



T.C.

**BARTIN ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**  
**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**FARKLI KAYNAKTAN TEMİN EDİLEN AGREGALARIN SATHI**  
**KAPLAMA TASARIM PERFORMANSINA ETKİLERİNİN**  
**İNCELENMESİ**

**HACER DEDE**

**DANIŞMAN**  
**PROF. DR. ALTAN ÇETİN**

**BARTIN-2023**





**T.C.**

**BARTIN ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**FARKLI KAYNAKTAN TEMİN EDİLEN AGREGALARIN SATHİ KAPLAMA  
TASARIM PERFORMANSINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Hacer DEDE**

**BARTIN-2023**

## KABUL VE ONAY

## BEYANNAME

Bartın Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Prof. Dr. Altan ÇETİN danışmanlığında hazırlamış olduğum “FARKLI KAYNAKTAN TEMİN EDİLEN AGREGALARIN SATHİ KAPLAMA TASARIM PERFORMANSINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ” başlıklı yüksek lisans tezimin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

27.01.2023

Hacer DEDE

## ÖNSÖZ

Çalışmamda benden desteğini esirgemeyen, sabırla elinden gelenin fazlasını sunan, bana inancını hiçbir zaman kaybetmeyen, her sözüyle mesleğime ve hayatıma anlam katan, öğrencisi olduğum için gurur duyduğum tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Altan ÇETİN'e sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Kendimi daha iyi ifade edebilmem için beni yönlendiren, sözcüklerimi daha etkili kılmam adına bana yön veren, çalışmam için gerekli malzemelerin tedarikinde benden desteğini hiçbir zaman esirgemeyen İnşaat Mühendisi Metin ACAR'a teşekkürlerimi bir borç bilirim. Çalışmamla ilgili her türlü desteği sunan, bilgisiyle ve tecrübesiyle yanımda olan İnşaat Mühendisi Soner BAYDAR'a teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Çalışmalarımın laboratuvar kısmında ve malzeme tedarikinde bana elinden gelen tüm desteği veren Yüksek Jeoloji Mühendisi Metehan KELEŞ ve Karayolları 15. Bölge Müdürlüğü Bitümlü Kaplamalar laboratuvarı personellerine özel minnettarlığımı sunmak isterim.

Hayatıma ve mesleğime anlam katan, tanıştığımız ilk andan itibaren her konuda benzersiz destek sunan, kızlarım Gökçe ve Melis'imın babası, canım eşim İnşaat Mühendisi Yusuf DEDE'ye sonsuz şükranlarımı sunarım.

Kendimi her alanda geliştirmem için elinden gelen tüm desteği veren, bütün çalışmalarımda beni motive eden, hiçbir zaman bana karşı inancını kaybetmeyen, varlığımdan itibaren elimi hiç bırakmayan canım annem Halime GÖKOĞLU'na ve aileme sonsuz minnettarlığımı bir borç bilirim.

Hacer DEDE

## ÖZET

### Yüksek Lisans Tezi

## FARKLI KAYNAKTAN TEMİN EDİLEN AGREGALARIN SATHİ KAPLAMA TASARIM PERFORMANSINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

**Hacer DEDE**

**Bartın Üniversitesi**

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Altan ÇETİN**

**Bartın-2023, sayfa: 64**

Sathi kaplamalar, yeni yapılan yol üstyapılarında ve bakım-onarım amaçlı olarak yaygın olarak uygulanmaktadır. Ülkemizdeki yol ağının büyük kısmı sathi kaplama tabakasından oluşmaktadır. Sathi kaplamalar, temel tabakası üzerine püskürtülen bitüm yapıştırma veya astar tabakası üzerine agrega tabakasının tek kat veya çift kat serilip, sıkıştırılması ile uygulanabilen ekonomik bir kaplama tipidir. Bu kaplama tabakası, taşıtlar için kayma direnci yüksek ve düzgün bir yuvarlanma yüzeyi sağlamakta ve üstyapıyı trafik ve iklimin aşındırıcı etkilerinden korumaktadır.

Bu çalışmada, sathi kaplama tipinin performansının incelenmesi ve geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu kaplama tipi için özellikle agrega-bağlayıcı adezyonu önemlidir. Çalışmada, seçilen kaynaklardan temin edilen farklı tipteki agregaların (kalker, bazalt, gabro ve çelik cürufu) sathi kaplama tasarım performansları incelenmiştir. Bitüm-agrega aderansı ve soyulmaya karşı direncinin iyileştirilmesi için sönmüş kireç, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu kullanılarak bulamaç yöntemi ile agrega yüzeyleri işleme tabi tutulmuş ve sathi kaplama tasarım performansına etkileri araştırılmıştır. Bu çalışma ile, sathi kaplama performansının iyileştirilmesi yanında, doğal kaynak kullanımının azaltılmasına yönelik çevreci ve daha ekonomik bir tasarım hedeflenmiştir. Bu amaçla, doğal agregalar yanında, dayanıklı bir yapıya ve pürüzlü bir yüzeye sahip olan demir-çelik cürufu agrega olarak

kullanılmıştır. Laboratuvar çalışmasında kullanılan agregalara ait özellikler belirlenmiş ve sathi kaplama tasarım deneyleri gerçekleştirilmiştir. Agregata tipinin ve bazı fiziksel özelliklerinin sathi kaplama performansı üzerindeki etkisinin belirleneceği çalışmada, performansın iyileştirilmesinde bulamaç yöntemi ile agregata yüzeyine yapıştırılmış sönmüş kireç, uçucu kül ve yüksek fırın cürufunun sergilediği performanslar yaygın olarak kullanılan soyulma önleyici katkı (DOP) ile karşılaştırılmıştır.

Doğal agregaların sathi kaplama şartname limitlerini genel itibarıyla sağladığı, çelikhane cüruf agregasının sadece su emme değeri şartname limit değeri üzerinde olduğu belirlenmiştir. Sonuçlar, agregaların genel olarak sathi kaplamalarda kullanılabilmesi için soyulma önleyici katkıların kullanımının gerekliliğini göstermektedir. Vialit deney sonuçları karşılaştırıldığında kireç taşı ile bazalt agregalarının gabroya ve demir cürufuna göre çok daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Sönmüş kireç modifikasyonu agregaların soyulma direncini iyileştirmekte, gabro ve cüruf agregasında DOP'a göre daha etkili olduğu görülmektedir. Sönmüş kireç modifikasyonunun sathi kaplama performansı üzerinde diğer katkılara göre daha etkili olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Agregata, demir-çelik cürufu, sathi kaplama, soyulma, sönmüş kireç, uçucu kül, yüksek fırın cürufu, Vialit deneyi.



## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF AGGREGATES OBTAINED FROM DIFFERENT SOURCES ON CHIP SEAL DESIGN PERFORMANCE**

**Hacer DEDE**

**Bartın University**

**Graduate School**

**Department of Civil Engineering**

**Thesis Advisor: Prof. Dr. Altan ÇETİN**

**Bartın-2023, pp: 64**

Chip seals are widely applied in newly constructed road pavements and for pavement maintenance and repair. It is applied in most of the road network as a surface layer in Turkey. Chip seals are an economical type of pavement coating. This coating application consists of compacting the aggregate layer, which can be laid as a single or double layer on the bitumen bonding or prime coat. It provides a smooth rolling surface with high skid resistance for vehicles and protects the pavement from the destructive effects of traffic and climate.

In this study, it is aimed to examine and improve the performance of chip seal. Aggregate-bitumen adhesion are important for this surface coating type. In the study, the chip seal design performances of different types of aggregates obtained from selected sources (limestone, basalt, gabbro and steel slag) were investigated. In order to improve bitumen-aggregate adherence and stripping resistance, aggregate surfaces were treated with slurry method using hydrated lime, fly ash and blast furnace slag and their effects on chip seal design performance were investigated. With this study, besides improving the performance of chip seal, an environmentally friendly and more economical design is aimed to reduce the use of natural resources. For this purpose, iron-steel slag, which has a durable structure and a roughly surface, was used as aggregate. The properties of the aggregates used in the

laboratory work were determined and chip seal design tests were conducted. In the study, in which the effect of aggregate type and some physical properties on the chip seal performance were determined, the performances of hydrated lime, fly ash and blast furnace slag adhered to the aggregate surface by slurry method were compared with the commonly used anti-stripping additives (DOP).

It has been determined that natural aggregates generally meet the surface coating specification limits, and only the water absorption value of the steel slag aggregate is above the specification limit value. The results show that the use of anti-stripping additives is necessary for the aggregates to be generally used in chip seal. Vialit test results of limestone and basalt aggregates are much better than gabbro and steel slag. Hydrated lime modification improves the stripping resistance of aggregates and is more effective than DOP in gabbro and steel slag aggregates. It was determined that the hydrated lime modification was more effective on the chip seal performance than the other additives.

**Keywords:** Aggregate, steel slag, chip seal, stripping, hydrated lime, fly ash, blast furnace slag, Vialit test.

## İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY.....	ii
BEYANNAME .....	iii
ÖNSÖZ .....	iv
ÖZET .....	v
ABSTRACT .....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
TABLolar DİZİNİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. SATHİ KAPLAMALAR.....	3
2.1 Sathi Kaplama Tipleri .....	3
2.1.1 Tek Kat Sathi Kaplama .....	4
2.1.2 Çift Kat Sathi Kaplama .....	5
2.2 Sathi Kaplamalardaki Bozulmalar .....	6
2.2.1 Ayrışma (Adezyon Kaybı) .....	6
2.2.2 Terleme (Kusma).....	7
2.2.3 Agrega Kaybı (Sökülmeler).....	8
2.2.4 Kayma-Sürtünme Direncinin Kaybı .....	9
2.2.5 Tekerlek İzinde Oturma (Kalıcı Deformasyon) .....	10
2.3 Sathi Kaplama Performansına Etki Eden Faktörler.....	11
2.3.1 Agrega ve Emülsiyon Uygulama Oranları .....	11
2.3.2 Agrega Gradasyonu .....	12
2.3.3 Malzeme Seçimi .....	13
2.3.4 Altyapının Yapısal Durumu ve Yüzey Dokusu .....	14
2.3.5 Trafik Karakteristiği .....	14
2.3.6 Yol Sınıfı ve Geometrisi.....	15
2.4 Sathi Kaplama Tasarım Yöntemleri .....	15
2.4.1 Hanson Metodu .....	16
2.4.2 Kearby Metodu .....	17
2.4.3 Benson Yöntemi.....	18

2.4.4 Mc Leod Yöntemi.....	18
2.4.5 Modifiye Kearby Metodu (Teksas).....	19
2.4.6 Shell (Jackson) Yöntemi .....	19
2.4.7 2004 Yeni Zelanda Yöntemi .....	20
<b>3. KONU İLE İLGİLİ ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....</b>	<b>21</b>
<b>4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....</b>	<b>32</b>
4.1 Çalışma Kapsamı .....	32
4.2 Kullanılan Malzemeler .....	32
4.2.1 Agregalar .....	32
4.2.2 Bitüm .....	34
4.2.3 Katkı Malzemeleri.....	34
4.3 Deney Yöntemleri .....	37
4.3.1 Agrega Deneyleri.....	37
4.3.1.1 Los Angeles Aşınma Deneyi .....	37
4.3.1.2 Hava Tesirlerine Karşı Direnç Deneyi .....	38
4.3.1.3 Mikro Deval Aşınma Deneyi .....	39
4.3.1.4 Cilalanma Deneyi .....	41
4.3.1.5 Görünür Tane Yoğunluğu Deneyi .....	43
4.3.2 Sathi Kaplama Deneyleri.....	44
4.3.2.1 Vialit Deneyi .....	44
4.3.2.2 Soyulma Deneyi .....	45
<b>5. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI.....</b>	<b>47</b>
5.1 Agrega Deney Sonuçları.....	47
5.2 Sathi Kaplama Deney Sonuçları.....	52
5.2.1 Nicholson Soyulma Deneyi Sonuçları.....	52
5.2.2 Vialit Deneyi Sonuçları.....	54
<b>6. SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>57</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>60</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>64</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Sayfa No
2.1: Tek kat sathi kaplama uygulaması .....	4
2.2: Çift kat sathi kaplama uygulaması .....	5
2.3: Sathi kaplamada iz oluşumu (çizgilenme) örneği .....	6
2.4: Ayrışma bozulmasının tipik örneği .....	7
2.5: Tekerlek izinde ve bölgesel terleme veya kuma .....	8
2.6: Soyulma (agrega kaybı) sergileyen sathi kaplama yüzeyi .....	9
2.7: Orijinal ve cilalanmış sathi kaplamada örneği .....	10
2.8: Zayıf Alt Temel veya Alt Tabakalar (Ayçiçek, 2011) .....	11
2.9: Sathi Kaplamada tekerlek izinde oturma .....	11
2.10: Sathi kaplamada agregaların bitüm içine gömülme durumları .....	17
4.1: Çalışmada kullanılan doğal agregalar a) Bars Taş Ocağı-bazalt b) Kuyumcular Taş Ocağı-bazalt c) Kayadibi Taş Ocağı-gabro d) Çuhadoruğu Taş Ocağı-kalker agregası .....	33
4.2: Demir cürufu agregası .....	34
4.3: Kullanılan katkı malzemeleri a) sönmüş kireç b) uçucu kül c) yüksek fırın cürufu ....	36
4.4: Los Angeles aşınma deneyi aleti ve aşındırma bilyaları .....	38
4.5: Magnezyum sülfat deneyi ekipmanları .....	39
4.6: Micro Deval deneyinde kullanılan tambur ve bilyalar .....	40
4.7: Hızlandırılmış Cilalanma Cihazı .....	41
4.8: Kayma Direnci Ölçme Cihazı .....	42
4.9: Cilalandırma numune kalıbı ve cilalandırılmış agrega numune örnekleri .....	42
4.10: Özgül ağırlık sehpası ve suda tartım aşaması .....	44
4.11: Vialit deneyinde kullanılan ekipmanlar .....	44
4.12: Vialit Deneyi uygulanan numune örnekleri .....	45
4.13: Soyulma deneyine tabi tutulmuş numune örnekleri .....	46
5.1: Los Angeles aşınma deneyi sonuçları .....	48
5.2: Hava tesirlerine karşı direnç deneyi sonuçları .....	48
5.3: Micro Deval Aşınma deneyi sonuçları .....	49
5.4: Görünür tane yoğunluğu deneyi sonuçları .....	49
5.5: Su Emme deneyi sonuçları .....	50

<b>5.6:</b> Cilalanma deneyi sonuçları .....	51
<b>5.7:</b> 5.7: Cilalanma deneyine ait resimler a) Bars Taş Ocağı-bazalt b) Kayadibi Taş Ocağı-gabro c) Çuhadoruğu Taş Ocağı-kalker agregası .....	51
<b>5.8:</b> Agregatıplerine ait Nicholson soyulma deneyi sonuçları .....	53
<b>5.9:</b> Soyulma deneyine ait resimler a) Bars Taş Ocağı-bazalt Fly Ash b) Kayadibi Taş Ocağı-gabro Kireç modifikasyonlu c) Demir cürufu katkısız d) Kuyumcular Taş Ocağı-bazalt katkısız e) Çuhadoruğu Taş Ocağı-kalker agregası DOP'lu.....	54
<b>5.10:</b> Agregatıplerine ait Vialit yapışma deneyi sonuçları (Yapışan agregatı sayıları).....	56
<b>5.11:</b> Vialit yapışma deneyi resimleri a) Bars Taş Ocağı-bazalt katkısız b) Çuhadoruğu Taş Ocağı-kalker agregası DOP'lu c) Kayadibi Taş Ocağı-gabro kireç modifikasyonlu d) Kuyumcular Taş Ocağı-bazalt katkısız.....	56

## TABLULAR DİZİNİ

<b>Tablo</b>	<b>Sayfa</b>
<b>No</b>	<b>No</b>
2.1: Sathi Kaplama Gradasyonları (KGM,2013). .....	5
2.2: Çift Kat Sathi Kaplama Tipleri (KGM,2013) .....	6
2.3: Sathi kaplama tasarım parametreleri ve tasarım yöntemleri (Aktaş,2012) .....	16
4.1: Bitüm bağlayıcıya ait fiziksel özellikler. ....	34
4.2: Sönmüş kirecin fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	35
4.3: Kullanılan uçucu kül ile ilgili temel özellikler.....	35
4.4: Kullanılan cüruf ile ilgili temel özellikler .....	36
4.5: Kullanılan DOP'un genel karakteristik özellikleri.....	36
4.6: Sathi kaplama tasarımına ait KTS şartname limitleri .....	37
5.1: Sathi kaplama tasarımında kullanılan agregalara ait deney sonuçları .....	47
5.2: Agregatıplerine ait Nicholson soyulma deneyi sonuçları .....	52
5.3: Agregatıplerine ait Vialit deneyi sonuçları .....	55

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

km	: kilometre
m	: metre
mm	: milimetre
cm	: santimetre
g	: gram
kg	: kilogram
m <sup>2</sup>	: metrekare
m <sup>3</sup>	: metreküp
°C	: Santigrat derece
yd	: yard
“	: inç
°F	: Derece Fahrenheit
yd <sup>2</sup>	: yardkare
lt/m <sup>2</sup>	: litre/metrekare
dk	: dakika
sa	: saat

## KISALTMALAR

KGM	: Karayolları Genel Müdürlüğü
KTŞ	: Karayolları Teknik Şartnamesi
NZTA	: New Zealand Transport Agency
YOGT	: Yıllık Ortalama Günlük Trafik
AAR	: Agregat Uygulama Oranı
USD	: Amerikan Doları
HSKSC	: Hızlandırılmış Sathi Kaplama Simülasyon Cihazı
ASTM	: American Society for Testing and Materials
ASSTHO	: American Association of State Highway and Transportation Officials
NCSU	: North Carolina State University
SN	: Structural Number



TxDOT	: Teksas Ulaşım Departmanı
AAR	: Optimal Uygulama Oranı
EAR	: Emülsiyon Uygulama Oranı
PE	: Yüzde Gömme
SPG	: Surface Performance Grade
BOF	: Bazik Oksijen Fırın
BBR	: Bending Beam Rheometer
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
FTIR	: Fourier Transform Infrared
PMS	: Kaplama Yönetim Sistemi
AIMS	: Agregat Görüntüleme Sistemi
ODOT	: Oklahoma Ulaşım Departmanı
LWD	: Light Weight Deflectometer (Hafif Düşen Ağırlık Deflektometresi)
CBR	: California Bearing Ratio (Kaliforniya Tasıma Oranı)
YFC	: Yüksek Fırın Cürufu
TS	: Türk Standartları
EN	: Avrupa Normu
DOP	: Kimyasal Soyulma Önleyici Malzeme
vd	: ve diğerleri
vb	: ve benzeri

# 1. GİRİŞ

Yıllar boyunca, dünya çapında devlet karayolları kurumları ve devlet kurumları tarafından üstyapının korunmasına ilişkin sürekli çabalar sarf edilmiştir. Düzenli yüzey işlemleriyle uygulanan önleyici bakım, kaplamaların ömrünü uzatmak için uygun maliyetli önlemler yüksek bir öncelik haline geldikçe, istikrarlı bir şekilde artmıştır. Bu nedenle, asfalt yüzey iyileştirme alternatiflerini kullanan kuruluşların hizmet ömrünü uzatmak, yaşam döngüsü maliyetlerini azaltmak ve güvenliği artırmak için kullanımlarını optimize etmeleri zorunludur. Sathi kaplamalar, ülkemizde ve dünyada ekonomik oluşundan dolayı esnek üstyapılarda yüzey iyileştirme uygulamaları ve kaplama tabakası olarak yaygın olarak kullanılmaktadır. Başlangıçta, sathi kaplamalar ve diğer asfalt yüzey koruma tabakaları yalnızca düşük trafik hacimli yolların inşası için kullanılmıştır. Ancak emülsiyon kalitesi, inşaat teknikleri ve genel bilgideki gelişmelerle birlikte bunlar hem düşük hem de yüksek trafik hacimli kaplamalar için başarılı olabilecek bir bakım alternatifi haline gelmişlerdir (Gransberg ve James, 2005). Tek veya çift katmanlı olarak üretilen ekonomik bir asfalt kaplama türü olan sathi kaplama, alt katmanların yüzeylerini su geçirmez hale getirmek, araçlar için düzgün ve kaymaya karşı yüksek dirençli yüzeyler oluşturmak ve kaplamaları trafik ve iklimin zararlı etkilerine karşı korumak için astarlanmış stabilize ve granüller temel tabakası yüzeylerine uygulanır (Karaşahin vd., 2016a).

Bitümlü sıcak karışımların aksine, sathi kaplamanın performansını etkileyen en önemli faktörlerden biri iklimdir. Diğer parametreler arasında kullanılan agreganın yapışma kabiliyeti, agregadaki ince malzeme miktarı, imalat sırasında ortam sıcaklığı, bitüm dağıtıcı tanklarındaki bitüm sıcaklığı, bitüm püskürtme ile agrega serim arasındaki sürelerden söz edilebilir (Gürer vd., 2012). Sathi kaplamaların yaygın bir bozulma türü, agrega ve bağlayıcı arasındaki yetersiz yapışmanın neden olduğu sökülmelerdir. Agregası ve bağlayıcısının hem fiziksel hem de kimyasal özellikleri, agrega bağlayıcı yapışmasında önemli rol oynar (Karaşahin vd., 2013). Sathi kaplamaların performansı büyük ölçüde agrega ile bitüm arasındaki adezyona bağlıdır. Agregası ile bitüm arasındaki uygun aderans kuvvetinin sağlanması, agrega sökülmelerinin azalarak sathi kaplama performansının artması ile sonuçlanır. Yüzeysel kaplamalardaki en önemli bozulmalar yağmur suyu ve trafiğin etkisi ile bitüm filminin agrega üzerinden soyulması ve bunun sonucu olarak agrega parçalarının yüzeyden kopması şeklinde oluşmaktadır. Agregası parçalarının kopması sonucu yüzeyde

geçirimli kısımlar oluşmakta bu bölgelerden temel tabakasına sızan su sathi kaplamalı yollarda daha ağır bozulmaların oluşmasına yol açmaktadır. Agregaların yapıştığı bitümden soyularak kopmasına neden olan en önemli nedenlerden birisi agrega üzerindeki toz ve nemdir (Gürer ve Karaşahin, 2014). Sathi kaplamalarda agreganın yapışma performansı, yapıldığı yolun trafik hacmi, konumu, tatbik edilen agreganın nominal boyutu ve yapım yöntemi vb. faktörlerden önemli ölçüde etkilenmektedir. Ayrıca, sathi kaplamanın erken bozulmasının kullanılan hammaddelerden ve maruz kalan çoklu donma-çözülme döngülerinden kaynaklandığını göstermektedir. Bu nedenle, özellikle soğuk bölgelerde sathi kaplama kullanımı düşünüldüğünde uygun agrega ve asfalt-emülsiyon kombinasyonunun seçilmesi önemlidir (You vd., 2019). Sathi kaplama performansının iyileştirmesinde kullanılan agreganın iyi seçilmesine ve agrega-bitümlü bağlayıcı arasındaki aderansın iyileştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışmada, farklı kaynaklardan elde edilen agregaların sathi kaplama performansları ve bulamaç yöntemi ile agrega yüzeyine uygulanan sönmüş kirecin sathi kaplama performansına etkisi araştırılmıştır. Ayrıca, temin edilen çelikhane cürufunun sathi kaplama agregası olarak kullanılabilirliği incelenmiştir. Karayolları 15. Bölge Müdürlüğü Araştırma ve Geliştirme Başmühendisliği laboratuvarında temin edilen agregalar için sathi kaplama tasarımları gerçekleştirilmiştir. Kullanılan malzemelerin sathi kaplamalarda kullanıma uygunluklarının belirlenmiştir. Trafiğin güvenli seyrinde gerekli olan kayma-sürtünmenin temininde kaplama tabakasında kullanılan agregalar için önemli olan cilalanma deneyleri yapılmıştır. Katkı malzemelerinin üretici firmalardan kimyasal ve mekanik özellikleri temin edilerek şartname uygunlukları denetlenmiştir. Agregaların ve katkılı tasarımların sathi kaplama performans değişimlerinin görülmesi için Nicholson soyulma ve Vialit yapışma deneyleri uygulanmıştır. Sathi kaplama performansını iyileştiren optimum tasarım sonuçları belirlenmiştir.

## 2. SATHİ KAPLAMALAR

Yaşlanan altyapı, karayolu kurumlarının uygun maliyetli kaplama koruma stratejileri uygulamaya odaklanmasını gerektirmiştir. Bir kaplama yüzeyinin özellikleri, performansını önemli ölçüde etkileyebilir. Sathi kaplama, yol üstyapısını korumak, yüzey özelliklerini eski haline getirmek ve performans ömrünü artırmak için kullanılan yaygın bir tekniktir. Sathi kaplama uygulamalarının, suyun yol yapısına nüfuz etmesini önleme, çatlakları doldurma ve kapatma, parlama önleyici bir yüzey sağlama ve ıslak/gece sürüşü için yansıtıcı yüzeyi artırma gibi birçok avantajı vardır. Birincil amaçları, yol yüzeyine ilave yüzey dokusu ve kayma direnci sağlarken, kaplama yüzeyini güneşten, sudan ve trafikten korumaktır (Asphalt Institute, 2009; Roberts ve Nicholls, 2008). Bu ilave yüzey dokusu, yağmurlu hava koşullarında kaplamanın yüzey drenajını arttırır. Sathi kaplamalar, yol yüzeyinin daha fazla bozulmasını önleyecek ve daha uzun bir hizmet ömrü sağlayacak olan suyun alt tabakalara sızmasını önlemektedir. Kaymaya karşı oldukça dayanıklı bir yüzey sağlarken, karayolunu korumanın uygun maliyetli bir yolu olduklarını gösterdiler.

Sathi kaplamalar, bitümlü bağlayıcı bir yapıştırma tabakası üzerine hemen ardından serilen bir agreganın tabakası ile agregaları bağlayıcıya gömmek için silindirlenerek oluşturulan bir kaplama tipidir. Bu kaplamalar birden çok katmandan oluşturulabilir ve belirli tehlikeli durum modlarını veya trafik durumlarını göz önünde bulundurularak çeşitli bağlayıcı ve agrega türleri kullanılabilir. Sathi kaplama karışım tasarım yönteminin amacı, sathi kaplamanın tasarım ömrü boyunca mevcut kaynaklar dahilinde tatmin edici performansını sağlamak için malzemeleri ve uygulama oranlarını uygun şekilde seçmektir ve kaplama performansı öncelikle buna bağlıdır. Bu bölümde, ülkemizde de yaygın olarak uygulanan sathi kaplamaların tipleri, performansına etkiyen faktörler, karşılaşılan bozulmalar ve tasarım yöntemleri hakkında genel bilgiler verilmiştir.

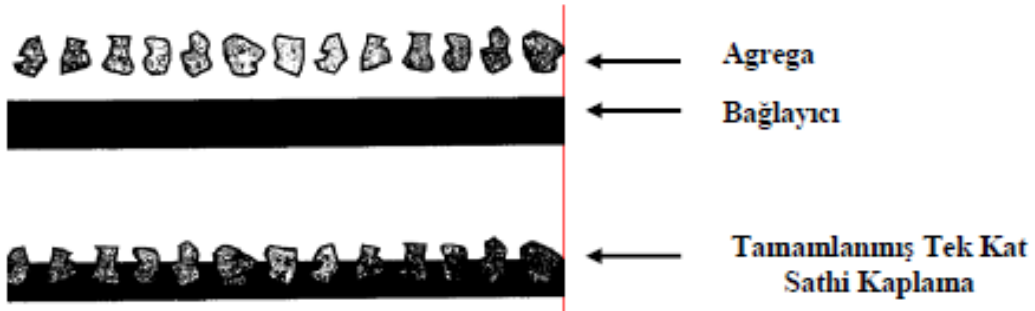
### 2.1. Sathi Kaplama Tipleri

Mevcut birden fazla sathi kaplama tipi vardır. Bağlayıcı tipine, katman sayısına ve agrega boyutlarına bağlı olarak sathi kaplama için bir dizi farklı teknik uygulanmaktadır. Fakat ülkemizde en yaygın olarak uygulanan tek kat ve çift kat sathi kaplamalardır. Bu tekniklerin her biri karayolu ihtiyaçları, trafik, mevcut agrega, bağlayıcılar ve maliyet temelinde

değerlendirilebilir. Bu tekniklerin kullanımı, mevcut üstyapı durumu, kaplama geometrisi, trafik seviyesi, kentsel veya kırsal trafik, maliyetler ve yaşam döngüsü beklentileri temelinde değerlendirilebilir (NZTA, 2005). Önemli ölçüde sorunlu yollar ve ani dönüş, hızlanma veya durma hareketleri yapan trafiğin olduğu yollar dahil olmak üzere bazı yollar, sathi kaplama uygulamaları için uygun değildir. Bunun nedeni, agregaların teğetsel kuvvetlere direnme yeteneklerinin nispeten düşük olmasıdır (Read ve Whiteoak, 2003).

### 2.1.1 Tek Kat Sathi Kaplama

Tek kat sathi kaplama, bir bağlayıcı ve ardından bir agrega uygulamasıdır. Bu, bir kaplama koruma işlemi olarak kullanılır ve kaymaya dayanıklı yeni bir aşınma yüzeyi sağlar, sökülmei durdurur ve küçük çatlakları kapatır. Şekil 2.1’de, tek sathi kaplama uygulamasını göstermektedir. Sathi kaplama yolun kabul edilen hizmet süresi boyunca geçecek, tek yönde standart dingil sayısı 2.000.000 az olan yollarda uygulanmalıdır. Toplam dingil sayısı 500.000’den az ise tek katlı sathi kaplama yapılmalıdır. (KGM, 2013)



Şekil 2.1: Tek kat sathi kaplama uygulaması

Tek katlı sathi kaplama, astar üzerine su geçirmez bir tabaka olarak kullanılır. Bitüm püskürtme işleminden sonra belirli boyuttaki tek kat agrega tabakasının serilmesiyle oluşturulur. Bu tabakanın kalınlığı, sathi kaplamada kullanılan nominal maksimum boyuttaki agrega taneciklerinin büyüklüğüne bağlıdır (Bağdatlı, 2010).

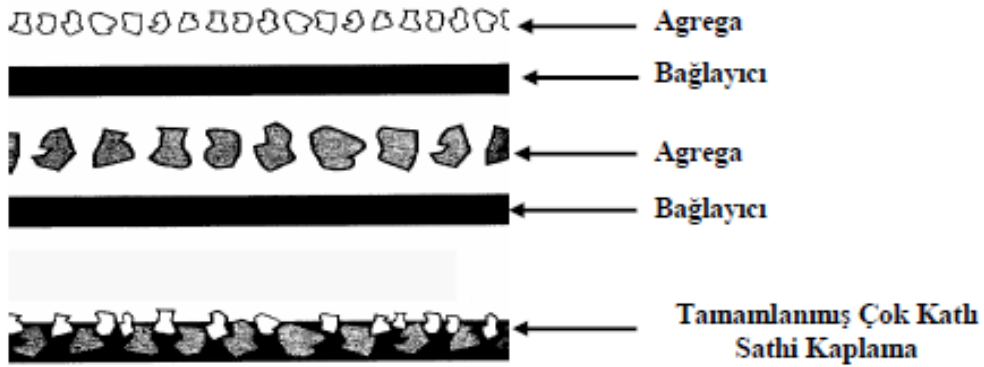
Sathi kaplamalarla ilgili ülkemizde kullanılan gradasyon değerleri Tablo 2.1’de verilmiştir. Tek kat sathi kaplama yapılacak yollarda A ve B Tipi agrega gradasyonları seçilmelidir.

Tablo 2.1: Sathi kaplama gradasyonları (KGM, 2013)

Elekler		% Geçen				
Elek	Elek Çapı(mm)	A Tipi	B Tipi	C Tipi	D Tipi	E Tipi
1''	25	100	100			
3/4''	19	0-20	90-100	100		
1/2''	12.5	0-10	0-20	90-100	100	
3/8''	9.5		0-10	0-20	90-100	100
1/4''	6.3					90-100
No.4	4.75	0-2	0-20	0-2	0-20	60-85
No.10	2.0				0-2	0-2

### 2.1.2 Çift Kat Sathi Kaplama

Çok kat sathi kaplama, birden fazla bağlayıcı ve agrega uygulamasından oluşan yerleşik bir yüzey kaplamasıdır. Daha sert aşınan ve daha uzun ömürlü bir yüzey işleminin gerekli olduğu yerlerde çok katlı sathi kaplamalar kullanılır. Şekil 2.2’de çok katlı sathi kaplama uygulaması göstermektedir.



Şekil 2.2: Çift kat sathi kaplama uygulaması

Proje süresi boyunca yoldan geçecek hesap şeridine düşen toplam standart dingil yükü tekrerrür sayısı 500.000’den büyük olan yollarda uygulanmalıdır (KGM, 2013). Çift kat sathi kaplamalarda ikinci tabakada kullanılan nominal agrega boyutu birinci tabakada kullanılan agrega boyutunun yarısından büyük olmamalıdır. Çift kat sathi kaplama uygulama tipleri ile ilgili bilgiler Tablo 2.2’de verilmiştir.

Tablo 2.2: Çift kat sathi kaplama tipleri (KGM,2013)

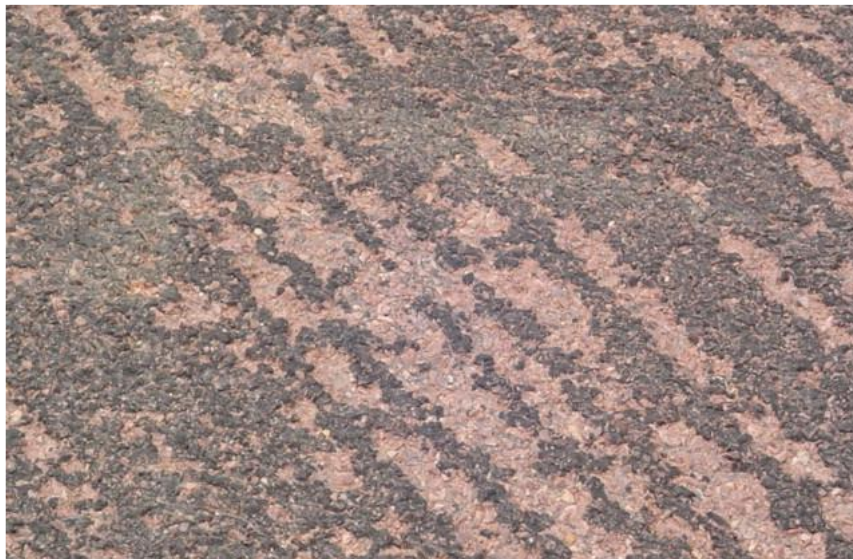
	Çift Kat Tip 1	Çift Kat Tip 2	Çift Kat Tip 3
2. Kat	C-Tipi	D-Tipi	E-Tipi
1. Kat	A-Tipi	B-Tipi	C-Tipi

## 2.2. Sathi Kaplamalardaki Bozulmalar

Ülkemizde sathi kaplama uygulamalarında başlıca bozulma nedenleri tasarım metodunun ve malzemenin doğru seçilmemesi, trafiğin öngörülenden daha fazla artması, iklim koşullarının değişken olması, yol bakımında projeye ve tekniğe uygun olmayan yapımlar, bakım biriminin zamanında müdahale etmemesi ve birimler arası koordinasyon eksiklikleri şeklinde sıralanabilir.

### 2.2.1 Ayrışma (Adezyon Kaybı)

Sathi kaplamalarla ilişkili en yaygın bozulma tipleri, çizgilenme (mevcut yüzeyin ve yeni sathi kaplamaların ayrılması), taşma/kanama ve kaplama agregasının kaybıdır. İz oluşumuna (çizgilenmeye), Şekil 2.3'te gösterildiği gibi asfaltın yol yüzeyi boyunca santim santim düzgün bir şekilde uygulanmaması neden olur. İz oluşumuna genellikle inşaatın emülsiyon püskürtme aşaması sırasında asfalt püskürtücünün memesinin tıkanması veya çalışmaması neden olur.



Şekil 2.3: Sathi kaplamada iz oluşumu (çizgilenme) örneği

Ayrışma ile ilgili olarak, yeni bir sathi kaplama, inşaattan sonra mevcut bir yol yüzeyi ile iyi bir bağa sahip olmayabilir. Bu ayrılma, mevcut yüzeyde yüksek miktarda toz (ince içerik) bulunması, mevcut yüzeyin ıslak veya çok soğuk olması veya asfaltın çok sert olması gibi çeşitli nedenlerle ortaya çıkabilir. Normalde, mevcut yüzeyle iyi bir bağ kuramama, yalnızca birkaç santimetrekare ile biraz daha büyük bir alanda soruna neden olur. Bununla birlikte, bazen, birkaç metre kare veya hatta tüm yüzey işlemi bu nedenlerle başarısız olabilir (McLeod, 1969). Bir sathi kaplamanın tipik bir ayrışma hatası, Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4: Ayrışma bozulmasının tipik örneği

Yol üst yapısındaki agrega daneleri iklim, trafik gibi çevre ve hava koşulları ile oluşan mekanik etkilerle kaplama tabakasından ayrılmasıyla oluşmaktadır. Ayrışmalar başlangıç aşamasında önlenmediği takdirde kaplama ömrünün kısılmasına neden olmakta, trafik ve iklim koşullarıyla zamanla artarak sürüş konforu ile trafik güvenliğinin azalmasına yol açmaktadır.

Ayrışmalar genel olarak yapım ve uygulama hatalarından kaynaklanmakta olup, ünifom olmayan karışım, yüksek penetrasyonlu asfalt seçimi, kalitesiz malzeme kullanımı, serim sırasında segregasyonların önüne geçilememesi gibi nedenlerden meydana gelmektedir.

### 2.2.2 Terleme (Kusma)

Sathi kaplamalarda ortaya çıkan bir diğer uzun vadeli sıkıntı Şekil 2.5'te görüldüğü gibi terleme veya kusmadır. Bu bozulma tipi genellikle, karışım tasarımı aşamasında aşırı asfaltın uygulanmasından kaynaklanır ve bu da fazla asfaltın kaplama agregasından yol yüzeyine yükselmesine neden olur. İnşaattan kısa bir süre sonra yağmur yağması, asfaltın çok sert



olması ve kaplama agregası ile yeterli yapışmayı geliştirememesi, çok kirli veya çok ıslak olan taşın kullanılması sebebiyle kaplama agregası ve asfalta iyi bir yapışma sağlayamaması gibi nedenden dolayı agreganın kaybindan veya diğer bir deyişle 'sökülmesinden' kaynaklanabilir. Terleme ile ilgili ana sorun, bu bozulma ile ilişkili kayma-sürtünme direncinin kaybıdır, bu da hem yolun genel güvenliğini hem de sathi kaplamanın etkinliğini azaltır (McLeod, 1969; Gransberg ve James, 2005).



Şekil 2.5: Tekerlek izinde ve bölgesel terleme veya kuma

### 2.2.3 Agregaya Kaybı (Sökülmeler)

Agrega kaybı, sathi kaplamada oluşan en kritik bozulmalardan biridir. Agregada danelerini saran ince asfalt filminin su, kil, hava şartları, serim hataları ve trafiğin mekanik etkisi gibi nedenlerle agregadan ayrılması ve dolayısıyla agregada danelerinin asfalt kaplamadan bağımsız hareket edebilmesi olayıdır. Genel olarak, bir sathi kaplamanın agregada kaybının çoğu, bir yol trafiğe yeni açıldıktan sonra ilk trafik geçişleri sırasında meydana gelir. Agregada kaybının diğer önemli nedenleri arasında aşırı agregada uygulaması, inşaat sırasında zayıf trafik kontrolü, agregada parçacıklarının emülsiyona yetersiz gömülmesi, zayıf agregada gradasyon kalitesi ve tozlu agregada sayılabilir (Shuler, 1990; Gransberg ve James, 2005). İnşaat sorunlarından kaynaklanan agregada kaybı sorunları genellikle birkaç ay içinde ortaya çıkar ve bu tür bir soruna sahip bir sathi kaplama onarılmalıdır (NTZA, 2005). Gradasyon, şekil, nem durumu ve toz gibi yüzey işlemede kullanılan agregada özellikleri, agreganın adezyonunda önemli bir rol oynar. Ayrıca, McLeod prosedürü (McLeod, 1969), yeni püskürtülen koruyucu kaplama henüz ilk sertleşme aşamasındayken, kaplama agregasının bir kısmının yoldan geçen ilk araçlar tarafından yolun kenarına itileceğini kabul eder. Bu şekilde savrulan agregada miktarı, yeni kaplama üzerindeki araç sayısı ve hızı ile ilişkilidir. Bu

oluşumu hesaba katmak için, toplam tasarım denklemine bir trafik savurma faktörü dahil edilir. Agregaya kayıplarına ait örnek Şekil 2.6’da verilmiştir.

Sathi kaplamalarda soyulmaya engel olmak için yapım esnasında yol platformu yüzeyine bitüm serilmesine müteakip ivedilikle agregaya serilmelidir. Agreganın serimden önce yıkanmış ve kurutulmuş olması büyük önem arz etmektedir. Agregaya seriminin ardından bitümün soğumasından önce silindirle sıkıştırma işlemi geciktirilirse asfaltın içinde agreganın trafik altında yerinde kalabilmesine yetecek kadar gömülmeyebilir.



Şekil 2.6: Soyulma (agrega kaybı) sergileyen sathi kaplama yüzeyi

#### 2.2.4 Kayma-Sürtünme Direncinin Kaybı

Mevcut bir asfalt yüzeyle ilişkili kayma-sürtünme direnci kaybı, yeni bir yüzey iyileştirme ihtiyacını tetikleyen yaygın yol koşullarından biridir. Genel olarak yüzey işlemlerinin en önemli rollerinden biri kayma-sürtünme direncinde artış sağlamaktır (Gransberg ve James, 2005). Potansiyel bir güvenlik tehlikesinin varlığını gösteren mevcut yüzey koşulları, diğerlerinin yanı sıra terleme/kusma ve tekerlek izini içerir.

Kayma direnci zamanın bir fonksiyonu olarak değişir. Genellikle, kayma-sürtünme direnci inşaatı takip eden ilk iki yılda asfalt trafik nedeniyle aşındıkça artar, ardından yüzey agregası daha cilalı hale geldikçe kaplamanın kalan ömrü boyunca azalır (Şekil 2.7). Kayma direnci, kışın yağışlı ve soğuk havanın yüzeyi pürüzlendirdiği durumlarda artma, yazın ise azalma eğilimi gösterir. Kayma direncindeki bu mevsimsel değişiklik önemlidir ve ilgili konumların kayma direnci göz önüne alındığında dikkate alınmalıdır. Ek olarak, kayma-sürtünme direncindeki kış iyileşmesinin, yol yüzeyinin yaz cilalanmasını dengelemek için yeterli olmadığına inanılmaktadır (Jayawickrama ve Thomas, 1997; Hunter, 2000).



Şekil 2.7: Orijinal ve cilalanmış sathi kaplamada örneği

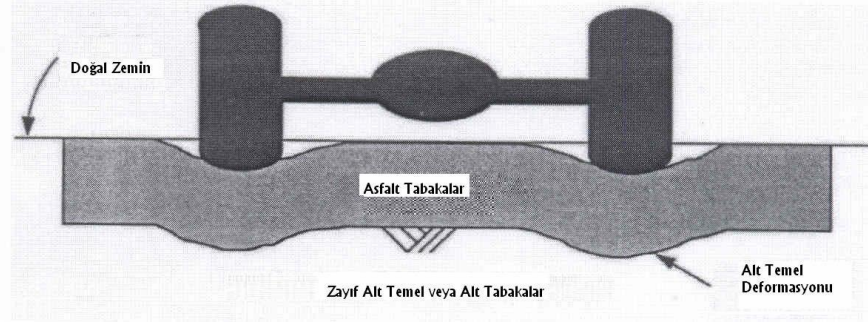
Aşınma oranı yüksek olan agregaların taşıt trafiğinin yol açtığı aşındırma etkisi ile pürüzlülüğünü kaybetmesiyle oluşmaktadır. Cilalanmanın yol açtığı bozulmaları önlemek için köşeli ve pürüzlü agrega kullanılarak aşınma oranı düşük malzeme seçilmesine özen gösterilerek taşıt trafiğine göre agrega seçimi yapılmalıdır.

### 2.2.5 Tekerlek İzinde Oturma (Kalıcı Deformasyon)

Temel üzerine uygulanan sathi kaplamanın taşıyıcılığı yoktur. Alt tabakalarda sıkıştırma yetersizliği, trafik ve iklim koşullarının etkisiyle sathi kaplamalı üstyapılarda da daha hızlı yapısal kalıcı deformasyonlar ve tekerlek izleri meydana gelir (Şekil 2.8, Şekil 2.9). Tekerlek izinde oturmaların oluşum nedenleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Yetersiz sıkıştırma ile tabakalar içinde kalan boşlukların dingil yükleri etkisiyle sıkışmaya devam etmesi,
- Zamanla oluşan aşırı gerilmelerin sınır değerleri aşması sonucu kalıcı deformasyonların meydana gelmesi,
- Kapiler etki ile yükselen yeraltı suyunun temel ve alttemel malzemelerinde doygunluğa ulaşması ve trafik altında oluşan titreşimlerle stabilitelerini kaybetmesi





Şekil 2.8: Zayıf Alt Temel veya Alt Tabakalar (Ayçiçek, 2011)



Şekil 2.9: Sathi Kaplamada tekerlek izinde oturma

### 2.3. Sathi Kaplama Performansına Etki Eden Faktörler

Mevcut kaplamanın durumu, uygulamanın yapıldığı mevsim, yolun geometrik özellikleri, trafik hacmi, trafikteki ağır taşıtların yüzdesi, imalatta karşılaşılan durumlar, kullanılan malzeme cinsi ve kalitesi vb. faktörlerden dolayı sathi kaplamalarda performans etkilenmektedir.

#### 2.3.1 Agregaya ve Emülsiyon Uygulama Oranları

Sathi kaplama tasarımı ve yapımının en önemli bileşenlerinden biri, uygun uygulama oranlarının seçilmesidir. Özellikle sathi kaplama saha inşaatlarında aşırı miktarda agregaya uygulaması sorun oluşturabilir. Çok fazla agregaya uygulanırsa, fazla agregaya hızla hareket eden trafik tarafından savrulur ve bir güvenlik tehlikesi oluşturur ve malzeme israfına neden olur. Agreganın aşırı uygulanmasıyla ilgili olarak sıklıkla yapılan yanlış bir varsayım, fazla

agreganın yüzeyden kolayca süpürülebileceği ve doğru uygulama miktarını yerinde bırakabileceğidir. İlk trafik yüklemesi sırasında bir miktar trafik dalgalanmasının meydana geleceğini varsaymak makul olsa da, dikkat eksikliği ve aşırı agrega uygulaması zararlı olabilir ve en az iki ana sorun biçimine, kaplama sorununa ve araç sorununa neden olabilir.

Kaplama bozulması, birden fazla agrega tabakası mevcut olduğunda ve yüzeydeki fazla agrega aşağıdaki tabakaya zorlandığında meydana gelir. Bu eylem, birinci katmandaki agreganın yerinden oynamasına ve dolayısıyla agrega kaybına neden olur. Bu yer değiştirme, erken agrega kaybı oluşturmasının yanı sıra potansiyel olarak terleme/kusma sorunlarına da yol açabilir (Şhuler, 1990). Büyük miktarlarda agrega uygulandığında, küçük taşlar yapışır ve büyük taşlar muhtemelen fırçalanır (Benson ve Gallaway, 1954), bu da agrega tabakasının tesviyesini etkiler. Agrega malzemesi fazlalığının, agrega azlığından genellikle daha zararlı olduğu rapor edilmiştir. Çünkü kaplama malzemesi fazlalığında uygulanan ince toz miktarı da artar (Kearby, 1953).

### **2.3.2 Agrega Gradasyonu**

Agrega gradasyonu, sathi kaplamaların tasarımında, yapımında ve nihai olarak performansında önemli bir rol oynar. İdeal olarak, belirtilen gradasyon, kaplama dokusu tutarlı olacak şekilde olmalıdır. Etkili bir yüzey iyileştirmesi için, minimum ince taneler ve toz ile üniform gradasyonlu bir agrega sağlayan dar gradasyon bantları arzu edilir. Literatür ve saha araştırmaları, No. 200 elekten geçen %2'den daha az inceliğe sahip tek boyutlu agreganın ideal kabul edildiğini göstermektedir (Gransberg ve James, 2005). Sathi kaplamada tek boyutlu bir agrega kullanmanın bir avantajı, tekerlek lastiği ve kaplama yüzeyi arasındaki temas alanını maksimize etmesidir. Bu temas sürtünme alanını artırır ve aslında emülsiyon uygulama oranı (emulsion application rate-EAR) uygun olduğu sürece kayma direncini artırır (Herrin vd., 1968).

İdeal olarak, agrega mümkün olduğu kadar üniform boyuta yakın olmalı ve yüzey işlemi tek bir agrega tabakasına sahip olacak şekilde ekonomik olarak makul olmalıdır. En büyük ve en küçük parçacıklar arasında önemli bir fark varsa, asfalt filmi daha küçük agregayı tamamen kaplayabilir ve böylece daha büyük parçacıkların uygun şekilde gömülmesini engelleyebilir. Genel bir kural olarak, bir yüzey işlemindeki en büyük boyutlu agrega, ekonomik yüzey işleme üretimine izin vermek için hem büyük boyut hem de küçük boyut için makul bir tolerans ile en küçük boyutlu agreganın iki katından fazla olmamalıdır (Asfalt

Enstitüsü, 1964). Toleransın büyüklüğü arttıkça (bütçeyle ilgili nedenlerle), genel performans kalitesinin düştüğüne inanılmaktadır. Bu nedenle, ekonomik koşullara bağlı olarak, düşük performansla daha düşük ilk inşaat maliyetlerine sahip olmaksızın, daha yüksek ilk inşaat maliyetlerine sahip olmak ve iyi performans gösteren bir boyuta yakın agrega elde etmek daha uygun olabilir. Bu tür zayıf performans, nihayetinde yüksek yıllık bakım giderlerine yol açacaktır (McLeod, 1969). Bu nedenle, karayolları ile ilgili devlet kurumları iki alternatif arasında bir denge bulmalıdır.

Ek olarak, Benson ve Gallaway (1954), ince içeriğin toplam agreganın %0'ından %30'una çıkarılmasının, %10 daha fazla agrega kaybına neden olduğunu bulmuşlardır. Daha önce tartışıldığı gibi, bu derecelendirme konusu, doğrudan ekonomik hususlara bağlıdır. Çünkü sathi kaplama inşaatı için derecelendirme gereklilikleri daha kısıtlı hale geldikçe toplam maliyetler artar. Ancak, iki agreganın fiyat ve kalite bakımından aynı olması durumunda, gradasyonu üniform olan agrega tercih edilmelidir.

Kandhal (1987) ayrıca dereceli agrega kullanımıyla bir sathi kaplama yüzey işleminin agrega tutma kapasitesinde bir azalma olduğunu bildirmektedir. Bu derecelendirilmiş agregalar, büyük parçacıklar arasındaki boşlukları doldurma eğiliminde olan ek küçük parçacıkları içerir ve bu nedenle uygulanan asfalta etkili bir şekilde gömülmeyebilir.

### **2.3.3 Malzeme Seçimi**

Sathi kaplama tasarımı ve inşaatı için malzeme seçimi genellikle ürün kullanılabilirliğine, agrega/emülsiyon kalitesine ve potansiyel inşaat sahasının iklimine bağlıdır. Agrega seçimi, jeolojik uygunluğun ve agreganın taşınması gereken mesafenin bir fonksiyonudur. Asfalt seçim sürecinde mevcut kaplamanın yüzeyi, işin boyutu, agrega gradasyonu ve yerel iklim dikkate alınmalıdır (Gransberg ve James, 2005).

Tek bir yapıştırma tabakası için en yaygın olarak kullanılan agrega boyutu, 3/8 inç (9,525 mm) nominal maksimum agrega boyutudur (Gransberg ve James, 2005). Hafif agrega, sathi kaplama yüzey işlemleriyle ilgili olarak kaymaya karşı oldukça dayanıklı bir yüzey, gündüz ve gece görüşü iyileştirmek için iyi bir renk kontrastı, boya şerit bakımını azaltan bir yüzey sağladığı ve önemli bir endişe kaynağı olan uçuşan gevşek agreganın neden olduğu taşıt ön cam hasarını tamamen ortadan kaldırdığı için Kuzey Carolina'daki sathi kaplama inşaatında agrega malzemesi olarak sıklıkla kullanılır (Epps vd., 1974).

Bitüm ile agrega arasında oluşan adezyonun kuvveti ile bitümün esnekliği ve durabilitesi sathi kaplamalarda performans kriterleri açısından önemlidir. Bitümlü bağlayıcılar kullanım yeri ve amaçlarına göre değişik özelliklerde üretilmektedirler. Bitümün viskozitesi sathi kaplama imalatlarında önemli rol oynamaktadır. Viskozitesi düşük bitümler akışkan oldukları için agrega ile tutunum istenilen değerlerde olmayabilir. Viskozitesi yüksek bitümler daha katı kıvamlı olduklarından agregalar yeteri miktarda bitümün içerisine gömülemezler ve bu iki durumda da sathi kaplama bozulmaları meydana gelir.

### **2.3.4 Altyapının Yapısal Durumu ve Yüzey Dokusu**

Sathi kaplama yapılması düşünülen güzergahta mevcut kaplamanın durumu büyük önem arz etmektedir. Mevcut kaplamada bozulmalar başlamışsa bozulma boyutları büyümeden yapılacak sathi kaplama ideal bir bakım yöntemi sayılabilir. Bozulmaların miktarı artmışsa mevcut kaplama üzerine sathi kaplama yapılması istenilen performansları sağlayamayacak ve erken dönemde bozulmalar tekrar görülebilecektir. Kaplamadaki bozulma büyüklüğüne göre sathi kaplama tasarımında bitüm oranlarında artırımlara gidilmelidir. Bitüm oranının düşük kalması agrega sökülmesine sebep olacağı gibi bitüm oranındaki fazlalıklarda kuma tarzı problemlere neden olabilecektir.

Sathi kaplama yapılması düşünülen güzergahlarda mevcut kaplamanın yüzey durumu da önemli etkenlerden biridir. Mevcut kaplamada agregalar arası boşlukların fazla olması kullanılacak bitüm miktarının artırılmasına gereksinim duymaktadır. Yapım çalışmalarından önce güzergahın incelenerek gerekli tasarım düzeltmelerinin yapılması gerekmektedir. Mevcut kaplama yüzeyinin sert veya yumuşak olması sathi kaplama tasarımı açısından önem arz etmektedir. Agrega gömülme miktarı ve yeterli gömülme için gerekli optimum bitüm miktarının tespit edilerek uygulamada yaşanacak aksaklıklardan kaynaklı kusurları azaltacağından sathi kaplama performansını arttırmaya yardımcı olacaktır.

### **2.3.5 Trafik Karakteristiği**

Trafiğin kompozisyonu ve hacmi sathi kaplama tasarımında önemlidir. Trafik hızının fazla olduğu yollarda taşıt tekerleklerinden gelen yükler agrega sökülmesine neden olabildiği gibi hızların yavaş olduğu kısımlarda da taşıt yüklerinden dolayı agregaların gömülme miktarı artarak bitüm kuma olayları görülebilir.

Trafik hızının yavaş ağır taşıtların yoğunlukta olduğu yollarda gelen yüklerin absorbe edilebilmesi için tasarım agrega boyutlarının artırılması fayda sağlayacaktır. Agrega boyutları büyüdükçe gürültü problemleri oluşacaktır. Trafik akışının hızlı ve ağır taşıt trafiğinin az olduğu yollarda tasarım agrega boyutlarının azaltılarak konforun artırılması sağlanabilir. Trafik etkisinden dolayı agrega soyulmalarının önüne geçilebilmesi için soyulma önleyici katkı veya modifiye bitümlü tasarımların yapılması düşünülmelidir.

### **2.3.6 Yol Sınıfı ve Geometrisi**

Sathi kaplama yapılması düşünülen yolun sınıfı tasarım için önemli faktörlerden biridir. Bölünmüş yollar için ağır taşıt yüzdesi ve günlük geçen toplam araç sayısının şeritlerde oluşacak gerilmelere doğrudan etkisi vardır. Ağır taşıtların fazla olduğu sağ şeritlerde lastik izinde oturmalar ve kuma görülmesi muhtemeldir. Sol şeritlerde ise trafik hızı fazla olduğundan agrega sökülmelerine sıklıkla rastlanmaktadır. Tek yollarda ise hem ağır taşıtlar hem de otomobiller aynı şeridi kullandıklarından trafik hacminin fazla olduğu yollarda tasarım parametrelerin dikkatlice belirlenmesi gerekir. Trafik hacminin düşük olduğu yollarda taşıt etkilerinden kaynaklı bozulmalar daha düşük olduğu için sathi kaplama performansı bu tarz yollarda daha iyidir.

Sathi kaplama yapılacak yolun yatayda kurbalı olduğu veya boyuna eğimlerin olduğu kesimlerinde taşıtlardan gelecek yükler farklılık gösterecektir. Yatay kurbalı kesimlerde araçlardan gelen yükler agrega sökülmelerine neden olmaktadır. Boyuna eğimin olduğu yerlerde özellikle tırmanış kesimlerinde taşıt hızları azaldığından agrega gömülmeleri ve kumalar yaşanmaktadır. Sathi kaplama tasarımında bunun gibi kesimler de dikkate alınarak bitüm cinsi ve agrega boyutlandırması yapılmalıdır.

### **2.4. Sathi Kaplama Tasarım Yöntemleri**

Sathi kaplamalar için en eski karışım tasarım prosedürü, 1934-1935 yıllarında orijinal olarak Yeni Zelanda'da Hanson tarafından geliştirilmiştir. Karma tasarım metodolojisinin temelleri, şu anda dünya çapında kullanılan tüm önemli sathi kaplama karışım tasarımı yöntemlerine dahil edilmiştir. Orijinal Hanson yöntemine dayalı olarak 2004 yılında geliştirilen en yeni karışım tasarım yöntemi, Yeni Zelanda Yöntemi olarak bilinen Sathi Kaplama Tasarım Kılavuzu'dur. Kuzey Amerika'da modifiye Kearby yöntemi ve McLeod yöntemi en yaygın kullanılan sathi kaplama karışım tasarım yöntemleridir (Gransberg ve James, 2005). Hanson,



Benson, McLeod, 2004 Yeni Zelanda, Kearby, Değiştirilmiş Kearby ve Shell (Jackson) tasarım yöntemlerinin ana bileşenleri Tablo 2.3'te verilmiştir.

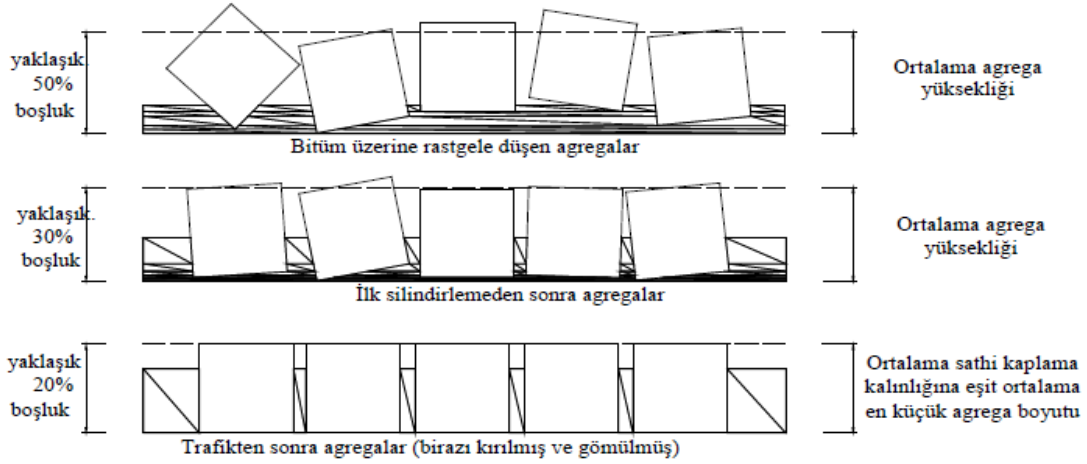
Tablo 2.3: Sathi kaplama tasarım parametreleri ve tasarım yöntemleri (Aktaş, 2012)

<b>Parametreler / Tasarım Yöntemleri</b>	<b>Hanson</b>	<b>Kearby</b>	<b>Benson</b>	<b>Mod. Kearby</b>	<b>Mc. Leod</b>	<b>Shell Jackson</b>	<b>Yeni Zelanda</b>
Agrega Gömülmesi	X	X	X		X		
Ortalama En küçük Agregat Yüksekliği	X	X	X	X	X	X	X
Agrega Gradasyonu	X	X	X	X	X	X	X
Asfalt Film Kalınlığı			X				
Agrega Uygulama Oranı				X			
Agrega Özgül Ağırlığı				X	X		
Agrega Gevşek Birim Ağırlığı				X	X		
Yüzey Durumu Düzeltme Katsayısı				X	X	X	X
İklim Düzeltmesi				X		X	
Yassılık İndeksi					X	X	X
Agrega Absorpsiyonu					X		
Agrega Tipi						X	
Trafik Hacmi (YOGT)				X	X	X	X
Ağır Taşıt Yüzdesi							X
Yüzey Makro dokusu							X
Yüzey Sertliği (Ball Penetrometer)							X
Agrega biçimi							X
Eğim, yol geometrisi							X

#### 2.4.1 Hanson Metodu

Hanson yöntemi, orijinal olarak sıvı asfaltlar için tasarlanmıştır ve karışımda kullanılan agregat kaynağı ortalama en küçük boyut parametresine dayanmaktadır. Ortalama en küçük boyut, esas olarak yuvarlanmış, sıkıştırılmış durumdaki agregat katmanını temsil eden bir değer elde etmek için agregat kaynağının temsili bir miktarı (en az 200 parça veya daha fazla) üzerinde kumpaslar kullanılarak hesaplanır. Hanson, agregat bir agregat yayıcıdan yeni uygulanmış taze asfalt üzerine döküldüğünde, agregat parçacıkları arasındaki boşlukların yaklaşık %50 olduğunu, yani mevcut agregat boşluklarının %50'sinin emülsiyonla

doldurulduğunu gözlemledi. Onun teorisi, Şekil 2.10'da gösterildiği gibi, tabaka sıkıştırıldığında bu değerlerin %30'a düşürüldüğü ve agrega trafik yükü altında sıkıştırıldığında %20'ye düşürüldüğü idi. Hanson, %60 ila %75 arasında olan artık asfalt ile doldurulacak boşlukların yüzdesini agrega tipine ve trafik seviyesine bağlı olarak belirledi (Hanson, 1934/35).



Şekil: 2.10: Sathi kaplamada agregaların bitüm içine gömülme durumları

#### 2.4.2 Kearby Metodu

Amerika Birleşik Devletleri'nde sathi kaplama karışım tasarımına yönelik ilk çabalardan biri Jerome P. Kearby (1953) tarafından yapılmıştır. Kearby, tek yapıştırma tabakalı yüzey işlemleri için asfalt ve agreganın hem miktarlarını hem de türlerini belirleyen bir tasarım yöntemi geliştirdi. Kearby'nin çalışması, ortalama kalınlık, agrega gömme yüzdesi ve boşluk yüzdesi girdi verileri için galon/yard kare cinsinden asfalt çimentosu uygulama oranı sağlayan bir monografin geliştirilmesiyle sonuçlandı (Kearby, 1953). Kearby, gradasyona ve ilişkili ortalama yayılma oranlarına dayalı olarak sekiz agrega derecesinin ana hatlarını çizerek tek tip gradasyonlu bir agrega kullanılmasını önerir. Ayrıca, birleşik düz ve uzun parçacık içeriğinin, herhangi bir agrega gradasyonu gereksiniminin %10'unu geçmemesini tavsiye eder. Ayrıca Kearby yöntemi, mevcut kaplama koşullarının ve trafik hacminin optimum toplam gömme derinliği üzerindeki etkilerini de hesaba katar. Sathi kaplamaların mevcut bir sert yüzey üzerine inşa edilmesi durumunda, gömme yüzdesi sert agrega için artırılmalı ve yumuşak agrega için azaltılmalıdır. Yoğun trafik altındaki sathi kaplamalar için, büyük boyutlu agrega parçacıklarının kullanılmasıyla birlikte gömme yüzdesi azaltılmalıdır ve düşük hacimli trafik altında, esas olarak orta büyüklükteki agrega parçacıklarının kullanılmasıyla gömülme yüzdesi arttırılmalıdır.

### 2.4.3 Benson Yöntemi

Benson ve Galloway laboratuvar ortamında bitüm cinsi ve miktarı, agrega miktarları ile agrega gradasyonunu değiştirerek sathi kaplama deneyleri yaparak sathi kaplama tasarım yöntemi geliştirmişlerdir. Bitüm cinslerine göre agregalarla yapışma mukavemetlerini inceledikleri denemelerde agregaların tozlu olduğu ve nemli olduğu durumlar için de deney sonuçlarındaki farklılıkları belirlemişlerdir.

### 2.4.4 McLeod Yöntemi

1960'lar boyunca McLeod (1969), kısmen Hanson'ın bu alandaki önceki çalışmasına ve ayrıca kendi ampirik ilişkilerine ve gözlemlerine dayanan bir sathi kaplama tasarım prosedürü geliştirdi. Yöntemi hem tek hem de çok katmanlı yüzey işlemlerini kapsar ve agrega miktarını, asfalt miktarını ve türünü ve asfalt uygulama oranını belirler. Bu miktarlar, McLeod'un (1969) geliştirdiği birkaç denkleme dayalı olarak belirlenir.

Belirli bir yüzey işlemi için gereken agrega miktarını belirlemek için kullanılan denklemler, agreganın %80'inin nihayetinde kaplamaya gömüleceği varsayımına dayanmaktadır, agrega tek boyutludur (derecelendirilmiş agrega için olan denklemde küçük bir değişikliklerle birlikte) ve agrega nihai olarak, agrega tabakasının kalınlığı agrega kaynağının yaklaşık ortalama en küçük agrega boyuna eşit olacak şekilde düzenlenecektir. Bu yöntemde ek olarak, agrega tipine, destekleyici tabaka tipine, iklimsel değişimlere vs. dikkat edilmelidir.

Asfalt emülsiyon miktarını belirlemek için kullanılan denklem de çeşitli varsayımlara dayanmaktadır. Bir varsayım, toplam yüzey işleminin %20'sinin asfalttan oluşacağıdır (%80 agreganın gömülmesi). Ayrıca, agrega miktarının belirlenmesinde olduğu gibi (kademeli agrega denkleminde bir değişiklik de içerir) agreganın tek boyutlu olduğu varsayılır. Son olarak, ölçüm sırasındaki sıcaklık 60°F'dir (aksi halde değer ayarlanmalıdır).

Kullanılacak uygun asfalt tipi ve kalitesi, uygulama sırasındaki agrega boyutuna ve yüzey sıcaklığına bağlıdır ve McLeod tarafından geliştirilen bir çizelge ile belirlenir. Asfalt Emülsiyon Üreticileri Birliği ve Asfalt Enstitüsü, çeşitli agrega dereceleri için asfalt türleri ve dereceleri ve mevcut yüzey koşullarına dayalı agrega uygulama oranı (aggregate application rate- AAR) düzeltme faktörleri için tavsiyeler sağlayarak McLeod'un çalışmalarını uyarlamış ve geliştirmiştir.

#### **2.4.5 Modifiye Kearby Metodu (Teksas)**

1974'te Epps ve arkadaşları, hafif agregaya gibi sentetik agregaya kullanımını dahil ederek, Kearby tarafından sathi kaplamalarda kullanım için geliştirilen tasarım eğrisinde başka bir değişiklik önerdiler (Epps vd., 1974). Sentetik agreganın yüksek gözenekliliğine dayanarak, Epps vd. Benson-Gallaway eğrisinden yaklaşık %30 daha fazla gömme gösteren bir eğri önerdi (Benson ve Gallaway, 1954). Bu artışın gerekçesi, yüksek sürtünmeli hafif agreganın dönmesi ve ardından trafik altında sökülmesidir. Epps vd. (1974), Kearby'nin tasarım yönteminin saha geçerliliğini yürütmek için bir araştırma programı üstlenerek Kearby (1953) ve Benson ve Gallaway (1954) tarafından Teksas'ta yapılan çalışmaya devam etti. Bu çalışma sırasında, Kearby tasarım yönteminin Teksas uygulamasında kullanılanlardan daha düşük asfalt uygulama oranlarını öngördüğü gözlemlendi ve tasarım prosedüründe iki değişiklik önerdi. İlki, trafik düzeyine ve mevcut üstyapı koşullarına bağlı olarak asfalt uygulama oranlarında yapılan bir düzeltmeydi. İkinci değişiklik, hafif agregaya için önerildiği gibi, Kearby ve Benson-Gallaway yöntemleri tarafından önerilen orijinal tasarım eğrisinin kaymasını haklı çıkardı (Epps vd., 1974). O zamandan beri, uygulayıcılar ve araştırmacılar bu tasarım yaklaşımını değiştirilmiş Kearby yöntemi olarak adlandırdılar.

Bu yöntemde, agregaya uygulama oranı (AAR),  $1/2 \text{ yd}^2$  alana yalnızca bir agregaya tabakasının yerleştirildiği laboratuvar tahta testi yöntemi kullanılarak belirlenir. Agreganın kuru gevşek birim ağırlığı ve yığına özgü ağırlığı belirlenir ve  $1/2 \text{ yd}^2$  alanını kaplayacak agregaya miktarını arazide bir AAR'ye dönüştürmek için kullanılır. Test tahtası, kenarları 12 mm ( $1/2$  inç) kalıplama şeritleri ile çerçevelenmiş kontrplaktan yapılmıştır. Asfalt uygulama oranı, trafik seviyesini (şerit başına günlük araç sayısı), mevcut yüzey koşullarını, emülsiyon veya katbek asfalt miktarını ve saha deneyimine dayalı saha faktörlerini içeren bir denklemlerle belirlenir. Epps (1974) tarafından hafif agregalı sathi kaplamalar üzerinde yapılan araştırmaya göre, modifiye Kearby yöntemi AAR'nin tahmini için en etkili metodoloji olarak görünmektedir.

#### **2.4.6. Shell (Jackson) Yöntemi**

Shell yönteminde agregaya en küçük ortalama dikey boyutunun bulunması için agregaların yassılık indeksi ve ortalama boyutu kullanılır. Agregaların ortalama boyutu yapılan elek analizinde agregaların %50'sinin geçtiği elek çapıdır (D50). Ortalama boyut fikri Jackson tarafından geliştirilmiştir ve sathi kaplama tasarımında günlük geçen taşıt sayısı, kullanılacak agregaya tipi, yol yüzey durumu ve iklim koşullarla birlikte göz önünde

bulundurularak tasarım yapılır. Belirlenen bu değerler kullanılarak tasarımda kullanılacak agrega ve bitüm miktarı tespit edilir (Aktaş, 2012).

#### **2.4.7 2004 Yeni Zelanda Yöntemi**

Hanson yöntemi, zamanla 2004 Yeni Zelanda Tasarım Yöntemi'ne dönüşmüştür. Bu yöntem, inşaattan sonraki ilk kış sırasındaki toplam kaybın yanı sıra sathi kaplama boşluk azaltma modelini (NZTA, 2005) dikkate alan performans dayalı bir sathi kaplama tasarım yöntemi olarak geliştirilmiştir. 2004 Yeni Zelanda Metodu'nda ele alınan malzeme uygulama oranlarının tasarımında yer alan en büyük zorluklardan biri, alt tabakanın üniform olmamasıdır. 2004 Yeni Zelanda, alt tabakanın doku derinliği için kum çemberi (kum yaması) testini ve alt tabaka sertliğini ölçmek için bilya penetrasyon testini kullanan bir alt tabaka düzeltme faktörü kullanır. Bilya penetrasyon testi, Marshall sıcak karışım sıkıştırma çekiciyle bilyaya bir kez vurulduktan sonra 19 mm'lik bir bilye yatağının bir alt tabaka örneğinde yaptığı penetrasyonun ölçülmesini içerir. Yeni Zelanda, konumu itibariyle yeniden mühürleme için tipik bilya penetrasyon değerlerinin 2 ila 3 mm aralığında olduğunu bildirmektedir. Bilya penetrasyon değerinin 5 mm'den büyük olduğu durumlarda, alt tabakanın bir sathi kaplama yapılması için çok yumuşak olduğu kabul edilir. Yumuşak alt tabakaların, yeniden mühürleme önceki bir sathi kaplamanın üzerinde olduğunda veya bir asfalt veya kaplama onarımı tam olarak kürlenmediğinde veya sertleşmediğinde meydana geldiği söylenir. Alt tabaka yumuşaklığı ile ilgili sorun, yüzey işleminin sert bir alt tabaka üzerine inşa edilmiş olmasına göre agreganın daha derine gömülmesine yol açabilmesidir. Bu sorun, yüzeyin erken terleme/kusma olasılığını artırır.

### 3. KONU İLE İLGİLİ ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Sathi kaplama, Türkiye, Avustralya, Güney Afrika ve Yeni Zelanda gibi ülkelerde ekonomik olmasından dolayı yaygın olarak kullanılan bir asfalt kaplama türüdür. Sathi kaplama performansını etkileyen birçok parametre vardır. Kullanılan agreganın yapışma kabiliyeti, agregadaki ince malzeme miktarı, imalat sırasında ortam sıcaklığı, bitüm dağıtıcı tanklarındaki bitüm sıcaklığı, bitüm püskürtme ile agrega serim arasındaki süre bunlar arasında başlıcalarıdır. Yayılma, agrega yayılması ile sıkıştırma arasındaki süre, imalat aşamaları arasındaki zaman, imalat sırasındaki yüzey sıcaklığı, agrega ve bitüm özellikleri, yerinde levha test değerleri ve agregaların yüzde gömülmesi de diğer parametreler olarak karşımıza çıkmaktadır. İlk doku derinliği ve en önemli bozulma faktörü olan makro doku kaybının sathi kaplamaların uzun vadeli performansı açısından önemli olduğunu göstermiştir. Sathi kaplamanın imalatı sırasında ortam sıcaklığı önemlidir; bu nedenle, 30°C'den düşük veya 43,5°C'den yüksek ortam sıcaklıklarında sathi kaplama imalatı yapılmamalıdır (Karaşahin vd., 2012).

Endüstriyel atığın kaynak olarak kullanımı önemli bir evrensel zorluktur. Çelik yapım sürecinde tipik bir endüstriyel yan ürün olan çelik cürufu çevreyi kirletir ve ekolojik bozulmaya neden olur. Yapılan bir çalışmada, çelik cürufu agrega olarak sathi kaplamalarda geri kazanılmış ve geri dönüşümlü çelik cürufu sathi kaplamanın fonksiyonel ve çevresel performansı belirlenmiştir. Ekonomik maliyetler de karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, çelik cürufunun sathi kaplama içinde agrega olarak geri dönüştürülmesinin, depolama ve boşaltma için kullanılanlara kıyasla daha düşük bir kirlilik riskine ve daha yüksek çevresel faydalara sahip olduğunu göstermiştir. Çelik cürufu, özellikle mikrodalga ısıtma için, bazalt ile karşılaştırıldığında sathi kaplamanın ısıtma ve buz çözme verimliliğini önemli ölçüde artırabilir. Agregaya yüzeyinin bitüm ile yapışma performansı, çelik cürufu ile geliştirilebilir. Çelik cüruf ve çelik elyaf içeren sathi kaplama malzemesinin maliyeti, sıradan sathi kaplamaya göre yalnızca 0,14 USD / m<sup>2</sup> artmıştır, bu da buz çözme ve kendinden yapıştırma işlevlerine sahip sathi kaplamanın dikkate değer bir ekonomik verimliliğini sağlayacağını gösterir (Cui vd., 2021).

Sathi kaplamaların yaygın bir bozulma türü, agrega ve bağlayıcı arasındaki yetersiz yapışmanın neden olduğu sökülmelerdir. Agregaya ve bağlayıcının hem fiziksel hem de

kimyasal özellikleri, agrega bağlayıcı yapışmasında önemli rol oynar. Bu çalışma, agrega yüzey özelliklerinin, Hızlandırılmış Sathi Kaplama Simülasyon Cihazı (HSKSC) test prosedürü kullanılarak sathi kaplamaların yapışma performansı üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesine değinmektedir. Deneylerde bağlayıcı olarak 100/150 penetrasyonlu saf ve modifiye bitüm kullanılmıştır. Ayrıca, HSKSC testlerinde üç farklı tip agreganın temiz, tozlu ve önceden kaplanmış formları kullanılmıştır. Sonuçlar, ön kaplamalı agrega performansının tozlu ve temiz agrega ile karşılaştırıldığında önemli ölçüde daha iyi olduğunu göstermiştir. Modifiye bağlayıcı, saf bağlayıcıdan daha iyi performans sergilemiştir (Aktaş vd., 2013).

Sathi kaplama ve slurry seal içeren yüzey kaplamalarının makro doku derinliği iki hacimsel test yöntemi bu araştırma ile değerlendirilmiştir. Toplam yüz adet olan sathi kaplama ve slurry seal, farklı agrega türleri ve sınıflandırma boyutları ile üretilmiştir. Her numunenin ortalama doku derinlikleri, sırasıyla ASTM E 965-12 ve ASTM E 2380-12'ye göre kum yaması ve dışarı akış ölçer testleri ile hesaplandı. Her iki test yönteminin uygulanabilirliği incelenmiş ve sathi kaplama ve slurry seal numuneleri için ortalama doku derinliklerdeki göreceli farklılıklar ortalama %21 olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak, her bir test yöntemi, artan ortalama doku derinliklerin belirlenmesinde kullanılabilir. Dışarı akış ölçer testinin kullanılabilmesi için gerekli bir ortalama doku derinliğinin minimum değeri 6 mm olarak tanımlanabilir (Gökalp ve Uz, 2017).

Sathi kaplamalar, uygun maliyetli bir koruma kaplamadır. Bu çalışma, iyi malzemeler, iyi imalat ve iyi bir kurum gözetimi birlikte çalıştığında sathi kaplama kalitesini elde edileceğini göstermektedir. Bu kaliteli seçimler sathi kaplamaların hizmet ömrünü ortalama 5-6 yıl uzatır. Bu çalışma, Oregon'da yapılan sathi kaplama projelerinden iki yıllık saha performansı verilerini (Haziran 2014- Haziran 2016) toplamaktadır. Veriler, imalatta kullanılan sathi kaplama malzemelerini değerlendirmek için laboratuvar ve saha testini içerir. Ayrıca hem emülsiyonlaştırılmış bitümler hem de sıcak uygulamalı bitümler olmak üzere sathi kaplamaların performansını izler. Bulgular, kaliteli malzemelerle inşa edilen sathi kaplamaların yüzey dokusu özelliklerinin geliştiğini ve çoğu bölüm için iki yıllık izleme süresi boyunca ortaya çıkan problemlerin görünürlüğünü azalttığını göstermektedir (Buss vd., 2018).

Asfalt-agrega kombinasyonunun ve donma-çözülme döngüsünün sathi kaplama dayanıklılığı üzerindeki etkisini araştırıldığı bir çalışmada, düşük sıcaklıklarda asfalt emülsiyonu ve agreganın yapışmasını araştırmak için Vialit testi uygulanmıştır. Asfalt emülsiyonu bazlı sathi kaplama için testler 10, 22 ve 26°C'de gerçekleştirildi. Buna ek olarak, Michigan Tech'in Arayüzey Bağ Testi (International Bound Test-IBT), çeşitli sıcaklıklarda ve bir dizi donma-çözülme döngüsü altında sathi kaplama tabakası ile asfalt kaplama arasındaki ara yüzey bağlanma mukavemetini değerlendirmek için de kullanıldı. Her iki test de asfalt-agrega kombinasyonlarının ve donma-çözülme döngüsünün sathi kaplama dayanıklılığı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Sonuçlar, sathi kaplamanın erken bozulmasının kullanılan hammaddelerden ve maruz kalan çoklu donma-çözülme döngülerinden kaynaklandığını göstermektedir. Bu nedenle, özellikle soğuk hava alanlarında sathi kaplama kullanımı düşünüldüğünde uygun agrega ve asfalt-emülsiyon kombinasyonunun seçilmesi önemlidir (You vd., 2019).

İstatistikler, dünyanın ulaşım altyapılarının küresel sera gazı emisyonlarına birincil katkıda bulunduğunu gösteriyor. Agregalar olarak geri dönüştürülmüş lastiklerden yapılan parça kauçuğu kullanan yenilikçi bir sathi kaplama yüzey tabakasının araştırıldığı diğer bir çalışmada agrega tutma üzerine geniş bir araştırma yapıldı. Çeşitli agrega ve bağlayıcı parametrelerine sahip seksen sathi kaplama numunesi, beş test altında, yani standart süpürme testi, modifiye edilmiş bir tarama testi, Vialit testi, modifiye edilmiş Vialit testi ve Pennsylvania testi altında agrega yapışma açısından incelenmiştir. Farklı emülsiyon türleri ve asfalt çimentosu dahil olmak üzere dört farklı bitüm bazlı bağlayıcı incelenmiştir. Kırıntı kauçuğa ek olarak test edilen numunelerde iki mineral agregası incelenmiştir. Sonuçlar, parça kauçuğunun agrega yapışma açısından iyi performans sergilediğini göstermiştir. Vialit ve Pennsylvania testleri, kırıntı kauçuklu sathi kaplamanın, agrega yapışma açısından mineral agrega sathi kaplama performansından daha iyi olduğu gözlenmiştir. İyileşmiş performans, temel olarak parça kauçuğunun düşük birim ağırlığı ve kırıntı kauçuğunun bağlayıcıya yapışmasını güçlendiren pürüzlü yüzeyinden kaynaklanıyordu. Süpürme testi sonuçları, sathi kaplama yüzey tabakası mineral agreganın kırıntı kauçuğu ile %100'e kadar değiştirilebileceğini göstermektedir, ancak kırıntı kauçuğunun ihmal edilebilir su emme kapasitesi nedeniyle yolları trafiğe açmadan önce kütleme süresinin artırılması tavsiye edilmektedir (Gheni vd., 2018).

Bitümün nemli agrega yüzeyine bağlanma kabiliyetindeki azalma yıllardır kabul edilmektedir ve bu bozulma olgusuna nem hasarı adı verilmektedir. Genel olarak, bitüm ve



agrega arasındaki bağ kaybı, kaplamanın en üst tabakasının hizmet ömrünü kısaltır. Bitüm ve agrega arasındaki bağlanma mukavemetinin kaybindan kaynaklanan nem hasarının mekanizmalarını anlamak ve nemin etkisini azaltmak için bağı iyileştirmek ve güçlendirmek için birçok araştırma yapmışlardır. Asfalt karışımlarındaki nem oranından dolayı bitüm-agrega bağlanma mukavemetinin kaybı hakkındaki kapsamlı bir araştırmada, bitüm ve agregaların termodinamik, kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklerinin bağlanma özellikleri üzerindeki etkisini açıklayan teorilerin üzerinde durulmuştur. Ek olarak, nem hasarının nedenleri ve bunlara katkıda bulunan faktörler ve bitüm ile agregalar arasındaki bağı iyileştirme yöntemleri de tartışılmaktadır. Ayrıca, zayıf bir şekilde bağlanmış ve sıkıştırılmış karışımlarda nem hasarını değerlendirmek için kullanılabilen test yöntemlerinin açıklaması da yer almaktadır. Hem laboratuvar hem de yerinde testler için agrega-bitüm arasındaki bağ mukavemetini değerlendirmek için kullanılan ve çekme testi olarak bilinen bir yonteme yer verilmektedir. Test yöntemlerinin bağlanma gücü sonuçlarını etkileyen faktörleri ve bunların diğer test yöntemleriyle olan ilişkisini içermektedir. Çalışmada, çekme yükleme testinin başarısız olduğu koşullar tartışılmaktadır (Omar vd., 2020).

Sathi kaplama, tek veya çift katmanlı agrega bitüm için yapılmış ekonomik bir asfalt kaplama türüdür. Alt katmanların yüzeylerini su geçirmez hale getirmek, araçlar için düz ve kaymaya karşı yüksek dirençli yüzeyler oluşturmak ve kaplamaları trafik ve iklimin zararlı etkilerine karşı korumak için astarlanmış granül kaplama yüzeylerine sathi kaplama uygulanır. Bitümlü sıcak karışımların aksine, sathi kaplamanın performansını etkileyen en önemli faktörlerden biri iklimdir. Soğuk iklim koşullarında sathi kaplamaların performans değişimini belirlemeyi amaçlamışlardır. Türkiye'nin en soğuk bölgelerinden biri olan Erzurum'da sathi kaplama yapılan üç farklı yol tahribatsız testlerle incelenmiştir. Kum yama, İngiliz sarkaç, hafif deflektometre ve dinamik koni penetrometre testleri yapıldı. Sathi kaplamaların yoğunlukları ve yüzey sıcaklığı değişimleri ve taban katmanlarının kalınlıkları da ölçülmüş ve bozulmalar araştırmacılar tarafından gözlemlenmiş ve puanlanmıştır. Test sonuçları, kısa yaz sezonunda daha yüksek sıcaklıklar nedeniyle yıkamanın, temel tabakanın taşıma kapasitesindeki yetersizliğin ve temel tabakasındaki nemin, sathi kaplamadaki bozulmaların en önemli nedeni olduğunu göstermiştir (Karaşahin vd., 2016b).

Sathi kaplama, uygulama kolaylığı ve ekonomik canlılığı nedeniyle tercih edilen bir asfalt kaplama türüdür. Yol alt tabakaları için su geçirmez bir yüzey sağlar ve araçlar için pürüzsüz ve yüksek kayma direnci oluşturur. Bu nedenle, Yeni Zelanda, Avustralya ve Güney Afrika gibi ülkelerde serbest taban üzerine inşa edilen sathi kaplamalar yaygın olarak

kullanılmaktadır. Bununla birlikte, sathi kaplamanın performansı bir dizi faktörden etkilenebilir. Bu faktörler dikkate alınmazsa, çok kısa bir süre sonra yeniden yapılandırılmaları gerekecektir. 2 yıl boyunca yoğun trafik altında sathi kaplama performansları gözlemlenmiş, yüzey kaplamasının trafik ve iklime göre performansını ve meydana gelen bozulma türlerini belirlemek için rutin testler yapmışlardır. Çalışmalarında kum-yama, İngiliz sarkacı, elektromanyetik yöntemle yoğunluk ölçümü, termal kamera ile yüzey sıcaklığının ölçülmesi, hafif deflektometre, dinamik koni penetrasyon testi ve zemin tarama radar tekniği ile katman kalınlığı ölçümü gibi çeşitli testler yapılmıştır. Çalışmanın sonuçları, özellikle uzunlamasına eğimli yol kesimlerinde makro doku kaybının, gevşemenin en yaygın bozulma türleri olduğunu göstermektedir. Ayrıca, yağışlı mevsimlerde tabakaların taşıma kapasitesi ve cilalanma değeri azalmakta, trafik hacmi yüksek ve ortalama maksimum yüzey sıcaklığına sahip yollarda bozulma eğilimi artmaktadır (Karasahin vd., 2016a).

Hızlandırılmış Sathi Kaplama Simulasyon Cihazı (HSKSC) kullanarak çeşitli gömme derinliklerine bağlı olarak iki tip agregaya ile sathi kaplama yapışma performansının değerlendirildiği çalışmada, agregaya yapışma performansına ilişkin olarak sahadaki en kötü koşulu simüle etmek için, sathi kaplama numunelerin su içinde performans testleri yapıldı. Bu araştırma, toplam gömülme miktarının toplam kaybı önemli ölçüde azalttığını göstermiştir. Bununla birlikte, sathi kaplama hizmet ömrü için çok önemli bir parametre olan makro doku değerini toplam gömülme miktarına paralel şekilde azaltmıştır (Aktaş vd., 2016).

Sathi kaplama imalatı için performansa dayalı yeni bir karışım tasarım yöntemi sunan çalışmada, yöntemin bileşenleri arasında bulunan tabla testi kullanılarak optimal uygulama oranının (Average Application Rate-AAR) belirlenmesi ve lazer profiller kullanılarak optimal bir emülsiyon uygulama oranının (Emulsion Application Rate-EAR) belirlenmesi yer almaktadır. Optimal EAR'ın belirlenmesinde kullanılan temel kavram, agregaya partiküllerinin ilk gömme derinliğinin toplam derinliğin %50'si olması gerektiğidir. %50 gömme kavramı, Model Mobil Yükleme Simülatörü (MMLS3) kullanılarak toplam kayıp ve kanama testi sonuçlarıyla doğrulanmaktadır. Bu doğrulama çalışması, laboratuvarında sathi kaplama numunelerini imal etmek için Granit ve hafif agregaya ve CRS-2L emülsiyonu kullanılmıştır. Akma testinden, farklı sathi kaplama numuneleri için NCSU karışım tasarım yöntemiyle belirlenen optimum EAR'lerin, akmaya neden olmayan maksimum EAR'ler olduğu ve

dolayısıyla NCSU karışım tasarım kavramını doğruladığı belirlenmiştir. Nihai optimum EAR, agreganın absorpsiyon yüzdesi ve lazer profilleyiciden elde edilen yüzey dokusu ölçümleri yoluyla agrega absorpsiyonu ve mevcut kaplama yüzeyi absorpsiyonu hesaba katılarak belirlenmiştir. Yöntemin sathi kaplama yapımında uygulayabilmesi için saha kalibrasyonu ve doğrulamanın yapılması içeren kapsamlı bir araştırma yapılması önerilmektedir (Kim, 2012).

Sathi kaplama tasarımı ve performans değerlendirmesi, öncelikle deneysel sonuçlara dayanmaktadır. Mekanik yaklaşımlar aracılığıyla sathi kaplamanın mekanik davranışını araştırmaya ihtiyaç vardır. Yüzde gömme (percent Embedded-PE), sathi kaplama performansını etkileyen en önemli parametrelerden biridir. Yüzde gömülmenin agrega yapışması üzerindeki etkisini inceleyen sınırlı sayıda araştırma vardır. Agregaların gömülme yüzdesinin 2 boyutlu parametreler kullanarak sathi kaplama üzerindeki etkisinin değerlendirildiği çalışmada, Deneysel program, test numunelerinin hazırlanmasını ve bunların görüntü analizine tabi tutulmasını ve görüntülerin sonlu eleman ağlarına dönüştürülmesini içeriyordu. Agregaya yer değiştirme ve gerilme analizi bu çalışmanın bir parçası olarak yapılmıştır. Maksimum agrega yer değiştirmesinin PE'deki artışla azaldığı ancak %50'den sonra asimptotik bir eğilim izlediği görülmüştür. PE'deki artışla agrega-bağlayıcı arasındaki çekme gerilmeleri önemli ölçüde azaldı. Genel olarak, bu araştırma çalışması PE'nin sathi kaplama performansı üzerindeki önemini ortaya koymaktadır (Kumbarger vd., 2020).

Çelik cürufunun sathi kaplamada uygulanabilirliğini ve ısıl değişim ve agrega yapışma özelliklerinin araştırıldığı bir çalışmada, sathi kaplamaların doku derinliği ve kayma direnci gibi yüzey özellikleri değerlendirilmiştir. Sonuçlar, sathi kaplamanın ısıl değişim performanslarının agrega tiplerine göre değiştiğini göstermektedir. Test numunelerinin soğutma hızına göre bazik oksijen fırın (Basic Oxygen Furnace-BOF) cürufunun, ferrokrom cürufundan daha hızlı soğuduğu görülmüştür. Ferrokrom cürufunun kullanılması, sathi kaplamanın orijinal numunelerden yaklaşık on dakika önce trafığe devam etmesini sağlayabilir. Ferrokrom cürufunun kayma direnci ve doku derinliği, sıradan agregalardan daha az olmalarına rağmen, uygulama gerekliliklerini karşılamaktadır. Ayrıca ferrokrom cürufu, küresel partikülleri ve alkali yüzeyi nedeniyle BOF cürufuna göre daha iyi agrega yapışma performansına sahiptir. Çelik cürufun sathi kaplama uygulanması, endüstriyel

atıkları geri dönüşümü ile doğal kaynakların korunmasına katkı sağlayacaktır (Wei vd., 2020).

Tektaş Ulaşım Departmanı (TxDOT) tarafından 15 yıl boyunca 75 karayolu kesimi için laboratuvar ölçümleri ve görsel alan performansı (toplam kayıp ve akma) ile sathi kaplama bağlayıcıları için yüzey performans derecesinin belirlenmesinde (Surface Performance Grade-SPG) bir yöntem geliştirildi. İklim farklılıklarını açıklayan bir bağlayıcı seçme aşaması ile sathi kaplama hizmet ömrünü uzatmak amaçlanmaktadır. TxDOT, kısa süre önce SPG yöntemini eyalet çapında bir uygulamaya başlatmıştır. İlk faaliyetler arasında; (a) SPG yönteminin en son şekliyle, yeni oluşturulan SPG gereksinim haritasına ve revize edilmiş yüzey koşulu endeks hesabına dayalı olarak 2011 yılında inşa edilen karayolu kesimlerinin laboratuvar ve saha performansının gözden geçirilmesi, (b) 2013 yılında inşa edilen karayolu kesimlerinde bağlayıcıları karakterize etmek ve alan performanslarını izlemek, (c) SPG yöntemini tamamlamak için ek parametreler önermek, (d) İstatistik analiz sonuçlarından tekrarlı Eğilme Kiriş Reometresi (Bending Beam Rheometer - BBR) eğilme rijitliği değerlerinin tahmin edilmesi. Bağlayıcıların beklenen performansı (SPG derecelerine dayalı olarak) hizmetteki ilk yıldan sonra gerçek saha performansı ile karşılaştırıldığında, 2011'de inşa edilen karayolu kesimlerinin yüzde 80'i iyi korelasyon göstermiştir. Bağımsız SPG özellikleri, agrega kaybı veya kanama açısından 2013 sathi kaplama bağlayıcılarının ilgili saha performansı ile karşılaştırılmıştır. 2013 karayolu kesimleri için toplam agrega kaybı açısından bitümün BBR eğilme rijitliği özellikleri ile alan performansı arasındaki zayıf korelasyon, büyük ölçüde Amarillo bölgesinden elde edilen beklenmeyen saha performansından kaynaklanmaktadır. Modifiye edilmiş bağlayıcıların optimum polimer içeriğini sağlamak için SPG yöntemine bir faz açısı parametresi eklenmiştir (Chang, 2015). Sathi kaplama performansının doğru bir tasarım, malzeme seçimi, iyi işçilik ve sıkı kontrol parametrelerinin etkisinin değerlendirildiği çalışmada, performansın başarılı olmasını sağlamak için tüm parametrelerin önemini anlamak ve yansıtmak için laboratuvar testleri uygulanmıştır. Çalışma ayrıca, yolların sathi kaplama öncesi durumu, trafik yükü, malzeme özellikleri ve gradasyon gibi çeşitli parametrelerin sathi kaplama performansı üzerindeki etkisini değerlendirmektedir. Çalışmada, sathi kaplama performansının yolun durumu çoğunlukla, uygulama öncesi zeminin durumu ve bağlayıcı tipi gibi faktörlerden etkilendiğini tespit edilmiştir. Makro doku ile ilgili sonuçların istatistiksel analizi, kaplama tipinin ve çevresel etkilerin karayolu performansını etkileyen en önemli faktörler olduğunu göstermiştir (Guirguis vd., 2018).

Çelik endüstrisinin bir yan ürünü olan çelik cürufu, alternatif agrega olarak asfalt karışımında kullanım potansiyeline sahiptir. Çelik cüruf kullanımı çevre kirliliğinin azaltılmasına katkı sağlayacaktır. Aynı zamanda, kauçuk modifiye asfalt iyi bir çevre dostu performansa sahiptir. Çalışmada, çelik cüruf ve kauçuk asfalt arasındaki yapışmayı incelemek için, farklı agregalar ve kauçuk asfalt arasındaki yapışmayı değerlendirmek için çekme testi ve net adsorpsiyon testi kullanılmıştır. Taramalı elektron mikroskobu (Scanning Electron Microscopy-SEM) kullanılarak farklı agregaların morfolojisi ve agrega-asfalt ara yüzey geçiş bölgesinin mikro yapısı gözlenmiştir. Sonuçlar, çelik cüruf agregası ile kauçuk asfalt arasındaki yapışma özelliğinin, diyabaz ve kauçuk asfalt arasındakinden daha yüksek olduğunu göstermektedir. Net yapışma ve SEM analiz sonuçları, çelik cürufunun gözenekli yapısının çelik cüruf ile asfalt arasındaki yapışmayı etkili bir şekilde iyileştirebileceğini göstermiştir. Ayrıca FTIR test sonuçları, çelik cürufu ile asfalt arasında kimyasal reaksiyon olduğunu, bu reaksiyonun asfalt ile çelik cüruf agregası arasındaki yapışma özelliğinin artırılmasına katkıda bulunduğunu göstermiştir (Shen vd., 2018).

Bu proje, Oklahoma DOT'un 1, 2, 3, 5 ve 6 olarak tanımladığı sathi kaplama kesitleri için yapılan laboratuvar deney sonuçlarının ilgili kesimler için Kaplama Yönetim Sistemi (Pavement Management System-PMS) veri tabanından alınan performans verileriyle karşılaştırılmıştır. Her bir test bölümüyle ilişkili bağlayıcı kaynakların etkilerinin PMS verilerine dayalı olarak analiz edilmesiyle herhangi bir ilişki belirlenmemiştir. Laboratuvar testleri; elek analizi, Los Angeles (LA) Aşınma Testi, Mikro-Deval Testi ve her bir bölüm için sathi kaplama agrega özelliklerini test etmek için Agrega Görüntüleme Sistemini (Aggregate Imagination System-AIMS) içermektedir. Laboratuvar test sonuçları parametreler arasındaki ilişkileri belirleyebilmek için doğrusal regresyon teknikleri kullanılarak PMS performans verileriyle karşılaştırılmıştır. Projenin örnekleme büyüklüğü yetersiz kaldığından araştırmacılar sağlam sonuçlara ulaşamadılar. Bununla birlikte, analiz LA testi ile PMS kayma sayısı (Structural Number-SN) verileri arasında potansiyel bir ilişki bulunmuştur. Ayrıca, özellikle AIMS çıktısına ilişkin gradyan açısallığı ve SN arasındaki sıkı bir ilişki belirlenmiştir. North Carolina DOT tarafından tanıtılan performansa dayalı Uniformluk Katsayısı da değerlendirildi ve gelecekte ODOT sathi kaplama yöntemlerine dahil edilebileceği belirtilmiştir (Gransberg vd., 2010).

Sathi kaplamalar, bir asfalt bağlayıcı tabaka üzerine serilerek sıkıştırılan uniform derecelendirilmiş agrega tabakasından oluşan koruyucu kaplama yöntemidir. Sathi kaplamanın faydaları; yüzey çatlaklarını kapatmak, suyun yüzeye nüfuz etmesini önlemek, parlama önleyici bir yüzey sağlamak, yaşlanmanın etkisini en aza indirmek, kaymaya karşı dirençli bir yüzey sağlamak olarak sıralanabilir. Oregon eyaletindeki yöntemler ve rasyonel bir sathi kaplama tasarımı geliştirmek için gerekli performansı ve metodolojiyi özetleyen bu çalışma, sıcak uygulamalı sathi kaplama uygulamalarını içermektedir. İmalat öncesi ve sonrası kaplama performans bilgileri sunulmuş ve analiz edilmiştir. Sathi kaplama yapım sonrası analizi, makro doku analizi, mikro dokuyu ölçmek için dinamik sürtünme testi ve kaplama performansı anketlerini içerir. En iyi performans ve rasyonel bir tasarımı, laboratuvar deneyleri ve saha performansının karşılaştırması ile geliştirilebilir. Temel sathi kaplama koşulları, çok iyi ile çok zayıf performans düzeyleri arasında sınıflandırılmıştır. Eyalet sathi kaplama yöntemine uyarlanacak en iyi sathi kaplama tasarımının değerlendirilmesi için McLeod yöntemi ile Yeni Zelanda yöntemi karşılaştırılmıştır. Sonuçlar ayrıca makro doku tabanlı Yeni Zelanda sathi kaplama performans yönteminin Oregon sathi kaplama tasarımı için uygun olduğunu bildirmektedir (Buss vd., 2016).

Sathi kaplamaların performansı büyük ölçüde agrega ile bitüm arasındaki adezyona bağlıdır. Agrega ile bitüm arasındaki uygun bağ kuvvetinin sağlanması yüzeyden agrega sökülmelerinin azalarak yüzeysel kaplama performansının artması ile sonuçlanır. Yüzeysel kaplamalardaki en önemli bozulmalar yağmur suyu ve trafiğin etkisi ile bitüm filminin agrega üzerinden soyulması ve bunun sonucu olarak agrega parçalarının yüzeyden kopması şeklinde oluşmaktadır. Agrega parçalarının kopması sonucu yüzeyde geçirimli kısımlar oluşmakta bu bölgelerden temel tabakasına sızan su yüzeysel kaplamalı yollarda daha ağır bozulmaların oluşmasına yol açmaktadır. Agregaların yapıştığı bitümden soyularak kopmasına neden olan en önemli nedenlerden birisi agrega üzerindeki toz ve nemdir. Sathi kaplama yapımında kullanılan 5 farklı agrega numunesinin değerlendirildiği bir çalışmada, agregaların bitümle olan yapışma özellikleri temiz, tozlu ve nemli agrega koşullarında Vialit yapışma deneyi, Modifiye yapışma yöntemi ve Nicholson soyulma deneyi yapılarak laboratuvar şartlarında deneysel olarak incelenmiş ve elde edilmiş sonuçlar değerlendirilmiştir. Sonuç olarak da silis içeriği yüksek olan volkanik agregaların soyulma ve yapışma performanslarının diğer agregalara göre daha olumsuz olduğu, bundan dolayı bu tip agregaları sathi kaplamada uygularken adezyon arttırıcı katkılarla veya modifiye bağlayıcılarla kullanılması ön görülmüştür. Tozlu ve nemli agregalar yapışma deneyi

sonucunda adezyonu olumsuz etkilemiştir. Tüm bu deneylerin sonucunda tozun neme göre adezyon açısından olumsuz etkileri daha fazladır (Gürer ve Karaşahin, 2014).

Ekonomik oluşları, hızlı bir şekilde yapılabilmeleri, kısa sürede trafiğe açılabilmeleri, kayma direnci yüksek düzgün bir yüzey sağlamaları gibi belli başlı avantajlarından dolayı en çok kullanılan asfalt kaplamaların başında sathi kaplamalar gelmektedir. Türkiye, Güney Afrika, Avustralya, Yeni Zelanda, İngiltere gibi ülkelerde sıkıştırılmış granül zemin üzerine yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle Türkiye’de 67 333 km’yi bulan karayolu ağının 39.333 km’lik önemli bir kısmı sathi kaplamalı yollardan oluşmaktadır. Sathi kaplamalar aynı zamanda bitümlü sıcak karışım kaplamalar için koruyucu ve iyileştirme amaçlı olarak da yaygın kullanılan bir kaplama türüdür. Sathi kaplamaların performansı, yapım öncesinde ve sonrasında, bitümlü sıcak karışımlardan farklı olarak çok sayıda faktörden etkilenebilmektedir. Sathi kaplamalar için literatürde çok farklı yapım teknikleri bulunmaktadır. Fakat Türkiye’de yaygın olarak tek kat ve çift kat sathi kaplama uygulamaları tercih edilmektedir. Sathi kaplamalarda agreganın yapışma performansı yapıldığı yolun trafik hacmi, konumu, tatbik edilen agreganın nominal boyutu ve yapım yöntemi vb. faktörlerden önemli ölçüde etkilenmektedir. Çalışma kapsamında üç farklı tür agrega ve iki farklı bağlayıcı kullanılarak agregaların ısıtılmasının sathi kaplama yapışma performansına olan etkisi Vialit yapışma ve Nicholson soyulma deneyleri ile araştırmışlardır. Sonuçlar, sıcak agrega ile sathi kaplama uygulamasının adezyon performansını iyileştirdiğini göstermektedir (Gürer vd., 2019).

Sathi kaplamalar ekonomik nedenlerden dolayı Türkiye karayollarında en yaygın kullanılan asfalt kaplama türü olup, bitümlü sıcak karışımlardan farklı olarak, performansına bir çok parametre etki edebilmektedir. Türkiye’nin çok çeşitli iklim koşulları, trafik hacmi ve zorlu topoğrafik özellikleri göz önüne alındığında sathi kaplamalı güzergâhlardan çok farklı performanslar elde edilmektedir. Kimi sathi kaplamalı güzergâhlarda sathi kaplamalar beklenenden çok kısa sürede performansı azalmaktadır, bazı durumlarda bir yıl dahi servis vermeden yenilenmesi gerekmektedir; bu da Türkiye ekonomisine zarar vermektedir. Çalışma kapsamında on dört farklı sathi kaplamalı inceleme güzergâhı belirlenmiş ve bu güzergâhlarda belirli aralıklarla hasarsız deneyler gerçekleştirmişlerdir. Güzergâhlarda kum-yama deneyi ile makro doku, İngiliz pandül deneyi ile kayma-sürtünme sayısı değişimleri, elektromanyetik yoğunluk ölçer ile sathi kaplama yoğunluk değişimleri, hafif düşen ağırlık deformasyon deney cihazı (LWD) ile kaplamadaki mevsimsel deformasyon değişimleri,

temel ve taban zemini tabakaları elastisite modülü değişimleri, dinamik konik penetrasyon deneyi ile temel ve alt temel CBR değişimleri ve üstyapı yapısal sayısı (Structural Number-SN) değişimleri, termal kamera cihazı ile sathi kaplama yüzey sıcaklık değişimleri belirlenmiş ve zemin penetrasyon radar cihazı ile de tabaka kalınlıkları tespit edilmiştir. Her güzergâhtan alınan agregâ ve bitüm numuneleri ile de laboratuvar ortamında çalışılarak fiziksel ve mekanik özellikler belirlenmiştir. Agregâ numunelerinde Nicholson ve California soyulma deneyleri, Vialit ve Modifiye yapışma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca bu çalışma kapsamında geliştirilen çekip-çıkarma deney cihazı ile agregâ numunelerini bitümlü yüzeyden kopması için gerekli çekme gerilmeleri belirlenmiştir (Gürer, 2010).



## 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 4.1. Çalışma Kapsamı

Bu çalışmada, farklı agrega türleri ile üretilen sathi kaplama numunelerinin tasarım performansları incelenmektedir. Bu doğrultuda, yapılacak laboratuvar deneylerinde agregaların sathi kaplamaya uygunlukları belirlenerek ve performans, kalite, güvenlik, ekonomiklik vb. hususlarda değerlendirmeler yapılarak agrega kaynağı ve bazı fiziksel özellikler ile performans ilişkisi belirlenmiştir. Ayrıca demir-çelik sanayinde atık ürün olan cürufun sathi kaplama agregası olarak kullanılabilirliği araştırılacaktır. Laboratuvarda gerçekleştirilen deneysel çalışmanın kapsamı aşağıdaki şekilde listelenebilir:

- Sathi kaplamalarda kullanımı planlanan agregaların laboratuvar ortamında yapılacak deneylerle şartnameye uygunluklarının belirlenmesi
- Farklı kaynaklardan temin edilen agrega türleri için hazırlanan numuneler üzerinde Nicholson soyulma ve Vialit yapışma deneyleri gerçekleştirilmesi
- Sathi kaplama performansının geliştirilmesine yönelik olarak kireç, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu gibi filler malzemelerinin bulamaç yöntemi ile agrega ile karıştırılarak soyulma ve yapışma üzerindeki etkileri belirlenmesi.

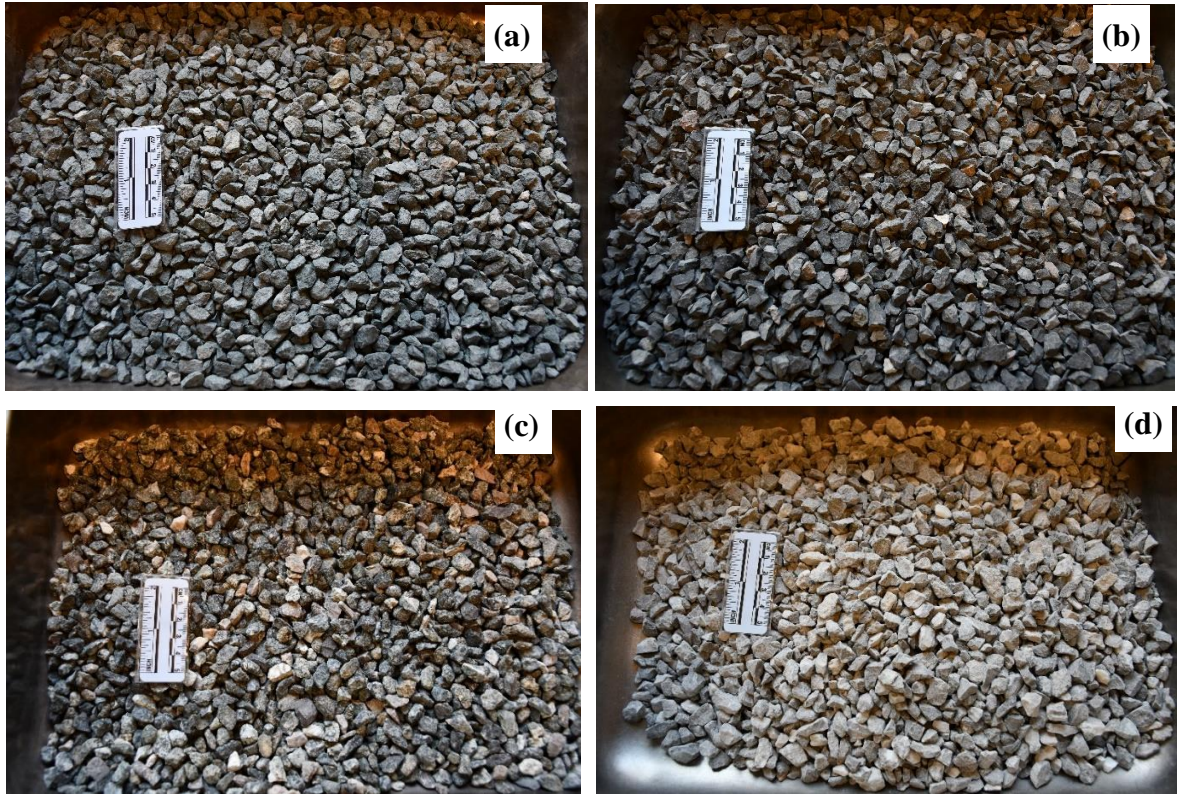
### 4.2. Kullanılan Malzemeler

#### 4.2.1 Agregalar

Bu çalışmada Karayolları Teknik Şartnamesi Kısım 403'e uygun gradasyonda olan Çuhadoruğu taş ocağından temin edilen kalker, Kayadibi taş ocağından temin edilen gabro, Kuyumcular taş ocağından temin edilen bazalt, Bars taş ocağından temin edilen bazalt ve Erdemir Ereğli Demir-Çelik Fabrikasından temin edilen çelikhane cürufu kullanılmıştır. Temin edilen agregaların Karayolları Teknik Şartnamesinde yer alan Sathi Kaplama kısmında belirtilen şartname özelliklerine belirlenmiştir. Bazalt agrega, aşınma direnci yüksek sert yapısı itibariyle yol üstyapısının yüzey kaplama malzemesi olarak tercih edilen bir agrega tipidir. Aynı zamanda düşük soyulma performansları açısından çalışmanın amacına hizmet edeceği dikkate alınarak çalışmada iki farklı kaynaktan temin edilen bazalt agrega kullanılmıştır. Bu kapsamda Yozgat ili, Merkez İlçesi, Kuyumcu Köyündeki

Kuyumcular taş ocağından ve Kastamonu İli, Merkezinde bulunan Bars taş ocağından bazalt agregaları temin edilmiştir. Çalışmada, yine magmatik bir kayaç olan ve Karabük İli, Yenice ilçesinde bulunan Kayadibi taş ocağından temin edilen gabro agrega tercih edilmiştir. Aşınma özellikleri sebebiyle yol üst yapısı yüzey tabakasında tercih edilmeleriyle birlikte kalker agregaya nazaran ülkemizde daha az hacimde çıkarılmaktadır. Dolayısıyla çalışmada kullanılan diğer bir agrega tipi de kalkerdir. Kalker agrega Kastamonu İli, İnebolu İlçesi, Çuhadoruğu mevkiindeki Çuhadoruğu taş ocağından temin edilmiştir.

Endüstriyel atıkların geri dönüşüm yapılarak farklı alanlarda kullanılması çevre kirliliği başta olmak üzere ülke ekonomisi açısından da büyük faydalar sağlamaktadır. Bu çerçevede Ereğli Demir-Çelik fabrikasının atık ürünü olan çelikhane cürufunun sathi kaplama agregası olarak kullanımı araştırılmıştır. Çalışmada kullanılan agregalar deneyler için elek analiziyle 25 mm ila 6,3 mm arasında hazırlanmıştır. Doğal agregalara ait fotoğraflar Şekil 4.1’de, çelikhane cüruf agregası ise Şekil 4.2’de görülmektedir. Agregaların tabii tutulduğu deneyler yöntemleri ve elde edilen sonuçlar ilgili bölümlerde sunulmuştur.



Şekil 4.1: Çalışmada kullanılan doğal agregalar (a) Bars Taş Ocağı-bazalt (b) Kuyumcular Taş Ocağı-bazalt (c) Kayadibi Taş Ocağı-gabro (d) Çuhadoruğu Taş Ocağı-kalker agregası



Şekil 4.2: Demir cürufu agregası

#### 4.2.2 Bitüm

Bu çalışma kapsamında bağlayıcı olarak Karayolları 15. Bölge Müdürlüğünden temin edilen B100-150 penetrasyonlu bitüm kullanılmıştır. Temin edilen bitüm üzerinde temel karakterizasyon deneyleri yapılarak kontrolleri sağlanmıştır. Bitüme uygulanan deneyler sonucunda elde edilen sonuçlar Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1: Bitüm bağlayıcıya ait fiziksel özellikler

Deney	Deney Sonucu	Şartname Değeri
Penetrasyon	109	100-150
Yumuşama	44	39-47
Çözünürlük	99,9	≥99

#### 4.2.3 Katkı Malzemeleri

Bu çalışma kapsamında sathi kaplamada performansının iyileştirilmesi için farklı katkı maddeleri kullanılmıştır. Agregat-bitüm adezyonunun artırılması için agregalar sönmüş kireç, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu işleme tabi tutulmuş ve Vialit yapışma ve soyulma deneylerine etkileri araştırılmıştır. Bu katkı malzemeleri agregat ağırlığının %1 oranında ilave edilmiştir. Su ile bulamaç haline getirilen katkı malzemeleri agregatlar ile karıştırılarak 105°C’de kurutulmuş agregat yüzeylerinden ayrılan serbest malzemeler karışım içerisinde ayrılmıştır. Ayrıca, kullanılan malzemelerin etkilerinin karşılaştırılması amacıyla soyulma önleyici olarak DOP (kimyasal soyulma önleyici malzeme) kullanılmıştır.

Bartın Kireç fabrikasından temin edilen CL 90-S sönmüş kirecin %1 oranında sönmüş kireç/su karıştırılarak agrega yüzeylerine bulamaç yöntemiyle uygulanarak sathi kaplama performansındaki etkilerinin gözlenmesi amaçlanmıştır. Kirecin sathi kaplama karışımlarında soyulma ve yapışma performanslarının iyileştirme amaçlı katkı olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Deneylerde kullanılan sönmüş kireçle ilgili fiziksel ve kimyasal değerler Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2: Sönmüş kirecin fiziksel ve kimyasal özellikleri

Kimyasal ve Fiziksel Analiz Değerleri	% Değer
Ca(OH) <sub>2</sub>	90
MgO	3
SO <sub>3</sub>	2
Toplam CaO+MgO	91
Serbest su	1
0,09 mm üzerinde kalan	6
0,2 mm üzerinde kalan	1

Termik santrallerin atık ürünlerinden biri olan uçucu küller yapı-inşaat alanlarında katkı malzemesi olarak sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışmada, uçucu külün sathi kaplama performansındaki etkileri araştırılmıştır. Çatalağzı termik santralinden temin edilen uçucu kül hakkında temel karakteristik bilgiler Tablo 4.3’te verilmiştir.

Tablo 4.3: Kullanılan uçucu kül ile ilgili temel özellikler

Kimyasal ve Fiziksel Analiz Değerleri	Değerler
SiO <sub>2</sub> %	52
CaO %	5
Na <sub>2</sub> O %	1
Blaine İnceliği cm <sup>2</sup> /g	4200
Yoğunluk	2,38

Puzzolonik katkı malzemesi olarak sathi kaplama agregasının işleme tabi tutulduğu diğer katkı malzemesi de yüksek fırın cürufudur. Karabük Demir-Çelik Fabrikasından temin edilen Yüksek Fırın Cürufu’nun (YFC) temel karakteristikleri Tablo 4.4’te verilmiştir. Kullanılan katkı malzemeler Şekil 4.3’de görülmektedir.



Tablo 4.4: Kullanılan cüruf ile ilgili temel özellikler

Kimyasal ve Fiziksel Analiz Değerleri	Değerler
Blaine inceliği cm <sup>2</sup> /g	4518
Özgül ağırlığı gr/cm <sup>3</sup>	2,90
0,09 mm elek üstü %	0
0,045 mm elek üstü %	1
SiO <sub>2</sub> (S) %	32,92
CaO (C) %	30,68
MgO (M) %	9,24



Şekil 4.3: Kullanılan katkı malzemeleri (a) sönmüş kireç (b) uçucu kül (c) YFC

Soyulma önleyici katkı olarak sıklıkla tercih edilen DOP'un sathi kaplama performansında sergilediği davranış belirlenmiş ve diğer katkı malzemeleri ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada kullanılan kimyasal soyuma önleyici DOP'a (Ercastrip T markalı) ait karakteristik bilgiler aşağıdaki Tablo 4.5'de verilmiştir. DOP malzemesi %0,3 oranında 110°C sıcaklığında bitümlle karıştırılmıştır.

Tablo 4.5: Kullanılan DOP'un genel karakteristik özellikleri

Özellikler	Değerler
Viskozite (20°C) (mPa.s)	1200-1400
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	0,94 (±2)
pH	>7,0
Amin Yüzdesi (KOH/g) (mg)	17 (±2)
Asit İndisi (KOH/g)	<5
Parlama Noktası (°C)	>200

### 4.3. Deney Yöntemleri

Sathi kaplama karışım tasarım deneyleri, agregalara ve bitümlü karışımlara uygulanan deney yöntemleri olarak iki bölüm altında anlatılmaktadır. Sathi Kaplamalar için Karayolları Teknik Şartnamesinde (KTŞ) yer alan şartname özellikleri ve limit değerler Tablo 4.6'da verilmiştir.

#### 4.3.1 Agregada Deneyleri

Bu kısımda, sathi kaplamalarda kullanılan agregaların KTŞ'de yer alan şartname özellikleri ile ilgili deney yöntemleri yer almaktadır. Bu deney yöntemleri Los Angeles aşınma, hava tesirlerine karşı dayanıklılık, Mikro Deval aşınma, cilalanma ve tane yoğunluğu ve su emme deneyleridir.

Tablo 4.6: Sathi kaplama tasarımına ait KTŞ şartname limitleri

Deney	Şartname Limiti	Deney Standardı
Los Angeles Aşınma Direnci, % Kayıp	$\leq 30$	TS EN 1097 – AASTHO T-96
Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık, % Kayıp	$\leq 18$	TS EN 1367-2
Micro Deval Aşınma Direnci, % Kayıp	$\leq 25$	TS EN 1097-1
Su Emme, %	$\leq 2,5$	TS EN 1097-6 (Madde 8)
Cilalanma Değeri	$\geq 40$	TS EN 1097-8
Yapışma Deneyi (Vialit Metodu)	$\leq 10$	TS EN 12272-3
Soyulma Mukavemeti (Bitüm Kaplı Yüzey)	$\geq 60$	TS EN 12697-11

##### 4.3.1.1 Los Angeles Aşınma Deneyi

Bu deney, aşınma ve darbelenme etkileri sonucu mineral agreganın standart gradasyonunun bozulmasının ölçmektedir. Deney, 14 mm elekten geçen ve 10 mm elek üstünde kalan agregalara uygulanır. Deney kısmının kütlesi  $5000 \pm 5$  g'dır. Deney için 31 devir/dk ile 33 devir/dk arasında dönme yapabilen, 11 adet çelik bilya ile aşındırma yapabilen bir tambur kullanılır. Deney cihazı, bilyalar ve deneyde kullanılan agregalar Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.4: Los Angeles aşınma deneyi aleti ve aşındırma bilyaları

Deney numunesi ve bilyalar tambur içerisine konularak 500 devir sonunda elde edilen malzeme 1,6 mm göz açıklıklı elekten ıslak eleme işlemine tabi tutulur. 1,6 mm elek üzerinde kalan malzeme  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ 'deki etüvde sabit kütleyle gelinceye kadar kurutup tartılır. Los Angeles aşınma yüzdesi LA(%) aşağıdaki eşitlikten hesaplanır (KGM, 2008).

$$LA(\%) = \left( \frac{5000-M}{5000} \right) \times 100 \quad (1)$$

Burada;

M=1,6 mm'lik elek üzerinde kalan malzeme ağırlığıdır (g).

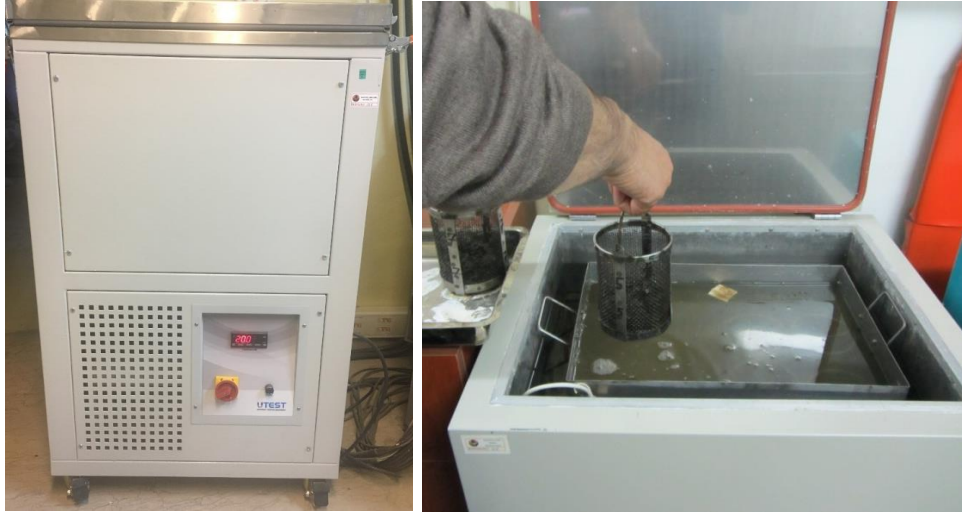
#### 4.3.1.2 Hava Tesirlerine Karşı Direnç Deneyi

Agregaların doygun magnezyum sülfat çözeltisi içine daldırılarak, uzun zaman hava tesirleri altında don ve çözölmeye karşı mukavemetlerinin tayin edilebilmesi için yapılan deneydir. Magnezyum sülfat deneyi agrega numunelerine beş daldırma yapılarak uygulanır. 10mm - 14 mm aralığından en az 500 gram agrega seçilerek yüzeyleri tozdan arıncaya kadar yıkanır. Yıkama işleminden sonra etüvde  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ 'de  $24 \pm 1$  saat kurutulur. Eleme işlemi tekrarlanır. Kalan numuneden 420-430 g arasında malzeme alınarak deney kabına yerleştirilir (A). Numune kabındaki tüm malzemelerin üstü kaplanacak şekilde doygun magnezyum sülfat çözeltisi içine daldırılır. Deney cihazının kapağı kapatılarak  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  olan sabit sıcaklıkta  $17 \pm 0,5$  saat bekletilir. Daldırma süresi sonunda numune çözeltiden çıkarılarak,  $2 \pm 0,25$  saat süzülmesi için bekletilir. Bekleme işleminden sonra  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ 'lik

etüvde  $24\pm 1$  saat kurutulur, laboratuvar sıcaklığına ( $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ ) erişmesi için  $5\pm 0,25$  saat bekletilir. Bu işlem 5 sefer tekrar edildikten sonra soğutulmuş numune üzerindeki magnezyum sülfatın uzaklaştırılması için numune musluk suyuyla yıkanır. Baryum klorür ( $\text{BaCl}_2$ ) katılarak oluşturulan çözeltiyle bulanıklık kontrol edilebilir.  $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ 'lik etüvde sabit ağırlığa kadar tekrarda kurutulur, soğutulan numunenin ağırlığı tartılır (B). 2 eşitliği kullanılarak hava tesirlerine karşı direnç yüzdesi hesaplanır. Deneyde kullanılan ekipmanlar Şekil 4.5'te gösterilmiştir (KGM,2008).

$$\text{Donma Kaybı Yüzdesi} = \left( \frac{A-B}{A} \times 100 \right) \quad (2)$$

Burada; A deneyden önceki ağırlık (g), B ise deneyden sonraki ağırlıktır (g).



Şekil 4.5: Magnezyum sülfat deneyi ekipmanları

#### 4.3.1.3 Mikro Deval Aşınma Deneyi

Mikro-Deval aşınma deneyi TS EN 1097-1 standardına uygun olarak agregaların aşınma dayanımını belirlemek için yapılır. Döner bir tambur içerisinde bulunan agregaların aşındırıcı bilyelerin sürtünme etkisiyle aşınmalarının ölçülmesini amaçlar. Deney 10-14 mm aralığında en az 2 kg agregadan çeyrekleme yöntemi ile alınan  $500\pm 2$  g ağırlığında iki deney numunesi ile yapılır. Her bir deney numunesi, ayrı bir tamburun içine yerleştirilir. Her bir tambura,  $2500\pm 5$  g'lık çelik bilya ve  $2,5 \pm 0,05$  lt su ilâve edilir. Kapağı kapatılan her bir tambur, iki adet mil üzerine yerleştirilir. Şekil 4.6'de görülen tamburlar,  $100 \pm 5$  devir/dk. hızda  $3000\pm 10$  devir tamamlanıncaya kadar döndürülür.





Şekil 4.6: Micro Deval deneyinde kullanılan tambur ve bilyalar

Deneyden sonra, olabilecek herhangi bir agrega kaybını önlemeye dikkat edilerek, agrega ve çelik bilyalar bir kaptan toplanır. Bir yıkama şişesi kullanılarak tamburun içi ve kapağı dikkatlice yıkanır ve yıkanan malzeme toplanır. Tüm malzeme ve yıkama suları, 8 mm göz açıklıklı koruyucu bir elek ile korunan 1,6 mm göz açıklıklı elek üzerine dökülür. Dökülen malzeme, temiz su ile yıkanır. Herhangi bir tane kaybına yol açmadan, 8 mm göz açıklıklı koruyucu elekte tutulan agrega taneleri dikkatlice çelik bilyalardan ayrılır. Agreganın taneleri elle veya elek üzerindeki bilyalar mıknatıs kullanılarak agregadan ayrılır.

Numuneler etüve atılır ve etüvden çıkarıldıktan sonra iki deney numunesinden elde edilen değerler kullanılarak, mikro-Deval katsayısının ortalama değeri hesaplanır. Hesaplanan ortalama değer, laboratuvara teslim edilen numunenin Mikro-Deval katsayısı olarak kaydedilir. İki deney numunesinden bulunan değerler kullanılarak, Mikro-Deval katsayısının ortalama değeri hesaplanır. (KGM, 2008)

$$MDE(\%) = \frac{(500-m)}{500} \times 100 \quad (3)$$

Burada;

MDE (%) : Mikro-Deval aşınma değeri,

m: 1,6 mm göz açıklıklı elek üzerinde kalan malzemenin kuru ağırlığı, g

#### 4.3.1.4 Cilalanma Deneyi

Bu deneyin amacı, yol kaplamasında kullanılan agregaların trafik altında sürtünme ile aşınarak cilalanma miktarlarını laboratuvarında hızlandırarak saptamaktır. Cilalanma direnci düşük agregalar zamanla düşük kayma-sürtünme direncine sahip satırlar oluşturacağından, kaplamanın sürüş emniyeti de azalacaktır.

Deney iki kısımdan oluşur. Birinci kısımda taş numuneleri özel bir makine ile hızlandırılmış olarak cilalanmaya tabi tutulur. İkinci kısımda, her bir numunenin cilalanma değeri, uygun bir sürtünme deneyi ile ölçülür ve taşın laboratuvar cilalanma değeri olarak tayin edilir. Deney için Şekil 4.7’de görülen hızlandırılmış cilalanma cihazı kullanılır.



Şekil 4.7: Hızlandırılmış Cilalanma Cihazı

Hızlandırılmış cilalanma makinesi, çevresinde 14 adet numunenin (briketin) yerleştirilebileceği, dakikada 315-325 devir hızla dönen 40,6 cm çapında bir demir tekerlek ile numunelerin üzerinde dönen (20,3 cm çapında, 5 cm genişliğinde, 3,16 kg/cm<sup>2</sup> basınç ile şişirilmiş) ve 40 kg’lık yük uygulayan bir lastik tekerlekten oluşur. Şekil 4.8’de görülen kayma direncini ölçme cihazı ise, bir ucunda ağırlık olan bir pandül, bunun altında numuneye sürtünen ve belirli özellikleri bulunan lastik bir papuç ile göstergeden oluşmaktadır.



Şekil 4.8: Kayma Direnci Ölçme Cihazı

Deneyde kullanılacak her taş için en az 3 kg'lık 10 mm nominal boyutta numune alınır. Numune daneleri 10 mm'lik BS eleğinden geçip, 10-14 mm'lik yassılık eleği üzerinde kalmalıdır. Numunede yassı dane bulunmamalı, temiz ve tozsuz olmalıdır. Cilalanma deneyine alınan danelerin yüzey yapısı, taşın ortalama yüzey yapısını temsil etmelidir. Deneye, cilalanma değeri bilinen referans agrega ile kontrol için hazırlanan 2 adet numunede dahil edilmelidir. Bir numunedeki agrega sayısı 35-50 arasında olmalı ve aralarındaki boşluklar çok ince kum ile doldurulmalıdır. Şekil 4.9'de cilalanma deneyinde kullanılan numune kalıpları ve cilandırılmış deney numuneleri görülmektedir.



Şekil 4.9: Cilandırma numune kalıbı ve cilandırılmış agrega numune örnekleri

Bu şekilde hazırlanan numuneler, belirli bir küre tabi tutulduktan sonra üzerlerine istenen hızda zımpara tozu ve su akıtılarak hızlandırılmış cilalanma makinasında 6 saat süreyle cilalanmaya uğrattılır. Her numunenin deney sonucunda eriştiği cilalanma değeri, kayma

direncini ölçme cihazının ıslatılmış lastik papucu ile ıslatılmış numune yüzeyi arasındaki sürtünme katsayısı olarak cihazın göstergesinden okunur. Bu işlem bir numune için 5 kez tekrarlanır ve son üç okumanın ortalaması en yakın tam sayıya yuvarlatılarak kaydedilir. Her bir agrega grubu için hazırlanan üç numunenin değerlerinin sıralaması 5 birimden daha fazla ise veya kontrol numunelerinin değeri bilinen değerler arasında kalmıyorsa deney tekrarlanmalıdır. Eğer üç numuneden alınan değerler arasındaki fark 5 birim veya daha az ve de kontrol numunelerinin ortalama değerleri de uygun ise, üç numunenin ortalaması alınarak cilalanma değeri belirlenir (KGM, 2021).

#### 4.3.1.5 Görünür Tane Yoğunluğu Deneyi

Kaba agrega özgül ağırlığı ve su emme değeri TS EN 1097-6 standardına göre belirlenmiştir. Bu deneyde numunenin karışım gradasyonunu temsil etmesine dikkat edilmelidir. Hazırlanan numune yıkanarak su içinde 24 saat bekletilir. Su içerisinde çıkarılan numune emici özelliğe sahip olan bir bez üzerine yayılarak agrega daneleri teker teker kurulanır. Doygun- yüzey kuru hale gelmiş agrega numunesi tartılır (B). Tel sepete konulan agrega numunesinin 25±1°C sıcaklıktaki suda tartımı yapılır (C). Numune tel sepet içinden bir tepsiye boşaltılarak 110 ± 5°C'lik etüvde sabit ağırlığa kadar kurutulur. Etüvden çıkartılan numune 1 ile 3 saat arasında oda sıcaklığında soğutulur (A). Özgül ağırlık değerleri ve su absorpsiyon yüzdesi aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanır. Deneylerin yapılması esnasında suda bekletilen agrega örneği Şekil 4.10'da gösterilmiştir.

$$\text{Hacim Özgür Ağırlığı} = \left( \frac{A}{(B-C)} \right) \quad (4)$$

$$\text{Zahiri Özgür Ağırlığı} = \left( \frac{A}{(A-C)} \right) \quad (5)$$

$$\text{Absorpsiyon\%} = \left( \frac{(B-A)}{A} \right) \quad (6)$$

Burada:

A =Kuru numune ağırlığı (g)

B=Yüzey Kuru-Suya Doygun numune ağırlığı (g).

C= Yüzey Kuru-Suya Doygun numunenin sudaki ağırlığı (g). (KGM, 2008)





Şekil 4.10: Özgül ağırlık sehpası ve suda tartım aşaması

### 4.3.2 Sathi Kaplama Deneyleri

Bu kısımda çalışmayla ilgili laboratuvar ortamında hazırlanan sathi kaplama performanslarını belirlemeye yönelik yapılan deneysel yöntemler hakkında bilgiler verilmiştir.

#### 4.3.2.1 Vialit Deneyi

Bu deneyde esas amaç sathi kaplamalarda kullanılacak olan agregalar ile bitüm arasındaki yapışma miktarının belirlenerek uygulamada trafik, hava ve su gibi etkilerle bozulmaların boyutunun belirlenmesidir. Bitüm-agrega arasındaki yapışma ne kadar kuvvetli ise yapılan yolun kullanım ömrü o seviyede uzun olacaktır. Deneyde kullanılan ekipmanlar Şekil 4.11’de görülmektedir.



Şekil 4.11: Vialit deneyinde kullanılan ekipmanlar

Daha önceden hazırlanmış olan sönmüş kireç/su modifikasyonlu agrega ve üzerinde hiçbir uygulama yapılmamış agregalardan yüzer adet ayrı ayrı mekanik mıcır sericiye yerleştirildi. Çelik levhalar  $145\pm 5^{\circ}\text{C}$ 'de ısıtıldıktan sonra  $145\pm 5^{\circ}\text{C}$  de ısıtılmış 40 g bitüm spatula yardımıyla levhanın yüzeyine eşit bir şekilde yayılmıştır. Deney levhası mıcır sericiye yerleştirildikten sonra, mıcır sericinin hareketli levhası hızlıca çekilerek mıcırların levha üzerine serbest düşmeleri sağlanmıştır. Levha mekanik mıcır sericiden çıkartılarak silindiraj sıcaklığına gelmesi için birkaç dakika dinlendirildikten sonra her yönde 3 ileri 3 geri toplamda 6 geçiş yapılarak silindirleme işlemi tamamlanmıştır. Silindirleme işleminden sonra levha soğuması için oda sıcaklığında yaklaşık bir saat bekletildikten sonra  $35^{\circ}\text{C}$  su banyosunda bir gün bekletildi. Su banyosundan çıkartılan levha mıcırlar aşağı bakacak şekilde deney aletine yerleştirildi. Çelik bilye deney levhası üzerine 10 saniye ara ile 50 cm yükseklikten 3 sefer serbest düşürülerek düşen mıcır sayısı sayıldı. Aynı cins malzemelerle 3 adet deney yapılmıştır. Deneye tabi tutulmuş numunelere ait örnekler Şekil 4.12'de verilmiştir. Deney sonucunda çıkan değerler 5. Bölümde verilmiştir.



Şekil 4.12: Vialit deneyi uygulanan numune örnekleri

#### 4.3.2.2 Soyulma Deneyi

Bu deneyin amacı sathi kaplamada kullanılacak agrega ile bitüm arasında bağlanma-yapışma miktarının belirlenmesidir. Deney sonucunda bulunacak değer ne kadar yüksekse bitümün agregaya yapıştığını ve ilerleyen zamanlarda oluşacak etkilerde agreganın soyulmasına direnç gösterdiğini anlayacağız. Karayolları Teknik Şartnamesine göre bu değer 60'tan büyük olması istenmektedir. Deney yapılırken daha önce hazırlanmış olan 9,5 mm'lik elekten geçip 6,3 mm'lik elek üstünde kalan agregadan 150 adet seçilerek deney kabına

konulmuştur. Daha önceden  $140\pm 5^{\circ}\text{C}$  de ısıtılmış bitümden agregaya ağırlığının %5' kadarı agreganın üzerine dökülerek, bitüm agreganın tüm yüzeylerini sarana kadar karıştırılmıştır. Karıştırılmış numune iki ayrı petri kabına eşit miktarda karıştırılarak 2 ayrı baget yardımıyla agregaların birbirlerine temas etmeleri engellendi. Petri kapları oda sıcaklığında yaklaşık 1 saat bekletildikten sonra içi saf su dolu bir kaba yerleştirilerek (petri kabının üzerinde en az 3 cm su olacak şekilde), daha önceden  $60^{\circ}\text{C}$  de ısıtılmış etüvde 1 gün bekletildi. Bir gün sonra etüvden çıkarılacak petri kaplarındaki su değiştirildi ve yandan gelen ışık altında gözle muayene yapıldı. Gözle muayene neticesinde %5 hassasiyetle bitümün soyulmamış yüzeyinin tüm agregaya yüzeyine oranı olarak belirlenmiştir. Deneyde sonuç kısmı matematiksel formülasyonlu hesaplara dayanmadığından bakan kişiler arasında farklılıklar gösterebileceği için laboratuvarında bulunan diğer kişilerce de incelenerek ortalama bir değer tespiti yapılmıştır. Deney sonucunda çıkan değerler 5. Bölümde verilmiştir. Yapılan deneylere ait örnek fotoğraflar Şekil 4.13'de verilmiştir. (KGM,2021)



Şekil 4.13: Soyulma deneyine tabi tutulmuş numune örnekleri

## 5. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI

Bu bölüm, çalışmada kullanılan agregaların sathi kaplama şartname uygunlukları ve bitüm-bağlayıcı arasındaki aderansın belirlenmesi için gerçekleştirilen deney sonuçlarını ve ilgili değerlendirmeleri içermektedir.

### 5.1. Agrega Deney Sonuçları

Çalışma kapsamında kullanılan farklı kaynaklardan temin edilen agregaların sathi kaplama şartnamesinde yer alan özelliklerinin belirlenmesine yönelik deney sonuçları Tablo 5.1’de verilmiştir. Ayrıca bu özelliklere ait değişimlerin izlenebilmesi için deney sonuçlarına ait grafikler oluşturulmuştur.

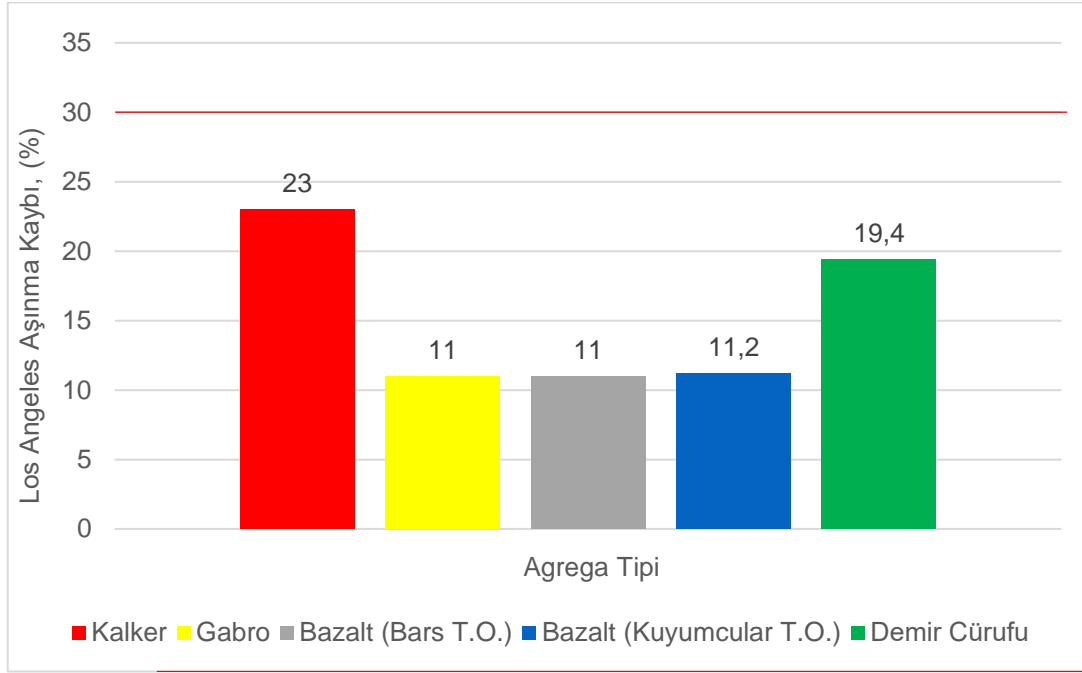
Tablo 5.1: Sathi kaplama tasarımında kullanılan agregalara ait deney sonuçları

Özellikler	Fiziksel Özellikler					
	Kalker	Gabro	Bazalt (Bars T.O.)	Bazalt (Kuyumcular T.O.)	Demir Cürufu	KTŞ Limit Değeri
Los Angeles Aşınma Kaybı, (%)	23	11	11	11,2	19,4	≤30
Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık, (%)	1,4	3,2	6,6	1,2	6,5	≤18
Micro Deval Aşınma Direnci (%)	14,8	12,8	9,5	4,5	15	≤25
Görünür Tane Yoğunluğu	2,74	2,97	2,86	2,72	3,55	
Su Emme	0,4	0,6	1,5	1,3	3,98	≤2,5
Cıalanma Deneyi	33	43,7	50,4	40,1	*	≥40
*Not: Demir cürufu agregası cıalanma deneyine uygun hale getirilemediğinden yapılamamıştır.						

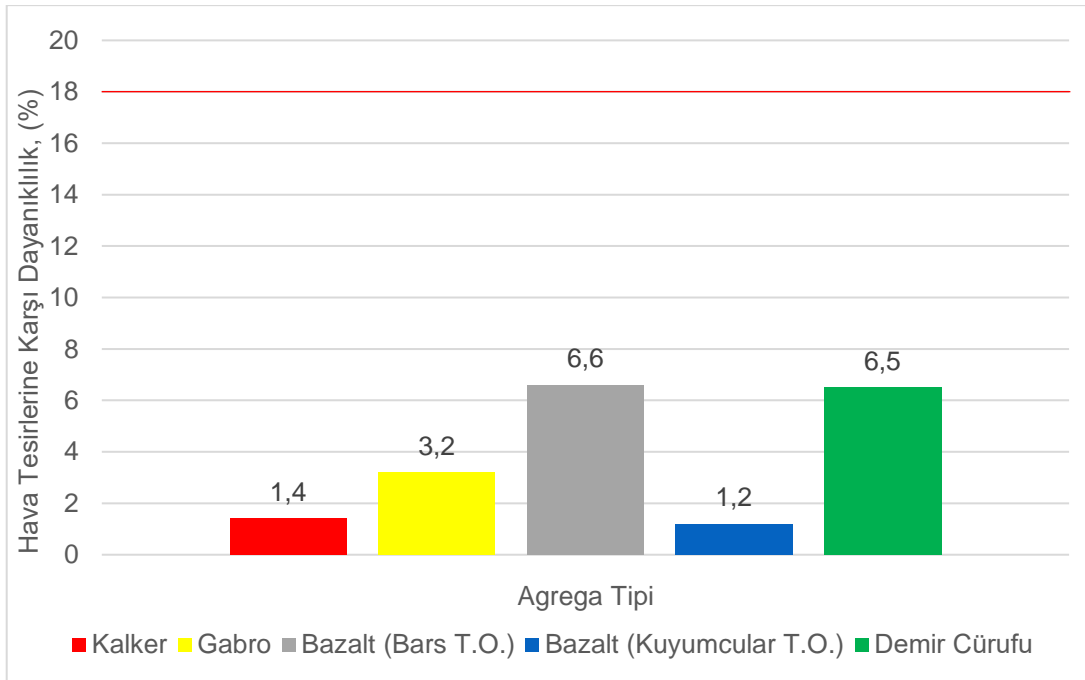
Tablo 5.1’de görüldüğü gibi KTŞ’de sathi kaplama agregasının Los Angeles aşınma kaybı değerinin %30’dan küçük olması gerekmektedir. Şekil 5.1’de görüldüğü üzere kullanılan tüm agregalar bu şartname limitini sağlamıştır. Daha sert bir yapıya sahip olan bazalt ve gabro agregaların Los Angeles aşınma kaybı değerleri beklenildiği gibi kalker ve çelikhane cürufu agregadan daha düşük elde edilmiştir. Çelikhane cüruf agregasının aşınma değeri kalker agregadan daha iyidir.



Şartnamede belirtilen limit değerin %18'den küçük olduğu hava tesirlerine karşı dayanıklılık deneyi sonuçları tüm agregaların uygunluğunu göstermektedir (Şekil 5.2). Kalker ve Kuyumcular taş ocağına ait bazalt agregasının değerleri diğer agregalara göre daha dayanıklı olduklarını göstermiştir. Çelikhane cüruf agreganın aşınma değerinin kısmen yüksek çıkması agrega yüzey boşluklarına dayandırılabilir.

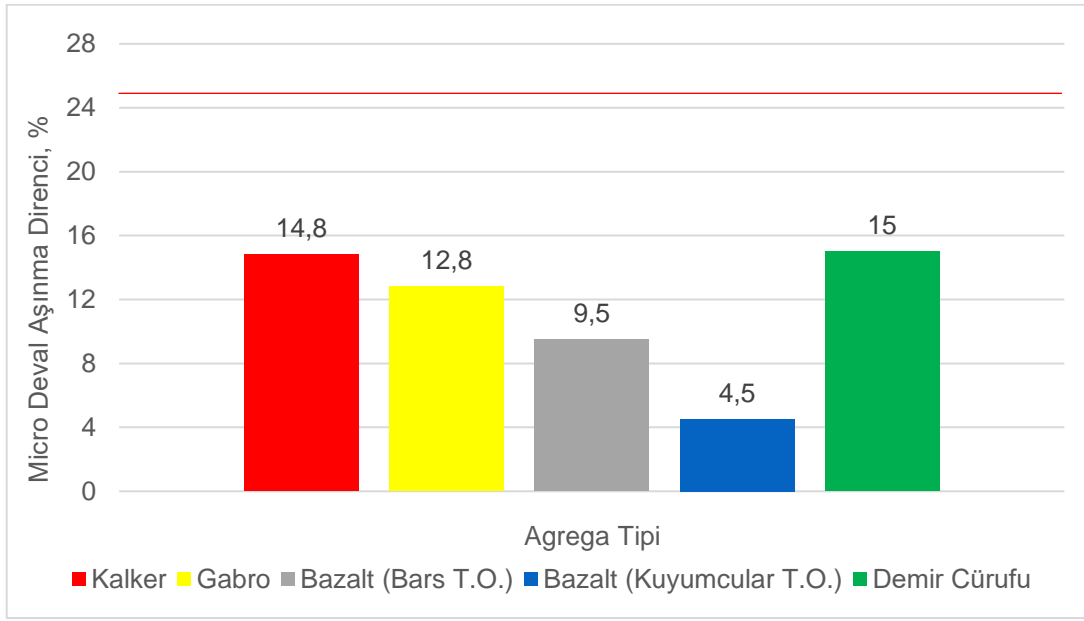


Şekil 5.1: Los Angeles aşınma deneyi sonuçları

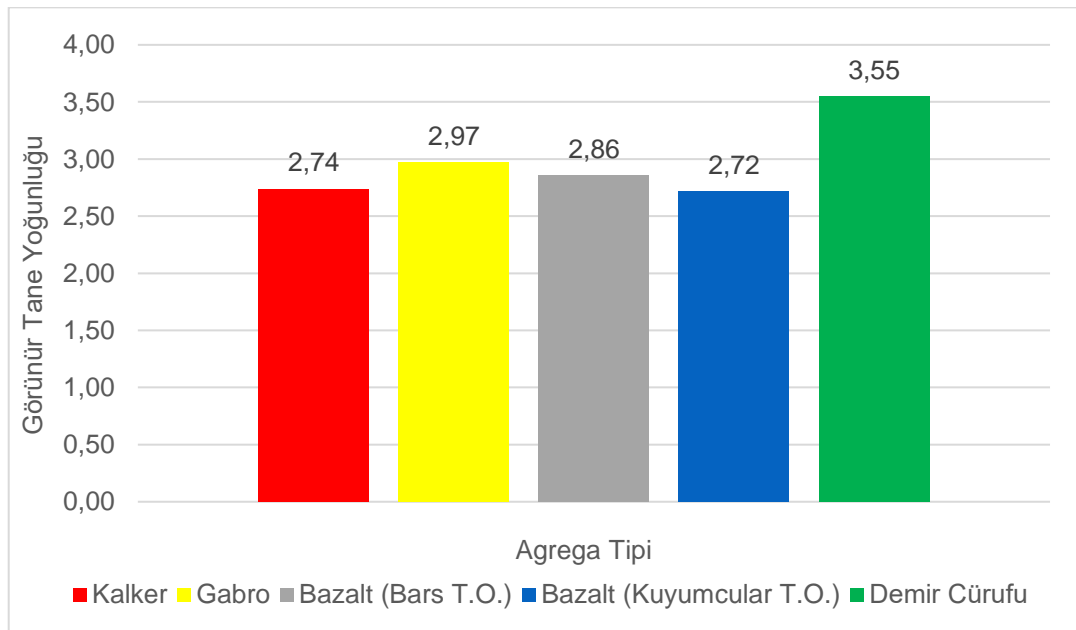


Şekil 5.2: Hava tesirlerine karşı direnç deneyi sonuçları

Mikro Deval aşınma deneyinin karayolu yüzey tabakasında kullanılan agregaların trafikten kaynaklı aşınmadan oluşan cilalanmayı tahminde daha etkili olduğu belirtilmektedir. Tüm tipteki agregaların KTSŞ limit değeri (Tablo 4.6) sağladığı belirlenmiştir. Şekil 5.3'te görüldüğü gibi Kuyumcular taş ocağına ait bazalt agregası 4,5 aşınma değeri ile en iyi sonucu vermiştir. Kalker ve çelikhane cüruf agregasının aşınma değerleri birbirine oldukça yakın elde edilmiştir. Görünür tane yoğunluklarının grafiği Şekil 5.4'te verilmiştir. Çelikhane cüruf agregasının özgül ağırlık değeri diğer agregalara göre yüksektir.

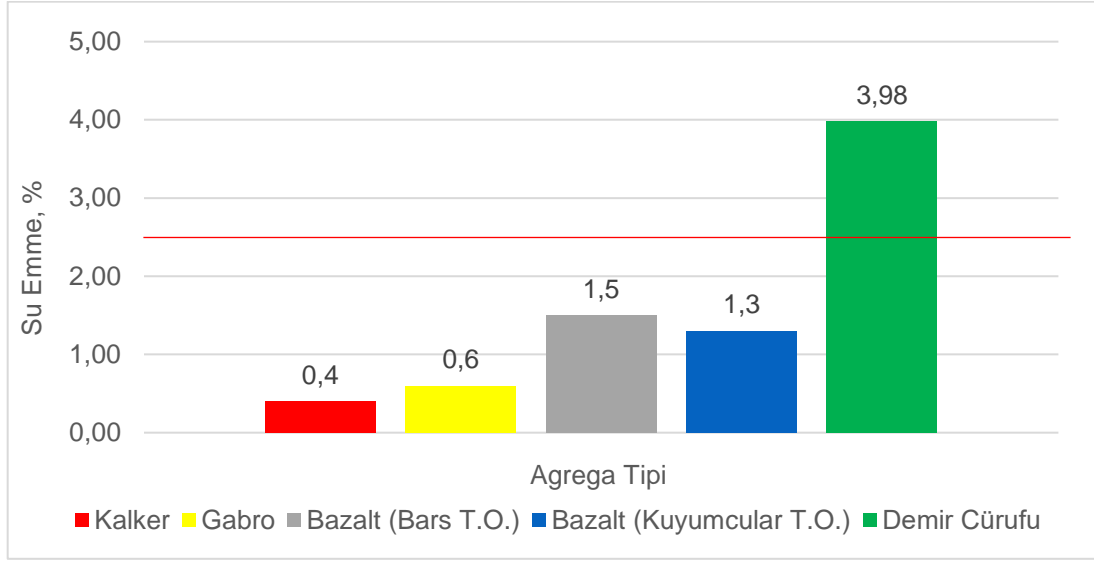


Şekil 5.3: Micro Deval aşınma deneyi sonuçları



Şekil 5.4: Görünür tane yoğunluğu deneyi sonuçları

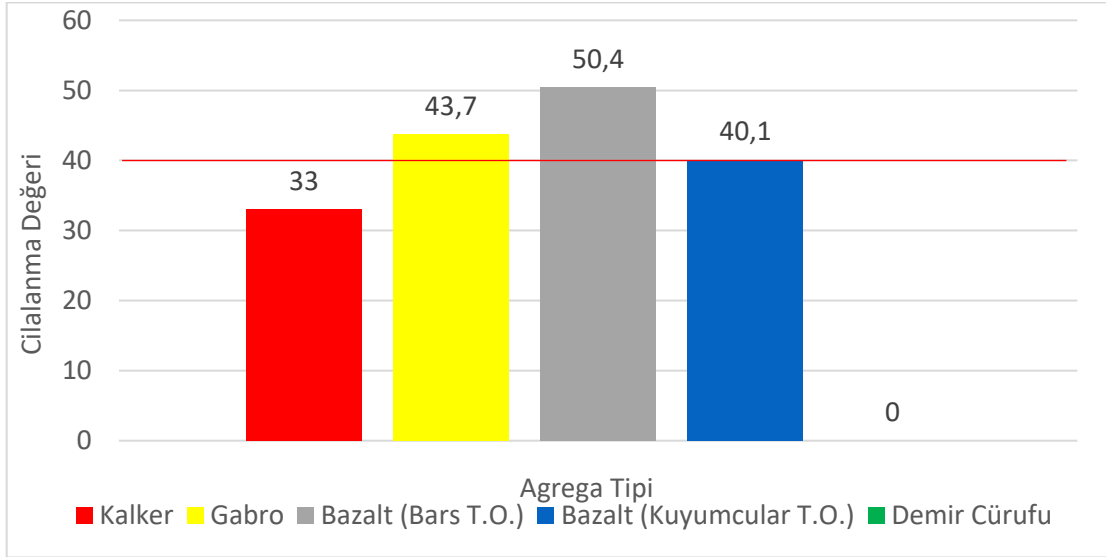
Çalışmada kullanılan doğal agregaların su emme değerleri KTŞ’de belirtilen %2,5 limit değerinden küçük olduğu belirlenmiştir. Çelikhane cürufunun su emme deney sonucu 3,98 olarak belirlenmiştir (Şekil 5.5). Limit değerinin biraz üzerinde olan bu değer cüruf agregasının bitümlü bağlayıcı ile aderans açısından olumlu olmakla beraber tasarımda kullanılan bitüm miktarlarının artırılması ile sonuçlanacaktır. Bu durum yapım maliyetinin bir miktar artmasına neden olabilecektir.



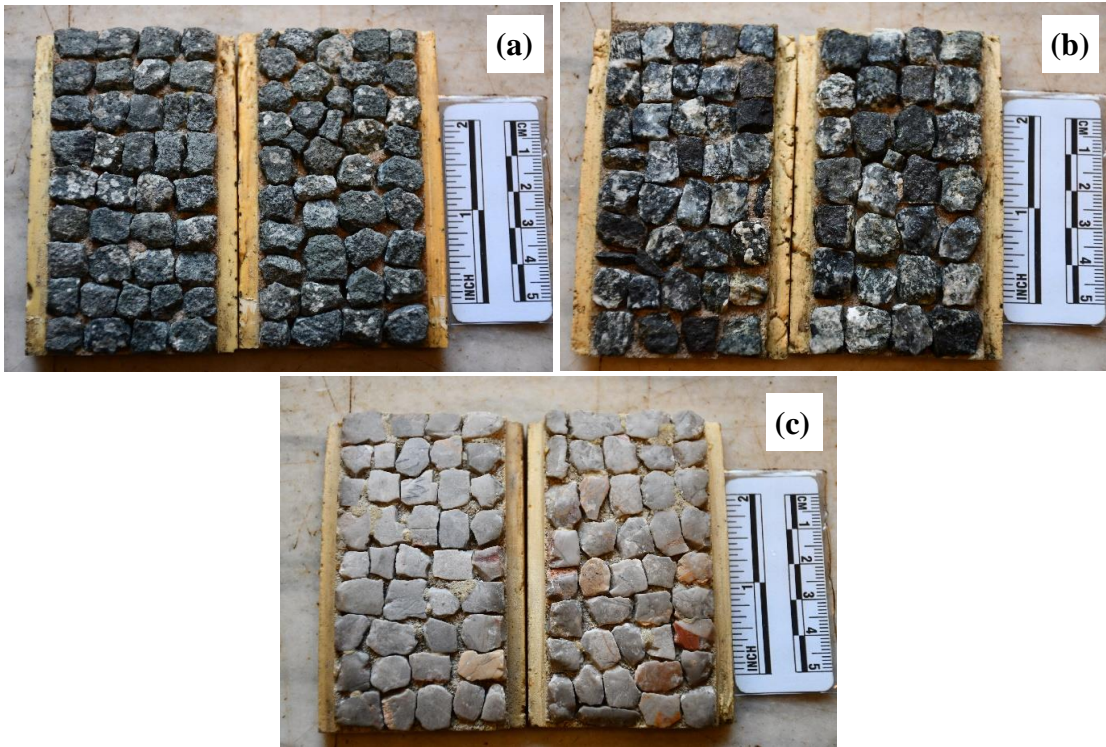
Şekil 5.5: Su Emme deneyi sonuçları

Agrega cilalanma değerini için deney sonuçlarının KTŞ’de belirtilen limit değer olan 40 ve üzerinde olması istenilmektedir. Şekil 5.6’da verilen grafik incelendiğinde bazalt agregaları ve gabronun istenilen standartları sağladığı görülmüştür. Kalker agregası cilalanma için istenilen limit değeri sağlamamıştır. Sathi kaplama imalatında Çuhadoruğu taş ocağına ait kalker agregasının sathi kaplamada kullanılması daha erken dönemde cilalanmaya uğraması ve yoldan istenilen sürtünme seviyesinin azalması ile karşılaşılacaktır. Çelikhane cüruf agregasının cilalanma deneyi için hazırlanmaya çalışılmış, fakat sivri uçlarının kerpeten yardımıyla düzgün bir şekilde kırılma işlemi yapılamamıştır. Deney cihazının güvenliği ve diğer agrega numunelerinin sağlıklı test edilebilmesi açısından çelikhane cüruf agregasına bu deney uygulanamamıştır. Diğer agrega aşınma deney sonuçları ve agrega yüzey pürüzlülüğü dikkate alındığında çelikhane cürufunun bu test için gerekli olan değeri sağlayacağı düşünülmektedir. Agregalar üzerinde yapılan deneylere genel olarak bakıldığında çalışma için kullanılan agregaların şartname değerlerini sağladığı görülmektedir. Kalker agregasının cilalanma değerinin limit değerinin biraz altında elde

edilmesi eğer alternatif bir taş ocağı sözkonusu ise tercih edilmeyebilir. Çelikhane cürufunun su emme değerinin yüksek çıkması bitüm absorpsiyonun fazla olacağı ve dolayısıyla yeterli düzeyde yapışmanın sağlanabilmesi için daha fazla bitümlü bağlayıcı kullanılmasını gerektireceğini göstermektedir. Laboratuvar ortamında cilalandırılmış agregalara ait resimler Şekil 5.7’de verilmiştir.



Şekil 5.6: Cilalanma deneyi sonuçları



Şekil 5.7: Cilalanma deneyine ait resimler (a) Bars Taş Ocağı-bazalt (b) Kayadibi Taş Ocağı-gabro (c) Çuhadoruğu Taş Ocağı-kalker agregası

## 5.2. Sathi Kaplama Deney Sonuçları

Sathi kaplama tasarımında önemli olan bitümlü bağlayıcı-agrega aderansının belirlenmesi için Vialit yapışma deneyi ve suyun oluşturduğu soyulma etkisinin tespitinde Nicholson soyulma deneyi uygulanmıştır. Bu kısımda ilgili deney sonuçları ve numunelere ait fotoğraflar yer almaktadır.

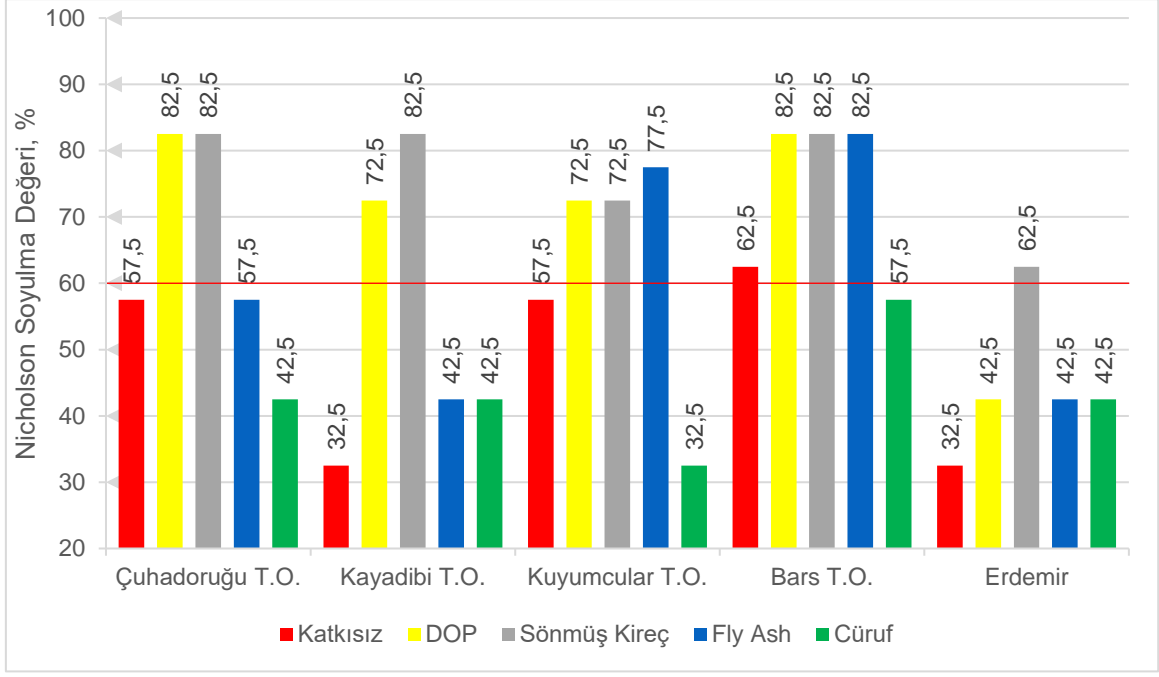
### 5.2.1 Nicholson Soyulma Deneyi Sonuçları

Çalışmada kullanılan agregaların ve belirtilen yöntemlerle uygulanan katkı malzemelerinin soyulma deneylerinden elde edilen sonuçlar Tablo 5.2’de verilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan doğal ve cüruf agregalara katkılı ve katkısız olarak Nicholson soyulma deneyi yapılmış ve suyun agrega-bitüm adezyonuna yaptığı değişimler incelenmiştir. Sonuçlar Şekil 5.8’deki grafikte gösterilmiştir. Şekil 5.8’deki grafik incelendiğinde, katkısız numunelerden sadece Bars T.O’na ait olan bazalt agregasının Tablo 4.6’da belirtilen şartname limitini sağladığı görülmüştür. Çuhadaroğlu T.O-kalker ve Kuyumcular T.O.-bazalt agregalarının katkısız sonuçlarının limit değerden çok az olduğu görülürken Kayadibi T.O.-Gabro ve Erdemir-Cüruf agrega sonuçlarının 30-35 olduğu belirlenmiştir.

Tablo 5.2: Agrega tiplerine ait Nicholson soyulma deneyi sonuçları

	Taş Cinsi	Katkısız	DOP	Kireç	Uçucu Kül	Cüruf
Çuhadoruğu T.O.	Kalker	55-60	80-85	80-85	55-60	40-45
Kayadibi T.O.	Gabro	30-35	70-75	80-85	40-45	40-45
Kuyumcular T.O.	Bazalt	50-55	70-75	70-75	75-80	30-35
Bars T.O.	Bazalt	60-65	80-85	80-85	80-85	50-55
Erdemir	Cüruf	30-35	40-45	60-65	40-45	40-45

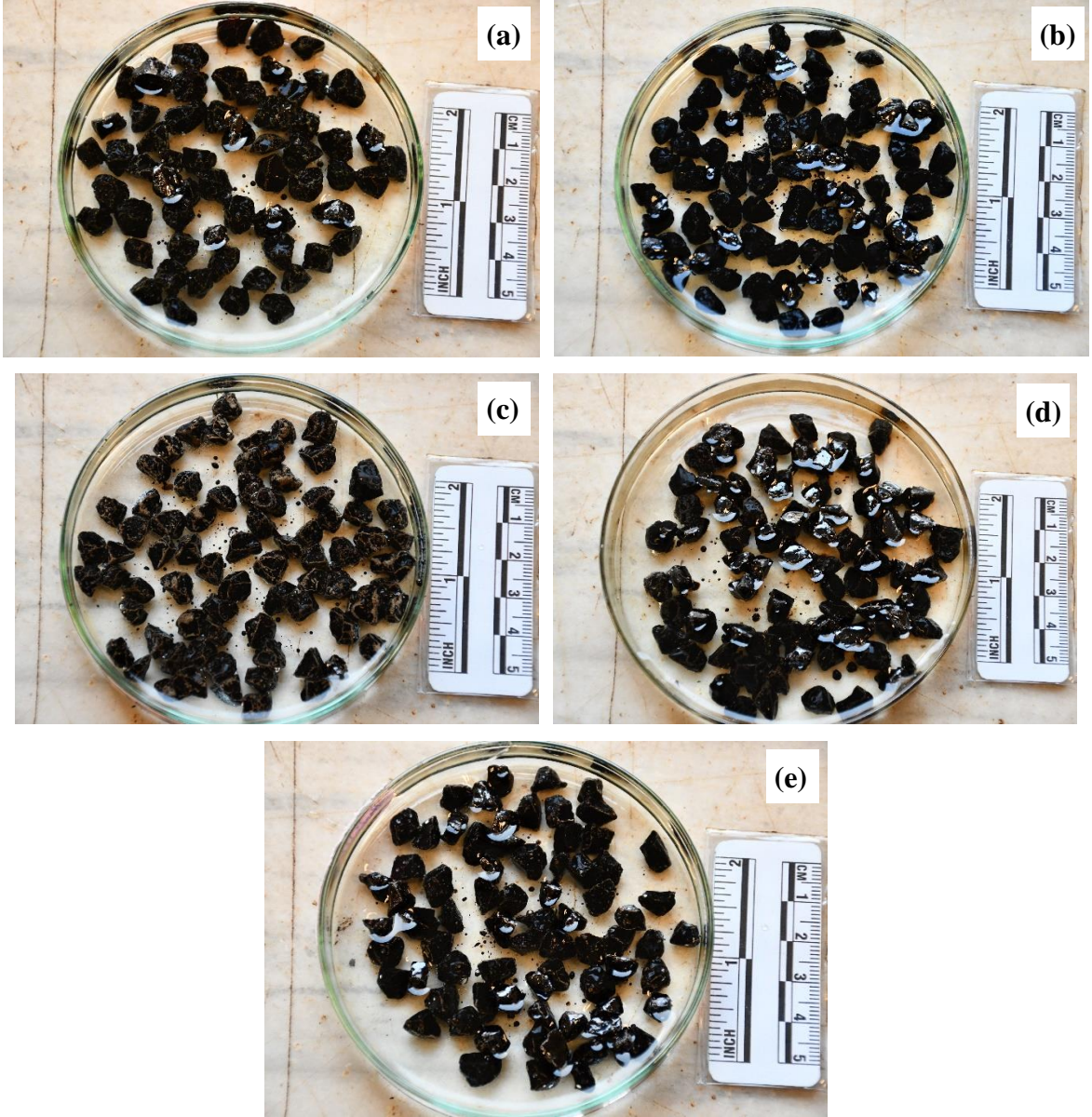
DOP’lar bitümlü karışımlarda soyulma önleyici olarak sıklıkla kullanılan kimyasal katkılarıdır. %0,3 DOP katkılı bitümle hazırlanan karışımların deney sonuçları incelendiğinde tüm agregaların sonuçlarında iyileşme olduğu ve doğal agregaların hepsinde soyuma yüzdesinin limit değerinin üzerine çıktığı görülmüştür. Erdemir-cüruf agregasında ise değer 40-45 civarında limit değerinin altında kalmıştır. DOP katkısı oransal olarak en büyük etkiyi gabro agregasında göstermiştir.



Şekil 5.8: Agrega tiplerine ait Nicholson soyulma deneyi sonuçları

Çalışma agregaların bulamaç yöntemi ile işleme tabi tutulduğu sönmüş kireç, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu katkılarının soyulmaya etkisi incelendiğinde (Şekil 5.8) sönmüş kireç modifikasyondan en iyi sonuçlar elde edilmiştir. Kireç modifikasyonunun tüm agregaların Nicholson soyulma oranı değerleri iyileştirmekle birlikte, gabro ve cüruf agregasında DOP'a göre daha etkili olduğu görülmektedir. Cürufu agregasının sadece sönmüş kireç modifikasyonunda şartname değerini sağlamıştır. Uçucu külün her iki bazalt agregasının soyulma direncini önemli ölçüde iyileştirirken kalker agregası etkisi görülmemiştir. Kuyumcular taş ocağına ait bazalt agregasında DOP ve sönmüş kireç modifikasyonuna oranla daha etkili olduğu belirlenmiştir. Gabro ve cüruf agregalarında uçucu külün iyileştirme etkisi sınırlı kalmış limit değerinin üzerine çıkaramamıştır. Yüksek fırın cürufu ile yapılan modifikasyonu kalker ve bazalt agregalarında soyulmayı önlemek yerine arttırmıştır. Gabro ve cüruf agregasında bir miktar iyileşme sağlamış yetersiz kalmıştır. Bu sonuçta, YFC'nin agrega yüzeylerine yeterince yapışma sağlamaması etkili olmuştur. Yüksek fırın cürufunun soyulma önleyici katkı olarak kullanılamayacağı yapılan deneyler sonucunda görülmüştür. Laboratuvar ortamında farklı agrega ve katkılarla yapılan Nicholson soyulma deneyine ait resimler Şekil 5.9'da verilmiştir.





Şekil 5.9: Soyulma deneyine ait resimler (a) Bars Taş Ocağı-bazalt Fly Ash (b) Kayadibi Taş Ocağı-gabro/kireç modifikasyonlu (c) Demir cürufu/katkısız (d) Kuyumcular Taş Ocağı-bazal/katkısız (e) Çuhadoruğu Taş Ocağı-kalker agregası/DOP'lu

### 5.2.2 Vialit Deneyi Sonuçları

Sathi kaplamalarda görülmekte olan başlıca bozulma tipi olan sökölmenin laboratuvar ortamında tespitinde gerçekleştirilen temel deneylerden biri olan katkılı ve katkısız agrega tiplerine ait Vialit deney sonuçları Tablo 5.3'te verilmiştir.

Tablo 5.3: Agrega tiplerine ait Vialit deneyi sonuçları

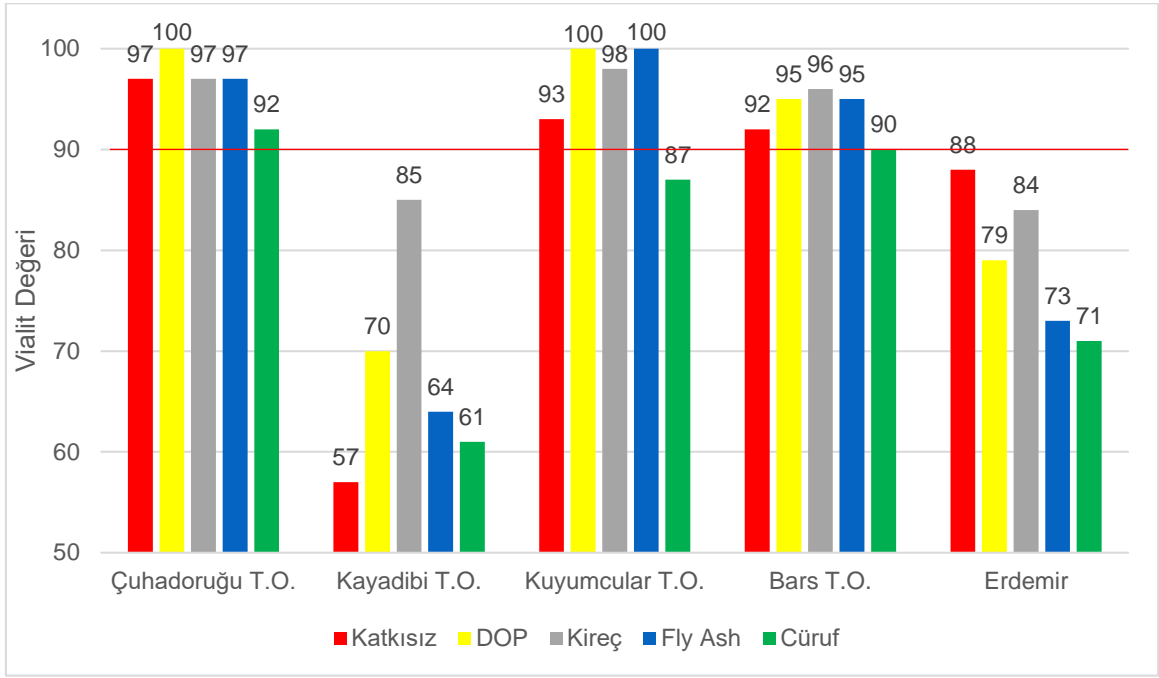
	Taş Cinsi	Katkısız	DOP	Kireç	Uçucu Kül	Cüruf
Çuhadoruğu T.O.	Kalker	3	0	3	3	8
Kayadibi T.O.	Gabro	43	30	15	36	39
Kuyumcular T.O.	Bazalt	7	0	2	0	13
Bars T.O.	Bazalt	8	5	4	5	10
Erdemir	Cüruf	12	21	16	27	29

Şekil 5.10’de verilen Vialit yapışma deney sonuçları incelendiğinde katkısız bitümle yapılan deneylerde bazalt agregaları ve kalker agregasının şartname değerlerini sağladığı görülmüştür. Gabro agregası katkısız numunelerde en düşük sonucu vermiştir. Çelikhane cüruf agregası şartname limit değerine oldukça yakın değerdedir. DOP katkılı bitümle hazırlanan numunelerde cüruf agregası haricindeki doğal agregaların değerlerini iyileştirdiği görülmüştür. Gabro agregasındaki iyileşme oransal olarak en büyük değerde olsa da şartname limit değerini sağlamakta yetersiz kalmıştır.

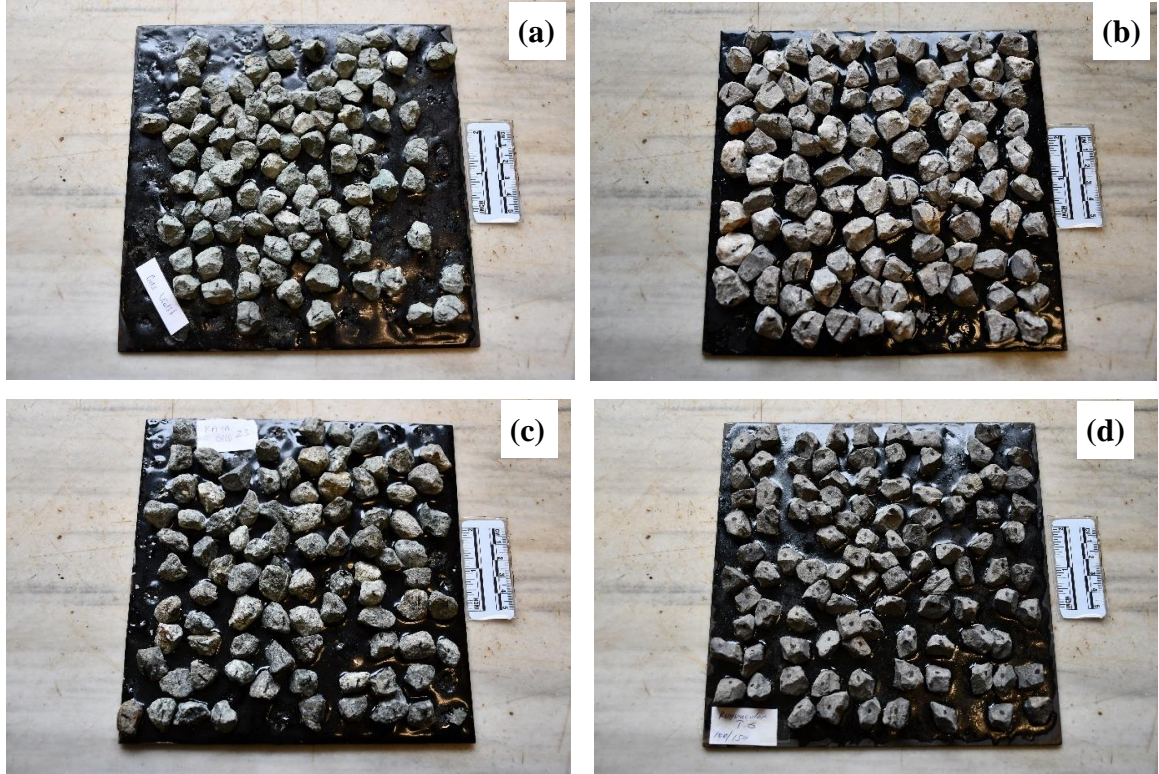
Sönmüş kireç modifikasyonlu numunelerde en büyük artışın gabro agregasında olduğu görülmüş, limit değere oldukça yaklaşmıştır. Bazalt ve kalker agregalarında olumlu veya olumsuz bir etkisi olmamıştır. Cürufu agregasında katkısız agregaya göre değerler bir miktar düşmüştür fakat DOP’tan daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Uçucu kül modifikasyonu bazalt ve kalkerde Vialit yapışma değerlerinin çok fazla değişmediği ve şartname değerlerini sağladığı belirlenmiştir. Gabro agregasında sonuçlarda iyileşme olsa da DOP ve kireçli numunelere oranla değerleri düşük kalmıştır. Cüruf agregasında ise yapışmayı olumsuz etkilemiş ve agrega sökülmeleri artmıştır.

YFC modifikasyonlu numuneler incelendiğinde Bars T.O.-bazalt ve Çuhadaroğlu-kalker agregasında katkısız ve diğer katkılı numunelere göre bir miktar azalma görülmekle birlikte şartname limit değerini sağlamaktadır. YFC modifikasyonu Kuyumcular T.O.-bazalt agregasında sökülmeyi arttırmış ve şartname değerlerinin altına inmesine neden olmuştur. Gabro agregasında yapışma değerlerinde bir miktar iyileşme sağlamış olsa da diğer katkılara yakın bir performans sergileyememiştir. Cüruf agregasındaki sökülme miktarı katkısız ve diğer katkıların sonuçlarına göre daha fazladır. Laboratuvar ortamında yapılan Vialit deneyleriyle ilgili resimler Şekil 5,11’de verilmiştir.





Şekil 5.10: Agregat tiplerine ait Vialit yapışma deneyi sonuçları (yapışan agregat sayıları)



Şekil 5.11: Vialit yapışma deneyi resimleri (a) Bars Taş Ocağı-bazalt/katkısız (b) Çuhadoruğu Taş Ocağı-kalker agregası/DOP'lu (c) Kayadibi Taş Ocağı-gabro/kireç modifikasyonlu (d) Kuyumcular Taş Ocağı-bazalt/katkısız

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sathi kaplama tasarımında farklı kaynaklardan temin edilen agregalar ile farklı soyulma önleyici katkıları ile modifiye edilen karışımların tasarım performansları belirlenmiştir. Çelikhane cürufunun sathi kaplamalarda agrega olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu çalışma kapsamında KTŞ'de sathi kaplamalar için belirtilen tasarım deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalardan elde edilen nihai sonuçlar ve öneriler aşağıda belirtilmektedir:

- Çalışmada kullanılan agregaların sathi kaplama şartname özellikleri açısından değerlendirildiğinde Çuhadaroğlu kalker agregasının cilalanma değeri haricinde doğal agregaların limit değerleri sağladığı belirlenmiştir. Aşınma direnci açısından magmatik kayaç sınıfında olan bazalt ve gabro agregaların sathi kaplamalarda tercih sebebi olarak karşımıza çıkmaktadır. Kalker agregalar, doğada büyük hacimlerde bulunmakta ve yol malzemesi olarak kullanılma potansiyelini taşımaktadır. Aşınma ve cilalanma değerleri düşük olan kalker agregalarının sathi kaplamalar için seçiminde dikkatli olunmalıdır.
- Çelikhane cüruf agregasının sadece su emme değeri şartname limit değerinin üzerinde belirlenmiş diğer özelliklerin uygun olduğu görülmüştür. Agreganın özellikleri açısından değerlendirildiğinde çelikhane cürufunun sathi kaplamalarda kullanıldığında yüzey pürüzlülüğü ve boşlukları sebebiyle bağlayıcı ile aderansın olumlu yönde etkileeneceği düşünülmektedir. Bununla beraber bitüm miktarlarının artması gerekliliği maliyetinin bir miktar artmasına neden olabilecektir.
- Kullanılan agregalardan Bars taş ocağından temin edilen bazalt agregasıyla soyulma direnci açısından katkı malzemesine ihtiyaç duyulmadan sathi kaplamalarda kullanıma uygun olduğu belirlenmiştir. Diğer agregaların sathi kaplamalarda kullanılabilmesi için soyulma önleyici katkılardan uygun olanının kullanılması gerekmektedir. Vialit deney sonuçları karşılaştırıldığında kireç taşı ile bazalt agregalarının gabroya ve demir cürufuna göre çok daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.
- DOP katkılı bitümle hazırlanan bitüm-agrega karışımlarının soyulma dirençlerini iyileştirmiştir. DOP katkısı en büyük oransal etkiyi gabro

agregasında göstermiş fakat Erdemir-cüruf agregasındaki etkisi sınırlı düzeyde kalmıştır. DOP katkılı bitümle hazırlanan numunelerin doğal agregaların Vialit yapışma değerlerini iyileştirdiği görülmüştür. Bazalt ve kalker agregaların katkısız sonuçları şartname limitlerini sağladığından iyileşme sınırlı düzeydedir. Cüruf agregasında ise DOP kullanımı yapışma performansını olumsuz etkilemiştir.

- Bulamaç yöntemi ile uygulanan sönmüş kireç, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu katkılarının soyulmaya etkisi incelendiğinde sönmüş kireç modifikasyondan en iyi sonuçlar elde edilmiştir. Kireç modifikasyonunun agregaların soyulma direncini iyileştirmekte, gabro ve cüruf agregasında DOP'a göre daha etkili olduğu görülmektedir. Cüruf agregası için sadece kireçle modifikasyonunda soyulma oranı şartname değerini sağlamıştır. Vialit yapışma deneyinde gabro agregasında diğer yöntemlere göre görülen iyileşme oranı sönmüş kireç modifikasyonun etkinliğini göstermektedir. Zaten iyi düzeyde olan bazalt ve kalker agregalarında olumlu veya olumsuz bir etki belirlenmemiştir. Cüruf agregasında katkısız agregaya göre değerler bir miktar düşmüştür fakat DOP'tan daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.
- Uçucu kül modifikasyonu Bars T.O. ve Kuyumcular T.O.'larından temin edilen bazalt agregaların soyulma direncinde bir artış sağlarken kalker agregası etkisi görülmemiştir. Gabro ve cüruf agregalarında uçucu külün iyileştirme etkisi sınırlı kalmış limit değerinin üzerine çıkaramamıştır. Vialit yapışma deneyinde uçucu külün şartname değerlerinin sağlandığı bazalt ve kalkerde etkisi görülmediği, cüruf agregasında ise bitümle yapışmayı olumsuz etkilediği ve agrega sökölme miktarını arttırdığı belirlenmiştir.
- Yüksek fırın cürufu (YFC) ile yapılan modifikasyonu gabro ve cüruf agregasında bir miktar iyileşme sağlasa da, kalker ve bazalt agregalarında soyulmayı önlemek yerine arttırmıştır. YFC modifikasyonlu numunelerin Vialit yapışma sonuçları incelendiğinde bazı agrega tiplerinde şartname yeterliliğini etkileyecek düzeyde olmasa da genel olarak agrega sökölme miktarının artmasına sebep olmuştur. Cüruf agregasındaki sökölme miktarı katkısız ve diğer katkıların sonuçlarına göre daha fazladır. Soyulma ve yapışma deney sonuçlarında, YFC'nin agrega yüzeylerine yeterince yapışma sağlamaması etkili olmuştur. Yüksek fırın cürufunun soyulma önleyici katkı olarak kullanılamayacağı yapılan deneyler sonucunda görülmüştür.

- Çelikhane cüruf agregasının soyulma direnci sönmüş kireç modifikasyonu ile sağlanmıştır. Ayrıca, katkısız Vialit yapışma değeri limit değere oldukça yakındır. Sönmüş kireç ve uçucu kül modifikasyonlarında Vialit yapışma sonuçlarında görülen kısmı azalmalar görülmekle birlikte, karıştırma oranları ve yöntemleri (sprey yöntemi vb.) içeren kapsamlı çalışmalarla iyileştirilebileceği düşünülmektedir. Ayrıca farklı kaynaklardan temin edilen cüruf agregalarının araştırılmasında faydalar görülmektedir.
- Sönmüş kireç, uçucu kül ve YFC modifikasyonu yapılan deney sonuçları incelendiğinde genel olarak sönmüş kirecin öne çıktığı görülmektedir. Sönmüş kireç modifikasyonun etkin bir şekilde uygulandığında diğer katkı maddelerine hatta DOP'lara göre daha ekonomik çözümler sağlayabileceği düşünülmektedir.
- Uçucu kül modifikasyonunun sönmüş kireç kadar olmasa da agregaların soyulma ve yapışma özelliklerine katkı sağladığı görülmektedir. Dolayısıyla farklı tipte özellikle C sınıfı uçucu külün etkileri araştırılması faydalı olacaktır.
- YFC'nin agrega yüzeyine yapışma sağlayamaması sebebiyle sathi kaplama performansını olumsuz yönde etkilemektedir. YFC'nin sathi kaplamalarda alternatif katkı malzemesi olarak kullanımının uygun olmadığı kanısına varılmıştır.
- Sönmüş kireç modifikasyonunun agregalara uygulanmasında bulamaç yöntemi kullanıldığından pratikte tüm agregalara eşit miktarda uygulanabilmesi zorluklar içermektedir. Dolayısıyla, uygulanma yöntemi olarak spre yöntemi gibi farklı yöntemler ve kullanım oranları üzerinde daha detaylı çalışmalar yürütülmesinde büyük faydalar olacaktır.

## KAYNAKLAR

- Aktaş, B. (2012). Koruyucu Amaçlı Sathi Kaplamaların Performansına Etki Eden Parametrelerin İncelenmesi. *Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.*
- Aktaş, B., Karaşahin, M., Saltan, M., Gürer, C. and Uz, V.E. (2013). Effect of aggregate surface properties on chip seal retention performance, *Construction and Building Materials*, 44:639-644.
- Aktaş, B., Karaşahin, M., Saltan, M. and Gürer, C. (2016). Effect of aggregate embedment on chip seal re-tention performance. *6th Eurasphalt&Eurobitume Congress, Prague.*
- Asphalt Institute (2009). Asphalt in Pavement Preservation and Maintenance. MS-16. Asphalt Institute, Lexington, KY.*
- Ayçiçek, S. (2011). Esnek Üstyapılarda İmalat ve Uygulama Kusurları. *Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.*
- Bağdatlı, M.E.C. (2010). Esnek Üstyapı Kaplamalarındaki Hasar Özelliklerinin Bakım Maliyetleri Üzerine Etkisi. *Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.*
- Benson, F. J. and Gallaway, B. M. (1954). Study of some variables affecting retention of aggregate by asphalt surface treatments. *Roads and Streets*, 113-1954.
- Buss, A., Guriguis, M. Claypool, B., Gransberg, D. and Williams, C. (2016). Chip Seal and Specifications, FHWA-OR-RD-17-03, Oregon Department of Transportation Research Section,*
- Buss, A., Guirguis, M. and Gransberg, D. (2018). Chip seal aggregate evaluation and successful roads preservation, *Construction and Building Materials*, 180:396-404.
- Chang, S., (2015). Toward statewide implementation of the surface performance graded specification for chip seal binders, *Submitted to The Office of Graduate and Professional, Studies of Texas A&M University.*
- Cui, P., Wu, S., Xiao, Y., Hu, R. and Yang, T. (2021). Environmental performance and functional analysis of chip seals with recycled basic oxygen furnace slag as aggregate, *Journal of Hazardous Materials.*
- Epps, J. A., B. M. Gallaway, and M. R. Brown. (1974). Synthetic Aggregate Seal Coats. Research Report 83-2F, Texas Transportation Institute, Texas A&M University, College Station.*
- Gheni, A., Lusher, S. and ElGawady, M. (2018). Retention behavior of crumb rubber as an aggregate in innovative chip seal surfacing, *Journal of Cleaner Production*, 1124-1136.

- Gransberg, D.D. and James, D.M.B. (2005). *Chip Seal Best Practices. NCHRP Synthesis 342, Transportation Research Board, Washington, D.C.*
- Gransberg, D., Zaman, M. and Aktaş, B. (2010). *Performance Analysis Of Aggregate/Binder Combinations Used For The ODOT Chip Seal Program, FINAL REPORT - FHWA-OK-10-03, University Of Oklahoma.*
- 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., Karavaşin, M., Çetin, S. and Aktaş, B. (2012). Effects of construction-related factors on chip seal performance, *Construction and Building Materials*, 35:605-613.
- Gürer, C. and Karavaşin, M. (2014). Sathi kaplama agregalarının adezyon özelliklerinin araştırılması, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 1-11.
- Gürer, C., Korkmaz, B., Yarıcı, Ş. And Rahmany, M. (2019). Sıcak agrega ile sathi kaplama uygulamasının araştırılması, *Afyon Kocatepe University Journal of Science and Engineering*, 401-409.
- Hanson, M. F. (1935). Bituminous Surface Treatment of Rural Highways Proceedings. *New Zealand Society of Civil Engineers, Volume 21.*
- Herrin, M., C. R. Marek, and Majidzadeh, K. (1968). *Surface Treatments: State-of-the-Art. Highway Research Board. Special Report 96.*
- Hunter, R. N. (2000). *Asphalts in Road Construction (first edition)*. London: Thomas Telford Publishing,
- Jayawickrama, P. W. and Thomas, B. (1997). *Correction of Field Skid Measurements for Seasonal Variations in Texas. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No 1639, TRB, National Research Council, Washington, D.C.*
- Kandhal, P. S. and Motter, J. B. (1987). *Criteria for Accepting Precoated Aggregates for Seal Coats and Surface Treatments. Final Report. Pennsylvania Department of Transportation. Research Project 83-19*
- Karavaşin, M., Gürer, C., Saltan, M., Taciroğlu, M. and Uz, V. (2016a). Investigation of chip seal performance under cold climate conditions. *Sci Eng Compos Mater*, 649-658
- Karavaşin, M., Gürer, C., Saltan, M. and Aktaş, B. (2016b). Effect of aggregate embedment on chip seal retention performance, *6th Eurasphalt&Eurobitume Congress, Prague.*
- Kearby, J. P. (1953). Theories on Penetration Surfaces Proceedings. *Highway Research Board, Volume 32.*

- Kim, Y. and Adams, J. (2012). *Development of A New Chip Seal Mix Design Method, Submitted To The North Carolina Department of Transportation Research Project No. HWY-2008-04*
- Kumbarger, Y., Boz, İ., Kutay, M. and Heidelberg, A. (2020). A study on the effects of aggregate shape and percent embedment on chip seal performance via image-based finite element analysis. *International Journal of Pavement Engineering*, 21(8):1002-1011.
- McLeod, N. W. A. (1969). General method of design for seal coats and surface treatments. *Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists*, (38):537-630.
- New Zealand Transport Agency (NZTA) (2005). *Chipsealing in New Zealand*. <https://www.nzta.govt.nz/resources/chipsealing-new-zealand-manual/chipsealing-in-new-zealand.html> (30.12.2022).
- Omar, H., Yusoff, N., Mubarak, M. and Ceylan, H. (2020). Effects of moisture damage on asphalt mixtures. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 7(5): 600-628.
- Read, J., and Whiteoak, D. (2003). *The Shell Bitumen Handbook*. Fifth Edition. Shell Bitumen, Thomas Telford Publishing. London, UK. ISBN: 072773220.
- Roberts, C., and Nicholls, J.C. (2008). *Design Guide for Road Surface Dressing*. Sixth Edition. TRL, Berkshire, UK.
- Shen, A., Zhai, C., Guo, Y. and Yang, X. (2018). Mechanism of adhesion property between steel slag aggregate and rubber asphalt, *Journal of Adhesion Science and Technology*, 32(24):2727-2740.
- Shuler, S. (1990). Chip seal for high traffic pavements. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, TRB, National Research Council*, 1259:24-33.
- T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) (2008). *Beton ve Beton Malzemeleri Laboratuvar Deneyleri*, Ankara.
- T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) (2013). *Karayolları Teknik Şartnamesi*, Ankara.
- T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) (2021). *Bitümlü Karışımlar Laboratuvar El Kitabı*, Ankara.
- The Asphalt Institute (1964). Asphalt Surface Treatment and Asphalt Penetration Macadam. Manual Series, No. 13 (MS-13) (First edition).*
- Uz, V. and Gökalp, İ. (2017). Comparative laboratory evaluation of macro texture depth of surface coating with standart volumetric test methods, *Construction and Building Materials*, 139:267-276.

- Wei, M., Wu, S., Cui, P., Yang, T. And Lv, Y. (2020). Thermal exchange and skid resistance of chip seal with various aggregate types and morphologies, 2020 By The Authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland
- You, L., You, Z., Dai, Q., Xie, X., Washko, S. and 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.



## ÖZGEÇMİŞ

