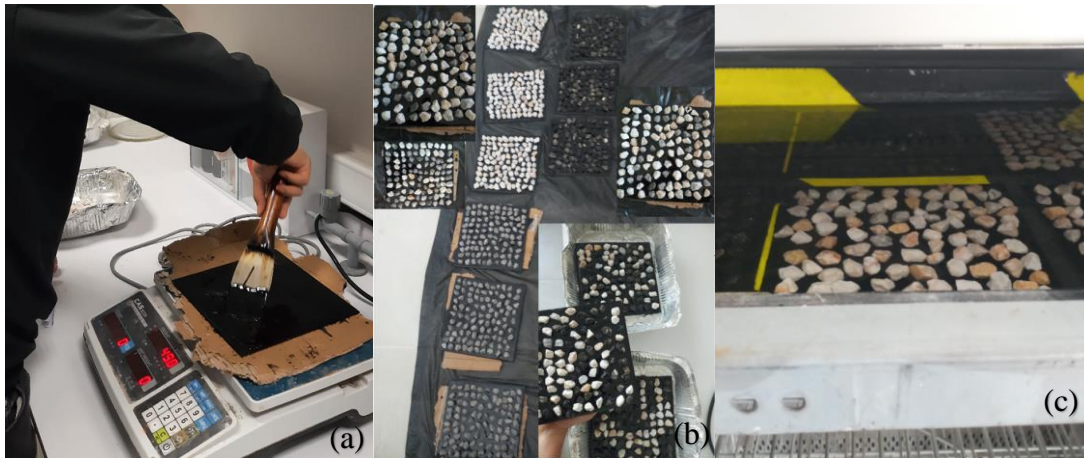
KTŞ'ne (2013: 430/11) göre vialit deneyi ilk olarak 19- 9,5 mm elekleri arasındaki agregalardan kübik şekle yakın agregaların seçilmesi ile başlamaktadır. Her deney numunesinde 100 adet agrega kullanılmasından dolayı ve her malzemeye 3 tekrar olarak deney uygulandığı için toplamda kübik şekle sahip 300 agrega yıkanıp etüvde 110 °C'de sıcaklıkta kurutulur. Agregaların düşürüleceği levhalar ve üzerine uygulanacak bağlayıcı önceden 145-150 °C'ye kadar ısıtılır. Etüvden çıkarılan levhaların üzerine önceden hazırlanmış ve ısıtılmış 40 gram bağlayıcı spatula yardımı ile eşit miktarda uygulanır (Şekil 4.10.a). Tablo 4.7'de agrega boyutuna göre plakaya uygulanacak bitüm miktarları verilmiştir.

Tablo 4.7. Vialit deneyi agrega boyutuna göre bitüm miktarı

Agrega boyutu (mm)	4/6	5/8, 6/10, 8/11	10/14, 11/16
Uygulanacak bitüm (kg/m ²)	0,7	1,0	1,3

Kaynak: (KGM Bitümlü Karışımlar Laboratuvar El kitabı, 2021: 76)

Bağlayıcı uygulanmış levha mekanik sericiye 100 adet agreganın dizildiği düzeneğe yerleştirilir ve agregaların altında bulunan hareketli levha çekilerek agregaların levha üzerine düşmesi sağlanır. Düşürme işleminden sonra 2-3 dakika agregaların bağlayıcıya yapışması beklenir. Oluşturulan numunelerin bir kısmı Şekil 4.10.b'de görülebilmektedir. Yapışma işleminin ardından numune silindir yardımı ile 3 kez bir doğrultuda ve bu doğrultuya dik yönde 3 kez toplamda 6 kez silindir ile geçiş yapılarak sıkıştırma işlemi uygulanır. Yukarıda belirtildiği gibi suyun etkisini laboratuvar ortamına aktarılması için sıkıştırılan numuneler 24 saat boyunca 35 °C suda bekletilir (Şekil 4.10.c) Bu sürenin sonunda numune ters çevrilerek 50 cm yükseklikten 510±10 gram ağırlığındaki çelik bilye 10 saniye aralıklar ile 3 kez düşürülür.



Şekil 4.10. Vialit deneyi, (a) Plaka üzerine bitüm uygulama işlemi, (b) Oluşturulan vialit deneyi numune örnekleri, (c) Su içinde numunelerin kürlenmesi

Son olarak düşen agregalar kontrol edilerek aşağıdaki denklem 4.14 ve denklem 4.15 yardımı ile adezyon miktarı belirlenir.

$$A + B + C = 100 \quad (4.14)$$

$$\text{Adezyon} = B + C \quad (4.15)$$

A= Düşen agregalar içerisinde bitümlenmiş agregalar

B= Düşmüş ve bitümlenmiş agregalar

C= Levhada kalan agregalar

Şeklinde hesaplanır (KGM Bitümlü Karışımlar Laboratuvar El kitabı, 2021: 79).

Adezyon yüzdesinin belirlenme işlemi plakada kalan, sarılı düşen ve sarılmadan düşen olarak gruplara ayrılarak agregaların sayılması sonucu gerçekleştirilmektedir. Bitüm bulaşığı olan agregaların sarılı olarak kabul edilmektedir. Şekil 4.11 'de örnek olarak agregaların sarılma durumları verilmiştir.

Sarılmadan düşen agregaların 10 veya altında olması istenmektedir. Başka bir ifade ile adezyon miktarının 90 ve üzerinde olması istenen bir durumdur (KTŞ, 2013: 404/2).



Şekil 4.11. Vialit deneyi numunelerinin kontrolü

4.2.3.3. Modifiye vialit deneyi

Sathi kaplamada kış aylarında büyük hasara yol açan bozulmalar meydana gelmektedir. Bunun nedeni olarak eksi derecelerde suyun donma çözülme etkisi ile birlikte adezyon kuvvetini bozduğu söylenilebilir. Yurt dışında gerçekleştirilen çalışmalar dikkate alınarak eksi sıcaklıkların adezyon kuvveti üzerine etkisi gözlemlenmeye çalışılmıştır. Standart vialit

testinde olduğu gibi numuneler hazırlanmıştır. Kür işleminden önce numuneler Şekil 4.12.a'da görülen iklimlendirme kabinine yerleştirildi. Şartlandırma işlemi kış aylarındaki günlük sıcaklıkların laboratuvar ortamına aktarılabilmesi için donma ardından çözülme olarak gerçekleştirilmiştir. Numuneler $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar düşürülmüş ve bu sıcaklıkta 5 saat bekletilmiştir. Şekil 4.12.b'de eksi sıcaklıklarda donmuş su içerisindeki numuneler görülmektedir. Bu sürenin sonunda cihaz numuneleri $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar ısıtmış ve bu sıcaklıkta da 5 saat bekletmiştir. Bu işlem dönüşümlü olarak 5 kez tekrarlanmıştır. Şekil 4.12.c'de iklimlendirme kabinine girilen program ve dereceler görülebilmektedir.



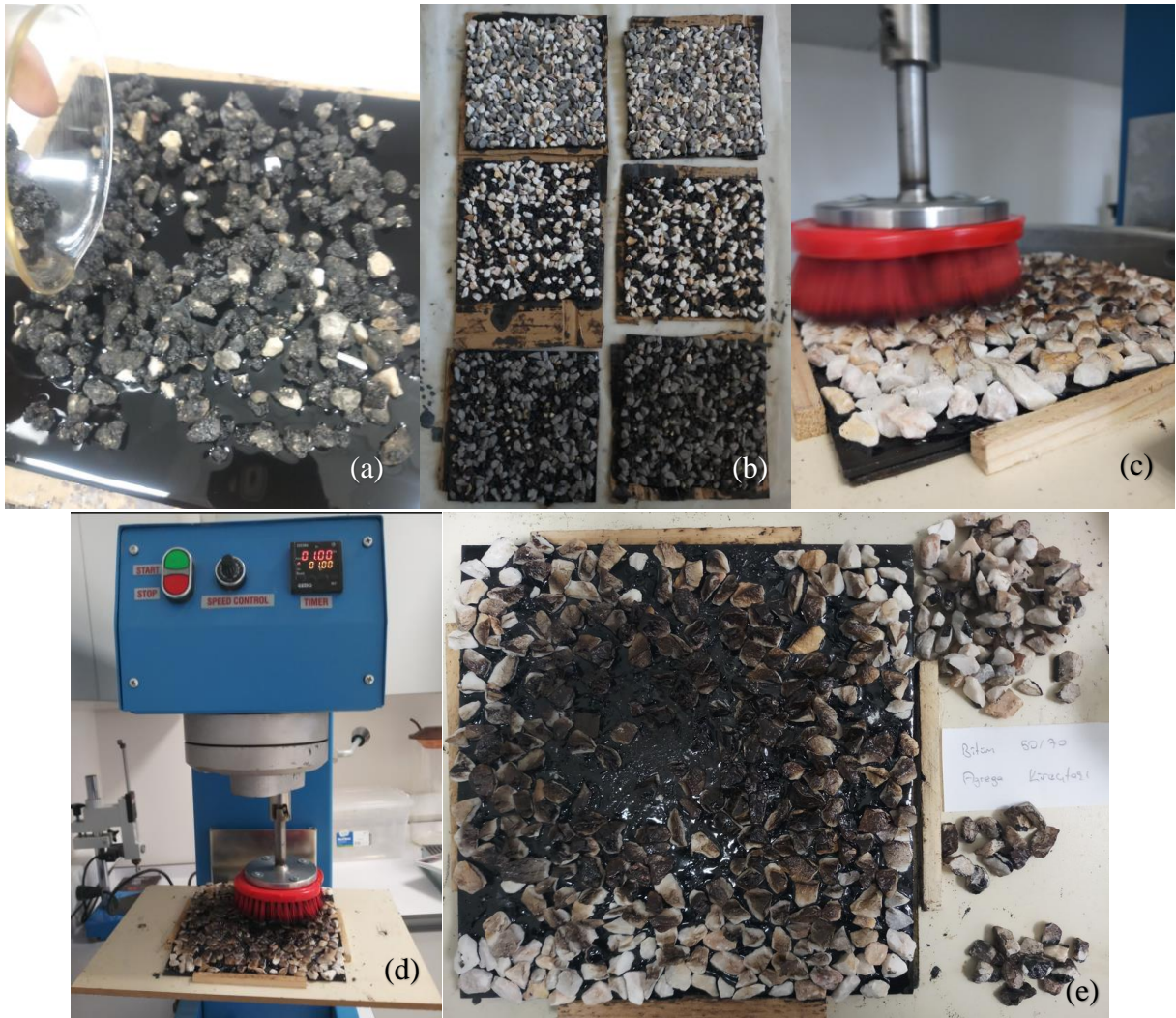
Şekil 4.12. Modifiye vialit deneyi, (a) İklimlendirme kabini, (b) Eksi sıcaklıkta numuneler, (c) İklimlendirme kabinine girilen program, (d) Kabarmış yüzeyler, (e) Eksi sıcaklıkta plakadan tamamen düşen agregalar

Şartlandırma işlemi havada ve suda olmak üzere 2 farklı şekilde gerçekleştirilmiştir. Suda şartlandırılan numunelerde soğüğün etkisi ile meydana gelen kabarmalar Şekil 4.12.d'de görülebilmektedir. Kabarmalar donma çözünme etkisini göstermektedir. Daha sonra havada ve

suda Şartlandırılan numuneler 35 °C’de 24 saat suda kür işlemi uygulanmıştır. Kür işleminin uygulanma sebebi olarak eksi sıcaklıkta bilye düşürme işlemini gerçekleştirdiğimizde numunelerin tamamının bitüm ile birlikte plakadan düştüğü gözlemlenmiştir. Şekil 4.12.e’de plakadan bitüm parçası ile düşen numuneler görülebilmektedir.

4.2.3.4. Süpürme testi

Sathi kaplama tabakası oluşturulurken agrega uygulamasından sonra bağlayıcıya yapışmayan agregaların araçlara sıçramaması ve daha konforlu bir sürüşün sağlanması için süpürme işlemi uygulanmaktadır. Bu nedenle ASTM D 7000 standardında da yer alan süpürme deneyi kendi imkânlarımız ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.13. Süpürme testi, (a) Agrega uygulaması, (b) Süpürme testi numuneleri, (c) Süpürme işlemi, (d) Süpürme testi cihazı, (e) Deney sonucu numune görünümü

Deney ilk olarak standart vialit deneyinde kullanılan 20*20 metal plaka, spatula ve bitüm 145-150 °C etüvde ısıtılır. Etüvden çıkarılan plaka üzerine 40 gram bitüm uygulamasından sonra spatula yardımı ile yayılır. Bitüm soğumadan 4,75- 9,5 mm elekleri arasında kalan agregalar Şekil 4.13.a'da görüldüğü gibi uygulanır. Bitüm ve agreganın plaka üzerine homojen olarak yayılmasına dikkat edilmelidir. Ardından 2-3 dakika soğumaya bırakılan numuneler silindir yardımı ile sıkıştırılır. Oluşturulan numunelerin bir kısmı Şekil 4.13.b'de görülebilmektedir. Daha sonra oluşturulan numuneler 1 saat boyunca 35 °C'de kür işlemine tabi tutulur. Etüvden çıkarılan numune hazırlanan düzeneğe yerleştirilerek yaklaşık olarak saniyede 0,83 devirlik hıza karşılık gelecek şekilde ayarlanarak 1, 3 ve 5 dakika boyunca süpürme işlemine tabi tutulmuştur (Şekil 4.13.c). Süpürme işlemi Şekil 4.13.d'de görülen sıcak asfalt karıştırma makinasına uyan bir uç takılarak gerçekleştirilmiştir. Alt kısmına ahşaptan esnemeyecek ve hareket etmeyecek şekilde bir düzenek oluşturulmuş ve numune oraya sabitlenmiştir. Son olarak kopan agregalar tartılarak deney sonlandırılmıştır. Şekil 4.13.e'de 1, 3 ve 5 dakika sonunda kopan agregalar ve süpürme sonunda numunenin durumu görülebilmektedir.

4.2.4. Birim Maliyet Hesabı

Deneyde kullanılan agregalarla sathi kaplama tabakası oluşturulması sonucunda oluşacak maliyet hesabı Tablo 4.8'de verilmiştir. Hesapta kullanılan veriler Karayolları Genel Müdürlüğü birim fiyat listeleri ve Çevre, Şehircilik Ve İklim Değişikliği Bakanlığı birim fiyatlarından alınmıştır. Birim maliyet hesabı 1 km yol yapımında oluşacak giderlere göre hesaplanmıştır. Hesaplamalar 2*1 yolda şerit genişliği 3 m olarak alınmıştır. Agrega ve bitüm uygulama oranları ise yapılan sathi kaplama dizaynındaki oranlar kullanılarak maliyet hesaplanmıştır. 1 km yol için kireçtaşı 118 ton, bazalt 113 ton ve atık asfalt beton agrega 85,5 ton olarak hesaplanmıştır. Sathi kaplama oluşturma maliyetlerinin yanında taşıma maliyetleri de oldukça önemlidir. Malzemenin getirileceği uzaklık taşıma maliyetlerini büyük ölçüde etkilemektedir. Taşıma maliyetleri hesaplanırken kireçtaşının 25 km uzaklıktan, bazalt agregasının 100 km uzaklıktan ve atık asfalt betonu agregasının 5 km uzaklıktan taşınacağı varsayılarak Karayolları Genel Müdürlüğü birim fiyat hesaplamaları kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır.

Tablo 4.8. Birim maliyet hesabı

İşlem No	Açıklaması	Birimi	Birim fiyatı (TL)	Miktar	Tutar (TL)	Atık asfalt betonu agregası	Kireçtaşı	Bazalt
KGM/0 8.021/ K	Ocaklardan taş hazırlanması	Ton	34,69	-	-	0	4093,42	3919,97
KGM/1 923	Agrega serme makinesinin 1 saatlik ücreti	Saat	864,80	4	3459,2	+	+	+
03.545	Lastik tekerli silindir ile sıkıştırma işlemi	Saat	324,56	4	1298,24	+	+	+
03.530	Konkasör çalışma ücreti	Saat	1 170,14	1	1170,14	+	+	+
KGM/4 393	Distribütör makinesi ile astar bitümlü malzemesinin püskürtülmesi (Boru İle)	Da	338,94	6	2033,64	+	+	+
KGM/4 402	Distribütör makinesi ve 25 mm. (1") lik agrega (Mıçır) ile bir tabaka bitümlü sathi kaplama yapılması	Da	1 703,64	6	10221,84	+	+	+
KGM/4 102	Ocak taşından konkasör ile kırılıp elenmiş 25 mm(1'')ve 19 mm (3/4'') lik agrega hazırlanması	Ton	104,85	-	-	0	12372,3	11848,05
KGM/4 365	Sarnıçlı vagon, tanker, kamyon ve roley tank gibi kaplarla taşınan bitümlü malzemenin depolanması	Ton	18,18	9	163,62	+	+	+
KGM/4 358	Katı bitümlü malzemenin sarnıç veya tanklarda emiş derecesine kadar ısıtılması (Makine ile)	Ton	210,16	9	1891,44	+	+	+
KGM/4 269	Malzemenin kantar ile tartılması	Ton	0,29	-	-	24,795	34,22	32,77

KGM/4 366	Bitümlü malzemenin asfalt pompası ile aktarımı	Ton	7,80	9	70,2	+	+	+
03.521	Lastik tekerlekli yükleyici 1 saat ücreti	Saat	506,52	4	2026,08	+	+	+
03.531	Eleme makinesinin 1 saatlik ücreti	Saat	384,63	2	769,26	+	+	+
KGM/1 912	Süpürge makinesinin 1 saatlik ücreti (9 feet'lik, motorsuz, çekilir tip, döner tamburlu)	Saat	227,56	2	455,12	+	+	+
KGM/0 3.570/2	Asfalt kazıma makinesinin 1 saatlik ücreti (400 HP gücünde, maks. 2,05 m. freze genişliğinde, 0,15 m. freze derinliğinde, konveyörlü)	Saat	5 593,13	2	11 186,26	+	-	-
ÇŞB10. 100.10 03	Her cins ve tonajda motorlu araç taşıma katsayısı	Ad	910	2	1820	+	+	+
ÇŞB 10.100.1 062	Düz işçi	Saat	50	4	200	+	+	+
07.005 /K 07.006 /K	Taşıma	Ton	19,34/ 31,28/ 91	85,5/ 118/ 113	-	1653,57	3691,04	10283
Toplam (TL)						38443,41	45769,76	51662,57

5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

5.1. Agrega Deneyi Sonuçları

5.1.1. Elek analizi sonuçları

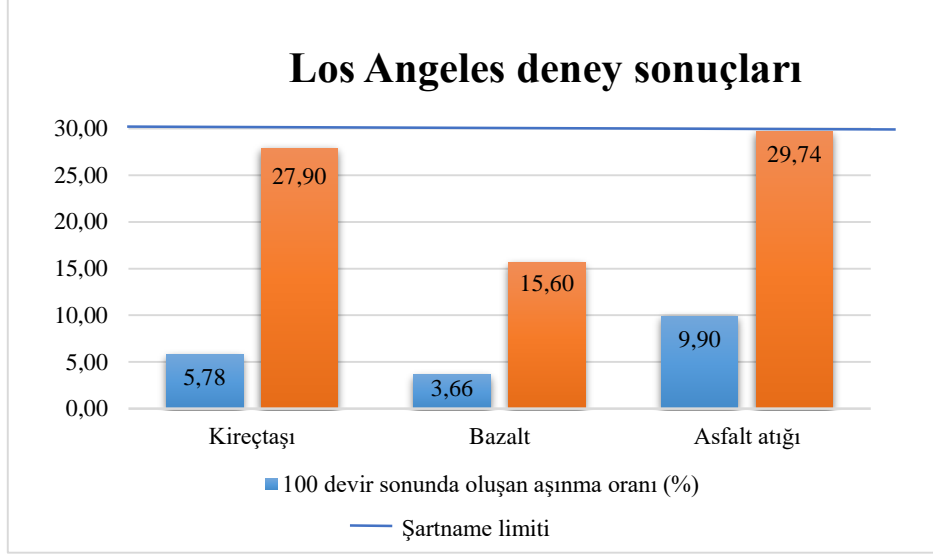
Sathi kaplama tabakasında kullanılacak agregaların dane dağılımının kontrolü amacı ile gerçekleştirilen elek analizi testinin sonuçları aşağıda Tablo 5.1’de verilmiştir. Değerler kontrol edildiğinde kullanılan 3 agreganın da şartname limitleri arasında kaldığı görülebilmektedir. Uygun olmayan dane dağılımına sahip agregaların kullanılması sonucunda kaplamada bozulmalar meydana gelebilmektedir. Bu nedenle kaplama oluşturulurken dane dağılımına dikkat edilmelidir.

Tablo 5.1. Elek analizi sonuçları

Elekler	% Geçen			
	Şartname limiti	Kireçtaşı	Bazalt	Atık asfalt betonu agregası
1’’	100	100	100	100
3/4’’	90-100	100	100	100
1/2’’	0-20	11	14	9
3/8’’	0-10	2	1,8	2
1/4’’	-	-	-	-
No.4	0-2	2	0,5	0
No.10	-	-	-	-

5.1.2. Los Angeles (Aşınma kaybı) deneyi sonuçları

Deney için kullanılan numune tiplerinden sathi kaplama agregası dağılımına en uygun olarak görülen B tipi numuneler seçilip 8,0-11,2 mm ve 11,2- 16,0 mm aralıklarındaki malzemelerin her birinden 2,5 kg gram toplamda 5 kg malzeme alınarak deney başlatılmıştır. Daha sonra tipe uygun olarak 4590 gram ağırlığında 11 adet metal bilye ile birlikte tambura atılmıştır. Daha sonra cihaz 100 devir çalıştırılarak aşınma miktarı 1,6 mm elekten elenerek 100 devir sonucundaki aşınma miktarı bulunmuştur. Ardından elek üzeri ve altı malzeme tekrar bilyeler ile birlikte 400 devir daha deneye tabi tutularak 500 devir sonucunda oluşan aşınma miktarları bulunmuştur. Bulunan aşınma miktarları Grafik 5.1’de görülebilmektedir.



Grafik 5.1. Los Angeles deneyi sonuçları

Deney sonuçlarına bakıldığında çalışmada kullanılan agrega çeşitlerinin aşınma kaybının TS EN 1097-2’de belirtilen şartname limitinin altında kaldığı görülebilmektedir. Bu nedenle çalışmada kullanılan agregaların sathi kaplama agregası olarak kullanımının uygun olduğu söylenebilir.

5.1.3. Kaba agrega özgül ağırlık deneyi sonuçları

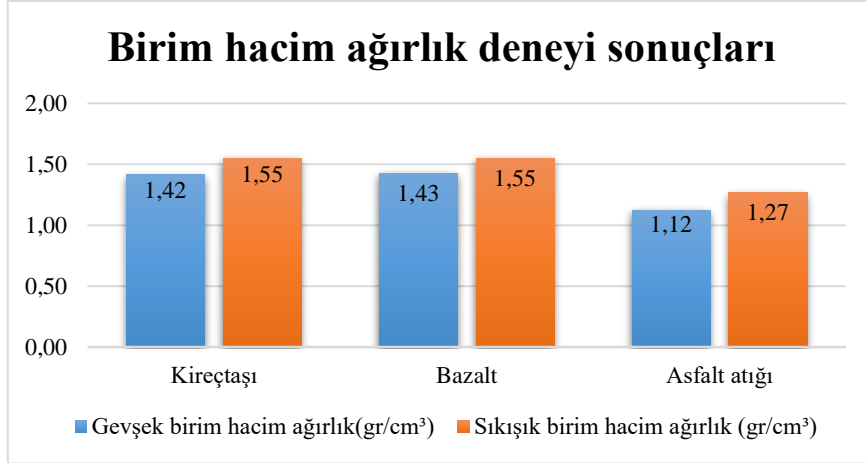
Sathi kaplamada büyük oranda kaba malzeme bulunmasından dolayı çalışmada sadece kaba agregaya özgül ağırlık deneyi yapılmıştır. Aşağıda yer alan Tablo 5.2’de deney sonuçları gözlemlenebilmektedir. Burada su emme oranı bazalt agregasında daha yüksek oranda olduğu gözlemlenmektedir. Bazaltın su emme miktarının yüksek olması içyapısının daha gözenekli olduğunu bize göstermektedir. Deney uygulanan agregaların su emme değeri TS EN 1097-6 standardında belirtilen % 2,5 değerinin altında kaldığı için sathi kaplama tabakasında kullanımları uygundur.

Tablo 5.2. Özgül ağırlık deneyi sonuçları ve su emme yüzdeleri

	Zahiri özgül ağırlık (gr/cm ³)	Hacim özgül ağırlık (gr/cm ³)	Efektif özgül ağırlık (gr/cm ³)	Su emme (%)
Kalker	2,69	2,67	2,68	0,26
Bazalt	2,77	2,64	2,69	1,70
Atık asfalt betonu agregası	2,48	2,43	2,45	0,89

5.1.4. Agrega birim hacim ağırlık deneyi sonuçları

Deney sonuçları deneyde kullanılan tüm agregalar için aşağıda yer alan Grafik 5.2’de görülebilmektedir.



Grafik 5.2. Birim hacim ağırlık deneyi sonuçları

5.1.5. Yassılık indeksi deneyi sonuçları

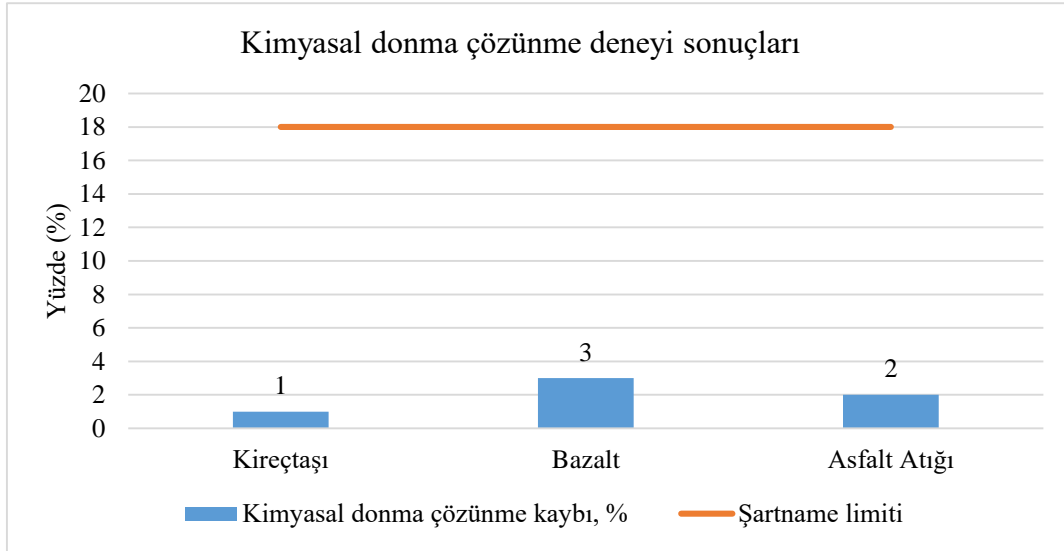
Yassılık deneyi her elek açıklığı için ayrı ayrı gerçekleştirildikten sonra deney yapılan toplam malzeme içinde kümülatif olarak yassılık oranı belirlenmiştir. Numune elek açıklığı değerleri elde bulunan malzemelere göre yakın değerdeki elekler arasındaki agregalardan numune alınarak deney gerçekleştirilmiştir. Aşağıda Tablo 5.3’de yer alan deney sonuçlarına bakıldığında tüm değerlerin TS EN 933-3 standardında yer alan şartname limitinin altında kaldığı görülebilmektedir. Atık asfalt betonu agregası malzeme freze ile kazındığı için yassı malzeme oranı daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 5.3. Yassılık deneyi sonuçları

Elek açıklıkları (mm)	Yassılık eleği (mm)	Kalker yassılık (%)	Bazalt yassılık (%)	Atık asfalt betonu agregası yassılık (%)
20/25	12,5	3,12	11,4	13,44
12,5/16	8	2,0	6,9	9,9
10/12,5	6,3	3,1	4,3	10,8
6,3/8	4	9,0	1,4	16,8
Kümülatif		3,2	8,92	12,49
Şartname limiti (%)		20		

5.1.6. Kimyasal donma çözünme deneyi sonuçları

Tez çalışmasında kullanılan 3 tip agregaya donma çözünme deneyi uygulanmıştır. Deneyde magnezyum sülfat ($MgSO_4$) tuzu kullanılarak çözelti oluşturulmuş ve deney gerçekleştirilmiştir. Deney sonucunda agregada yaşanan kayıp yüzde olarak hesaplanmıştır. Grafik 5.3'de deney sonuçları verilmiştir. Deney sonuçlarına bakıldığında 3 agreganın da donma çözünme kaybının şartname limitini sağladığı görülebilmektedir.



Grafik 5.3. Kimyasal donma çözünme deneyi sonuçları

5.2. Bitüm Deneyi Sonuçları

Penetrasyon değerinin cihazda bulunan iğnenin bitüm içine batma uzunluğuna karşılık geldiği bilinmektedir. Yani 10 mm iğne batması penetrasyon değerinin 100 olduğunu göstermektedir. 3 kez batırılan iğne miktarlarının ortalaması alınarak penetrasyon derecesi bulunmaktadır. Bulunan değerlerde bitüm sınıfında da yer alan penetrasyon değerleri arasında olmalıdır. Bu nedenle deneylerde kullanılan bitümlerin penetrasyon değerine baktığımızda tüm bitümlerin penetrasyon değerini sağladığı görülebilmektedir (Tablo 5.4).

Tablo 5.4. Penetrasyon deneyi sonuçları

Bitüm sınıfı	İğne batma miktarı (mm)			Ortalama batma miktarı (mm)	Penetrasyon değeri
B 50/70	6	6	7	6,33	63,3
B 70/100	10	8	8	9,67	96,7
B 100/150	11	10	12	11	110
B 160/220	16	17	15	16	160

Tez çalışmasında kullanılan farklı tipte bitümlere penetrasyon deneyinin gerçekleştirilmesinin ardından bitümlerin penetrasyon değerlerini sağladığı görülmüştür. Ardından bitümlere yumuşama noktası, parlama noktası ve bitüm özgül ağırlık deneyleri uygulanmıştır. Uygulanan deneyler neticesinde aşağıda Tablo 5.5’de yer alan değerler elde edilmiştir. Bitüm deneylerinin ardından bitümlerin oksitlenmediği kanısına varılmıştır. Daha sonra bu bitümler kullanılarak sathi kaplama deneyleri uygulanmıştır.

Tablo 5.5. Bitüm deneyi sonuçları

Bitüm sınıfı	B 50/70	B 70/100	B 100/150	B 160/220
Yumuşama noktası, °C (TS 120 EN 1427)	51	47	43	40
Parlama noktası, °C (TS 123 EN 22592)	285	339	325	314
Bitüm özgül ağırlık, g/cm ³ (TS 1087)	1,033	1,028	1,025	1,018

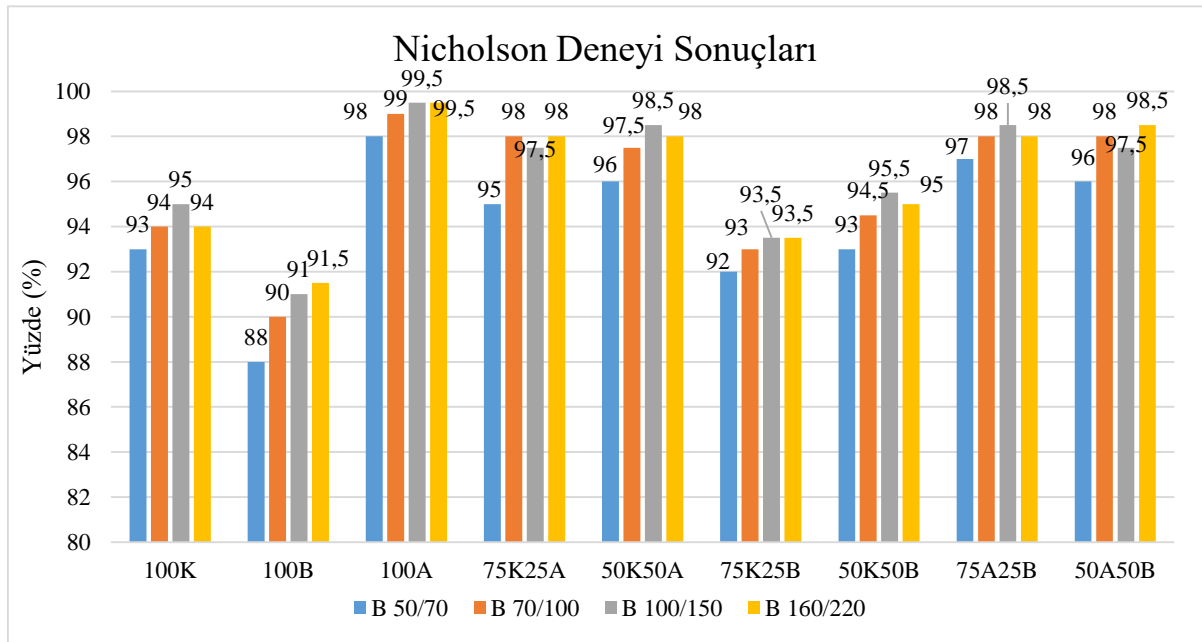
5.3. Soyulma ve Yapışma Özelliklerinin Saptanması İçin Uygulanan Deney Sonuçları

5.3.1. Nicholson deney sonuçları

Aşağıda Grafik 5.4’de Nicholson soyulma deneyi sonuçları verilmiştir. Soyulmadan kalan yüzey oranının %60 ve üzeri olması istenmektedir. Tüm sonuçların şartname limitini sağladığı görülmektedir. En iyi sonuçların tüm bitümler için ortalama % 99 değeri ile 100A numunede olduğu görülebilmektedir. Bunun nedeni olarak atık asfalt betonu agregası bünyesinde bulunan eski bitüm ile yeni bitümün oluşturduğu bağın güçlü olmasıdır. Atık asfalt betonu agregası malzemede soyulma miktarının saptanması oldukça güçtür. Çünkü bünyesindeki eski bitüm sıcaklık etkisi ile sıvı forma geçtiği için yeni bitüm ile eski bitüm arasındaki ton farkının gözle kontrolü oldukça zordur. Bu nedenle farklı kişiler tarafından değerlendirilmesi sağlanarak ortalama değerler bulunmuştur. Atık asfalt betonu agregası ile diğer agrega karışımlarında da sonuçların yüksek olduğu görülebilmektedir. Kireçtaşı agregası kendi başına ortalama % 94 soyulmayan yüzeye sahipken % 50 oranlarda atık asfalt betonu agregası ile karıştırılması sonucunda oluşan 50K50A numunesinde soyulmadan kalan yüzeylerinin % 97,5 değerine çıktığı görülmektedir. Atık asfalt betonu agregası bazalt agregasının da soyulma miktarını artırdığı görülmektedir. Kısaca atık asfalt betonu agregası

kullanımı soyulma açısından olumlu etki oluşturmaktadır. Diğer sonuçlarda incelendiğinde en kötü sonuçların 100B numunesinde olduğu görülmektedir. Bunun nedeni ise bazalt agregasının diğer agregalara göre fazla miktarda bünyesine su alması ve bazaltın yüzeyinin pürüzlülüğünün az olması olarak ifade edilir. Kullanılan kireçtaşı bazalta göre daha pürüzlü ve su emmesi düşük olduğu için soyulma oranı daha düşüktür. 100B numunesinin soyulmayan yüzeyleri tüm bitümler için ortalama % 90,13 değerinde iken % 50 oranlarda atık asfalt betonu agregası ile karıştırılan 50A50B numunesinde bu oranın % 97,5 değerine yükseldiği görülmektedir. Bazalt agregasının oranının %25 değerine düşürülerek oluşturulan 75A25B numunesinde nu oranın % 97,9 değerine yükseldiği görülür. Bazalt agregası oranının düşmesi soyulma oranının düşmesi ile doğru orantılıdır.

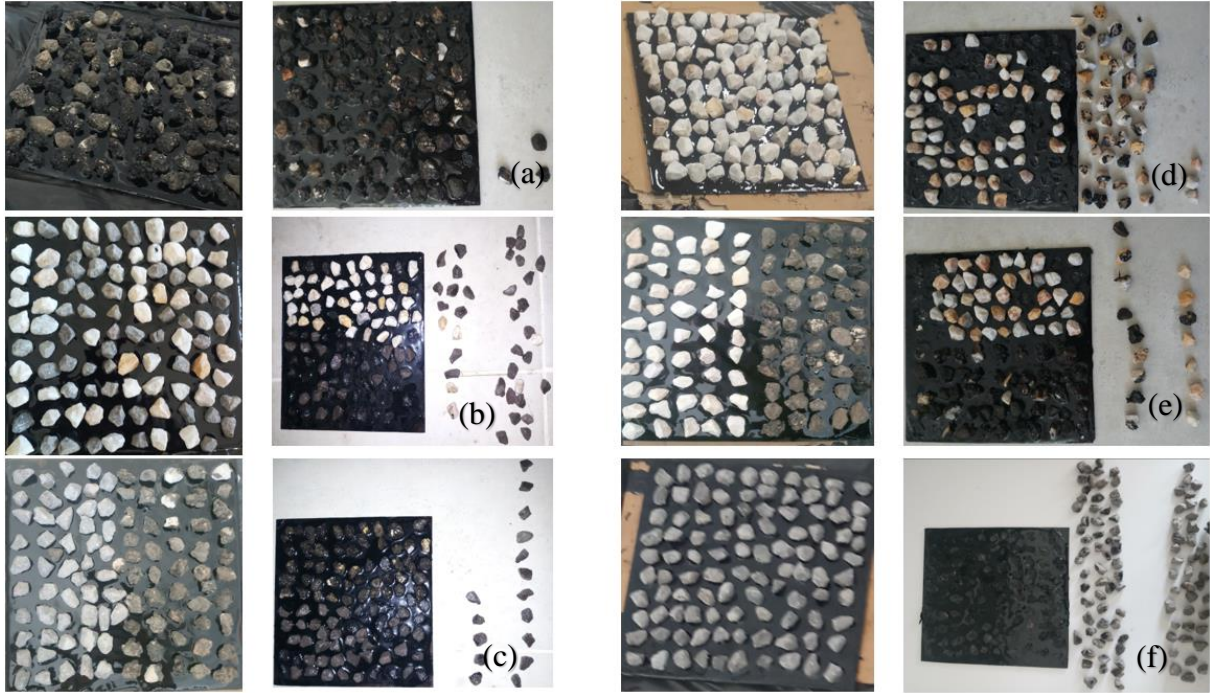
Bitüm açısından değerlendirme yapacak olursak bitümün yumuşama bitümlerin soyulma miktarlarının daha düşük olduğu söylenilir. Tüm numuneler için bitümlerin soyulma miktarlarının ortalamasını alalım. Burada B 50/70 bitümü için soyulmadan kalan yüzey miktarı % 94,2 oranında, B 70/100 bitümü için % 95,8 oranında, B 100/150 bitümü için % 96,3 oranında, B 160/220 bitümü için % 96,2 oranındadır. B 100/150 bitümüne kadar bu oranın giderek arttığı söylenilir. Fakat B 160/220 bitümüne geçildiğinde soyulma miktarlarının B 100/150 bitümü ile aynı olduğu görülebilmektedir. Bunun nedeni olarak B 160/220 bitümünün sıcaklıkla birlikte kolaylıkla agrega yüzeyinden ayrılması olarak söylenilir. Nicholson deneyi modifiye edilerek artı sıcaklıkların yanında eksi sıcaklıklarda da suda bekletilirse daha yumuşak kıvamlı bitümlerin iyi sonuçlar vereceği düşünülmektedir.



Grafik 5.4. Nicholson soyulma deneyi sonuçları

5.3.2. Standart vialit deneyi sonuçları

Aşağıda yer alan Şekil 5.1'de gerçekleştirilen vialit testlerindeki numunelerin bazılarının önceki ve sonraki halleri görülmektedir. Burada plakada kalan agregalar, sarılıp düşen agregalar ve sarılmadan düşen agregalar gruplandırılmış şekilde görülmektedir.

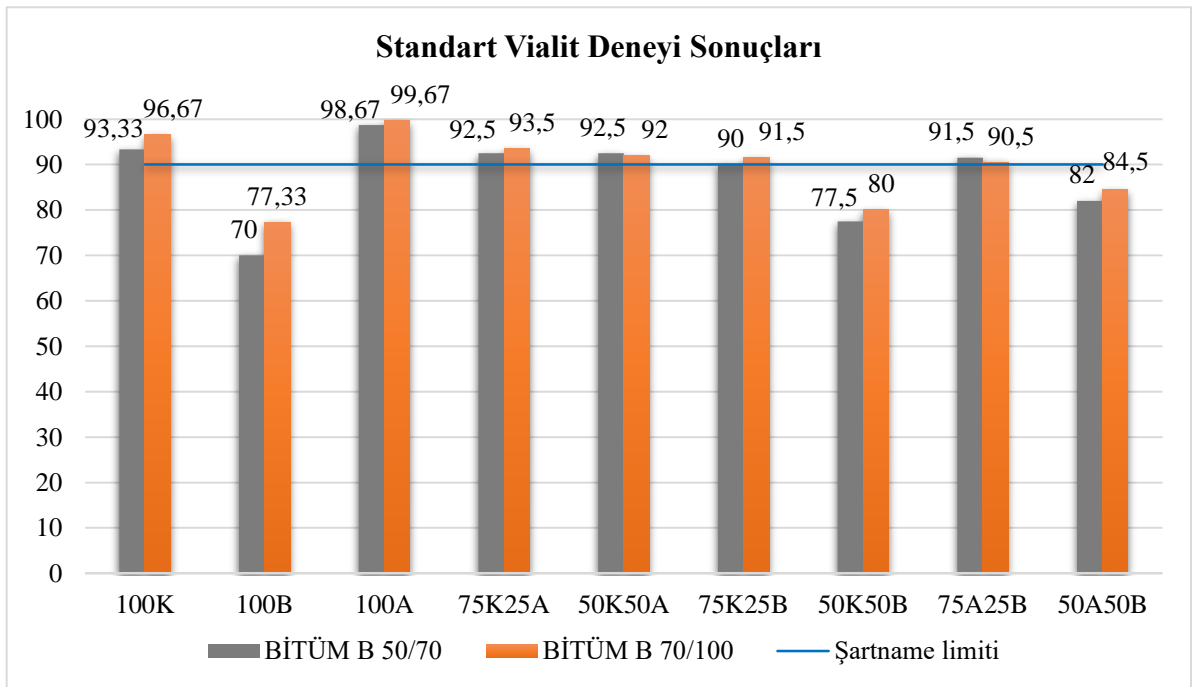


Şekil 5.1. Vialit deneyi numuneleri görünüşleri, a) 100A vialit numunesi, b) 50K50B vialit numunesi, c) 50K50B vialit numunesi, d) 100K vialit numunesi, (e) 50K50A vialit numunesi f) 100B vialit numunesi

Tez çalışmasında gerçekleştirilen standart vialit deneyi sonuçları Grafik 5.5'de görülebilmektedir. Şartnameye göre vialit yapışma değerinin %90 ve üzeri bir değere sahip olması istenmektedir. Sonuçlar neticesinde bazalt agregası kullanılan 100B, 50K50B ve 50A50B numunelerinin iki bitümde de şartname limitini sağlamadığı görülmektedir. Bunun birinci nedeni olarak bazalt agregasının yüzey pürüzlülüğünün düşük olması ile birlikte agrega yüzeyine bitümün daha az tutunmuş olmasıdır. İkinci neden olarak agrega ve bitüm arasına giren suyun adezyon kuvvetini azaltmasıdır. Su emme oranı diğer iki agregaya göre bazaltın daha yüksektir böylelikle bazalt içeren numunelerin yapışma oranı düştüğü gözlemlenmiştir. İki bitüm için ortalama olarak 100B numunesinin yapışma değeri % 73,67'dir. Atık asfalt betonu agregası ile birlikte oluşturulan 50A50B numunesinde yapışma değeri % 83,25 değerine yükselmiştir. 75A25B numunesinde ise bu değer % 91'e yükselerek şartname değerini sağlamıştır. Buradan bazalt agregasının oranın düşürülmesi yapışma miktarını artırdığı sonucu

çıkarılır. Kireçtaşının ise her iki bitümle de uygulanan deneylerin şartname limitini sağladığı gözlemlenmiştir. Kireçtaşının yapışma miktarının şartname limitlerini sağlamasının nedeni yüzey pürüzlülüğü ve su emme miktarının düşük olmasıdır. Pürüzlü yüzeye sahip olması bitüm ile arasındaki adezyon kuvvetini artırmaktadır. En iyi sonuç ise iki bitüm için ortalama % 99,17 değeri ile 100A numunesine aittir. Atık asfalt betonu agregası yüzeyinde bulunan eski bitüm su emme miktarını düşürmüş böylelikle yeni bitüm ile arasına su giremediği için adezyon kuvveti neredeyse hiç etkilenmemiştir. Yüzeyde bulunan eski bitüm ile yeni bitüm kolaylıkla bağ oluşturmuş ve yapışma değerleri yüksek çıkmıştır. Atık asfalt betonu agregasının tek başına yolda kullanımı uygun değildir çünkü dayanım açısından diğer agregalara göre düşüktür. Bunun nedeni olarak trafik yükleri altında kopma ve parçalanma oranının yüksek olacağı düşünülmektedir. Fakat diğer agregalar ile karıştırılması sonucu oluşan numunelerde sonuçları iyileştirdiği gözlemlenmektedir.

Bitüm açısından değerlendirme yapacak olursak daha yumuşak kıvama sahip B 70/100 bitümünün agregalar ile bağının daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. B 50/70 bitümü tüm numuneler için ortalama % 87,55 yapışma oranı gösterirken B 70/100 bitümü %89,07 oranında yapışma sağlamıştır. Neredeyse tüm numunelerde (50K50A, 75A25B numuneleri hariç) B 70/100 bitümünün iyi sonuçlar verdiği söylenilebilir. Daha yumuşak kıvama sahip B 70/100 agrega ile arasındaki adezyon kuvvetini daha yüksektir. Yumuşak kıvama sahip olması agrega yüzeyine daha rahat tutunmasını sağlamaktadır.

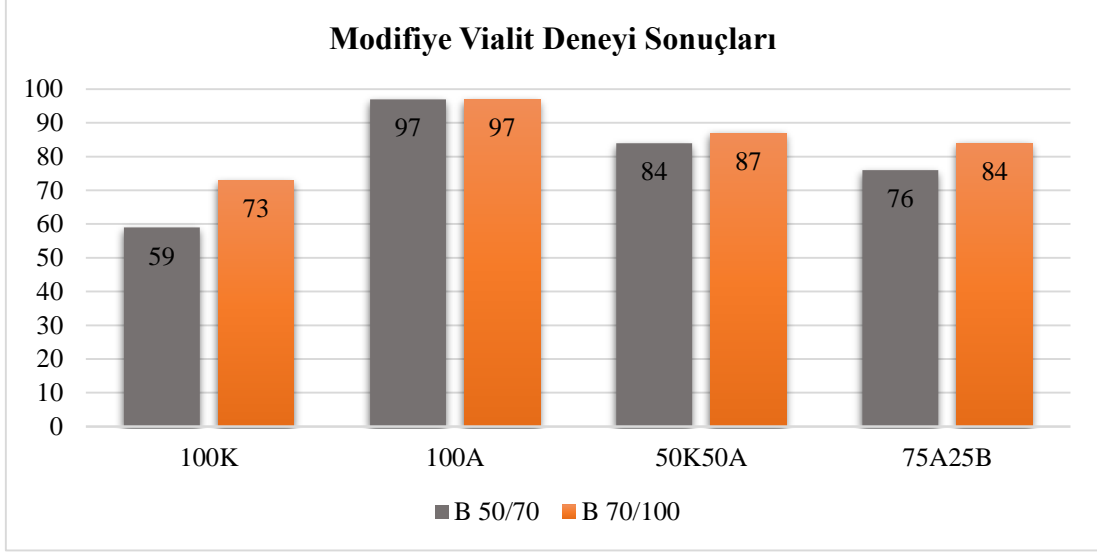


Grafik 5.5. Standart vialit deneyi sonuçları

5.3.3. Modifiye vialit deneyi sonuçları

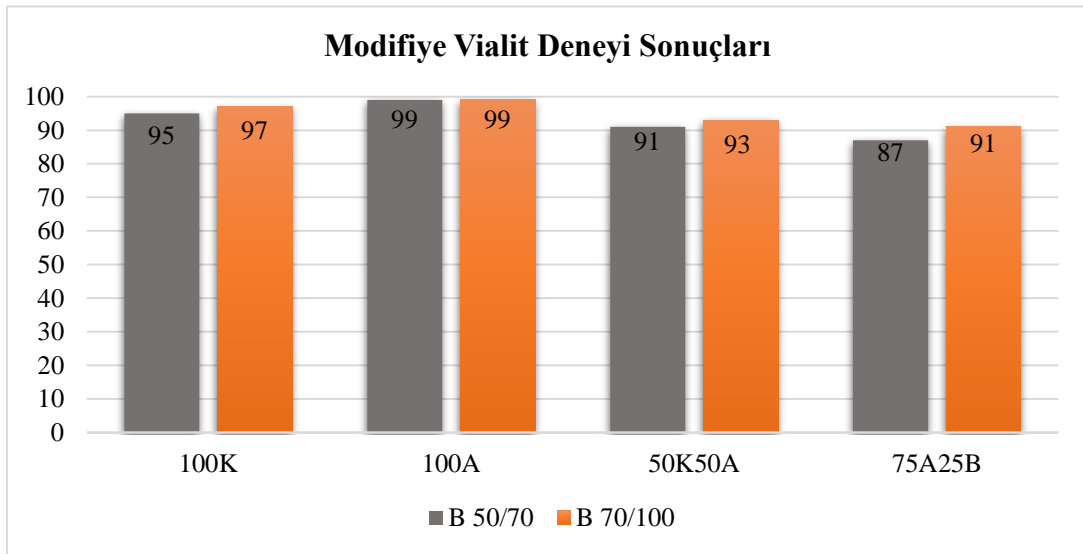
Ülkemizde bozulmalar düşük sıcaklık ve nemin etkisi ile genellikle kış aylarında gerçekleşmektedir. Bu nedenle standart vialit deneyinde iyi sonuçlar elde edilen numuneler nem varlığında yani su içinde düşük sıcaklıkta kür işlemine tabi tutularak standart modifiye deneyi gerçekleştirilmiştir. Deneyde Grafik 5.6'de yer alan verilere ulaşılmıştır. Verilere bakıldığında nem ve düşük sıcaklık altında da 100A numunesinin en iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. İki bitüm için ortalama %97 oranında yapışma göstermiştir. Bu oran standart vialit testindeki sonuçlara göre sırasıyla iki bitümde %1,67 ve %2,67 değerlerinde düşmüştür. Standart vialit deneyinde çıkan sonuçlarda arasında büyük farklılık olmamasının nedeni olarak eski bitüm ve yeni bitüm arasına suyun sızmadığı ve arada oluşan adezyon kuvvetini bozamasından kaynaklanmaktadır. Standart vialit deneyine göre en yüksek düşüş B 50/70 bitümü kullanılarak oluşturulan 100K numunesinde görülmüştür. Burada adezyon kuvvetinde % 36,8 oranında bir düşüş görülmektedir. Bu numunedeki agregalardan bazıları metal bilye düşürülmeden numune ters çevrildiği anda direkt olarak düşmüştür. Bunun nedeni agrega ve bağlayıcı arasında giren suyun donma- çözülme etkisi ile birlikte adezyon kuvvetini tamamıyla ortadan kaldırdığı gözlemlenmiştir. 50K50A ve 75A25B numunelerinde düşük sıcaklık etkisi ile sırasıyla %7,32 ve %12,1 oranında düşüş yaşanmıştır. 50K50A numunesinde agrega kaybı büyük oranda kireçtaşı agregalarında görülmüştür. Bazalt agregasının kullanıldığı ve B50/70 bitümü ile oluşturulan 75A25B numunesinde neredeyse tüm bazalt agregalarının yapışmadığı gözlemlenmiştir. Bu numunede %26'lık yapışma kaybının yaklaşık % 92'si bazalt agregaları, % 8'lik kısım ise atık asfalt betonu agregası oluşturmaktadır. Kısaca nem ve düşük sıcaklık etkisi ile yapışma oranı düşmektedir. Nemin var olması yol yüzeyinde özellikle kış aylarında sathi kaplama tabakasında büyük ölçekli bozulmaların yaşanmasına neden olacaktır. Bu nedenle kaplama tabakası oluşturulurken drenaj özelliklerinin sağlanması gerekmektedir. Bozulmaların önlenmesi için bağlayıcı malzeme neme ve düşük sıcaklıklara dayanacak şekilde modifiye edilerek bu sorunun önüne geçilebilir.

Bitüm açısından değerlendirilmelerde bulunmak istersek standart vialit testinde de olduğu gibi B 50/70 bitümünün sonuçları daha kötüdür. B 50/70 bitümü tüm numuneler için ortalama % 79 oranında yapışma sağlarken B 70/100 bitümü % 87,75 oranında yapışma sağlamıştır. Bunun nedeni olarak daha sert kıvama sahip yani penetrasyon derecesi düşük bitümlerin düşük sıcaklıklarda kullanımı uygun görülmemektedir. Aksi halde düşük sıcaklıkta bitüm gevrek bir yapıya sahip olacak ve trafik etkisi altında kırılarak tabakadan ayrılacaktır. Böylelikle yol yüzeyinde bozulmalar meydana gelecektir.



Grafik 5.6. Modifiye vialit deneyi suda koşullandırılan numunelerin sonuçları

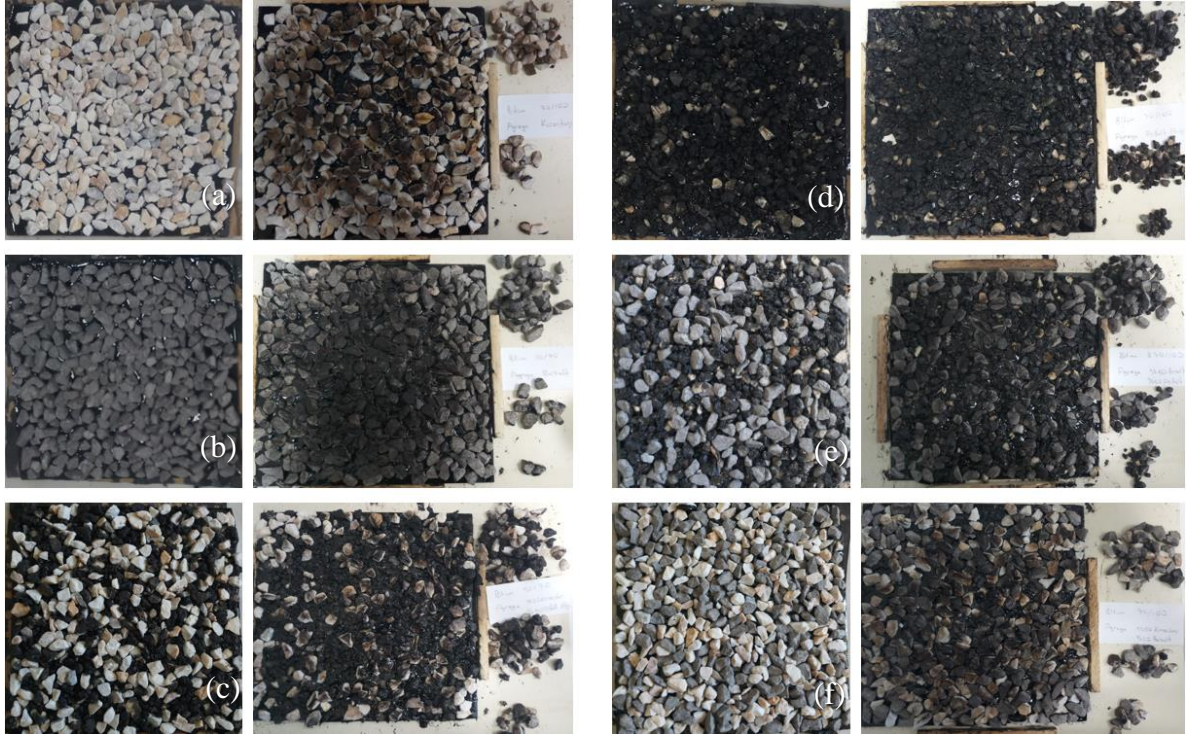
Yol üstyapısında nemin varlığı istenmeyen bir durumdur. Bu nedenle tüm tabakalarda suyun drenajı çok iyi şekilde ayarlanmalıdır. Aksi halde meydana gelebilecek yapışma sorunlarını yukarıda nemin varlığı ile gerçekleştirilen modifiye vialit deneyinde görmüştük. Nemin varlığı olmadan yani drenajın sağlandığı bir yoldaki karşılaşılabilecek senaryoyu laboratuvar ortamına aktarmak için numuneler havada eksi sıcaklıkta kür işlemine tabi tutulmuş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir (Grafik 5.7). Sonuçlar standart vialit testindeki sonuçlar ile karşılaştırıldığında havada kürlenme işleminin adezyon kuvvetini büyük oranda bozmadığı gözlemlenmiştir. 100K ve 50K50A numunelerinde nerdeyse sonuçlar hiç değişmemiştir. Tüm vialit testlerinde olduğu gibi burada da en iyi yapışma 100A numunesinde görülmüştür. 75A25B karışımında ise yapışma kaybı büyük oranda bazalt agregalarında yaşanmıştır.



Grafik 5.7. Modifiye vialit deneyi havada koşullandırılan numunelerin sonuçları

5.3.4. Süpürme testi sonuçları

Agrega serimi sonrasında meydana gelecek kaybın saptanması için gerçekleştirilen süpürme testi numunelerinden bazılarının önceki ve sonraki halleri aşağıda Şekil 5.2’de görülmektedir. Sonraki hallerinde sağ kısımda 1, 3 ve 5. Dakika sonunda oluşan kaybolan agregalar görülmektedir. Hesaplamalar yapılırken kümülatif toplamlar dikkate alınmıştır.



Şekil 5.2. Süpürme testi numuneleri önceki ve sonraki halleri, (a) 100K süpürme testi numunesi, (b) 100B süpürme testi numunesi, (c) 50K50A süpürme testi numunesi, (d) 100A süpürme testi numunesi, (e) 50A50B süpürme testi numunesi, (f) 50K50B süpürme testi numunesi

Süpürme testi sonuçları aşağıdaki Tablo 5.6’da verilmiştir. Burada ifade edilen değerler 1, 3 ve 5 dakika sonucunda oluşan yüzde cinsinden süpürme işlemi sonucunda oluşan aşınma kaybıdır. Veriler değerlendirildiğinde en çok aşınmanın her iki bitümde de 100A, 50K50A ve 50B50A numunelerinde olduğu görülmektedir. Bu numunelerde süpürme sonucu oluşan kaybın fazla olmasının sebebini atık asfalt beton agregası kullanımımızdır. Atık asfalt betonu agregaya yüzeyindeki eski bitüm sıcak haldeki yeni bitüm üzerine uygulandığında ısı alarak sıvı formuna geçmekte ve birazda olsa birbirine yapışmaktadır. Fakat yapışma tam olmadığı için süpürme işlemi sırasında bu bağ kolaylıkla kopmaktadır. Böylelikle fazla kayıplar meydana gelmiştir.

Ek olarak eleme işlemi sırasında birbirine yapışık haldeki atık asfalt betonu agregası, süpürme işlemi sırasındaki kuvvetle birbirinden kopmuş ve ayrılmıştır.

Süpürme deneyinde atık asfalt betonu agregasının sonuçlarının en kötü çıkmasının bir nedeni de vialit deneyinde düşey bir kuvvet etki ettirilirken süpürme deneyinde yatay bir kuvvet etki ettirilmesidir. Atık asfalt betonu agregasının düşey yöndeki kuvvetlere karşı direnci yüksek olsa da yatay yöndeki kuvvetlere direnci düşüktür. Bu nedenle süpürme ve trafik etkisi ile birlikte atık asfalt betonu agregası kullanılarak oluşturulan sathi kaplama tabakalarında kayıplar daha yüksek olacaktır.

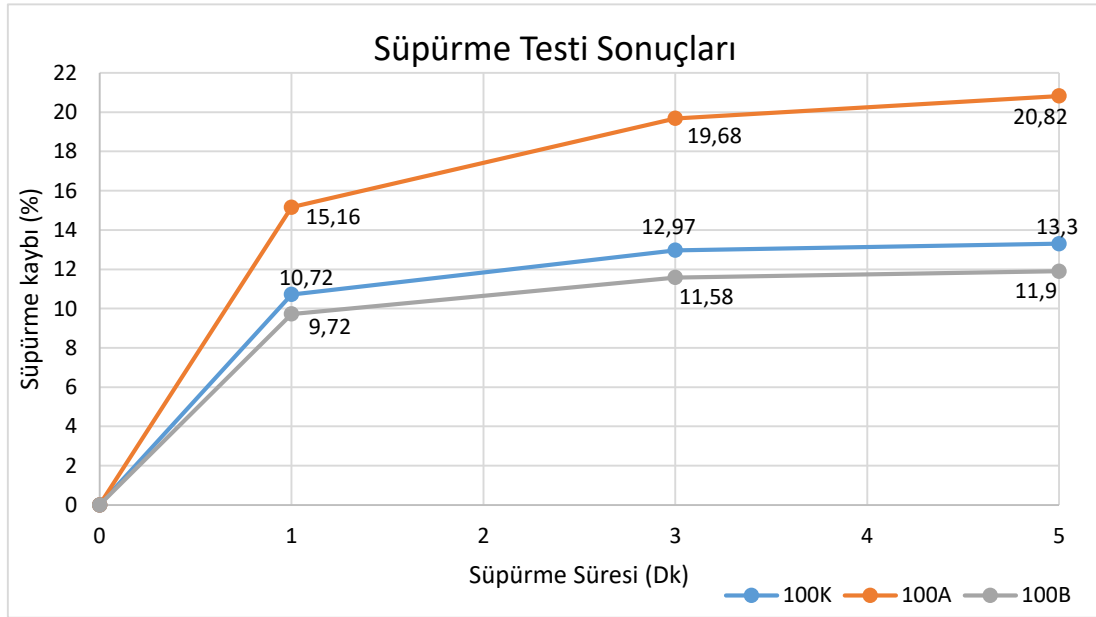
En iyi sonuçlar sırasıyla her iki bitümde de % 13,02 ve % 9,72 değerler ile 100B numunesinin olduğu görülmüştür. B 70/100 bitümünde 100K agregası bazalt agregasına göre %1'lik fark ile en iyi sonuçlar arasında yer almaktadır. Bu numunelerdeki bazalt ve kireçtaşı agregaları silindiraj işlemi sırasında en uzun kenarına yönelimi gözlemlenmiştir. Bitümle birleşen yüzeyi daha büyük olduğu için süpürme etkisi altında yüksek dayanım göstermiştir. Bu nedenle silindiraj işlemi sathi kaplama oluşumunda oldukça önemlidir. Aksi halde agregalar kolaylıkla kaplama yüzeyinden kopabilir ve bozulmalara neden olacağı düşünülmektedir. İki bitüm arasında değerlendirme yapacak olursak daha yumuşak kıvama sahip B 70/100 bitümünün tüm deneylerde olduğu gibi daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Tablo 5.6. Süpürme testi sonuçları

	B 50/70			B 70/100		
	1 Dk.	3 Dk.	5 Dk.	1 Dk.	3 Dk.	5 Dk.
100K	19,56	22,90	26,13	10,72	12,97	13,30
100A	21,64	25,76	28,30	15,16	19,68	20,82
100B	13,02	16,54	17,20	9,72	11,58	11,90
50K50A	20,25	28,92	31,21	16,37	21,83	23,38
50K50B	15,76	21,84	24,08	9,94	13,05	14,85
50B50A	18,12	23,43	24,89	13,32	18,35	20,17

Süpürme işlemi ASTM D 7000 standardına göre 1 dakika boyunca yapılmaktadır. İşlemin uzun süre yapılması sonucunda ne gibi bir kayıp olacağının saptanması adına bu süre

uzatılarak süpürme işlemi gerçekleştirilmiştir. 1 dakika sonunda kopan parçalar tartıldıktan sonra işlem 2 dakika daha devam ettirilerek 3 dakika sonunda oluşan kayıp belirlenmiştir ve 5. Dakika sonunda oluşan kayıpta aynı şekilde belirlenmiştir. Aşağıda Grafik 5.8'da yer alan süpürme işleminde dakika artışının etkisi görülmektedir. Burada tüm deney sonuçlarına ait değerler yer almamaktadır. Örnek tescil edebilmesi için B 70/100 bitümü ile oluşturulan 100K, 100A ve 100B numunelerinin sonuçları yer almaktadır. Sonuçlar dikkate alındığında süpürme süresinin artması ile birlikte kayıp miktarının zamanla azaldığı görülmektedir. Eğriler dikkate alındığında ilk dakikalarda eğri hızlı bir yükselişe geçerken sonradan bu yükseliş giderek azalmaktadır. Özellikle 100K ve 100B numunelerinin eğrilerine bakıldığında artık eğrinin 3. Dakikadan sonra yatay konuma gelmeye başladığı görülebilmektedir. Belirli bir süreden sonra ne kadar süpürme işlemi yapılırsa yapılsın agrega kopması olmayacağı söylenilebilir. Bitüm ile birleşen ve en uzun kenarına uzanan agregalar süpürme işleminde süre fark etmeksizin plakadan ayrılmamıştır. 100A numunesinin eğrisi 5. Dakikaya kadar diğer eğrilere göre daha fazla artış göstermiştir. Bunun nedeni olarak atık asfalt betonu agreganın sürtünme etkisi ile parçalanma göstermesi olarak söylenilir.



Grafik 5.8. Süpürme deneyi süre bazında kayıp

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen yapışma, soyulma, süpürme deneyleri ve maliyet analizi sonucunda aşağıdaki çıkarımlar elde edilmiştir.

Agrega farklılıklarının soyulma ve yapışma performansı üzerindeki etkilerinin saptanması adına gerçekleştirilen deneyler sonucunda atık asfalt betonu agreganın tüm bitümler için ortalama olarak soyulmama oranının % 99 ve yapışma oranının % 97,17 olduğu görülmüştür. Bu nedenle atık asfalt betonu agreganın soyulma ve yapışma performansı diğer agregalara göre daha iyidir. Atık asfalt betonu agregaya soyulma ve yapışma açısından sathi kaplama tabakasında kullanımı uygundur. Bazalt agregası % 90,13 soyulmama ve % 73,67 yapışma oranları ile 3 agregaya arasında en düşük oranlara sahip agregaya olarak görülmüştür. Bazalt agregası soyulma açısından sathi kaplama tabakasında kullanımı uygun olsa da yapışma açısından kullanımı uygun değildir. Kireçtaşı agregası % 95 yapışma ve % 94 soyulmama oranı ile sathi kaplama tabakasında kullanıma uygundur. Bazalt ve kireçtaşı agregasına belirli oranlarda atık asfalt betonu agregaya katılarak soyulma ve yapışma performansları iyileştirilebilir.

Bitüm penetrasyon sınıfının değiştirilmesinin soyulma ve yapışma performansı üzerindeki etkisinin araştırılması için soyulma deneyinde 4 tip, yapışma deneyinde ise 2 tip agregaya kullanılmıştır. Penetrasyon derecesi yüksek bitümlerin soyulmama ve yapışma oranlarının yüksek olduğu görülmüştür. B 70/100 bitümü tüm numuneler için % 89,07 oranında yapışma sağlarken B 50/70 bitümü %87,55 oranında yapışma sağlamıştır. Daha yüksek yapışma oranı sağlanması için daha yumuşak kıvamlı bitümler veya emülsiyonlar kullanılabilir.

Kış aylarında yaşanan sıcaklık farkı ve nemin etkisinin saptanması için modifiye vialit deneyi gerçekleştirilmiştir. Deney sonucunda agregaya ve bitüm arasına giren suyun burada donma-çözünmeye uğrayarak adezyon kuvvetini bozduğu görülmüştür. Atık asfalt betonu agreganın yüzeyindeki eski bitüm ve yeni bitüm arasında su giremediği için buradaki adezyon kuvveti donma- çözünmeden ortalama %2 oranında etkilemiştir. Atık asfalt betonu agregaya çok yağış alan ve düşük sıcaklıklara maruz kalan bölgelerde yapışma sorunlarına karşılık kullanımı oldukça uygundur. Fakat bazalt ve kireçtaşı agregası ile bitüm arasına giren su yapışma oranını büyük ölçüde düşürmüştür. Kireçtaşı agregasına atık asfalt betonu agregaya karıştırılarak oluşturulan 50K50A (% 85,5) numunesinde yapışma oranının 100K (% 66) numunesine göre daha iyi olduğu görülmüştür. Atık asfalt betonu agregaya karıştırılması sonucunda yapışma oranının iyileştiği görülmüştür. Nemin var olmadığı ve eksi derecelerde kürlenmiş numunelerde yapışma miktarında kayda değer bir değişikliğin olmadığı görülmüştür. Bu nedenle kış

aylarında kaplama tabakasının nemden uzak tutulması gerekmektedir. Aksi halde büyük bozulma sorunları ile karşılaşılacaktır.

Düşük sıcaklıktaki bitüm performansını değerlendirecek olursak daha yumuşak kıvamlı B 70/100 bitümü tüm numuneler için % 87,75 oranında yapışma sağlarken B 50/70 bitümü % 79 oranında yapışma sağlamıştır. Düşük sıcaklıkta yaşanan adezyon kuvveti kaybının ortadan kaldırılabilmesi için soğuk iklime sahip bölgelerde daha yumuşak kıvamlı bitümler kullanılmalıdır. Bunun yanında emülsiyonlar kullanılarak soğuk iklimlerdeki performansı araştırılabilir. Deney ülkemiz standartlarına uygun hale getirilerek soğuk iklimlerde ne tür önlemler alınmalı sorusuna yanıt bulunarak sathi kaplama performansı artırılabilir.

Ülkemiz standartlarında yer almayan süpürme testi yurt dışında yer alan kaynaklardan yararlanılarak laboratuvar ortamına aktarılmıştır. Deney ile birlikte agrega ve bitüm türündeki değişikliklerin süpürme performansı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bazalt agregasında süpürme sonucunda her iki bitüm içinde ortalama % 11,37 oranında kayıp yaşanmıştır. Araştırmalar sonucunda bazalt agregasının süpürme performansının en iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Kireçtaşı ve atık asfalt betonu agreganın sırasıyla % 15,14 ve % 18,4 oranında süpürme kaybı yaşanmıştır. Deneyde kullanılan agregalar birbirleri arasında % 50 oranında karıştırılarak oluşturulan numunelerde atık asfalt betonu agregasına bazalt agregası eklenmesi sonucunda süpürme kaybının düştüğü gözlemlenmiştir. Atık asfalt betonu agregası ile oluşturulan numunelerde süpürme etkisi ile agregalarda parçalanmalar görülmüştür. Bu durum süpürme sonucunun artmasına yol açmıştır. Süpürme kaybının en önemli nedenlerinden biriside yeterli silindirleme yapılmamasıdır. Silindirleme sırasında en uzun kenarına yerleşen agregaların plakada kaldığı fakat ince kenarı üzerinde kalan agregaların koparak düştüğü gözlemlenmiştir.

Atık asfalt betonu agregası soyulma ve yapışma deneylerinde iyi sonuçlar verirken süpürme deneyinde en kötü sonuçları vermiştir. Bunun nedeni olarak vialit deneyinde düşey bir kuvvetler adezyon kuvveti bozulmaya çalışılmıştır fakat süpürme testinde düşey bir etki ile adezyon kuvveti bozulmaya çalışılmıştır. Atık asfalt betonu agreganın süpürme ve trafik etkisi altında diğer agregalara göre daha kolay adezyon kuvvetini kaybedeceği görülmüştür.

Süpürme kaybı B 70/100 bitümünde tüm numuneler için ortalama % 12,57 oranında iken B 50/70 bitümünde % 18,06 oranında olduğu görülmektedir. Buradan daha yumuşak kıvama sahip B 70/100 bitümünün daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Yumuşak kıvamı sayesinde agrega yüzeyindeki boşluklara daha iyi tutunmaktadır.

Uygulanan süpürme testinde süpürme işlemi 1, 3 ve 5 dakika olarak gerçekleştirilmiştir. Süpürme süresi ile süpürme sonucu oluşan kayıp giderek azalmaktadır. Tüm numunelerde kaybın büyük oranı 1 dakika içinde gerçekleşmiştir. İlerleyen dakikalarda ilk dakikaya göre daha az oranda kayıp yaşanmıştır. Süpürme süresinin etkisini görmek amacı ile oluşturulan grafikte ilerleyen dakikalarda süpürme miktarının azaldığı görülmüştür.

Süpürme testi ülkemiz standartlarına geçirilerek sathi kaplama tabakası oluşturulmadan önce oluşacak kayıp önceden saptanacaktır. Standartlara uygun deney aleti, agrega ve bitüm uygulama oranları ve deney uygulama yöntemleri süpürme testinin uygulanması önerilebilir.

Maliyet açısından değerlendirilme yapıldığında 1 km yol kesiminde atık asfalt betonu agregası kullanılarak yapılan yolun maliyetinin 38443,41 TL, kireçtaşı kullanılarak oluşturulma maliyeti ise 45769,76 TL ve bazalt kullanılarak oluşturulan yolun maliyeti 51662,57 TL olarak hesaplanmıştır. Atık asfalt betonu agrega kullanımı ile yol yapım maliyetinin düştüğü gözlemlenmiştir. Sathi kaplama tabakasında atık asfalt betonu agrega kullanımı genel anlamda maliyet, yapışma ve soyulma açısından uygun fakat süpürme performansı açısından uygun değildir.

Çalışmada kullanılan kireçtaşı agregası atık asfalt betonu agregası göre daha maliyetli olsa da yapışma, soyulma ve süpürme performansı açısından sathi kaplama tabakasında kullanımı uygundur. Nemin ve düşük sıcaklıkların olduğu kesimlerde kullanımı uygun değildir. Bu bölgelerde penetrasyon derecesi yüksek bitümler veya emülsiyonlar ile kullanılarak bu bölgelerdeki yapışma performansı artırılabilir.

Bazalt agregası soyulma, yapışma ve nem ile düşük sıcaklıktaki yapışma performansı açısından sathi kaplama tabakasında kullanımı uygun değildir. Süpürme performansı açısından diğer 2 tip agregaya göre yüksek performansa sahiptir. Bazalt agregasının dayanıklı olması da göz önünde bulundurulduğunda diğer agregalar ile karıştırılarak kullanımı sathi kaplama performansı açısından daha etkili olacaktır.

KAYNAKÇA

Ahn, H., & Lee, J. (2016). Low-Temperature Performance of Seal Coat. *Journal of Testing and Evaluation*, 44(3), 1194–1204.

Akgül Şeker, N. E. (2020). *Bitümlü Sıcak Karışımların Farklı İklim Şartlarında Bozulmasına Filler Etkisinin Değerlendirilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Şanlıurfa.

Aktaş, B. (2012). *Koruyucu Amaçlı Sathi Kaplamaların Performansına Etki Eden Parametrelerin İncelenmesi*. (Doktora Tezi). Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Isparta.

Aktaş, B. (2014). *Kayseri Çinko-Kurşun Üretim Tesisi Atıkların Bitümlü Sıcak Karışımlarda Kullanımı*. Kayseri: Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi.

Aşma, Ö. (2022). *Sathi Kaplamalarda Asfalt ve Mermer Atığı Malzemelerin Kullanımının Araştırılması*. (Yüksek Lisans Tezi). Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Bilecik.

Bozkurt, H. (2017). *Karayollarında Üstyapı Performansının İyileştirilmesi ve Analizi*. (Doktora Tezi). Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Bilecik.

Chang, S., Zhang, L., Li, S., Gharaibeh, N., Martin, A. E., & Hazlett, D. (2021). Evaluation of the causal effect of the surface performance-graded (SPG) specification for chip seal binders on performance. *Construction and Building Materials*, 304, 1-11.

Çetin, S. (2012). *Sathi Kaplamalarda Meydana Gelen Bozulmaların Görüntü İşleme Yöntemiyle Analizi*. (Doktora Tezi). Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Isparta.

Çetin, S., Karaşahin, M., & Saltan, M. (2015). Sathi Kaplamalarda Görülen Kusma Bozulması İçin Çözüm Önerileri. *Dergipark*, 221-231.

Çubuk, M., Gürü, M., Çubuk, M. K., & Arslan, D. (2013). Bitüm Özelliklerinin Organik Esaslı Magnezyum Katkı Maddesi İle Geliştirilmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28(2), 257-264.

Geçkil, T., & Seloğlu, M. (2019). Reaktif Terpolimerin Bitümün Kıvamına ve Sıcaklık Duyarlılığına Etkisi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 31(1), 203-213.

- Gheni, A. A., Abdelkarim, O. I., Abdulazeez, M. M., & Elgawady, M. A.** (2017). Texture and design of green chip seal using recycled crumb rubber aggregate. *Journal of Cleaner Production*, 166, 1084-1101.
- Gheni, A. A., Lusher, S. M., & Elgawady, M. A.** (2018). Retention behavior of crumb rubber as an aggregate in innovative chip seal surfacing. *Journal of Cleaner Production*, 197, 1124-1136.
- Gransberg, D., & James, D. M.** (2005). *Chip Seal Best Practices, A Synthesis of Highway Practice*. Washington, D.C.: Transportation Research Board.
- 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., & Kardeşahin, M.** (2014). Sathi Kaplama Agregalarının Adezyon Özelliklerinin Araştırılması. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 10(2), 1-11.
- Gürer, C., Korkmaz, B. E., Yarıcı, Ş., & Rahmany, M. B.** (2019). Sıcak Agregası ile Sathi Kaplama Uygulamasının Araştırılması. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19, 401-409.
- Kaçmaz, B., Topal, A., Şengöz, B., & Tanyel, S.** (2015). Farklı Tip Esnek Kaplamaların Yol Yüzey Özelliklerinin Arazi Ölçümleriyle Değerlendirilmesi. *İMO Teknik Dergi*, 7115-7137.
- Karacasu, M.** (2016). *Yol Üstyapı Deneyleri Ders Notları*. Eskişehir: Nobel Akademik Yayıncılık.
- Karacasu, M., & Akalın, K. B.** (2020). Çevresel Atıklarla Modifiye Edilmiş Sathi Kaplamaların Performansına Agregası – Bitüm İlişkisi Bağlamında Değerlendirilmesi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 32(1), 127-136.
- Karadağ, Ö., & Saltan, M.** (2021). Bitümlü Bağlayıcı Ve Agregaların Arasındaki Adezyon Üzerine Cocamide Diethanolamide Kimyasalının Etkisi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 27(3), 312-317.
- KGM.** (2007). *Türkiye Karayolları Sathi Kaplamalı Yollar İçin Bitüm Sınıfı Seçim Haritası*. Araştırma ve Geliştirme Dairesi Başkanlığı Üstyapı Geliştirme Şubesi Müdürlüğü.
- KGM.** (2012). *BSK Kaplamalı Yollar İçin Bitüm Sınıfı Seçim Haritaları*. Araştırma ve Geliştirme Dairesi Başkanlığı Üstyapı Geliştirme Şubesi Müdürlüğü.

KGM. (2012). *Bitümlü Karışımlar Laboratuvarı Çalışmaları*. Araştırma ve Geliştirme Dairesi Başkanlığı Üstyapı Geliştirme Şubesi Müdürlüğü.

KGM. (2013). *Karayolları Teknik Şartnamesi, Kısım 403*. Karayolları Genel Müdürlüğü Yayınları.

KGM. (2020). *Sathi Kaplama Dizayn Rehberi*. Araştırma ve Geliştirme Dairesi Başkanlığı Üstyapı Geliştirme Şubesi Müdürlüğü.

KGM. (2021). *Bitümlü Karışımlar Laboratuvar El Kitabı*. Ankara: Araştırma ve Geliştirme Dairesi Başkanlığı Üstyapı Geliştirme Şubesi Müdürlüğü.

KGM. (2021). *Toprak ve Stabilizasyon Laboratuvar El Kitabı*. Araştırma ve Geliştirme Dairesi Başkanlığı Üstyapı Geliştirme Şubesi Müdürlüğü.

KGM. (2021). *Bitümlü Bağlayıcılar Laboratuvar El Kitabı*. Araştırma ve Geliştirme Dairesi Başkanlığı Üstyapı Geliştirme Şubesi Müdürlüğü.

KGM. (2023, Nisan 10). *KGM Yol Ağı Bilgileri*. <https://www.kgm.gov.tr/sayfalar/kgm/sitetr/kurumsal/yolagi.aspx> adresinden alındı

Kumbargeri, Y. S., Boz, I., & Kutay, M. E. (2019). Investigating the effect of binder and aggregate application rates on performance of chip seals via digital image processing and sweep tests. *Construction and Building Materials*, 222, 213–221.

Kutluhan, S., & Açar, E. (2009). Bitümlü Sıcak Karışımlarda Tekerlek İzi Oluşumunu Etkileyen Faktörler ve Azaltmaya Yönelik Öneriler. *İtüdergisi*, 8(6), 179-191.

Melikoğlu, F. (2019). *Köy Yollarında Sathi Kaplama İle BSK Yapımının Fayda ve Maliyet Analizi 'Kütahya İli, Aslanapa İlçe Merkezi- Altıntaş İlçe Merkezi Grup Köy Yolu Örneği'*. (Yüksek Lisans Tezi). Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Erzurum.

Rahman, M. N., Sarkar, M. T., Elseifi, M. A., Mayeux, C., & Cooper III, S. B. (2020). Effects of emulsion types, application rates, and crumb rubber on the laboratory performance of chip seal. *Construction and Building Materials*, 260, 119787, 1-9.

Rahmany, M. B. (2019). *Sathi Kaplamalarda Sıcak Agreganın Kullanımının Adezyon Özelliklerine Olan Etkisinin Araştırılması*. (Yüksek Lisans Tezi). Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Afyon.

Sağlık, A., & Arıkan Öztürk, E. (2014). Türkiye'de Sathi Kaplamalarda Kullanılan Bitümlerin Performans Sınıflarının Belirlenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 29(4), 689-698.

Sarioğlu, O. (2019). *Sathi Kaplamalı Yolların Yapısal Performansının Değerlendirilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Isparta.

Sarioğlu, O., & Saltan, M. (2021). Sathi Kaplamalı Yolların Yapısal Performansının Değerlendirilmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 9(2), 463-475.

Senadheera, S., Tock, R. W., Hossain, M. S., Yazgan, B., & Das, S. (2006). *A Testing and Evaluation Protocol to Assess Seal Coat Binder-Aggregate Compatibility*. Texas: Center for Multidisciplinary Research in Transportation, Texas Tech University, 129-140.

Shuler, S., Lord, A., Epps-Martin, A., & Hoyt, D. (2011). *Manual for Emulsion-Based Chip Seals for Pavement Preservation*. Washington, D.C.: Transportation Research Board.

Tuğrul Tunç, E., & Alyamaç, K. E. (2020). Farklı Test Parametreleri için Agregat Tipinin Los Angeles Aşınma Kaybı Üzerine Etkisi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 32(1), 1-10.

Uluçaylı, M. (2002). *Asfalt El Kitabı*. İstanbul: İsfalt.

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.

Yücel, C. (2011). *Kocaelide Uygulanan Sathi Kaplama Uygulamaları, Sathi Kaplamalarda Meydana Gelen Bozulmalar*. (Yüksek Lisans Tezi). Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.