

T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**SATHİ KAPLAMALARDA ASFALT VE MERMER ATIĞI MALZEMELERİN
KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÖNER AŞMA

TEZ DANIŞMANI
DR. ÖĞR. ÜYESİ HASAN BOZKURT

İKİNCİ TEZ DANIŞMANI
PROF. DR. MURAT KARACASU

BİLECİK, 2022

10447448

T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**SATHİ KAPLAMALARDA ASFALT VE MERMER ATIĞI MALZEMELERİN
KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÖNER AŞMA

TEZ DANIŞMANI
DR. ÖĞR. ÜYESİ HASAN BOZKURT

İKİNCİ TEZ DANIŞMANI
PROF. DR. MURAT KARACASU

BİLECİK, 2022

10447448

BEYAN

“Sathi Kaplamalarda Asfalt ve Mermer Atığı Malzemelerin Kullanımının Araştırılması”, adlı yüksek lisans tezi hazırlık ve yazımı sırasında bilimsel ahlak kurallarına uyduğumu, başkalarının eserlerinden yararlandığım bölümlerde bilimsel kurallara uygun olarak atıfta bulunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, tezin herhangi bir kısmının Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

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

Öner AŞMA

Tarih

İmza

ÖN SÖZ

Bu tez çalışmasında tez sürecim boyunca destekleyen, değerli bilgilerini esirgemeyen çalışmamı sahiplenerek takip eden danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Hasan BOZKURT'a değerli katkı ve emekleri için teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Tez çalışmasının deneysel çalışmaları aşamasında değerli bilgileri ve tecrübelerini aktaran Sayın Prof. Dr. Murat KARACASU'ya, çalışmamın son haline gelmesindeki değerli katkılarından dolayı teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Tez çalışması sürecinde katkıda bulunan değerli bilgilerini paylaşmakta esirgemeyen Karayolları 14. Bölge müdürlüğü 144. Şube Şefi Bahtiyar KÜÇÜKALKAN'a, deneylerinin yapım aşamalarında yardımcı olan Karayolları 14. Bölge müdürlüğü Ar-Ge Başmühendisi Adem YEŞİL'e, Üstyapı geliştirme şefi Menekşe Söğüt SEKBAN'a, Araştırma teknisyeni Kadir ODACI'ya teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Yoğun iş tempomda ve yüksek lisans tezi sürecinde ihmal ettiğim süre boyunca anlayış sınırlarını sürekli zorladığım, sabrını taşırdığım ama hiçbir aşamada beni yalnız bırakmayan yoluma ışık olan çok değerli eşim Aynur AŞMA'ya maddi ve manevi desteğini esirgemediği için sonsuz teşekkür ederim.

Tez çalışması boyunca hep ihmal ettiğim ama her gördüğünde şirinlikleriyle stresimi alan canım oğlum Asaf AŞMA'ya bu günlere ulaşmamdaki emekleri adına değerli babama, anneme ve kardeşlerime, ayrıca Ecra Nur ve Sena'ya sonsuz teşekkür ederim.

Öner AŞMA

ÖZET

SATHİ KAPLAMALARDA ASFALT VE MERMER ATIĞI MALZEMELERİN KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI

Ülkemizde ve Dünya da en çok uygulaması yapılan yol üst yapısı olan sathi kaplama kayma direnci yüksek düzgün bir yüzey sağlamaları, ekonomik oluşları, hızlı yapım teknikleri ile trafiğe çabuk açılmaları ve ilk yapım maliyetlerinin düşük olmasından dolayı geçmişten günümüze tercih edilen granüler temel üzerine yapıldığı gibi birçok özelliği ile ön plana çıkmaktadır. Türkiye, Yeni Zelanda, Avustralya, İngiltere ve Güney Afrika ülkelerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Ülkemizde yük ve yolcu taşımacılığı büyük bir oranla Karayolu ulaşımı çok yüksek oranlara ulaşmıştır. Ülkemizde 68.633 km yol ağının 37.922 km’lik önemli bir kısmını sathi kaplamalı yollar oluşturmaktadır. Sathi kaplamalar bitümlü sıcak karışım kaplamalar üzerine iyileştirme ve koruyucu amaçlı olarak da yaygın bir şekilde kullanılan kaplamalardır. Sathi kaplama uygulamaları bazı durumlarda beklenen hizmet ömründen çok daha kısa sürede bozulmakta ve yenileme ihtiyacı ülke ekonomisine önemli zararlar vermektedir.

Bu çalışma kapsamında farklı türden dört agrega (asfalt freze kırığı, bazalt, mermer atığı, kireçtaşı) ve üç bağlayıcı (B50/70, B10/150, B160/220) kullanılarak sathi kaplama tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu karışımlar 4 farklı sıcaklık ve değişen (%25-%50-%75) oranlarda atık malzemeler katılarak sathi kaplama performansları araştırılmıştır

Deney sonuçlarında agregaların ısıtılması ve farklı oranlarda karışım yapılması adezyon performansına olumlu etki yaptığı gözlenmiştir. Mermer atığı agregaların bazalt agregaları ile karışımlarında Vialit yapışma deneyinde 120 °C’ de 100-150 penetrasyon ve 160-220 penetrasyon bitümde %100 adezyon gösterdiği, Nicholson soyulma deneyinde 50-70 penetrasyon bitümde %25 soyulmadan kalan agrega yüzdesini artırmıştır. Bundan sonraki çalışmalarda diğer üst yapı teknolojilerinde olduğu gibi yeni gelişmeler ve ülkemizde yapılan uygulamalardan alınan tecrübeler ışığında sathi kaplama uygulamaları her zaman geliştirilmeye açık olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Sathi Kaplama, Geri Dönüşüm, Adezyon

ABSTRACT

INVESTIGATION USE OF ASPHALT AND MARBLE WASTE IN CHIP SEALS

Chip seals, which is the most applied road superstructure in our country and in the world, has many features such as providing a smooth surface with high slip resistance, being economical, opening to traffic quickly with fast construction techniques and low initial construction costs, such as being made on granular foundation, which has been preferred from the past to the present. stands out with. It is widely used in Turkey, New Zealand, Australia, England and South African countries.

Road transportation has reached a very high rate in our country, with a large proportion of freight and passenger transportation. In our country, a significant portion of 37,922 km of the 68,633 km road network consists of surface coated roads. Surface coatings are coatings that are widely used for improvement and protection on bituminous hot mix coatings. Surface coating applications sometimes deteriorate in a much shorter time than the expected service life and the need for renewal causes serious damage to the country's economy.

Within the scope of this study, a surface coating design was made using four types of aggregates (asphalt milling fracture, basalt, marble waste, limestone), and three different types of binders (B50/70, B10/150, B160/220). The surface coating performances of these mixtures were investigated by adding waste materials at 4 different temperatures and varying (25%-50%-75%) ratios.

In the test results, it was observed that heating the aggregates and mixing at different rates had a positive effect on the adhesion performance. In the mixtures of marble waste aggregates with basalt aggregates, in the Vialit adhesion test, 100-150 penetration and 160-220 penetration at 120 °C showed 100% adhesion in bitumen, and in the Nicholson test, 50-70 penetration increased the percentage of unpeeled aggregate in bitumen by 25%. In future studies, as in other superstructure technologies, surface coating applications will always be open to development in the light of new developments and experiences from the applications made in our country.

Keywords: Chip Seal, Recycling, Adhesion

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖNSÖZ.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
TABLolar LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
GRAFİKLER LİSTESİ.....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışma Özeti.....	1
2. SATHİ KAPLAMALAR	3
2.1. Türkiye’de Sathi Kaplama Durumu	3
2.2. Sathi Kaplama Tipleri	4
2.2.1. Tek Katlı Sathi Kaplama	4
2.2.2. Çok Katlı Sathi Kaplama.....	5
2.2.3. Kum Örtme Tabakası	5
2.3. Sathi Kaplamanın Performansına Etki Eden Faktörler	5
2.4. Sathi Kaplamada Kullanılan Malzeme Özellikleri	6
2.4.1. Sathi Kaplamada Kullanılan Agrega ve Özellikleri.....	6
2.4.2. Bitümlü Malzemeler ve Özellikleri	9
2.4.2.1. Astar Olarak Kullanılacak Bitümlü Malzemeler	9
2.4.2.2. Kaplama İçin Kullanılacak Bitümlü Malzemeler	9
2.5. Sathi Kaplamada Kullanılan Ekipmanlar	10

2.5.1. Distribütör	10
2.5.2. Agrega Sericiler	12
2.5.3. Temizleme Ekipmanı	13
2.5.4. Silindirler	14
2.6. Sathi Kaplama Dizaynı	15
2.6.1. Tek Kath Sathi Kaplama Dizaynı	17
2.6.1.1. Bitümlü Bağlayıcı Miktarının Belirlenmesi	17
2.6.1.2. Agrega Miktarının Belirlenmesi	20
2.6.2. Çift Kath Sathi Kaplama Dizaynı	21
3. LİTERATÜR ÇALIŞMASI	22
4. MATERİYAL YÖNTEM.....	28
4.1. Materyal	28
4.2. Yöntem	28
4.2.1. Agrega Deneyleri	28
4.2.1.1. Granülometri Analizi	28
4.2.1.2. Los Angeles Deneyi.....	28
4.2.1.3. Yassılık İndeksi Deneyi	29
4.2.1.4. İri Agrega Özgül Ağırlık ve Su Emme Deneyi	31
4.2.1.5. Agrega Birim Hacim Ağırlık Deneyi	32
4.2.1.6. Donma Çözünme Deneyi	32
4.2.1.6.1 . Normal Donma Çözünme Deneyi	33
4.2.1.6.2. Donma Çözünme Deneyi (MgSO ₄)	33
4.2.2. Bitüm Deneyleri	35
4.2.2.1. Penetrasyon Deneyi	35
4.2.2.2. Yumuşama Noktası Deneyi	35
4.2.2.3. Parlama Noktası Deneyi	36

4.2.2.4. Bitümün Özgöl Ağırlık Deneyi	37
4.2.3. Karışım Deneyleri	38
4.2.3.1. Vialit Metodu Yapışma Deneyleri (TS EN 12272-3)	38
4.2.3.2. Nicholson Soyulma Deneyleri (TS EN 12697-11)	39
4.2.4. Birim Maliyet Hesabı	40
5. ARAŞTIRMA VE BULGULAR	43
5.1. Agrega Deney Sonuçları	43
5.1.1. Granülometre Analizi Sonuçları	43
5.1.2. Los Angeles Aşınma Deneyleri Sonuçları	43
5.1.3. Yassılık İndeksi Deneyi Sonuçları	44
5.1.4. İri Agrega Özgöl Ağırlık ve Su Emme Deneyleri Sonuçları	45
5.1.5. Agrega Birim Hacim Ağırlık Deneyleri Sonuçları	46
5.1.6. Donma Çözünme Deneyleri Sonuçları	46
5.1.6.1. Normal Donma Çözünme Deneyi Sonuçları	46
5.1.6.2. Kimyasal İle Donma Çözülme Deneyi Sonuçları	46
5.2. Bitüm Deneyleri Sonuçları	47
5.3. Karışım Deneyleri Sonuçları.....	48
5.3.1. Vialit Yapışma Deneyleri (TS EN 12272-3)Sonuçları	48
5.3.2. Nicholson Soyulma Deneyleri (TS EN 12697-11) Sonuçları	54
6. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER	56
KAYNAKÇA	58
EKLER	61

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1. Satış Cinsine Göre Yol Ağı Km	4
Tablo 2.2. Sathi Kaplama Gradasyonları.....	7
Tablo 2.3. Çift Kat Sathi Kaplama Tipleri	7
Tablo 2.4. Agregâ Özellikleri	8
Tablo 2.5. Astar Bağlayıcı Malzemeler ve Püskürtme Sıcaklıkları	9
Tablo 2.6. Sathi Kaplamada Kullanılacak Bitümlü Bağlayıcı Tipleri.....	10
Tablo 2.7. Taşıt Hızı ve Taşıt Eşdeğerlik Faktörü.....	17
Tablo 2.8. Şerit Dağıtma Faktörü	18
Tablo 2.9. İklim Düzeltmesi	19
Tablo 2.10. Yüzey Doku Sınıfı	19
Tablo 2.11. Mevsim Faktörü Seçim Tablosu	21
Tablo 2.12. Agregâ Miktarı Hesaplama Formülleri	21
Tablo 4.1. Yassılık İndeksi Numune Miktarları	30
Tablo 4.2. Agregânın Özgöl Ağırlık Hesaplama Yöntemi	32
Tablo 4.3. Donma Çözünme Deneyi Numune Miktarları	34
Tablo 4.4. KGM/4102/B Pozu Analizi Agregâ Gruplarına Göre	41
Tablo 4.5. KGM/6540 Pozu Analizi Agregâ Gruplarına Göre	42
Tablo 5.1. Elek Analizi Sonuçları	43
Tablo 5.2. İri Agregâ Özgöl Ağırlıkları	45
Tablo 5.3. Agregâ Birim Hacim Ağırlıkları	46
Tablo 5.4. Bitüm Deney Sonuçları	48
Tablo 5.5. Vialit Deneyine Tabii Tutulan Sathi Kaplama Agregâ Dizaynları	49
Tablo 5.6. Örnek Adezyon Miktarı Hesabı	50

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Tek Kat Sathi Kaplama Kesiti.	5
Şekil 2.2. Çok Katlı Sathi Kaplama Kesiti	5
Şekil 2.3. Asfalt Distribütörü	11
Şekil 2.4. Asfalt Serici	13
Şekil 2.5. Ön Süpürge	14
Şekil 2.6. Lastik Tekerlekli Silindir	15
Şekil 2.7. Sathi Kaplamada Agregaların Bitüm İçerisine Gömülmesi	16
Şekil 4.1. Los Angeles Deney Aşamaları	29
Şekil 4.2. Yassılık İndeksi Agrega Numuneleri	30
Şekil 4.3. İri Agrega Deney Aşamaları	31
Şekil 4.4. Agrega Birim Hacim Ağırlık Deney Aşamaları	32
Şekil 4.5. Asfalt Kırığı Donma Çözünme Deney Aşamaları	33
Şekil 4.6. Kimyasal Yolla Deney Aşamaları	34
Şekil 4.7. Penetrasyon Deney Aleti	35
Şekil 4.8. Yumuşama Noktası Deney Aleti	36
Şekil 4.9. Parlama Noktası Tayini Deney Aleti	37
Şekil 4.10. Özgül Ağırlık Piknometresi	38
Şekil 4.11. Vialit Deneyi Aşamaları	39
Şekil 4.12. Nicholson Soyulma Deneyi Aşamaları	40

GRAFİKLER LİSTESİ

	Sayfa No
Grafik 2.1. Temel Bitüm Miktarı Belirleme Abağı	18
Grafik 2.2. Yüzey Dokusu Düzeltmesi İçin Seçim Grafiği	20
Grafik 5.1. Los Angeles Deney Sonuçları	44
Grafik 5.2. Yassılık İndeksi Deney Sonuçları	45
Grafik 5.3. Su Emme Yüzdeleri	46
Grafik 5.4. Donma Çözünme Deney Sonuçları	47
Grafik 5.5. %100 Agrega Deney Sonuçları	50
Grafik 5.6. %75 Asfalt Kırığı Karışımlarının Adezyon Değerleri	51
Grafik 5.7. %50 Asfalt Kırığı Karışımlarının Adezyon Değerleri	51
Grafik 5.8. %75 Mermer Atığı Karışımlarının Adezyon Değerleri	52
Grafik 5.9. %50 Mermer Atığı Karışımlarının Adezyon Değerleri	53
Grafik 5.10. 40 °C En İyi Karışım Serilerinin Adezyon Miktarları Yüzdesi	53
Grafik 5.11. Sıcaklık Değerine Göre En İyi Karışım Adezyon Miktarları Yüzdesi	54
Grafik 5.12. Soyulmadan Kalan Agrega Yüzdeleri	55

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

%: Yüzde

η : Şerit Dağıtma Faktörü

°C: Santigrat Derece

Δ i: İklim Düzeltmesi

Δ y: Yüzey Dokusu Düzeltme Faktörü

AASHTO: American Association Of State Highway And Transportation Officials

ABD: Amerika Birleşik Devletleri

AK: Asfalt Kırığı

AR-GE: Araştırma Geliştirme

ASTM: American Society For Testing And Materials

B_a: Şerit Başına Düşen Dizayn Bitüm Bağlayıcı Miktarı

BT: Bazalt Kırığı

BS: British Standart

BSK: Bitümlü Sıcak Karışım

B_t: Temel Bitüm Miktarı

DA: Dekar

EBO: En Küçük Boyutlar Ortalaması

F_m: Bitüm Faktörü

GR: Gram

H: Taşıt Hızı

İ: Trafik Yönü Sayısı

KG: Kilogram

KGM: Karayolları Genel Müdürlüğü

KT: Kireçtaşı

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ (Devam)

KTŞ: Karayolları Teknik Şartnamesi

LA: Los Angeles

MA: Mermer Atığı

Md: Dizayn Agregası Miktarı

OB: Agregası Boyutu

PEN: Penetrasyon

PG: Bitüm Performans Sınıfı

PVC: Poli Vinil Klorür

R: Kalıntı Bitüm Oranı

R: Kalıntı Bitüm Oranı

SK: Sathi Kaplama

ŞEGT: Şerit Başına Düşen Eşdeğer Yıllık Ortalama Günlük Trafik

T: Ton

T_{8,2}: Toplam Standart Dingil Yüğü Tekerrür Sayısı

TEF: Taşıt Eşdeğerlik Faktörü

TS EN: Türk Standartları Enstitüsü

UK: Birleşik Krallık

Yg: Agregası Gevşek Birim Hacim Ağırlığı,

YI: Yassılık İndeksi

YOGT: Yıllık Ortalama Günlük Trafik

1. GİRİŞ

Sathi kaplamalar (SK) ülkemizde ekonomik nedenlerden dolayı karayolları ağında yaygın olarak kullanılan kaplama türüdür. Karayollarının ülkemiz yol ağı hedeflerinde bitümlü sıcak karışım (BSK) kaplamaların son yıllarda hızlı bir şekilde gelişip büyümesine rağmen sathi kaplama ülkemizde uzun yıllar önemini korumaya devam edecektir. Ülkemizin yolcu taşımacılığında %93,6'sı, yük taşımacılığının %88,3'ü karayolu ile yapılmaktadır (MFA, 2021; KGM, 2020:7-8).

Sathi kaplamalar granüler temel tabakası üzerine püskürtülen yapıştırıcı veya astar tabakası üzerine tek veya çift kat serilip, lastik tekerlekli silindir ile sıkıştırılan ekonomik asfalt kaplama türüdür. Sathi kaplama bu durumları yerine getiremediği zaman servis ömrünü tamamlamış kabul edilir. Ülkemizde yapılan sathi kaplama imalatlarının bazılarında çok iyi performans elde edilirken, bazı kesimlerde kısa süre içinde sathi kaplamada bozulmalar görülmekte, bu bozulmalar kısa süre içinde sathi kaplama imalatlarının yenilenmesine sebep olmaktadır. Bu tür durumlarda sathi kaplamanın yüksek bakım onarım maliyetlerine neden olmaktadır. Sathi kaplama türleri yapılırken gerek proje gerekse imalat esnasında sathi kaplama performansına etki eden iklim koşulları, ağır trafik hacmi vb. birçok parametre mühendisler ve uygulayıcılar tarafından konforlu doğru malzemeler seçimi iyi yapılmalı yolun yapım aşamasında yapıştırıcı seçiminde, gerekse yolun bakım onarım esnasında bu etkenler göz önüne alınmalıdır. Ülkemizde sathi kaplama uygulamaları proje süresince 8,2 tonluk standart dingil yükünün toplam tekrür sayısı ($T_{8,2}$) 3.000.000'dan küçük olan yollarda yüzey kaplaması olarak kullanılır.

Bu çalışmada asfalt kırığı(AK), bazalt kırığı (BT), mermer atığı (MA) ve kireçtaşı(KT) agregaların B50/70 penetrasyon (PEN.), B100/150pen. ve B160/220pen. bitüm cinsinde 0 santigrat derece (°C), 80 °C ve 120 °C' sıcaklıklarda agregaların farklı oranlarda karıştırılması ile laboratuvarda yapılan sathi kaplama yapımında kullanılan agregalar üzerine agrega deneyleri ve bitüm numuneleri üzerine bitüm deneyleri gerçekleştirilmiş, ayrıca laboratuvar ortamında TS EN 12272-3 Vialit yapışma ve TS EN 12697-11 Nicholson soyulma deneyleri yapılarak agregaların adezyonları hakkında araştırmalar yapılmıştır.

1.1. Çalışma Özeti

Giriş bölümünde çalışmanın amaç ve kapsamı anlatılmış sathi kaplamanın ülkemizdeki yeri ve öneminden bahsedilmiştir. İkinci bölümde Sathi kaplamalar konusu hakkında detaylı bir literatür özeti verilmiştir. Sathi kaplama dizaynları, performansı ve

uygulama süreçlerinden bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde sathi kaplama üzerine literatürde yapılmış çalışmalar verilmiştir. Dördüncü bölümde tez çalışmasında kullanılan agregaların temini ve temin edildiği yerler, laboratuvar da yapılan deneylerde kullanılan teknik ve yöntemlere ait bilgiler verilmiştir. Beşinci bölümde laboratuvar da yapılan agrega, bitüm ve karışım deneylerine ait bulgular grafiklerle verilmiş, sonuçlar karşılaştırılmalı olarak tartışılmıştır. Son olarak altıncı bölümde genel sonuçlar ve öneriler özetlenerek sathi kaplama üzerine yapılan sonraki çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.



2. SATHİ KAPLAMALAR

Sathi kaplama 1920’li yıllarda Yeni Zelanda’da uygulanmaya başlanan esnek üstyapı yöntemi ve bakım amaçlı kullanılan düşük trafik akımı olan yollarda maliyeti düşük kolay serilebilen esnek kaplama tipidir (Gürer vd., 2019: 402).

Bu tür kaplamaların belli başlı özellikleri şu şekilde sıralanabilir:

- Düşük ve orta dereceli yollarda uzun ömürlü ve ekonomik yüzeyler sağlamak,
- Yüzeydeki suların alt tabakalara sızmasını engelleyerek yolun ömrünü artırmak,
- Yaşlanmış eski asfalt kaplama tabakalarını onarmak,
- Zamanla trafik yükleri altında cıllanmış yol yüzeylerini yenilemek,
- Trafik hacminin düşük olduğu yollarda toz kontrolü sağlamak,
- Kayma direnci yüksek yüzeyler elde etmek,
- Mevcut kaplamanın estetik görünüşünü geliştirmek (Arıkan, 1997: 11).

Sathi kaplama avantajlarının yanında dezavantajları da vardır.

Bunlar:

- Tekerlek ile kaplama arasındaki sürtünmeden dolayı fazla gürültü,
- Sürtünme kuvvetinin fazla olmasından dolayı işletme giderleri yüksektir,
- Sürüş konforu BSK kaplamalara göre nispeten düşüktür,
- Zamanla yüzeyde olan agrega kopmalarının taşıtlar tarafından sıçratılması sonucu arkadaki taşıtlara zarar verebilmektedir,
- Bakım onarım maliyetleri nispeten daha yüksek,
- Sık aralıklarla yenilenmesi,
- Taşıma kuvveti olmadığından ağır tonaj olan yollarda yapımı uygun değildir.

2.1. Türkiye’de Sathi Kaplama Durumu

Yol standartlarının ve konforun her geçen gün ilerlediği zamanda, ülkemizde ekonomik sebeplerden dolayı özellikle il yollarında sathi kaplama tercih sebeplerindendir (Gürer, 2010: 8). Türkiye’de Karayolları Genel Müdürlüğü’nün (KGM) sorumluluğunda olan yaklaşık 68 633 km olan yol ağının 27 230 km BSK, 37 922 km’si sathi kaplama, 288 km parke yol, 344 km stabilize yol, 412 km toprak yol ve 2437 km diğer yollardan oluşmaktadır. Tablo 2.1’de 01.01.2021 tarihi itibarıyla Türkiye’de devlet, il ve köy yollarının satıl cinsine göre yol ağı km verilmektedir.

Tablo 2.1. Sath Cinsine Göre Yol Ağı km

Kaplama Tabakası	Toprak	Stabilize	Parke	Sathi Kaplama	Asfalt Beton	Diğer Yollar	Toplam
İl Yolları	412	322	243	25.878	5.136	2.145	34.136
Devlet Yolları	-	22	45	12.044	18.571	292	30.974
Otoyol	-	-	-	-	3.523	-	3.523
Toplam	412	344	288	37.922	27.230	2.437	68 633

Kaynak: (KGM, 2021)

2.2. Sathi Kaplama Tipleri

Sathi kaplama, aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir (Çabuk, 2010: 57).

1- Bitüm ve agregadan oluşan sathi kaplama:

- Tek katlı sathi kaplama,
- Çok katlı sathi kaplama,
- Kum örtme tabakası.

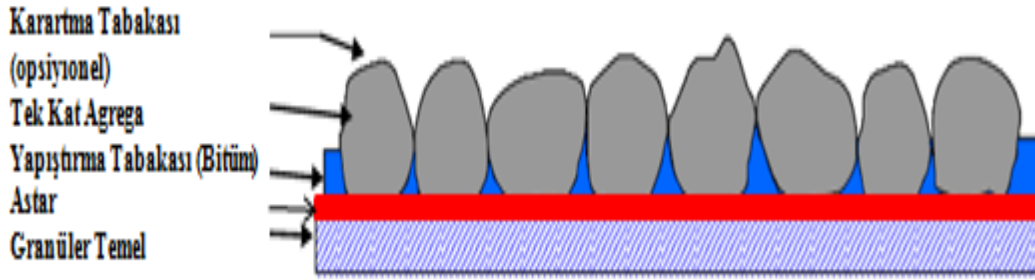
2- Sadece bitüm ile yapılan kaplamalar

- Astar tabakası,
- Toz örtme tabakası,
- Yapıştırma tabakası,
- Karartma örtüsüdür.

3- Bitüm emilsiyonlu harç tipi kaplamalardır.

2.2.1. Tek Katlı Sathi Kaplama

Herhangi bir yol sathına tek tabaka bitümlü malzemenin serpilmesinin peşi sıra boyutlarının mümkün mertebede aynı olduğu gradasyondaki agregaların serpilmesi ile oluşan sathi kaplama tabakasıdır. Maliyet olarak en ucuz sathi kaplama tabakasıdır. Trafik akımının düşük ve orta hacimli yollarda daha çok tercih sebeplerindendir (Sarıoğlu, 2019:10).

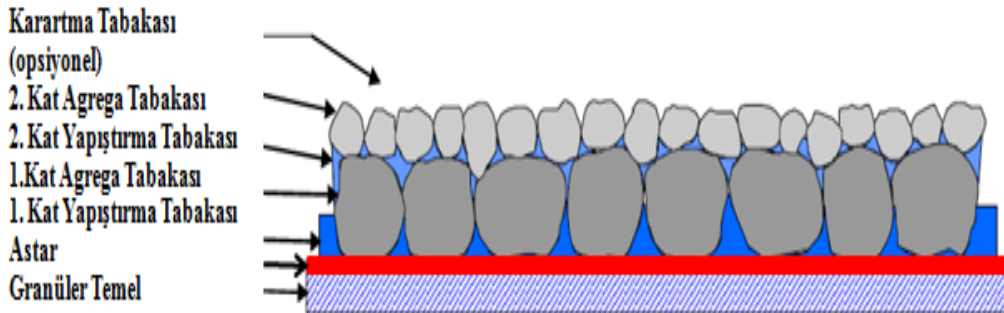


Şekil 2.1. Tek Kat Sathi Kaplama Kesiti

Kaynak: (Sarioğlu, 2019:11)

2.2.2. Çok Katlı Sathi Kaplama

Bu tür kaplamalar iki ya da daha fazla sathi kaplamak tabakalarının üst üste yapılmasıyla meydana gelir. Tek katlı sathi kaplamalara göre dayanıklılığı ve su geçirimsizliği daha fazladır. Trafik hacminin çok olduğu ve eğimli güzergâhlar da tercih edilir. Ülkemizde en fazla olarak kullanılan sathi kaplama tek ve çift katlı sathi kaplamalardır (Sarioğlu, 2019:11).



Şekil 2.2. Çok Katlı Sathi Kaplama Kesiti

Kaynak: (Sarioğlu, 2019:11)

2.2.3. Kum Örtme Tabakası

Bu tabaka, bitüme bulanmış ince agregaların yoldaki kaymaya karşı direnci artırmak ve hava ve su sızmalarının alt tabakalara geçmesini önlemek amacıyla tek tabaka sathi kaplama yapım yöntemine göre uygulanır.

2.3. Sathi Kaplamanın Performansına Etki Eden Faktörler

Sathi kaplama ömür-döngü maliyetleri ve performansına bağlı olarak bazı parametrelere bağlıdır. Bu parametreler:

Trafik; Agregaların eski yol yüzeyine gömülmesi oranını belirleyen faktör şerit üzerinde geçen ticari araç sayısına bağlıdır. Ticari araç boş ağırlığı 1,5 tondan fazla olan taşıtlar yol yüzeyine agregaların gömülmesini belirler. Ağırlığı 1,5 tondan az olan taşıtların sathi kaplamalarda agregaların gömülmesi üzerine etkisi fazla değildir.

Mevcut yol yüzeyi; Yol yüzeyinin sertliği ve şeridi kullanan ticari araçların sayısı agregaların yol yüzeyine batması ile orantılıdır. Asfalt film tabaka kalınlığı eski yüzey geçirgen bir yapıda ise bağlayıcının alt tabakalara geçmesi sonucu azalır.

Agrega tipi ve boyutu; Agregalar çabuk gömülmeyecek kadar küçük ve taşıtların oynatabileceği kadar büyük olmaması gerekir. Dayanıklı ve cilalanmaya karşı dirençli özelliklere sahip agrega olmalıdır.

Bitümlü bağlayıcı; Agregaların serim aşamasında yeterli vizkozitede olmalı ve çatlakları kapatarak alttaki tabaka ile aderansı sağlamalıdır. Trafiğe açıldığında agregaların yerinden sökülmesini önleyecek ve uzun süreli düşük sıcaklıklarda bitüm çatlamamalıdır.

Bitümlü bağlayıcının yayılma oranı; Bitümlü bağlayıcı oranı agregaların yeteri kadar yapışmasını sağlayacak miktarda olmalıdır. Fazla olan bitümlü bağlayıcı agregalar arasında olan boşlukları doldurarak yüzey dokun derinliğini azaltmaktadır.

Çevre koşulları; Yolun bulunduğu yerdeki iklimine, trafik hacmine ve yolun konumuna bağlıdır. Sathi kaplamaların yapıldığı aydaki hava şartlarına ve trafiğe açıldığı koşullardan etkilenir. Bağlayıcı performansı havanın açık ve korumalı yerde köprü altları ve ağaç gölgelerinde etkilenmektedir. Taşıtların kavşak ve kavşak kollarında ani fren yapmaları agregaların sökülmesine neden olmaktadır. Ayrıca rampalarda yol üzerine gelen yük artarak agregaların gömülmesini artırmaktadır.

2.4. Sathi Kaplamada Kullanılan Malzeme Özellikleri

Sathi kaplama yapımında kullanılan malzemeler agrega ve bitümdür.

2.4.1. Sathi kaplamada kullanılan agrega ve özellikleri

Agregalar temiz, yüzeyi pürüzlü, dayanıklı ve sağlam, kırılmış çakıl veya kırma taş danelerinden oluşmalıdır. Agregalar içinde kil, zararlı ve organik maddeler agregaya sarılmış halde olmamalıdır. Agregalar içinde yumuşak ve dayanıksız parçalar bulunmamalıdır. Tablo 2.2’de 2013 yılında yayınlanan Karayolları teknik şartnamesine (KTŞ) uygun agrega gradasyonları verilmiştir (KGM, 2013: 403-1).

Tablo 2.2. Sathi Kaplama Gradasyonları

Elekler	% Geçen				
Elek Çapı (mm - inç)	A -Tipi	B -Tipi	C -Tipi	D -Tipi	E -Tipi
25 mm (1 ¹¹)	100	100			
19 mm (3/4 ¹¹)	0 – 20	90 – 100	100		
12,5 mm (1/2 ¹¹)	0 – 10	0 – 20	90 – 100	100	
9,5 mm (3/8 ¹¹)		0 – 10	0 – 20	90 – 100	100
6,3 mm (1/4 ¹¹)					90 – 100
4,75 mm (No.4)	0 – 2	0 – 2	0 – 2	0 – 20	60 – 85
2,0 mm (No.10)				0 – 2	0 - 2

Kaynak: (KTŞ, 2013: 403-1)

T_{8,2} 500.000'den fazla olan yollarda çift katlı imalat yapılacak olup projelendirilmesi Karayolları üstyapı projelendirme rehberine göre yapılacaktır.

Temel ya da plentmiks temeller üzerine inşa edilen sathi kaplama imalatlarında A ve B tipi mıcırlar kullanılır.

Sürtünme kuvvetini artırmak, mevcutta olan kaplamaların proje süresini artırmak için yapılan sathi kaplama imalatlarında yol eğimi, trafik özellikleri ve yol yüzey durumuna göre A,B,C ve D tipi agregaların gradasyonları dikkate alınır.

İki kat olarak yapılacak sathi kaplama uygulamalarında ikinci katmanda kullanılacak mıcır boyutunun, birinci katta kullanılan agrega gradasyon boyutunun yarısından büyük olmamalıdır. Uygulanacak çift kat sathi kaplama tipi tablo 2.3'de belirtilen kesit tiplerinden birine uygun olmalıdır.

Tablo 2.3. Çift Kat Sathi Kaplama Tipleri

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

Kaynak: (KTŞ, 2013:403-2)

Temel tabakası üzerine iki kat sathi kaplama imalatlarında çift kat sathi kaplama yapımı için “Tip-1” veya “Tip-2” gradasyonlarından birisi uygulanacaktır.

Agregaların üretimi sırasında 200 m³ biri geçmeyecek şekilde gradasyon limitlerine bakılarak şartname sınır limitlerinde olup olmadığı kontrol edilmelidir.

Agrega taş ocağında hazırlanmış ise kırılmışlık şartı aranmayacaktır.

Agrega tablo 2.4’de belirtilen fiziksel ve mekanik özellikleri sağlamalıdır.

Agregaların yıkanmış, temiz ve bitüme yapışmasına engel teşkil etmeyecek şekilde kuru, tozlardan arındırılmış olmalıdır. Agregaların tozlu ve kirli olması bitüm agregası arasında olan adezyon kuvvetini azaltarak agregası soyulmalarına sebep olmaktadır.

Mıcırlar yol boylarında depo edildikleri durumlarda agregaların tozdan korunması için gerekli önlemler alınmalıdır. (KGM, 2013: 403-1).

Tablo 2.4. Agregası Özellikleri

Deney	Şartname Limiti	Deney Standardı
Kırılmışlık, ağırlıkça, % (Tüm yüzeyi kırılmış- tüm yüzeyi yuvarlak)	$\geq 80 - \leq 0$ ($C_{80/0}$)	TS EN 933-5
Parçalanma Direnci (Los Angeles), % Kayıp	≤ 30 (LA_{30})	TS EN 1097-2 ^a AASHTO T-96
Aşınma Direnci (Micro Deval) ^b , % Kayıp	≤ 25 (M_{DE25})	TS EN 1097-1
Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık (Donma Deneyi, $MgSO_4$ ile), % Kayıp	≤ 18 (MS_{18})	TS EN 1367-2
Cırlanma Değeri	≥ 40 (PSV_{40})	TS EN 1097-8
Yapışma Deneyi (Vialit Metodu ile) Düşen micir sayısı, %	≤ 10	EK-B
Soyulma Mukavemeti (Bitüm Kaplı Yüzey), %, (24 saat 60 °C suda bekletmeden sonra	≥ 60	TS EN 12697-11 (EK-A)
Yassılık İndeksi, %	≤ 25	BS 812
	≤ 20 (FI_{20})	TS EN 933-3 ^a
Kil Topakları ve Ufalanabilir Tane Oranı, %	$\leq 0,3$	ASTM C 142 AASHTO T 112
Su Emme, %	$\leq 2,5$ ($WA_{242.5}$)	TS EN 1097-6 (Madde 8)

^a Referans metot.

^b Gerek görüldüğünde yapılacaktır.

^c Parantez içindeki ifade, şartname değerinin TS EN 13043’deki sınıfını gösterir.

Kaynak: (KTŞ, 2013:403-3)

2.4.2. Bitümlü malzemeler ve özellikleri

2.4.2.1. Astar Olarak Kullanılacak Bitümlü Malzemeler

Temel tabakası üzerine serilen düşük viskoziteli bitüm ve bitüm türevleri uygulamasına astar tabakası denir.

Astar malzemesi olarak TS EN 15322 (Türk Standartları Enstitüsü) ve TS EN 13808 de belirtilen standartlara uygun olması istenir. Sathi kaplama tabakası bitümlü temel tabakası üzerine yapılırsa ayrıca astar tabakası uygulanmayacaktır. Tablo 2.5’de belirtilen bağlayıcılardan birisi kullanılacaktır.

Tablo 2.5. Astar Bağlayıcı Malzemeler ve Püskürtme Sıcaklıkları

Astar Bağlayıcı Cinsi	Tipi	Püskürtme Sıcaklığı °C	Standardı
Fm 2 B 2	Katbek Bitümleri	30-50	TS EN 15322
Fm 2 B 3			
C50B9-4	Katbek Bitüm Emülsiyonları	20-70	TS EN 13808
C50B9-5			
C55B9-4			
C55B9-5			
C60B9-4			
C60B9-5			

Kaynak: (KTŞ, 2013:403-4)

Yukarıda verilen astarlar haricinde idare onay verdiği durumlarda bitüm katkıları ile modifiye edilip veya düşük uçucu içerikli su bazlı emülsiyonlar da kullanılabilir.

2.4.2.2. Kplama İçin Kullanılacak Bitümlü Malzemeler

Sathi kaplama uygulamalarında kaplama yapımında kullanılacak bitümlü malzemeler TS EN 12591 veya TS EN 13808 standardına uygun bağlayıcılar kullanılacaktır. Kullanılan bitümlü bağlayıcı Karayolları bitüm seçim haritasına uygun olarak seçilecektir. Tablo 2.6’da sathi kaplama uygulamalarında kullanılacak bitümlü bağlayıcıların tipleri verilmiştir.

Tablo 2.6. Sathi Kaplamada Kullanılacak Bitümlü Bağlayıcı Tipleri

Bitümlü Bağlayıcı Malzemesi	Tipi	Standardı
C60B2-3, C60B2-4, C60B2-5 C65B2-3, C65B2-4, C65B2-5	Katyonik Bitüm Emilsiyonu	TS EN 13808 Tablo 400
C60BP2-3, C60BP2-4 C65BP2-3, C65BP2-4	Katyonik Modifiye Bitüm Emilsiyonu	TS EN 13808
B 70/100, B 100/150, B 160/220	Penetrasyon Sınıfı Bitümler	TS EN 12591

Kaynak: (KTŞ, 2013:403-4)

2.5. Sathi Kaplamada Kullanılan Ekipmanlar

Sathi kaplama uygulamalarının uzun süre hizmet vermesi için zamanında bakım ve kalibrasyonlarının yapılması ve uygulama yapan personellerin eğitimli olması gerekmektedir. Genel olarak sathi kaplama uygulamalarında 4 temel donanımına ihtiyaç vardır (Aktaş, 2012: 60).

Bunlar:

- Distribütörler
- Asfalt sericiler
- Silindirler
- Temizleme ekipmanı

2.5.1. Distribütör

Sathi kaplama uygulamalarında kullanılan ekipmanlar arasında daha fazla donanıma sahip makinelerdir. Üzerinde bulunan parçalar çok önem arz etmekte ve operatörünün makinenin donanımına ve kumanda kontrol elemanlarını kullanımına yeteri bilgiye sahip olması gerekmektedir. Şekil 2.3’de Karayolları 14. Bölge müdürlüğüne bağlı bir asfalt distribütörü gösterilmektedir.

Asfalt distribütörü genel olarak; asfalt tankı, ısıtma sistemi, devir daim ve pompalama sistemi, spreyl bar, filtreleme sistemleri, kontrol paneli ve el spreylinden oluşmaktadır.



Şekil 2.3. Asfalt Distribütörü

Kaynak: (KGM 14. Bölge Müdürlüğü)

Asfalt tankı

Kapasiteleri kamyonların tipi ve ihtiyaca göre değişen tanklar genel olarak 4,0-8,0 ton (t) arasında taşıma kapasitesine sahiptirler. Tankın içerisinde olan malzemenin havadan etkilenmemesi ve sıcaklığını koruması için ısı yalıtım sistemi iyi olması gerekmektedir. Tank üzerlerinde en az 35 °C – 200 °C sıcaklığı gösteren genellikle civa termometreler bulunmaktadır. Eğer tankın ısı izolasyonu yeterli değilse tankın içindeki malzeme soğumaya başlayarak yüzeye uygulanması zorlayacaktır.

Isıtma Sistemi

Sathi kaplama uygulamalarında sıcaklık ayarı çok önemlidir. Sıcaklığın aynı seviyede tutulması için sürekli düzgün çalışacak sisteme ihtiyaç vardır. Distribütörün boyu ve tipine göre bir ya da iki adet brülör bulunmaktadır. Brülörler asfalt tanklarının arka kısmına monte edilmiş ve direk tankın içine ısıtma kanalına alev püskürterek ısıtma işlemini gerçekleştirmektedir. Isıtma işlemi bağlayıcıların türü, hava sıcaklığı ve bağlayıcının kullanılma süresine bağlıdır.

Dönüşüm Pompası ve Pompalama Sistemi

Asfalt tanklarında bulunan bitüm ve bitüm türevlerini yol sathına püskürtmek amacıyla pompa sistemine ihtiyaç vardır. Genelde tankların arka kısımlarına monte edilen

bağımsız bir motor sisteminden bazen de aracın kendi motorundan almaktadırlar. Dönüşüm pompası elemanlarının fonksiyonları:

- Tank içerisinde bulunan bağlayıcıyı basınçlı şekilde yol sathına püskürtülmesini sağlar.
- Bağlayıcının tank içerisinde sürekli karışımını sağlamak.
- Sprey bar içerisinde bağlayıcının tanka geri basılmasını sağlamak.
- Fazla kalan bağlayıcının tanktan dışarıya atılmasını sağlamak.
- Tanklar arasında bağlayıcının geçişini sağlamak.

Filtreleme Elemanları

Genel olarak tanktan gelen ve sprej arasında olan boruda filtre bulunmaktadır. Bu filtre asfalt tanklarından gelen katı bağlayıcı ve yanık asfaltın sprej barlara gelerek püskürtme uçlarının tıkanmasını önler. Filtreler belirli aralıklarla yerinden çıkarılıp bakımı yapılmalıdır.

Püskürtme Ucu

Püskürtme uçları asfaltın yol yüzeyine projeye uygun oranda püskürtülmesini sağlayan yapılardır. Sathi kaplamalarda kullanılan sprej barların genelinde 3,5 metre genişliğinde sprej barlar kullanılır. Püskürtme uçları üzerinde 10 cm aralıklarla yerleştirilmiş püskürtme uçları bulunur. Püskürtme uçları belirli aralıklarla bakımı yapılmadığı zaman bağlayıcının tıkalı püskürtmelerinden akmasına sebep olur.

2.5.2. Agregat Sericiler

Agregat sericiler bitüm distribütörüne göre ikinci önem taşıyan makinedir. Sathi kaplamalarda bağlayıcının üzerine mıcırı üniform olarak agregat örtüsü uygulamaktadır.

Agregat sericiler öncelikli üç tipten oluşur. Birincisi agregat kamyonunun arkasına bağlı olup tekerlekler üzerinde bir serici, ikincisi doğrudan agregat kamyonun arka kapağına takılı serici, üçüncü tür ise agregat kamyonunu çeken ve yayma operasyonunu kendi yapan motorlu sericilerdir.

Kullanılan her üç agregat sericisinin kalibrasyonu yapılmalı ve imalatçı kitapçığına uyulmalıdır. Agregat sericilerin doğru kullanılması durumunda agregaların üniform olarak serme işlemini yaparak agregat kaybını da önlemektedir (Çabuk, 2010: 63). Şekil 2.4'de agregat kamyonunu çeken motorlu serici gösterilmektedir.



Şekil 2.4. Asfalt Serici

Kaynak: (KGM 14. Bölge Müdürlüğü)

2.5.3. Temizleme Ekipmanı

Sathi kaplama yapılacak satihın temiz olması bağlayıcının agrega ile yapışmasını kolaylaştırmaktadır. Bu sebepten dolayı asfalt bağlayıcının yol sathına püskürtmeden önce temizlenmesi gerekir. Süpürgelerin temiz hava ölçütü ve yola yapışan kalıplaşmış malzemeleri kaldırmak için suyla yıkanmaya ihtiyaç duyulabilir. Kaplama tabakası yapılmadan önce kullanılan ön süpürgeli veya traktör arkalarına bağlanan süpürgeler kullanılabilir fakat kaplama tabakası yapıldıktan sonra kür işlemleri bittikten sonra agrega kaybını sebep olmayacak sadece yüzeydeki serbest agregayı alacak hafif süpürge kullanılmalıdır. Sathi kaplamalarda en fazla kullanılan traktör tarafından çekilen lastik tekerlekli döner süpürgelerdir (Yücel, 2011: 15). Şekil 2.5’de kamyon önüne takılan ön süpürge görülmektedir.



Şekil 2.5. Ön süpürge

Kaynak: (KGM 14. Bölge Müdürlüğü)

2.5.4. Silindirler

Agregaların serildikten sonra silindirler vasıtasıyla agregaların yassı kısımları altta gelerek bağlayıcı içerisine gömülmesini sağlar. Sathi kaplamalarda pnömatik silindirler kullanılması tavsiye edilir. Lastik tekerlekli silindirler agreganın bağlayıcı içine yerleşmesine zorlamakta ve agregaların kırılmasını önleyerek yüzeydeki düzgünleşmeyi sağlamaktadır. Böylelikle yol sathının trafik altında bozucu etkisi azalır. Silindirleme işleminin bir ya da iki pas atması yeterlidir. Geçiş işlemi artırılır ise yumuşak ve ufak agregaların kırılmasına sebep olup segregasyona yol açmaktadır. Demir bandajlı silindirler agregaları kırıdıkları ve lastik izi olduğu yerlerde silindirleme işlemini yeteri kadar yapamadığından tercih edilmemektedir (Türkyılmaz, 2007: 100). Şekil 2.6’da lastik tekerlekli silindir gösterilmektedir.



Şekil 2.6. Lastik Tekerlekli Silindir

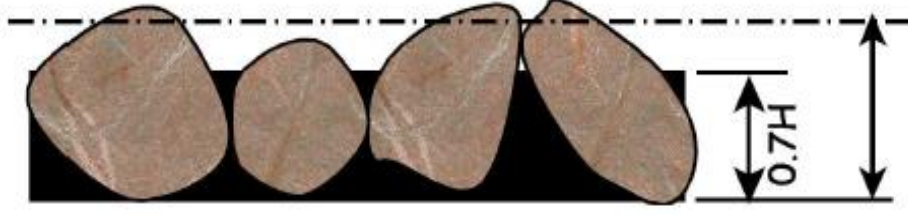
Kaynak: (KGM 14. Bölge Müdürlüğü)

2.6. Sathi Kaplama Dizaynı

Sathi kaplama dizayn metodları incelendiğinde 1934 yılında Yeni Zelanda’da Hanson tarafından geliştirilmiştir. Daha sonra 1953 yılında özellikle Amerika Birleşik Devletleri (ABD) Teksas eyaletinde Kearby metodu geliştirilmiştir. Sathi kaplama dizaynı daha sonraki yıllarda Hanson metodunu esas alarak 1963’de Birleşik Krallık (UK), 1969’da Mcleod, 2005’de Yeni Zelanda, 2006’da Avustralya ve 2007’de Güney Afrika metotları geliştirilmiştir.

Hanson metodunu esas alarak ortaya çıkan diğer metotların ortak özelliği Hanson metodunda ortaya konan Agregat En Küçük Boyutlar Ortalaması (EBO), boşluk yüzdesi ve trafik etkisi altında agregaların batma miktarı dikkate alınmıştır. Sathi kaplamaların beklenen performansı gösterebilmesi için agregaların gradasyonunun mutlak derecede üniform olması ve imalattan sonra yapılan silindirme işleminde agregaların bağlayıcı içerisine EBO’nun en az %30’u, kalan yüzde %60-70’i oranında gömülmesini de trafik yükleri altında gömülmesidir. EBO’nun %30’un altında olduğu durumda sökülmeler, %70’in üzerinde

olduğunda kumlar meydana gelmektedir. Şekil 2.7’de sathi kaplama imalatlarında agregaların bitüm içerisine EBO’nun %70’i oranında gömülmesini göstermiştir.



Şekil 2.7. Sathi Kaplamada Agregaların Bitüm İçerisine Gömülmesi

Kaynak: (KGM, 2020: 7)

Birleşik Krallık metodu ülkemizde uzun yıllar dizaynlarda kullanılmıştır. Dizayn konusunda KGM Araştırma geliştirme (AR-GE) çalışmaları doğrultusunda ülkemiz koşullarına bu metodun agrega ve bitüm miktarlarını tam olarak yansıtmamasından revize edilmiştir. Yapılan revize ile birlikte mevcut literatüre 3 temel değişiklik getirilmiştir.

1. Bitümlü sathi kaplamalarda ilk defa eşdeğer trafik ve taşıt eşdeğerlik faktörleri (TEF) kavramları getirilmiştir.
2. Yeni abak metodu geliştirilerek Temel bitüm miktarı (B_t) belirlenmiştir.
3. Grafik yöntem geliştirilerek yüzey dokusu etkisini kullanımı iyileştirilmiştir.

Bu dizayn metodunda agrega şekli ve yüzey bitüm absorpsiyonu, bitüm miktarını belirlemede ihmal edilebilir miktarda olduğundan dikkate alınmamıştır. Dizayn metodu aşağıdaki adımları takip etmektedir.

1. Yassılık indeksi (YI) ve EBO bulunur.
2. Her bir trafik şeridi için “Şerit başına düşen eşdeğer yıllık ortalama günlük trafik (YOGT), (10 Tonluk standart kamyon trafiği) (ŞEGT)” hesaplanır.
3. EBO ve ŞEGT miktarları abak yardımıyla belirlenir.
4. Uygulama dizaynında düzeltme faktörleri kullanılarak bitüm bağlayıcı miktarları belirlenir.
5. Sathi kaplama tabakalarında kullanılacak agrega miktarları, gevşek birim ağırlık ve EBO değerleri ile tespit edilir (KGM, 2020: 6).

2.6.1. Tek Katlı Sathi Kaplama Dizaynı

2.6.1.1. Bitümlü Bağlayıcı Miktarının Belirlenmesi

Uygulama yapılırken ilk önce agrega boyutu (OB) bulunur. Sathi kaplama dizaynında agregaların yassılık oranlarına bağlı olan EBO bulunur. Yassılık indeksi ve OB kullanılarak, EBO denklem 2.1 yardımıyla bulunur.

$$EBO = \frac{OB}{1.139285 + 0.011506 * YI} \quad (2.1)$$

Burada;

YI : Yassılık indeksi, %

EBO bulunduktan sonra Karayolları üstyapı projelendirme rehberinde belirtilen formüller doğrultusunda ŞEGT değeri denklem 2.2 kullanılarak elde edilir.

$$\text{ŞEGT} = \sum \frac{-YOGT * TEF * H * \eta}{i} \quad (2.2)$$

Burada;

YOGT: Şerit başına düşen eşdeğer yıllık ortalama günlük trafik

ŞEGT: 10 Tonluk standart kamyon trafiği

h: Taşıt hızı

TEF: Taşıt eşdeğerlik faktörü

η : Şerit dağıtma faktörü

i : Trafik yönü sayısı

Tablo 2.7. Taşıt Hızı ve Taşıt Eşdeğerlik Faktörü

Taşıt grubu	H	TEF
Otomobil	1.1	0.1
Orta Yüklü Ticari Taşıt	1.3	0.5
Kamyon	1.8	3
Otobüs	1.6	2.5
Treyler	2.0	6

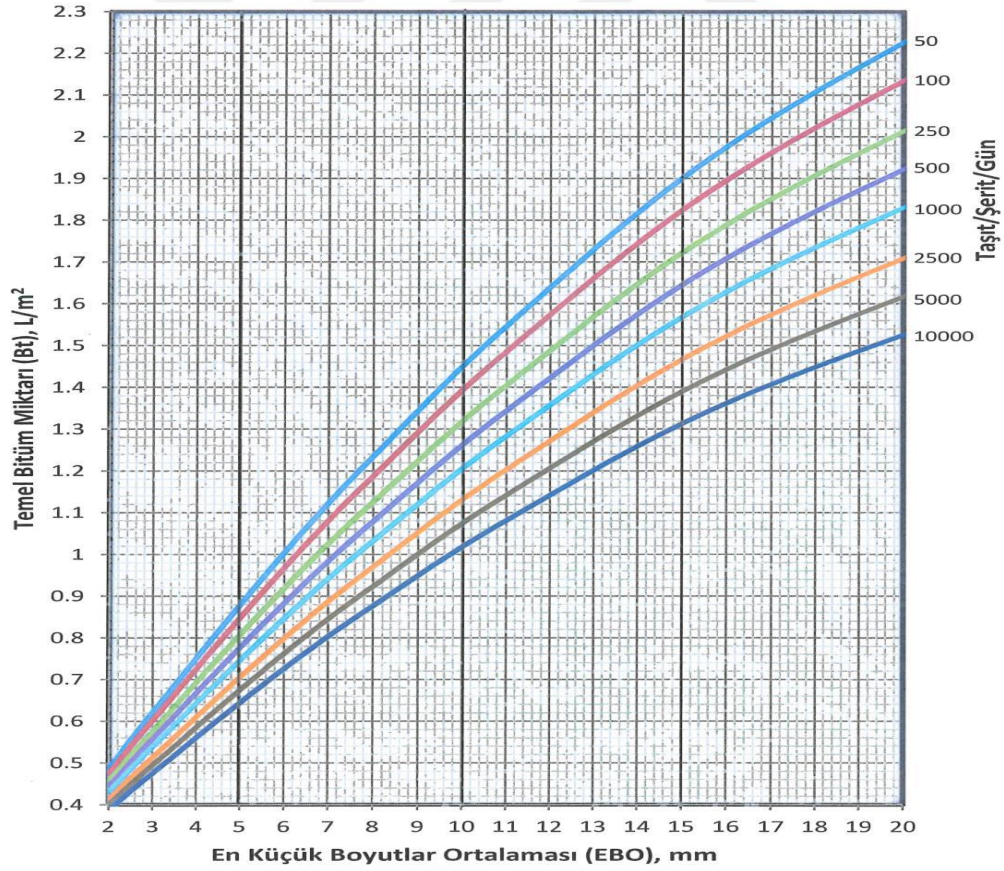
Kaynak: (KGM, 2020: 13)

Tablo 2.8. Şerit Dağıtma Faktörü (η)

Taşıt grubu	η					
	Aynı yöndeki şerit sayısı					
	1	2		3		
	Tek şerit	Sağ şerit	Sol şerit	Sağ şerit	Orta şerit	Sol şerit
Otomobil	1	0.1	0.9	0.05	0.35	0.6
Orta Yüklü Ticari Taşıt	1	0.2	0.8	0.1	0.6	0.3
Kamyon	1	0.85	0.15	0.70	0.25	0.05
Otobüs	1	0.8	0.2	0.5	0.4	0.1
Treyler	1	0.9	0.1	0.8	0.15	0.05

Kaynak: (KGM, 2020:13)

ŞEGT değeri bulunduktan sonra EBO kullanılarak grafik 2.1 yardımıyla her şerit için B_t bulunur. İklim şartlarının sathi kaplama yollarda öneme sahip olduğundan tablo 2.9'da verilen iklim düzeltme faktörü ile bitüm performans sınıfı (PG) belirlenir.

**Grafik 2.1. Temel Bitüm Miktarı Belirleme Abağı****Kaynak:** (KGM, 2020:14)

Tablo 2.9. İklim Düzeltmesi

Temel bitüm performans sınıfı (PG)*	70-16	64-16	64-22	64-28	58-16	58-22	58-28
İklim düzeltmesi, Δ , L/m ²	-0.10	-0.06	-0.03	0	0	0.03	0.06

*: PG, eğim, trafik hacmi ve diğer düzeltmeler dikkate alınmadan sadece meteorolojik sıcaklık verileri ile belirlenen bitüm sınıfıdır.

Kaynak: (KGM, 2020: 15)

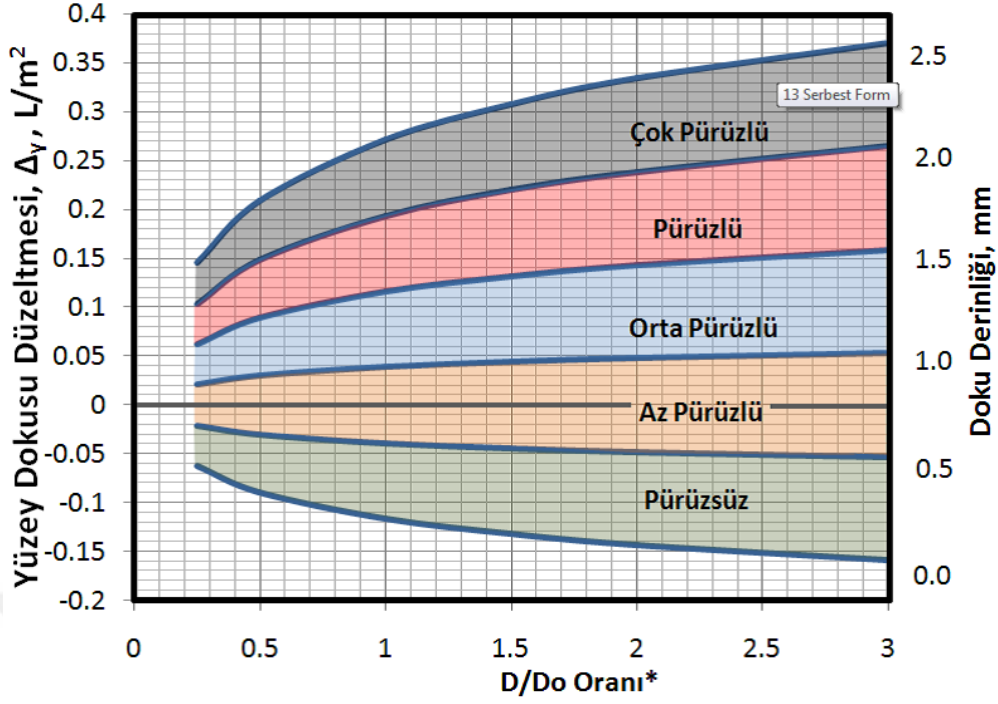
Sathi kaplamalarda bağlayıcı miktarını yüzey pürüzlülüğü' de etkilemektedir. Pürüzlü yüzeylerde bağlayıcının fazla püskürtülmesi, pürüzsüz yüzeylerde bağlayıcının azaltılması gerekmektedir. Tablo 2.10'da kaplamaların mevcut yüzeyin yüzey dokusu sınıfı makro doku derinliğine göre verilmiştir.

Tablo 2.10. Yüzey Doku Sınıfı

Yüzey dokusu sınıfı	Doku derinliği, mm
Pürüzsüz	<0.5
Az pürüzlü	0.5-1.0
Orta pürüzlü	1.0-1.5
Pürüzlü	1.5-2.0
Çok pürüzlü	>2.0

Kaynak: (KGM, 2020:16)

Sathi kaplama uygulamasında kullanılan agregaların maksimum dane boyutu ve yol yüzeyindeki maksimum dane boyutu dikkate alınarak yüzey dokusunda düzeltme faktörü (Δ_y) belirlenir. Grafik 2.2'de yüzey dokusu düzeltmesi için grafik verilmiştir.



* D: Sathi kaplama agregası maksimum dane boyutu,
Do: Mevcut yüzey agregası maksimum dane boyut

Grafik 2.2. Yüzey Dokusu Düzeltmesi İçin Seçim Grafiği

Kaynak: (KGM, 2020:16)

B_t , Δ_1 , Δ_y ve bitüm faktörü (F_m) belirlendikten sonra denklem 2.3 yardımıyla şerit başına düşen bitümlü bağlayıcı miktarı (B_d) bulunur (KGM, 2020: 17).

$$B_d = 100 \frac{B_t.F_m + \Delta_i + \Delta_y}{R} \quad (2.3)$$

Burada;

R: Kalıntı bitüm oranı, %

2.6.1.2. Agreganın Miktarının Belirlenmesi

Tek kat sathi kaplamalarda agrega miktarları denklem 2.4 ve 2.5 yardımıyla bulunmaktadır.

Mevcut da bulunan yol yüzeyi astarlı temel tabakası ise;

$$M_d = \frac{EBO \cdot yg}{1000} \quad (2.4)$$

Diğer durumlarda;

$$M_d = \frac{EBO \cdot yg}{950} \quad (2.5)$$

Burada;

Md: Dizayn agrega miktarı, kg/m²

γg: Agreganın gevşek birim hacim ağırlığı, kg/m³

2.6.2. Çift Katlı Sathi Kaplama Dizaynı

Proje ömrü süresince hesaplanan şeritlerde t_{8,2} 500.000'den büyük olan yollarda çift kat sathi kaplama kaplama dizaynı yapılır. Çift kat yapılan sathi kaplama dizaynı sıralama şeklinde verilmiştir.

1. Birinci kat için bitümlü bağlayıcı miktarı belirlenir. Birinci kat sathi kaplama dizaynında belirlenen bağlayıcı miktarı %15 azaltılarak denklem 2.6 yardımıyla bulunur.

$$Bd1 = 100 \frac{0,85.Bt1.Fm + \Delta i + \Delta y}{R} \quad (2.6)$$

2. İkinci Kat bağlayıcı miktarı belirlenir. Bağlayıcı miktarı belirlenirken yüzey dokusu ve iklim düzeltilmesi yapılmadan denklem 2.7 yardımıyla bulunur.

$$Bd2 = 100 \frac{Bt2.Fm}{R} \quad (2.7)$$

Çift kat sathi kaplama yapılırken mevsim faktörü seçim tablosu 2.11'de verilmiştir.

Tablo 2.11. Mevsim Faktörü Seçim Tablosu

Mevsim Koşulları	Mevsim Faktörü, K _m	
	1.Kat	2.Kat
Soğuk Mevsim Koşulları	0.4	0.6
Ilıman Mevsim Koşulları	0.5	0.5
Sıcak Mevsim Koşulları	0.6	0.4

Kaynak: (KGM, 2020: 21)

3. Agrega miktarı belirlenir. Tablo 2.12'de çift kat sathi kaplama uygulamalarında agrega miktarları belirleme formülleri verilmiştir.

Tablo 2.12. Agrega Miktarı Hesaplama Formülleri

Mevcut Yüzey	Agrega Uygulama Miktarı, kg/m ²	
	1.Kat	2.Kat
Diğer Durumlar	$Md = \frac{EBO.yg}{900}$	$Md = \frac{EBO.yg}{800}$
Astarlı Durumlar	$Md = \frac{EBO.yg}{950}$	$Md = \frac{EBO.yg}{850}$

Kaynak: (KGM, 2020: 21)

3. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Sarioğlu (2019), yapmış olduğu tez çalışmasında Isparta ilinin çevresindeki kırsal yol kesimlerinin yapısal durumunu ele almışlardır. Ülkemizin yolcu ve yük taşımacılığının büyük kısmı karayolu ile sağlanmaktadır. Karayolların imalatları sırasında oluşabilecek küçük hatalar can ve mal kayıplarına sebep olmaktadır. Sathi kaplama ilk yapım maliyetinin ucuz olmasından dolayı tercih edilme sebeplerindendir. Belirlenen noktalarda farklı mevsimlerde DCP, LWD VE GPR deney aletleri ile ölçümler yapılmıştır. DCP üstyapıların arazi dayanımlarını bulmada etkili olan test aletidir. LWD deney aleti birden fazla tabakaya sahip düşük hacimli yol üstyapılarının performans ve yapısal özelliklerinin değerlendirilmesinde kullanılan deney aletidir. düşük hacimli, birden fazla tabakaya sahip olan yol üstyapılarının yapısal özelliklerinin değerlendirilmesinde ve performans takibinde kullanılır. GPR deney aleti kaplama kalınlıkları bulmada kullanılan deney aletidir. GPR ile 600 mhz ve 1600 mhz frekanslarda yol boyunca ölçümler alınmış tabakalarda oluşan bozulmalar ve tabaka kalınlıklarını gözlemlemiştir. Yapılmış olan tez çalışmasında sathi kaplama tabakalarının zamanla sıkışma durumu, CBR özellikleri, elastite modülü değeri, kaplama tabakasının görüntü değişimi ve tabaka derinlikleri araştırılmıştır. Tabakalardan alınan karot GPR da incelenmiş ve DCP deneyinde olan sonuçlarla uyum içerisinde olduğu anlaşılmıştır. LWD deney aleti ile yapılan deney sonucunda farklı mevsim ve hava koşullarında elastisite modülünün azaldığı defleksiyon değerinin arttığı gözlenmiştir. Elastite modülünün azalmasıyla esneklik artmış ve yollarda kalıcı şekil değişimlere sebep olmuştur.

Gürer (2010), yapmış olduğu tez çalışmasında on dört farklı sathi kaplama güzergahı belirlenerek belirli aralıklarla makro doku ölçümleri, kayma-sürtünme ölçümleri, sathi kaplama yoğunluk, mevsimsel deformasyon ve elastisite modülü değişimleri, temel ve alttemel CBR değişimleri, yüzey sıcaklıkları ve tabaka kalınlıkları deneyler ile ölçümlemiştir. Her güzergahta alınan numuneler laboratuvarında incelenmiş fiziksel ve mekanik özellikleri belirlemişler. Agregat numunelerine Vialit deneyi, Modifiye yapışma deneyi ve soyulma deneylerini yapmışlardır. Sathi kaplama ekonomik olduğundan Türkiye karayollarında yaygın kullanılmaktadır ve performansına birçok parametre etki etmektedir. Türkiye'nin değişken iklim koşulları, zorlu topoğrafyası ve trafik hacmi ele alınınca çok farklı performanslar görülmektedir. Bu performansların kimi zaman beklenen kısa sürede düştüğü ve servis ömrünün kısa sürede yenilenmesine sebep olmaktadır. Bu çalışmanın sonucunda belirlenen güzergahlarda TCK tarafından ölçülen trafik hacmi değerleri, Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınan iklim verileri ve yerinde yapılan deneyler ile sathi kaplamalarda etkili

olan parametreler için performans modeli geliştirmişlerdir. Yapılan çalışmada yerinde yapılan deney sonuçlarına göre bozulmalar en yoğun sağ şeritlerde olduğu görmüşlerdir. Sathi kaplamalarda oluşan bozulmalardan makro doku kaybı ön plana çıkmıştır. Soğuk iklim bölgelerinde trafik hacminin az olduğu noktalarda 160/220 pen. bitümle yapılan sathi kaplama tabakaların yüzey sıcaklıklarının yumuşama noktasına ulaşmış ve kuma probleminin ortaya çıktığını gözlemlemişlerdir. Eğimli güzergahtaki sathi kaplama ağır trafik hacminin sökölme bozulmalarına sebep olduğunu görmüşlerdir.

Aktaş (2012), yapmış olduğu tez çalışmasında BSK kaplamalar üzerine yapılan iyileştirici ve koruyucu sathi kaplama araştırmıştır. Bu çalışma doğrultusunda Afyonkarahisar–Sivrihisar istikametindeki D260-03 numaralı bsk kaplamalı yol üzerinde sekiz farklı özellikte koruyucu ve iyileştirici sathi kaplama yapılmıştır. Yapılan imalatlar KGM ekipleri tarafından iki yıl boyunca gözetim altında, makropürüzlölük, kayma direnci ölçümü, gözlemsel puanlama indeksi ve performansını takip etmişlerdir. İmalatlar sırasında bağlayıcı sıcaklığı, agregaların serilip silindirme işlemi yapıldıktan sonraki sıcaklıkları ölçölmüş, keçe ve tava deneyleri ile agrega ve bitüm miktarları tespit etmişlerdir. Agregaya ve bitümlere gerekli deneyler gerçekleştirilerek malzemeler hakkında fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiş yapışma deneyleri yapılmıştır. Sathi kaplama performans testleri hızlandırılmış sathi kaplama simölasyon cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Agregaların yüzey ve biçimsel özellikleri yüzey ve biçim analiz cihazı ile belirlemiş ve etkilerini araştırmıştır. Bu çalışma sonucunda yapılan deneme kesimlerinde deney ve gözlemler göz önüne alınarak asfalt betonu üzerine yapılan koruyucu ve iyileştirici sathi kaplama tabakalarına etki eden parametreler incelenmiş ve bozulma modeli geliştirilmiştir. Deneme kesimlerinde asfalt çimento bağlayıcı ve modifiye bağlayıcı kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan modifiye bağlayıcı ile yumuşama noktasının değerinin ve yapışma özelliklerinin artırılması agrega – bitüm adezyonunda daha iyi sonuçlar gösterdiği ve zamanla oluşacak kuma ve soyulma bozulmalarının gecikmesine katkıda bulunduğu görölümüştür. Bu çalışmada bazalt ve kireçtaşı agregası kullanılmıştır. Kullanılan bazalt ve kireçtaşı agregaların laboratuvarıda önceden deneylerinin yapılması gerekmektedir. Nitekim şartname aralığında olmayan agregalar kullanılmamalıdır. Yapılan test kesimlerinde dane boyutu 5.0, 10.0 ve 12.5 mm agrega kullanılmışlardır. Koruyucu tabakası olarak yapılan saplamalarda dinamik etkilere fazla maruz kalan agrega dane boyutunun artması soyulma problemlerine sebep olmaktadır. Bu çalışmada agregalar önceden bitüme bulanmış ve bu oran % 1,5 oranında olduğu daha fazlasının agregaların granöler formdan uzaklaştırıldığını gözlemlemiştir. Bu çalışmada ilk

defa bsk kaplama üzerine koruyucu sathi kaplama tabakası ile ilgili araştırma yapılmıştır. Yapılan deneme kesimleri ile kaplamanın bozulmaları modelleri oluşturulmuştur.

Rahmany (2019), yapmış olduğu tez çalışmasında bazalt, kireçtaşı ve dere agregası kullanılmışlar. Bağlayıcı olarak B50/70 ve B160/220 pen bitüme farklı oranlarda Poli Fosforik Asit katılarak modifiye edilerek dört farklı sıcaklıklarda ısıtılarak sathi kaplama yapışma performansı Vialit ve Nicholson soyulma deneyleri ile araştırılmıştır. Agregaların adezyon performansı birçok faktörden etkilenmektedir. Modifiye edilen bitümlerin yumuşama noktasının arttırdığını ve pen azaldığını gözlemlemişler. Bu tez çalışmasının sonucuna bakıldığında B160/220 pen bitümün B50/70 pen bitümden yapışma performansı daha iyi geliştiği gözlemlemişler. Poli Fosforik Asit katkısının adezyon performansında iyi sonuçlar verdiği anlaşılmıştır. Sıcaklığın sathi kaplama performansını iyileştirdiği anlaşılmıştır. Agreganın ısıtılmasının katılan katkıya göre daha yüksek performans gösterdiği yapılan Vialit deneyleri ile adezyon performanslarına olan etkileri desteklenmiştir. Kireçtaşı agregasının soyulma değerlerinin şartname değerlerini sağlamadığı yapılan Nicholson soyulma deneyleri ile görmüşlerdir. Bazalt ve dere agregalarının soyulma değerlerinin şartname değerlerini sağlamaktadır. Sathi kaplama imalatlarında adezyonun artması bakım onarım giderlerini azaltmasına ve sathi kaplama imalat sezonunun artmasına katkı sağlamaktadır. Literatürde yapılan çalışmalarda bazı kimyasalların adezyonu artırmada olumlu katkılar sunduğu anlaşılmaktadır.

Arıkan (1997), yapmış olduğu çalışmasında sathi kaplama kullanılan bazalt ve kalker agregasının B60/70 ve B150/200 pen bağlayıcılarla Lilamin AD-4F katkı malzemesi ve 90 °C, 120 °C ve 150 °C sıcaklıkta agregaya ile bitümlü bağlayıcı arasındaki adezyonun, katkı maddesi ve sıcaklık değişimlerine bağlı olarak değişimlerini su etkisi altında Vialit deneyi ile incelemiştir. Sathi kaplama imalatlarında en önemli faktör agregaya – bağlayıcı arasındaki yapışmadır. Genel olarak sathi kaplamalar ince püskürtülen bir bağlayıcının üzerine agreganın serilip silindire sıkıştırılarak oluşur. Tez çalışmasında kullanılan bitümlü bağlayıcılardan B150/200 pen bağlayıcının agregaya daha iyi yapışma sergilediği görülmüştür. Bu yapışmanın sebebi olarak B150/200 pen bağlayıcının ısıtma enerjisinin fazla olmasıdır. Tez çalışmasında kullanılan kalker ve bazalt agregalarının sonuçlarına bakıldığında katkısız olarak yapılan deneylerde sonuçların birbirine yakın çıktığı, katkılı bağlayıcılarda kalkerin yapışmasının daha iyi olduğunu anlamıştır. Yapılan deneyler sonucunda Lilamin AD-4F katkı maddesinin kullanılması agregaya – bağlayıcı arasındaki adezyonu artırdığı görülmüştür. Kimyasal katkıların maliyeti çok artırmadığı durumlarda kullanılması yapışmayı büyük

ölçüde artırdığı için kullanılması tavsiye edilir. Sıcaklık artığında agrega – bağlayıcı arasındaki yapışmanın daha iyi olduğu görülmüştür. Sathi kaplama çalışmalarında Türkiye’de ilk defa su altında yapılan sathi kaplama örnek teşkil eden çalışmanın uygulamada pilot bölge seçilip denenmesi önerilmiştir.

KGM (2020), tarafından yayınlanan sathi kaplama dizayn rehberine göre Türkiye’de yapılan ar-ge çalışmaları ve literatürdeki sathi kaplama dizaynları incelenerek Ülkemizin şartlarına uygun sathi kaplama ve bsk kaplamalar üzerine yapılan iyileştirici ve koruyucu sathi kaplama dizaynlarını kapsamaktadır. Sathi kaplama ilk olarak Yeni Zelanda’da 1934 yılında Hanson tarafından geliştirildiği görülmektedir. Araştırmalar sonucuna bakıldığında literatüre ilk defa tef, eşdeğer trafik, bitüm miktarı belirlemede yeni abak ve yüzey dokusu için grafik yöntem geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntemle sathi kaplama ülkenin değişen iklim şartları, ağır taşıt trafiği, şerit farkları, makro pürüzlülük ve mevsim faktörü göz önüne alınıp değerlendirilerek agrega miktarı ve bitüm miktarlarının belirlenmesi arazi şartlarının daha fazla ön planda tutularak dizayn yapılmıştır. Bu dizayn rehberi doğrultusunda başta karayolları ve diğer kamu kuruluşlarının sathi kaplama imalatlarında faydalı olacağı düşünülmektedir.

Karacasu ve Akalın (2020), araştırmalarında ilk yapım maliyeti düşük üstyapı kaplama tabakalarında sathi kaplama bitüm – agrega arasında olan ilişkisini incelemişler. Çevre kirliliği giderek artmakta olan ülkemizde doğada atıkların değerlendirilmesi başlı başına bir sorun haline gelmiştir. Yapılan bu çalışmada bazalt ve kireçtaşı agregaların performansını 50/70pen ve 70/100pen bitüme %10 lastik atığı ve %1 Polivinil Klorür (PVC) talaş katkılarının katılarak agrega – bitüm performansını Vialit ve Soyulma deneyleri ile araştırılmıştır. Sathi kaplama imalatların kısa sürede olması ve trafiğe erken açılmasından dolayı tercih sebeplerinden olmasına rağmen bsk kaplamalara göre çevresel şartlardan daha fazla etkilenmektedirler. Yapılan çalışmanın sonucuna bakıldığında agrega – bitüm adezyonun 50/70 pen bitümde kireçtaşı numunelerde, 70/100 PEN. bitümde bazalt numunelerde daha fazla adezyon görülmüştür. Kireçtaşı numunelerde adezyon performansının fazla olması agrega yapısının daha gözenekli olması ile açıklanabilir. Katkı olarak kullanılan atık ve PVC talaşlarının yapışmayı artırmaktadır. Bitümün atıklar ile modifiye edildiğinde kireçtaşı numunelerde daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Atık lastiklerin katkısı PVC talaşlarına oranla daha fazla olduğu anlaşılmıştır. Soyulma mukavemetlerine bakıldığında atık lastiklerin kireçtaşı numunelerde iyi performans gösterdiği, PVC talaşların soyulma mukavemetinde olumlu etkisi görülmemiştir. Çalışmanın sonucunda atık lastik kullanımının yaygınlaştırılması

evre kirliliğini önlemekte ve kaplama performansını artırarak dolaylı olarak trafik güvenliğini de artması sağlanacaktır.

Gürer ve Karaşahin (2014), yapmış oldukları araştırma çalışmalarında beş farklı agreganın bitümle olan adezyonunun temiz, tozlu ve nemli halleri kullanılarak laboratuvar ortamında Nicholson soyulma, Modifiye yapışma ve Vialit yapışma deneyleri ile incelemişlerdir. Sathi kaplama uygulamalarında adezyon büyük ölçüde performansa etki etmektedir. Agregas – bitüm arasında olan yapışma yeteri bağ kuvveti sağlanmaz ise agregaların yüzeyden kopmaların artmasına sebep olup sathi kaplama performansını azaltması ile sonuçlanır. Trafik etkisi ve yağmur sularının sathi kaplama agregası üzerinde bulunan bitüm filminin soyulmasına ve bunun sonucunda kaplama yüzeyinde agregas kopmalarına sebep olmaktadır. Yapılan araştırmada ülkemizin farklı bölgelerinden yapılan sathi kaplama kullanılmış 4 farklı bölgede alınan Kireçtaşı ve Andezitik Bazalt agregası bağlayıcı olarak 100/150 pen bitümle deneyler laboratuvar ortamında yapılarak değerlendirmeler yapılmıştır. Çalışmanın sonucuna bakıldığında volkanik agregaların yapışma ve soyulma davranışlarını olumsuz etkilediği anlaşılmıştır. Bu durum volkanik agregaların silis içeriği yüksek olduğundan kaynaklanmaktadır. Bu tür agregalar bitümün adezyonu artırıcı katkı ve kimyasallarla modifiye edilerek kullanılması önerilmektedir. Çalışmada tüm yapışma deneyleri göz önüne alındığında tozlu ve nemli agregaların adezyonu olumsuz etkilediği görülmektedir. Sathi kaplama imalatlarında toz agregas – bitüm arasındaki bağı zayıflattığından adezyonu neme oranla daha fazla olumsuz etkilemektedir. Doğal temiz agregaların yapışma dayanımlarının genel olarak daha iyi sonuçlar verdiğini görmüşlerdir. İncelenen literatür çalışmalarını değerlendirildiğinde toz sathi kaplama imalatlarında olumsuz etki ederek performansı azaltmaktadır. Bu tür çalışmalar farklı bitüm numuneleri kullanılarak sonuçlar genişletilebilir.

Gürer, Korkmaz, Yarcı ve Rahmany (2019) yaptıkları araştırma çalışmalarında kullanılan agregas ve bitümlü bağlayıcının adezyonunu artırmak amacıyla sathi kaplama imalatlarının maliyetlerini ciddi derecede artıran katkı maddelerinin veya modifiye bitümün kullanılmadan agregaların ısıtılarak kullanılmasını bu sayede sathi kaplama performansın artırıldığı ve sathi kaplama imalat sezonunun artırıldığı hedef alınmıştır. Ayrıca sathi kaplama imalatlarında sıcaklığın artırılması agregaların bitümle olan yapışma performansını artırarak bakım onarım maliyetlerinin azaltılması düşünülmektedir. Bu amaç doğrultusunda 12,5-19 mm aralığında kt, dere ve bazalt agregaları iki tür farklı bitüm ve sıcaklığın dört farklı şekilde değiştirilerek toplamda her Vialit yapışma deneyi için üçer numune alınarak toplamda doksan

numune üzerinde Vialit deneyi değerlendirmesi yapılmıştır. Çalışmanın sonucuna bakıldığında kullanılan her iki bağlayıcı numunesinin 100  C ve üzeri sıcaklığa kadar ısıtılmasının adezyonu olumlu etkilediği görülmüştür. Sathi kaplama imalatlarında yapışmanın artırılmasını kimyasal katkıları veya katkı maddelerinin kullanılarak maliyeti artırmak yerine adezyon problemlerinin bu tip uygulamalarda agregaların ısıtılmasının göz önüne alınması yararlı olabilir. Agreganın ısıtılmasının asfalt plentlerinde kolaylıkla yapıldığından herhangi bir özel makine ve teçhizata gerek kalmamaktadır.



4. MATERYAL YÖNTEM

4.1. Materyal

Çalışmada dört çeşit agrega kullanılmıştır. kireçtaşı kökenli agrega Karayolları 14. Bölge Müdürlüğü Yenişehir yolunda bulunan İncirli taş ocağından, Mermer atığı agregası Kütahya’da bulunan Lena madencilikten, bazalt agregası Kütahya Gökkuşuğu madencilikten asfalt kırığı Bozüyük – Bilecik arasında freze iş makinesinin aşınma ve binder tabakalarının sökülümünden temin edilmiştir. Çalışmada Karayolları 14. Bölge müdürlüğü AR-GE laboratuvarında temin edilen B50/70, B100/150 ve B160/220 bitüm kullanılmıştır. Kullanılan bitümler Tüpraş İzmir-Aliaga rafinerisi ve Tüpraş Kırıkkale rafinerisinden üretilmiş Karayolları 14. Bölge Müdürlüğü ar-ge laboratuvarına gelen numune bitümlerden temin edilmiştir.

4.2 Yöntem

Tez çalışmasında yapılan agrega ve bitüm deneylerinde bahsedilmiştir.

4.2.1. Agrega Deneyleri

Agrega deneyleri Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Ulaştırma laboratuvarında yapılmıştır.

4.2.1.1. Granülometri Analizi

Sathi kaplama performanslarını için en ideal durum kullanılan agregaların dane dağılımların tek boyutta olmasıdır. Ancak kullanılan agregalar ekonomik olmamakla beraber tek tip olması açısından mümkün olmadığından şartnamelerde agregaların belirli aralıklarda olması istenmektedir. Elek analizi yöntemiyle agrega gradasyonları belirlenmektedir. Bu çalışmada kullanılan agregaların elek analizi KTŞ (2013)’de sathi kaplama dizaynında belirtilen standarda göre deneye tabii tutulmuş sonuçlar granülometre eğrisinde verilmiştir (Aktaş, 2012: 103).

4.2.1.2. Los Angeles Deneyi

TS EN 1097-2 standardına göre yapılan deney aşınma ve darbelenme etkileri sonucu mineral agreganın standart gradasyonunun bozulmasının ölçümü deneyidir. Deney aleti çelik bir sacdan imal edilen ağzı sıkıca kapanan bir tambur ve üzerinde programlanabilen otomatik devir sayacı bulunur. Deneye tabii tutulan agrega numuneleri yıkanıp dane dağılımı yapıldıktan sonra etüvde kurutulur. Etüvde kurutulup çıkarılan agregalar önceden sayısı belirlenmiş numunelerin aşındırma yükü olarak bilinen çelik bilyeler ile tamburun içine

yerleştirilip kapağı sıkıca kapatılır. Dakikada 31-33 devir yapabilen tambur programlanır. Deneye tabi tutulan agrega ilk etapta 100 devir yaptırılarak numune tepsiye dökülür ve 1,6 mm'lik elek üzerinde elenir, elek üzerinde kalan agrega tartılır. Tartılan agrega ve elekten geçen agregalar tekrar tambura konularak ilk 100 devire ilave olarak deneyde başlangıçta alınan 5000 gram (GR) numunelere 400 devir, 10000 gr numunelere 900 devir yaptırılır. Aşındırılan numuneler tepsiye dökülüp 1,6 mm elekten elenip elek üzerindeki, numune tartılır. Los Angeles (LA) aşınma kaybı denklem 4.1 yardımıyla hesaplanır.(Tunç ve Alyamaç, 2020: 4). Şekil 4.1'de Los Angeles deney aleti ve deney aşamaları gösterilmiştir.

$$LA = \frac{(5000 - M)}{5000} \quad (4.1)$$

Burada;

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



Şekil 4.1. Los Angeles Deney Aşamaları a) Numune Hazırlanması, b) Numunelerin Deney Aletine Yerleştirilmesi, c) Eleme İşlemi, d) Agregaların Eleme Sonucunda Tartılması

4.2.1.3. Yassılık İndeksi Deneyi

Yassı ve uzun dane tespiti TS 9582 EN 933-3 standardına göre 4.75 mm'den büyük 80mm elekten küçük agregalara uygulanır. Sathi kaplama imalatlarında agregaların yassı miktarının olmaması veya çok az olması istenmektedir. Yassı daneler trafik yükleri altında stabil davranış göstermemektedir. Trafik yükleri altında kolay kırabileceklerinden dolayı

karişım mukavementini azaltmaktadır (Karakaş, 2014: 109). şekil 4.2’ de yassılık indeksi deneyleri gösterilmiştir.



şekil 4.2. Yassılık İndeksi Agregası Numuneleri. a) Asfalt Kırığı Agregası, b) Kireçtaşı Agregası, c) Bazalt Agregası, d) Mermer Atığı Agregası

Tablo 4.1. Yassılık indeksi numune miktarları

d_i/D_i Dane Büyüklüğü Dağılımı (mm)	Numune Miktarları (Kg)
63/80	50
50/63	25
37.5/50	18
25/37,5	8
19/25	2.5
12/19	1
9.5/12	0.5
6.3/9.5	0.25

Kaynak: (Karacasu, 2016: 32)

Yassı dane yüzdesi denklem 4.2 yardımıyla bulunur.

$$\text{Yassı dane yüzdesi} = (M_2 \cdot 100) / M_1 \quad (4.2)$$

Burada;

M_1 =Deneye alınan malzeme ağırlığı, (gr.)

M_2 =Deneyde bulunan yassı malzeme ağırlığıdır (gr) (Gürer,2010: 113).

4.2.1.4. İri Agregat Özgül Ağırlık ve Su Emme Deneyi

TS EN 1097-6 standardına göre yapılan özgül ağırlık deneyi, bir maddenin birim hacim ağırlığının, aynı hacimde suyun ağırlığına oranıdır. Zahirî, hacim ve efektif olmak üzere üç tane özgül ağırlık türü vardır. Agregat özgül ağırlıkları kaplamada kullanılacak bağlayıcı oranını belirlemede etkilidir (Geçkil, 2008: 13). Tablo 4.2’de agregaların özgül ağırlık hesaplama yöntemi gösterilmektedir. Şekil 4.3’de özgül ağırlık deneyi yapıış aşamaları gösterilmiştir.



Şekil 4.3. İri Agregat Deney Aşamaları. a) Numunenin Hazırlanması, b) Numunelerin Suya Koyulması, c) Numunelerin Peçete Yardımıyla Kurutulması, d) Numunelerin Tartılması, e) Agregaların Tel Sepetle Su Kovaına Konulması, f) Numunelerin Etüvde Kurutulduktan Sonraki Tartımı

Tablo 4.2. Agreganın Özgöl Ağırlık Hesaplama Yöntemi

Kuru Malzemenin Havadaki Ağırlığı	A
Doygun Kuru Yüzey Malzemenin Havadaki Ağırlığı	B
Doygun Kuru Yüzey Malzemenin Sudaki Ağırlığı	C
Zahiri Özgöl Ağırlık	$A/(A-C)$
Hacim Özgöl Ağırlık	$A/(B-C)$
Absorbsiyon Yüzdesi	$100*(B-A)/A$

Kaynak: (Aktaş, 2012: 104)

4.2.1.5. Agreg Birim Hacim Ağırlık Deneyi

TS 3529 standardına göre agreg birim hacim ağırlık deneyi ile agregaların gevşek ve sıkışık durumlarındaki birim ağırlıklarının hesaplanması amacıyla yapılmaktadır. Deneyde agregaların en büyük dane çapına göre kullanılacak numune miktarı değişmektedir (Karacasu, 2016: 37). Şekil 4.4’de agreg birim hacim ağırlık deney aşamaları gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Agreg Birim Hacim Ağırlık Deney Aşamaları. a) Hacim Kovasının Tartılması, b) Numunenin Şişlenmesi, c) Numunenin Tevsiyelenmesi, d) Numunenin Tartılması

4.2.1.6. Donma Çözünme Deneyi

Bu deney ile agregaların laboratuvar ortamında donma çözünme etkilerine maruz bırakılarak nasıl davranış gösterecekleri belirlenir.

4.2.1.6.1. Normal Donma Çözünme Deneyi

Bu deney TS EN 1367-1 standardı doğrultusunda dane büyüklüğüne göre 3 adet 2 kg hazırlanan numuneler metal kutulara bırakılıp 20 °C de 24 saat bekletilir. Donma çözünme kabine bırakılan numuneler 150 dakika da 20 °C den 0 °C ye düşürülüp 210 dakika 0 °C de bekletilir. 0 °C de bekletilen numuneler 180 dakika da -17,5 °C ye düşürülüp 240 dakika -17,5 °C de bekletilir. Donma çözünme kabinde numuneler çıkarılıp metal kabın içerisindeki suyun 20 °C'e ulaştığında çözme işlemi tamamlanmış olur. Bu döngü 10 kez tekrarlandıktan sonra deney tamamlanmış olur. Deney numuneleri dane boyutunun alt büyüklüğünün yarısı kadar göz açıklığındaki elekten elenip numuneler sabit kütleye ulaşınca tartılır. Şekil 4.5'de donma çözünme kabine sahip asfalt kırığı agregasının deney aşaması gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Asfalt Kırığı Donma Çözünme Deney Aşamaları. a) Donma Çözünme Kabini, b) Numunelerin Kabine Konulması, c) Numunelerin -17,5 °C Düşürülmesi, d) Numunenin Tartılması

4.2.1.6.2. Donma Çözünme Deneyi (MgSO₄)

Agregaların hava değişimlerine karşı dayanım deneyi olarak bilinen bu deney TS EN 1367-2 standardına uygun olarak yapılır. Deneyle agregaların uzun süre hava tesirleri altında laboratuvar koşullarında donma çözülmelerine maruz kaldıklarında nasıl davranacağını tespit

etmek amacıyla yapılır Tekrarlı periyod ile yapılan bu deney beş yüz donma çözünme olayına eşdeğerdir. Her litre (LT) su için 350 magnezyum sülfat ($MgSO_4$) tuzu karıştırılır (Karacasu, 2016: 37). Tablo 4.6'da donma çözünme deneyinde dane büyüklüğüne göre kullanılacak agrega miktarı gösterilmektedir.



Şekil 4.6. Kimyasal Yolla Deney Aşamaları. a) Numunelerin Tel Sepete Konulması, b) Numunelerin Tuzlu Suya Bırakılması, c) Numunelerin Etüvde Kurutulması, d) Numunenin Tartılması

Tablo 4.3. Donma Çözünme Deneyi Numune Miktarı

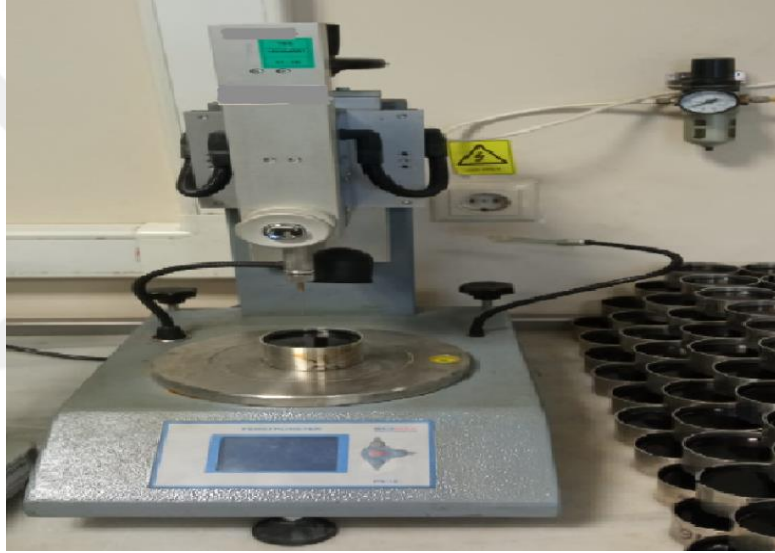
Dane Büyüklüğü Dağılımı, d_i/D_i (mm)	Numune Miktarı (gr)
4-8	300
8-16	500
16-32	500
32-63	1000

Kaynak: (Karacasu, 2016: 37)

4.2.2. Bitüm Deneyleri

4.2.2.1. Penetrasyon Deneyi

Bitümlü bağlayıcının vizkozitesini belirleyen pen. deneyi TS EN 1426 standardına uygun olarak yapılmaktadır. Öncelikli olarak bitümlü bağlayıcı ısıtılıp pen kabına doldurulur ve kap tekrar ısıtılarak boşlukların kalmamasına özen gösterilir. Kabın içinde bulunan numuneler 25 °C'deki suda bir saat bekletilir. Deney aletine yerleştirilen kap, iğne ile temas etme noktasında ayarlanır. Deney aletine bağlı olan pen. iğnesi serbest bırakılıp değer okunur. Her okumadan sonra iğne temizlenip farklı noktalardan en az üç kez olmak üzere okumalar yapıp ortalamaları alınıp en yakın sayıya yuvarlatılır (Şeker, 2020: 36; KGM, 2021: 68). Şekil 4.7'de penetrasyon deney aleti gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Penetrasyon Deney Aleti

4.2.2.2. Yumuşama Noktası Deneyi

TS EN 1427 standardına göre yapılan bu deney metodu ile bitüm ve bitümlü bağlayıcıların 28 °C ile 150 °C aralığında yumuşama noktasını belirlemeyi amaçlamaktadır. Pirinç halkalar üzerine dökülen üzerinde bir bilye bulunan yatay konumlu iki bitümlü bağlayıcı disk deney banyosunda kontrollü şekilde ısıtılır. Isıtılan numuneler beklenen yumuşama noktasının yaklaşık olarak 100 °C'nin altında bir değere kadar ısıtılır Disk biçimli bitüm numuneleri içine gömülen her bir bilyenin (25,0±0,4) mm'den deney sehпасına düştüğü anda termometreden okunan sıcaklık ortalaması olarak verilir. Bitümün yumuşama noktası vizkozite ile doğru orantılıdır (KGM, 2021: 72). Şekil 4.8'de yumuşama noktası tayini deney aleti gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Yumuşama Noktası Tayini Deney Aleti

4.2.2.3. Parlama Noktası Deneyi

Bir maddenin alev ile geçici temasta bulunduğu anda buharı temas anında parlar fakat yanmaya devam etmez parlamaya başladığı andaki düşük sıcaklığına parlama noktası denir. Parlama noktası deneyi TS EN 22592 standardına uygun olarak yapılır. Deney numunesi ısıtılarak uygun bir vizkoziteye getirilir. Deney kabının yüzey kısmında hava kabarcıklarının görünmemesi sağlanarak işaretli olan çizgiye kadar doldurulur. Parlama noktasına yaklaşılan andan itibaren termometre her 3 °C artınca numune üzerinde deney alevciği geçirilir. Bu işlem bir saniye içinde gerçekleşmelidir. Parlamanın olduğu zaman numune yüzeyindeki termometre sıcaklığına bakılıp görünen sıcaklık parlama noktası olarak kayıt edilir. Bitümlü malzemelerin parlama noktalarının biliniyor olması imalat sırasında ısıtılan numunede oluşabilecek yangın ve tutuşma durumlarını karşı oldukça önemlidir (Aslan, 2019: 45). Şekil 4.9’da parlama noktası tayini deney aleti gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Parlama Noktası Tayini Deney Aleti

4.2.2.4. Bitümün Özgöl Ağırlık Deneyi

TS EN 15326+A1 standardına uygun olarak piknometre yöntemiyle elde edilir. Boş piknometre tartılır içi saf su ile doldurularak tekrar tartılır. Yeterli akıcılığı bulunan bağlayıcı, piknometreye doldurulur ve tartılır. Bağlayıcının üstü saf su ile doldurularak 25 °C su banyosunda yarım saat bekletilip tartılır. Denklem 4.3 yardımıyla bitümlü bağlayıcı özgül ağırlığı bulunur.

$$\text{Bitümlü bağlayıcı özgül ağırlık} = \frac{w_3 - w_1}{(w_2 - w_1) - (w_4 - w_3)} \quad (4.3)$$

W1: Boş piknometre ağırlığı

W2: Piknometre + saf su ağırlığı

W3: Bağlayıcı + piknometre ağırlığı

W4: 25 °C’de 30 dakika su banyosunda bekletilen bağlayıcı + saf su + piknometre ağırlığı (Şeker, 2020: 40)

Şekil 4.10’da bitüm özgül ağırlık ölçümü piknometresi gösterilmektedir.



Şekil 4.10. Özgöl Ağırlık Piknometresi

4.2.3.Karışım Deneyleri

4.2.3.1. Vialit Metodu Yapışma Deneyleri (TS EN 12272-3)

Sathi kaplama uygulamalarında adezyon kuvveti çok önemlidir. Bu deney ile agrega-bitüm arasında olan yapışmayı hakkında bilgi verir. Agrega-bitüm arasındaki önem sıcaklık farklarının değişimlerinde artacaktır. Deney yapılışında 9,5mm elek üstünde kalan 19mm elekten geçen agregalar yıkanıp kurutulduktan sonra içerisinde uzun veya yassı olmayan 100 adet agregaya uygulanır. Agregalar düşmemesi için altında düz yüzeyli çelik levha bulunan kafeslere her birine bir adet yerleştirilir. Deneye başlarken 2 saat önceden 150 °C etüvde ısıtılan bitüm ve deneyden 30 dakika önce aynı sıcaklıkta ısıtılan levhanın üzerine 40 gr bitüm spatula ile serilir. Üzerine bitüm serilen levha deney aletine yerleştirildikten sonra, çelik levha kafesin altından çekilip agregaların bitüm levhasına düşmesi sağlanır. 2-3 dakika bekledikten sonra levha deney aletinden çıkarılıp, deney için yapılan lastik tekerlekli özel silindir ile her yöne 3'er kez olmak üzere toplam 6 pas yapılır. Silindirin gidiş-gelişi 1 pas demektir. Her agrega numunesinden 3 levha hazırlanır ve 1 saat oda sıcaklığında bekletildikten sonra 35 °C su banyosunda 24 saat bekletilir. Su banyosunda 1 gün boyunca bekletilen levhalar çıkarılıp düşme tablasına bitümlü yüzeyler aşağı bakacak şekilde koyulup 50 cm yükseklikten, 10 saniyede 3 defa çelik bilye düşürülür. Her deney numunesi için tekrarlanıp yapışmadan düşen agrega miktarları belirlenir. Düşen agrega sayısı, toplam agrega sayısının yüzdesi olarak hesaplanır. Üç levhadaki yapışma oranlarının yüzdesinin ortalaması alınarak adezyon miktarı

belirlenir (Karacasu ve Akalın, 2019: 4; KGM, 2021: 76). Şekil 4.11’de Vialit yapışma deneyi aşamaları gösterilmiştir.



Şekil: 4.11. Vialit Deneyi Aşamaları. a) Agregaların Sericiye yerleştirilmesi, b) Plakaya Bitümün Yayılması, c) Agregaların Sericiden Plakaya Düşürülmesi, d) Silindirleme, e) 35 °C Su Banyosunda bekletilmesi, f) Çelik Bilya Düşürme

4.2.3.2. Nicholson Soyulma Deneyleri (TS EN 12697-11)

Agrega yüzeyindeki bitümün su etkisi ile meydana gelen soyulma hakkında fikir elde etmek için yapılan deneysel bir yöntemdir. Nicholson deney yöntemi için 9,5-4,75 mm arasında kalan yıkanıp kurutulmuş agregalardan $30 \pm 0,5$ gr alınarak 110 °C lik etüvde yaklaşık 1 saat ısıtılır. Aynı zamanda 100 cm³ beher içerisine $1,5 \pm 0,1$ gr bitüm konulduktan sonra 110 °C lik etüvde cam baget ile birlikte bekletilir. Isıtılmış agreg a beher içerisine dökülür ve ısıtıcı üzerinde tüm agreg a yüzeyleri bitüm ile kaplanıncaya kadar cam baget ile karıştırılır. Numune 60 °C sıcaklıktaki etüvde 24 saat kür işlemi yapılır. Daha sonra beher içerisindeki numuneler çapı 10 cm olan petri kaplarına hızlı ve düzgün bir şekilde aktarma işlemi yapılır. Yaklaşık 10 dakika oda sıcaklığında bekletilen numuneler petri kaplarına su doldurulup kapağı kapatılarak

24 saat boyunca 60 °C'lik etüvde bekletilir. Petri kaplarının içerisindeki su yenilendikten sonra ışık altında karışımın üst yüzündeki soyulmamış yüzey oranına bakılarak gözlem yapılır. KTŞ'ne göre soyulmadan kalan agrega en az % 50 olmalıdır (Rahmany, 2019: 38; Gürer ve Karasahin, 2014: 3). Şekil 4.12'de Nicholson soyulma deneyi yapılış aşamaları gösterilmiştir.



Şekil: 4.12. Nicholson Soyulma Deneyi Aşamaları. a) Agregaların Hazırlanması, b) Agreganın 1 saat Etüvde Bekletilmesi, c) Beherin Kum Banyosunda karıştırılması, d) Hazırlanan Numunelerin Etüvde Bekletilmesi, e) Beherdeki Numunelerin Petri Kabına Konulması, f) Su Dolu Petri Kaplarının Etüvde Bekletilmesi

4.2.4. Birim Maliyet Hesabı

1 dekar sathi kaplamanın maliyeti KGM pozlarının analizleri dikkate alınarak asfalt ve mermer atığı malzemelerinin üretim aşamasında tablo 4.4 ve tablo 4.5' de ki veriler dikkate alınarak maliyetleri nasıl etkilediğine bakılmıştır.

Tablo 4.4. KGM/4102/B Pozu Analizi Agregat Grublarına Göre

Kitap	Poz No	Tanımı	Birimi	Miktarı	Birim Fiyat	Tutar (TL)	Kireçtaşı	Bazalt	Mermer Atığı	Asfalt Atığı
KGM	KGM/08.021 /K.	Ocaktan taş hazırlanması	M ³	1000/1.60	33,52	20,95	X	X	-	-
ÇŞB	101.10 1.003	Her cins ve tonajda motorlu araç taşıma katsayısı	AD	0.00375/1.60	530	1,24	X	X	X	X
ÇŞB	191.00 1.028	Lastik tekerlekli yükleyici 1 saat ücreti(1.5 yd3,80 dph)	SA	0.30/1.60	267,26	5,01	X	X	X	X
KGM	03.530	Konkasörün bir saatlik ücreti	SA	0.04/1.60	611,08	15,28	X	X	X	X
ÇŞB	191.00 1.035	Elek makinasının 1 saatlik ücreti	SA	0.01/1.60	204,44	1,28	X	X	X	X
ÇŞB	101.00 1.062	Düz işçi	SA	0.05/1.60	25	0,78	X	X	X	X

Tablo 4.5. KGM/6540 Pozu Analizi Agregası Gruplarına Göre

Kitap	Poz No	Tanımı	Birimi	Miktar 1	Birim Fiyat	Tutar(TL)	Kireç taşı	Bazalt	Mermer Atığı	Asfalt Atığı
KGM	KG M/4 102/ B	Ocak taşından konkasörle kırılmış ve elenmiş 25 mm (1'') ve 19 mm (3/4'') lik agregası hazırlanması	TON	27	44,54	1202,58	1202,58	1202,58	636,93	636,93
KGM	KG M/4 358	Katı bitümlü malzemenin sarnıç veya tanklarda emiş derecesine kadar ısıtılması	TON	1.4	89,51	125,31	125,31	125,31	125,31	125,31
KGM	KG M/4 366	Bitümlü malzemenin asfalt pompası ile bir kaptan diğer bir kaba aktarılması	TON	6	3,26	19,56	19,56	19,56	19,56	19,56
KGM	KG M/4 365	Sarnıçlı vagon, tanker, kamyon ve roley tank gibi kaplarla taşınan bitümlü malzemenin depolanması	TON	3	7,13	21,39	21,39	21,39	21,39	21,39
KGM	KG M/4 269	Malzemenin kantar ile tartılması	TON	27	0,11	2,97	2,97	2,97	2,97	2,97
KGM	KG M/4 402	Distribütör makinesi ve 25 mm(1'') lik agregası (mıcır) ile bir tabaka bitümlü sathi kaplama yapılması	DA	1	702,34	702,34	702,34	702,34	702,34	702,34
KGM	KG M/4 377	Beton ve her nevi asfalt yollar dışındaki yolların makine ile süpürülmesi	DA	1	86,42	86,42	86,42	86,42	86,42	86,42
KGM	KG M/4 393	Distribütör makinesi ile asfalt bitümlü malzemesinin püskürtülmesi (boru ile)	DA	1	142,35	142,35	142,35	142,35	142,35	142,35

Asfalt kırığı ve mermer agregaları atık olduklarından dolayı ocaklarda herhangi bir işleme tabii tutulmadan konkasörde eleme işlemi yapılabilir. Bu sebepten atık malzemelerin taş ocaklarında üretime katılabilmesi için yapılan analizlerde olduğu gibi maliyetleri düşürmektedir.

1 dekar sathi kaplama maliyeti yapılan poz analizi dikkate alınarak;

Kireçtaşı agregası için ; 1788,24 TL

Bazalt agregası için ; 1788,24 TL

Mermer atığı agregası için ; 1349,01 TL

Asfalt atığı agregası için ; 1349,01 TL olduğu görülmüştür.

5. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

5.1. Agregada Deney Sonuçları

Agregalara elek analizi, Los Angeles aşınma kaybı, yassılık indeksi, iri agregada özgül ağırlık ve su emme tayini, birim hacim ve donma deneyleri yapılmıştır. Bölüm beş başlıklar altında deneylerin sonuçları verilmiştir.

5.1.1. Granülometre Analizi Sonuçları

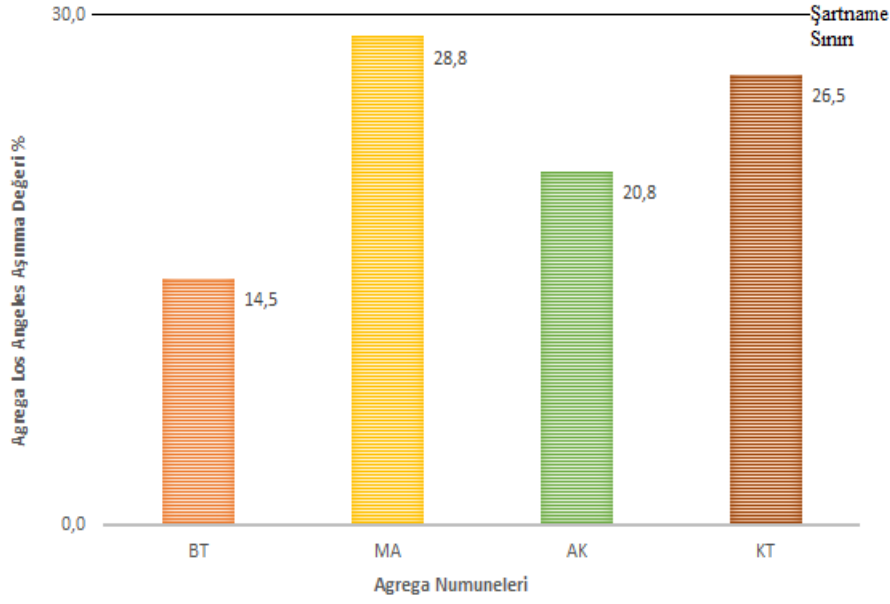
Agregada numunelerinden 15'er kg alınarak etüvde 24 saat kurutuldu. Göz açıklığı büyükten küçüğe sıralanan eleklerle Etüvde kurutulan numuneler en üst eleğe konularak her elek için yaklaşık 2 dakika sarsma makinesi çalıştırıldı.

Tablo 5.1. Elek analizi sonuçları

Elek Gözleri	% Geçen				
	Şartname Sınırı	BT	MA	AK	KT
1 ¹¹ (25 mm)	100	100	100	100	100
3/4 ¹¹ (19 mm)	90-100	100	100	100	100
1/2 ¹¹ (12,5 mm)	0-20	15,1	12,5	8,3	9
3/8 ¹¹ (9,5 mm)	0-10	1	0,4	1,1	0
1/4 ¹¹ (6,3 mm)	0	0	0	0	0
No:4 (4,75 mm)	0-2	0	0	0	0
No:10 (2,0 mm)	0	0	0	0	0

5.1.2. Los Angeles Aşınma Deneyi Sonuçları

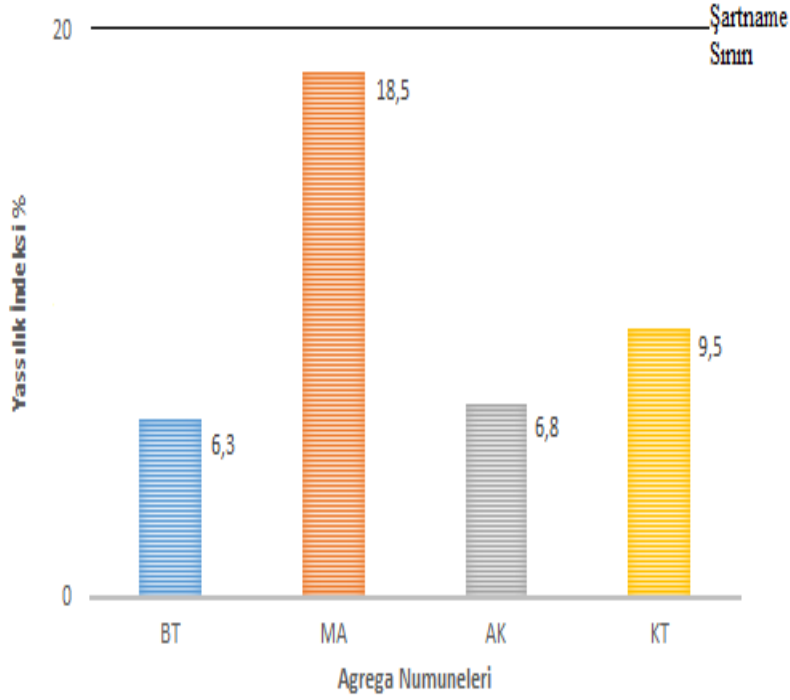
Sathi kaplamalarda agregaların aşınması trafik etkisi altında oldukça fazla olduğundan dayanımlarını ölçmek amacıyla yapılan en yaygın deney yöntemlerinden biridir. Los Angeles deneyinde her agregada grubunda B tipi numune seçilmiş olup 8mm-16mm aralığında 5000 gr agregada alınarak, aşındırma yükü olarak 11 bilye (bilye ağırlıkları toplamı 4584±25 gr) deneye tabii tutulmuştur. .Agregada gruplarının 100 devir ve 500 devir la değerleri ölçülmüştür. Her agregada grubundan 2 kez deney yapılmış olup ortalama değerleri alınmıştır la miktarı karşılaştırmalı olarak grafik 5.1' de gösterilmiştir. Deney bazalt, mermer atığı, asfalt kırığı ve kireçtaşı agregada numuneleri için 2'şer kez yapılarak ortalama değerleri alınmıştır. Bazalt agregalarının aşınma kayıpları deneyde kullanılan diğer agregalara oranla düşük çıkmıştır. Yapılan analizlerde en fazla mermer atığı görülen aşınma kaybı %28,8 göstermekle beraber aşınma kaybı KTŞ (2013)'de tüm agregaların maksimum %30 olan maksimum şartname limitini karşılamaktadır.



Grafik 5.1. Los Angeles Deney Sonuçları

5.1.3. Yassılık İndeksi Deneyi Sonuçları

Deney 4 mm eleği geçen ve 80 mm elek üzerinde kalan agregalara ve standart beton agregalarına uygulanmaz. Deney de standartlarda belirtilen 8 mm YI elek setinden, 12.5/16 mm arası dane sınıfına ait agregadan 1 kilogram (KG) alınarak yapılmıştır. Grafik 5.2’de belirtilen agregalarda YI değerleri verilmiştir. YI en fazla %18,5 ile Mermer atığı deney standardı TS EN 933-3’de belirtilen maksimum agregata yassılık indeksini karşıladığı görülmüştür. Mermer atıklarının yassılık değerlerinin yüksek oluşu öğütme işlemlerinden kaynaklandığı görülmüştür.



Grafik 5.2. Yassılık İndeksi Deney Sonuçları

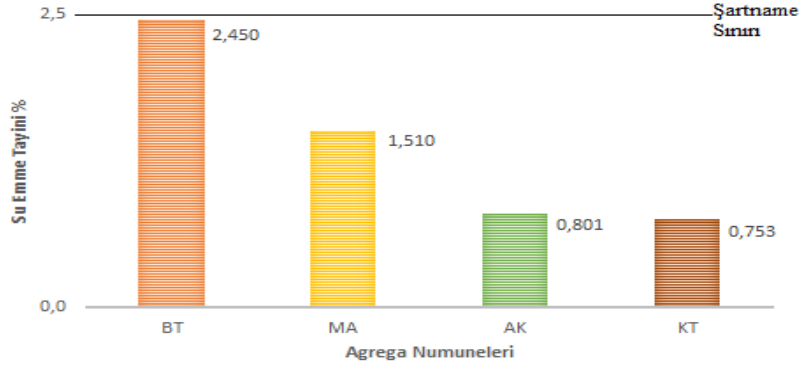
5.1.4. İri Agregat Özgül Ağırlık ve Su Emme Deneyleri Sonuçları

Bazalt agregası volkanik kökenli agregat grubunda olduğundan dolayı daha gözenekli bir yapıya sahiptir ve bu sebepten su emme tayininde % 2.45 ile en fazla su absorpsiyonu değeri KTŞ 2013’de belirtilen maksimum şartname limitlerini karşılamaktadır.

Tablo 5.2.’de deneyde kullanılan agregaların özgül ağırlık değerleri verilmiştir. Grafik 5.3’de su emme yüzdeleri verilmiştir.

Tablo 5.2. İri Agregat Özgül Ağırlıkları

	Zahiri Özgül Ağırlık	Hacim Özgül Ağırlık	Yüzey Kuru Suya Doygun Özgül Ağırlık	Su Emme (%)	Efektif Özgül Ağırlık
BT	2,656	2,494	2,555	2,450	2,575
MA	2,565	2,470	2,507	1,510	2,517
AK	2,411	2,365	2,384	0,801	2,388
KT	2,560	2,512	2,531	0,753	2,536



Grafik 5.3. Su Emme Yüzdeleeri

5.1.5. Agregada Birim Hacim Ağırlık Deneyleri Sonuçları

Agrega içindeki en büyük dane çapına göre numune miktarları değişmektedir. Tablo 5.3.'de agregaların gevşek ve sıkışık birim hacim ağırlıkları verilmiştir.

Tablo 5.3. Agregada Birim Hacim Ağırlıkları

	Gevşek Ağırlık (gr/cm ³)	Sıkışık Ağırlık (gr/cm ³)
BT	1,503	1,685
MA	1,318	1,511
AK	1,258	1,357
KT	1,500	1,679

5.1.6. Donma Çözünme Deneyleri Sonuçları

Asfalt kırığı numuneleri bitümün 50 °C' de yumuşamaya başladığından dolayı donma çözünme kabini ile deneye tabii tutulmuştur. Bazalt, mermer atığı ve kireçtaşı agregaları kimyasal yolla deneye tabii tutulmuştur.

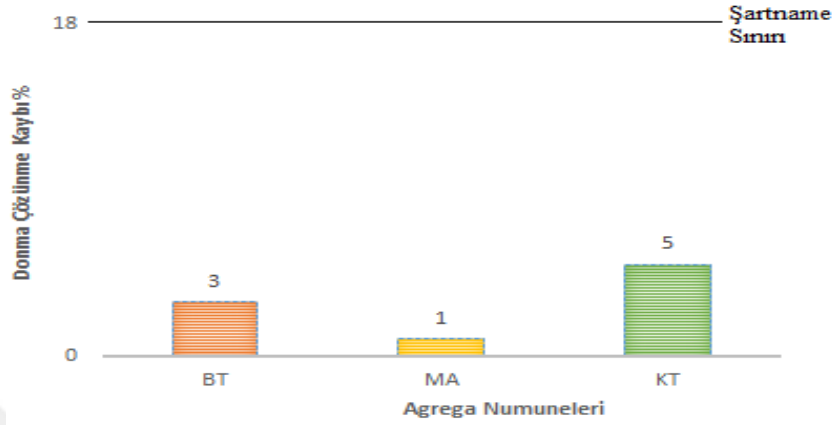
5.1.6.1. Normal Donma Çözünme Deneyi Sonuçları

Donma çözünme kabinine 8-16 mm elek aralığında kalan asfalt kırığı agregalarından her numune kabına 2 kg alınarak deneye tabii tutulmuştur. Deney 10 döngü yapılarak her üç numunenin ortalama değeri alınmıştır. Yapılan deneyde asfalt kırığı numunesinin donma çözünme kaybının % 3 olduğu görülmüştür. Karayolları teknik şartnamesinde belirtilen maksimum şartname limitinden aşağıda olduğu kanaatine varılmıştır.

5.1.6.2 Kimyasal İle Donma-Çözülme Deneyi Sonuçları

Bazalt, mermer atığı ve kireçtaşı agregalarından iki numune alınarak kimyasal ile donma çözünme deneyine tabii tutulmuştur. Kimyasal deney numunesinde 1 lt suya 350 gr MgSO₄ tuzu eklenerek çözelti oluşturulmuş, iki kez agregalar hazırlanan çözelti lerde deneye tabii tutulmuş çıkan sonuçların ortalaması alınmıştır. Yapılan analizler doğrultusunda en

fazla %5 oranla kireç taşı numuneleri donma çözünme etkilerine karşı davranış gösterse bile bu değer KTŞ 2013 standardında belirtilen maksimum şartname limitinin çok aşağısında olduğu görülmektedir. Grafik 5.4’de agregaların donma çözünme etkilerine karşı kayıpları görülmektedir.



Grafik 5.4. Donma Çözünme Deney Sonuçları

5.2. Bitüm Deneyleri Sonuçları

Penetrasyon deneyi yapılırken her bitüm sınıfında iki numune alınarak yumuşama noktasını 90 °C geçmeyecek şekilde ısıtılıp penetrasyon kaplarına döküldü. Oda sıcaklığında 1-1,5 saat bekletilen numuneler 25 °C su banyosunda 1-1,5 saat süre bekletildi. Su banyosunda alınan numuneler temiz iğne uçlu penetrasyon cihazına yerleştirildi. Penetrasyon cihazında numunelerin üzerine her seferinde temiz iğne ile üç kez serbest düşüş yapılarak okumalar alındı. Deney iki numune üzerinde denendi ve her üç okumanın ortalaması alınarak penetrasyon değerleri belirlendi.

Yumuşama noktasını bulmak için her bitüm sınıfında ince film şeklinde vazelin sürülen iki pirinç halkanın üzerine bitüm kenarlardan taşmayacak şekilde döküldü. Deney başlangıç sıcaklığı 5 ± 1 °C olacak şekilde beherin içi su ile dolduruldu. Beher ısıtıcı üzerine konuldu ve dakika da 5 °C sıcaklık artacak şekilde ısıtıcı ayarlandı. Bitümün bilyeler ile birlikte aşağıya sarkan kısmı düzeneğin tabanına değdiği andaki termometre değerleri okundu. Bu iki halkadan okunan değerlerin ortalaması alınarak yumuşama noktası değeri belirlendi.

Parlama noktası tayininde deneylerde kullanılan bitüm sınıflarında numune kabı bitümle dolduruldu. Parlama noktasına tahminen 56 °C yaklaşıldığında dakikada 5-17 °C, 28 °C yaklaşıldığında 5-6 °C geçmeyecek şekilde sıcaklık yükseltildi. 2 °C de bir tüp alevi

bitüm haznesi üzerinde gezdirildi, bitümün parlamaya başladığı en düşük sıcaklık parlama noktası olarak alındı.

Bitümün özgül ağırlık değerini bulmak için her bitüm sınıfında alınan numuneler boş olarak ve su dolu olarak tartılan temiz piknometreye dökülür. Bitüm döküldükten sonra piknometre kalan kısmı damıtılmış su ile doldurulup ağzı kapatılarak $25 \pm 0.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de 30 dk bekletilir. Dış kısmı kurutulduktan sonra tartım yapıp hesaplama yapıldıktan sonra bitüm özgül ağırlık değeri bulundu. Tablo 5.4'de Karayolları 14. Bölge müdürlüğünde alınan bitüm numuneleri deney sonuçları verilmiştir.

Tablo:5.4. Bitüm Deney Sonuçları

KGM 14. Bölge Müdürlüğü Ar-Ge Laboratuvarı Numune Bitüm Deneyleri						
Numune No	1	2	3	4	5	6
Bitüm Sınıfı	50-70	50-70	100-150	100-150	160-220	160-220
Penetrasyon	61	52	103	111	164	164
Yumuşama Noktası	52	53	44	44	40	39
Parlama Noktası	288	343	327	312	319	290
Bitüm Özgül Ağırlık	1,029	1,032	1,026	1,026	1,019	1,016

5.3. Karışım Deneyleri Sonuçları

Tablo 5.5. de verilen agrega karışım oranlarına göre farklı bitüm kombinasyonu ile toplamda 58 adet numune üzerinden Vialit yapışma deneyleri yapılmıştır. Nicholson soyulma deneylerinde asfalt kırığı numunelerinin $50 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de ısınması sonucunda bitümlerin yumuşamasından dolayı soyulma deneyleri yapılmamıştır.

5.3.1. Vialit Yapışma Deneyleri (TS EN 12272-3) Sonuçları

Tez çalışmasında yapılan karışımlar, kullanılan bitümler ve sıcaklık değişimleri tablo 5.5'de gösterilmiştir. Örneğin %75 AK+%25 BT numunesinin oda sıcaklığında olan agrega numunelerine 50-70pen., 100-150pen. ve 160-220pen. bitümleri ile Vialit deneyine tabii tutulmuş adezyon değerleri grafiklerle anlatılmıştır.

Tablo 5.5. Vialit Deneyine Tabi Tutulan Sathi kaplama Agrega Dizaynları

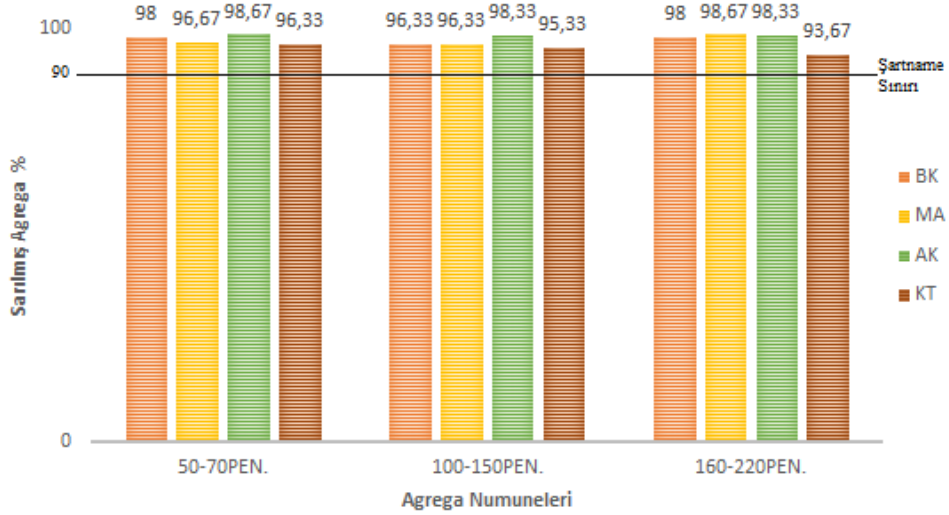
Agrega Karışım Oranları	50-70 pen.	100-150 pen.	160-220 pen.	40° Sıcaklık	80° Sıcaklık	120° Sıcaklık
%100 BT	✓	✓	✓			
%100MA	✓	✓	✓			
%100AK	✓	✓	✓			
%100KT	✓	✓	✓			
%75AK+%25BT	✓	✓	✓	✓ (a,b)		
%75AK+%25MA	✓	✓	✓			
%75AK+%25KT	✓	✓	✓	✓ (a,b)		
%50AK+%50BT	✓	✓	✓			
%50AK+%50MA	✓	✓	✓			
%50AK+%50KT	✓	✓	✓			
%75MA+%25BT	✓	✓	✓			
%75MA+%25AK	✓	✓	✓			
%75MA+%75KT	✓	✓	✓			
%50MA+%50BT	✓	✓	✓	✓ (a,b)	✓ (a,b)	✓ (a,b)
%50MA+%50KT	✓	✓	✓			
%50KT+%25AK+%25MA	✓	✓	✓			
a: 100-150 bitüm ile deneye tabii tutulmuştur.						
b: 160-220 bitüm ile deneye tabii tutulmuştur.						

Tablo 5.6’da Vialit yapışma deneyi adezyon miktarı hesabı örnek olarak verilmiştir. Yapılan tez çalışmasında Vialit deneyleri verilen tablodaki hesap yöntemiyle adezyon miktarları hesaplanmıştır. Deneylerin hesaplama kısımları ek dosyalarda verilmiştir.

Tablo 5.6. Örnek Adezyon Miktarı Hesabı

Asfalt Kırığı (100-150pen.)			
Agrega Sayısı	1. Levha	2. Levha	3. Levha
Bitümle sarılmamış düşen agregası (a)	2	1	2
Bitümle sarılmış düşen agregası (b)	9	12	11
Levhada kalan düşmeyen agregası (c)	89	87	87
Toplam agregası (a+b+c)	100	100	100
Adezyon miktarı (b+c)	98	99	98
Ortalama adezyon miktarı	98,33333333		

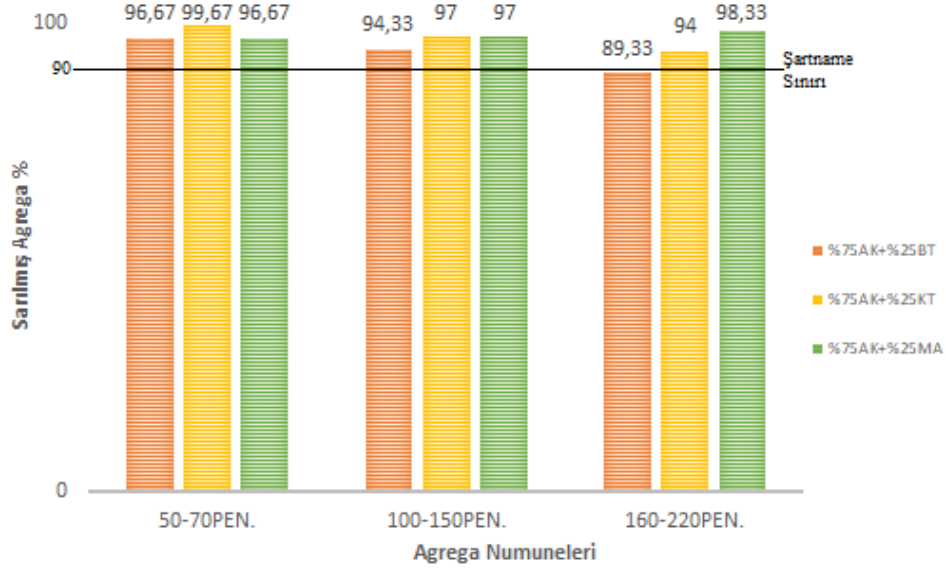
Grafik 5.5’de agregası numunelerinin karışım yapılmadan üç farklı bitümle adezyon miktarları gösterilmiştir. Yapılan analizlerde bazalt numunesinin % 98 ile 160-220 pen. bitümde en iyi adezyonu gösterdiği, mermer atığı numunesinin 98,67 yapışma yüzdesi ile 160-220 pen. bitümde en iyi adezyonu gösterdiği, asfalt kırığı numunesinin 98,67 yapışma yüzdesi 50-70 pen. bitümde en iyi adezyon gösterdiği, kireçtaşı numunesinin 96,33 yapışma yüzdesi ile 50-70 pen. bitümde en iyi adezyonu gösterdiği anlaşılmıştır. Bitüm sınıfına göre 50-70pen. bitüm de %98,67 ile asfalt kırığı numunesi, 100-150pen. bitümde %98,33 ile asfalt kırığı ve 160-220pen. bitüm de 98,67 ile mermer atığı numunesi en iyi sonucu gösterdiği görülmüştür. Tüm agregası numunelerinin KTŞ 2013’de belirtilen şartname limitlerini karşıladığı görülmektedir.



Grafik 5.5.%100 Agregası Deney Sonuçları

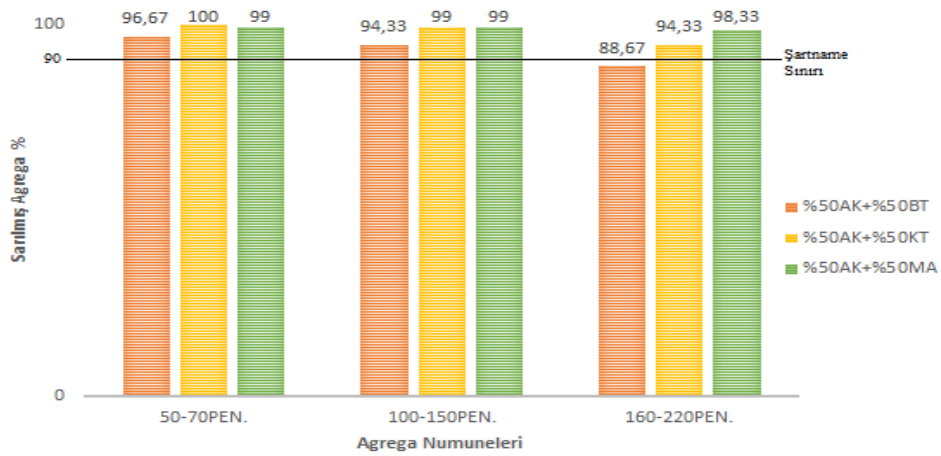
Grafik 5.6’da %75AK+%25BT, %75AK+%25KT ve %75AK+%25MA karışımlarının 50-70pen., 100-150pen. ve 160-220pen. bitümlerde adezyon miktarları gösterilmiştir. Yapılan analizlerde 50-70pen. bitümde 99,67 yapışma yüzdesi ile %75AK+%25KT numunesinin adezyon miktarının en iyi olduğu, 100-150pen. bitümde 97 yapışma yüzdesi

ile %75AK+%25KT ve %75AK+%25MA numunelerinin adezyon miktarının en iyi olduğu ve 160-220pen. bitümde 98,33 yapışma yüzdesi ile %75AK+%25MA numunesinin adezyon miktarının en iyi olduğu görülmüştür. %75AK+%25BT numunesinin KTŞ 2013’de belirtilen şartname limitlerini karşılamadığı anlaşılmıştır.



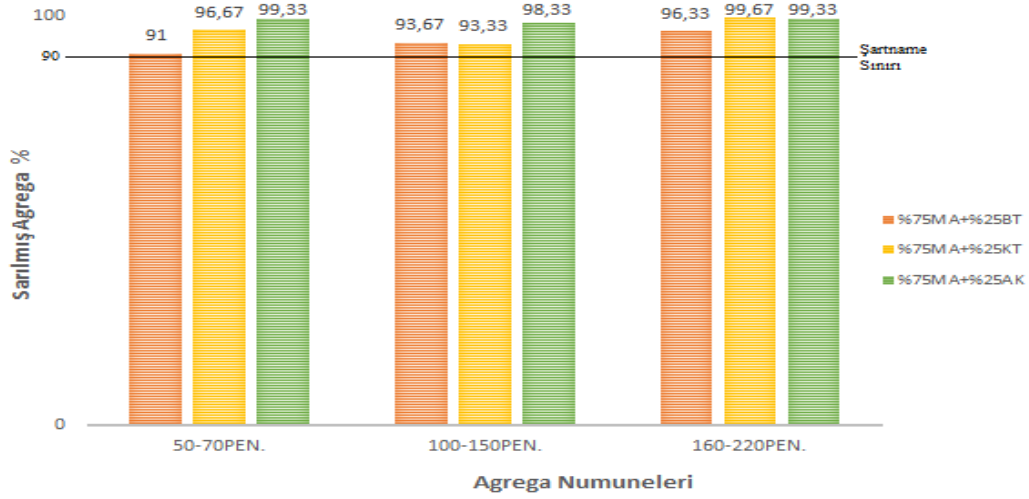
Grafik 5.6. %75 Asfalt Kırığı Karışımlarının Adezyon Değerleri

Grafik5.7’de %50AK+%50BT, %50AK+%50KT ve %50AK+%50MA karışımlarının 50-70pen., 100-150pen. ve 160-220pen. bitümlerde adezyon miktarları gösterilmiştir. En iyi adezyon sonucunu 50-70 pen. bitümde %50AK+%50KT karışımında elde edildiği görülmüştür. En düşük karışım adezyonu ise %88,67 yapışma oranı ile %50AK+%50BT numunelerinin 160-220 pen. bitümde sonuç verdiğini ve bu sonucun şartname limitlerini karşılamadığı görülmüştür.



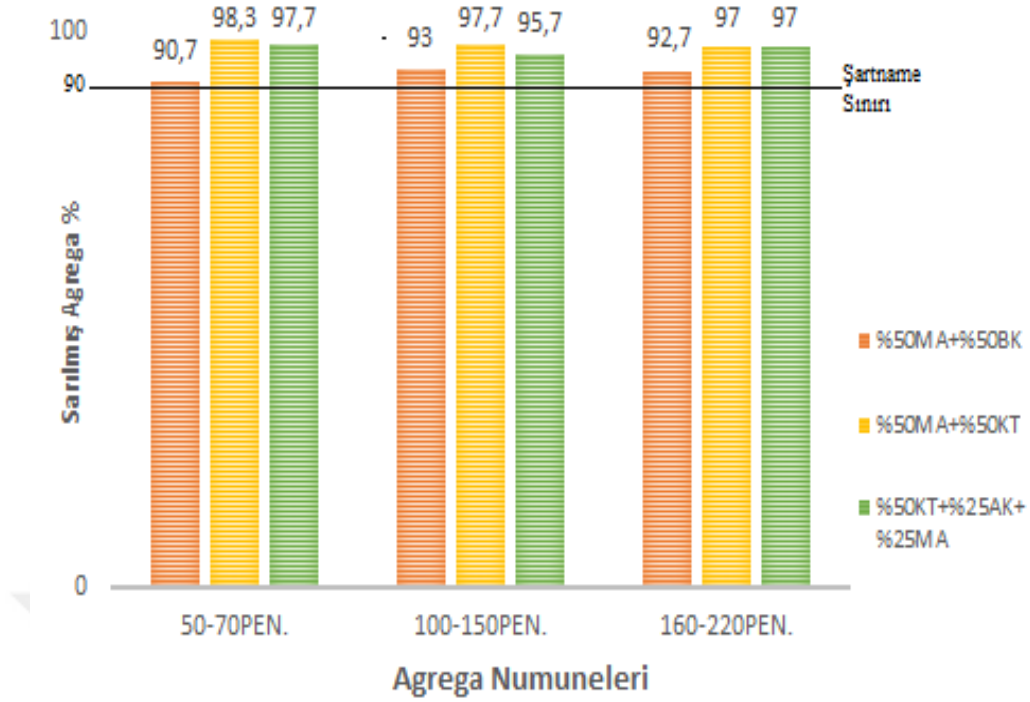
Grafik 5.7. %50 Asfalt Kırığı Karışımlar Adezyon Değerleri

Grafik5.8’de %75MA+%25BT, %75MA+%25KT ve %75MA+%25AK karışımlarının 50-70pen., 100-150pen. ve 160-220pen. bitümlerde adezyon miktarları gösterilmiştir. Yapılan deneyler neticesinde agreg a karışımlarının kullanılan üç tür bitüm sınıfında adezyon yüzdeleri şartname limitlerini karşıladığı görülmüştür. Yapılan deneyde karışım numunelerinde en uyumsuz karışımın asfalt kırığı bazalt karışımı olduğu görülmüştür.



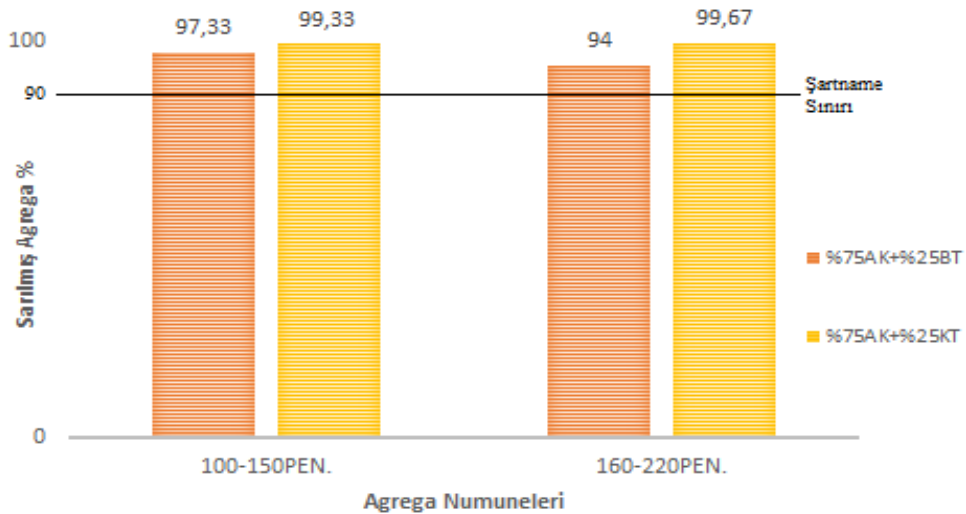
Grafik 5.8. %75 Mermer Atığı Karışımlar Adezyon Değerleri

Grafik5.9’da %50MA+%50BT, %50MA+%50KT ve %50KT+%25AK+%25MA karışımlarının 50-70pen., 100-150pen. ve 160-220pen. bitümlerde adezyon miktarları gösterilmiştir. Yapılan deneyler doğrultusunda agreg a karışımlarının kullanılan üç tür bitüm sınıfında adezyon yüzdeleri şartname limitlerini karşıladığı görülmüştür. %98,33 ile en iyi adezyon yüzdesini %50MA+%50KT numunesinde 50-70 pen. bitüm sınıfında olduğu görülmüştür.



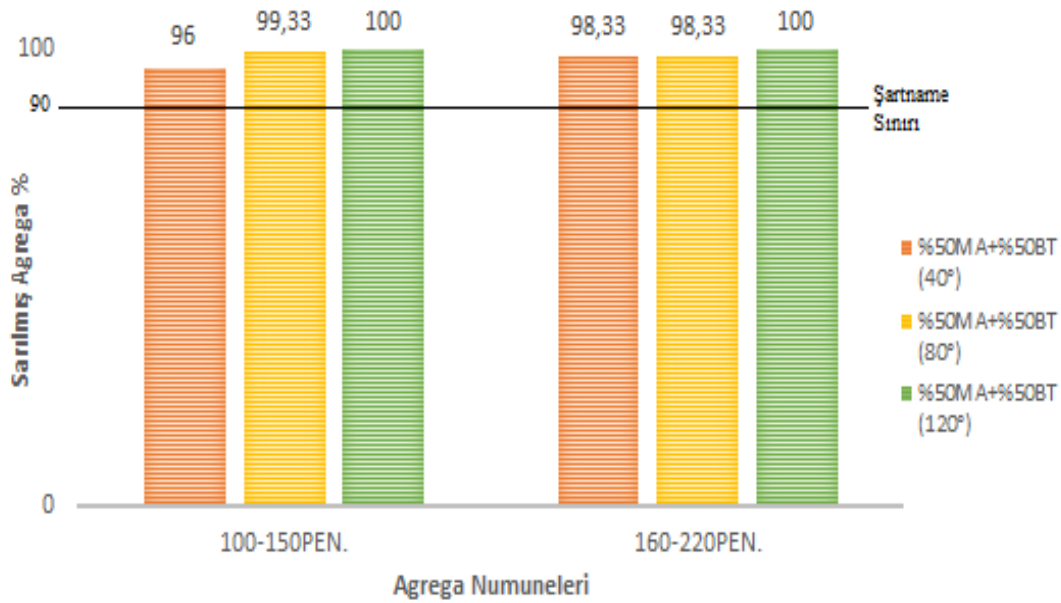
Grafik 5.9. %50 Mermer Atığı Karışımlar Adezyon Değerleri

Grafik 5.10'da %75AK+%25BT ve %75AK+%25KT karışımlarının 100-150pen. ve 160-220pen. bitümlerde agregaların 40 C°'de deneye tabii tutulması ile adezyon miktarları gösterilmiştir. Yapılan deneyler doğrultusunda %99,67 ile %75AK+%25KT karışım numunesinde 160-220 pen. bitümde adezyonun en iyi olduğu görülmüştür. En düşük adezyon %94 ile %75AK+%25BT karışım numunesinde 160-220 bitüm sınıfında olduğu görülmüştür. Yapılan karışımların deneyde kullanılan bitüm sınıflarında her ikisinde de adezyon şartname limitlerini karşıladığı görülmüştür.



Grafik 5.10. 40°C En İyi Karışım Serilerinin Adezyon Miktarları Yüzdesi

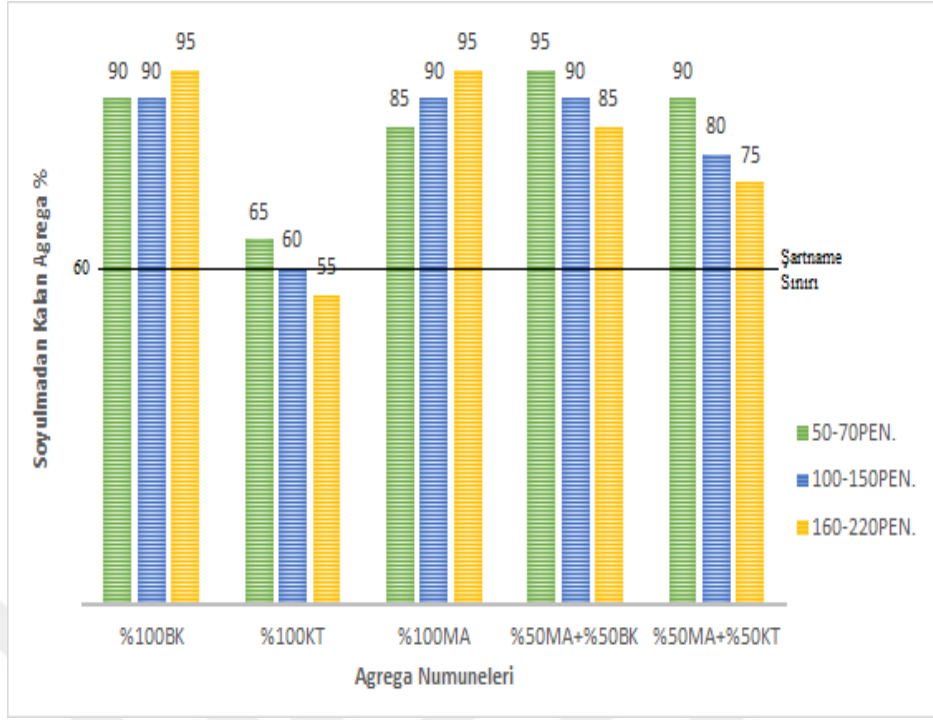
Grafik 5.11’de %50MA+%50BT karışımının 100-150pen. ve 160-220pen. bitümlerde agregaların 40 C°, 80 C° ve 120 C°’de deneye tabii tutulması ile adezyon miktarları gösterilmiştir. Yapılan deneyler doğrultusunda .%100 ile %50MA+%50BT karışım numunesinde 160-220 pen. bitüm ve 100-150 pen. bitüm sınıfında adezyonun en iyi olduğu görülmüştür. En düşük adezyon %96 ile %50MA+%50BT karışım numunesinde 100-150 bitüm sınıfında olduğu görülmüştür. Yapılan karışımların deneyde kullanılan bitüm sınıflarında her ikisinde de adezyon şartname limitlerini karşıladığı görülmüştür. Sıcaklık artıkça adezyonun iyileştiği en iyi değerin en yüksek sıcaklıkta olduğu görülmüştür.



Grafik 5.11. Sıcaklık değerlerine göre En İyi Karışımın Adezyon Miktarları Yüzdesi

5.3.2. Nicholson Soyulma Deneyleri (TS EN 12697-11) Sonuçları

Bazalt, kireçtaşı ve mermer atığı agregat numunelerinin 50-70pen. 100-150pen. ve 160-220pen. bitüm de soyulma yüzdelerine bakılmıştır. Soyulma yüzdeleri petri kaplarında bulunan agregaların toplam yüzey alanında soyulan kesimlerin göz kararıyla sonuçları verilmiştir. Kireçtaşı numuneleri agregat yüzeylerinin az pürüzlü olduğundan dolayı soyulma yüzdeleri 50-70 pen. bitüm de sınırın az üzerinde 100-150 pen. bitüm de şartname sınırında ve 160-220 pen. bitüm de şartname değerini karşılamadığı görülmüştür. Kireçtaşı numunelerine %50 mermer atığı karışımı yapılıncaya soyulma yüzdelerinin %20 ile %30 artırdığından dolayı soyulmaya karşı direnci artırmak için mermer atığı doğru sonuç vermiştir. Grafik 5.12’de soyulma deneyine tabii tutulan agregaların soyulma yüzdeleri verilmiştir.



Grafik 5.12. Soyulmadan Kalan Agregâ Yüzdeleri

6. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında mermer ve asfalt kırığı atıklarının sathi kaplama performansında laboratuvar ortamında bazalt ve kireçtaşı agregaları ile karışımlarının laboratuvar ortamında farklı tür bitüm sınıfı ve farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilen yapışma ve soyulma deneyleri ile araştırılmış yapışma ve soyulma davranışlarını nasıl etkiledikleri yapılan deneyler sonucunda şu sonuçlara ulaşılmıştır

Deneyisel çalışmalarda görüldüğü gibi %100 agrega deneylerinde 50-70 pen. bitüm, 100-150 pen. bitüm ve 160-220 pen. bitüm de asfalt kırığı ve mermer atığı numunelerinin en iyi sonuç verdiği görülmüştür.

%75 asfalt kırığı + %25 bazalt karışımlarında 160-220 pen. bitümde şartname limitini karşılamadığı numunelere 40 °C sıcaklık uygulaması yapıldığında karışımın adezyon yüzdesi %4.67 artırarak şartname sınırını karşıladığı görülmüştür.

%50 mermer atığı + %50 bazalt karışımlarında sıcaklık artıkça karışımların adezyonlarının iyileştiği görülmüştür. 100-150 pe. Bitüm ve 160-220 pen. bitümde 120 °C’de adezyonun %100 olduğu görülmüştür. Sıcaklık artışının adezyon üzerinde olumlu sonuçlar verdiği görülmüştür.

Nicholson soyulma deneyleri sonuçlarına göre 50-70 pen. bitümde en iyi sonucu verdiği, 160-220 pen. bitümde şartname değerini karşılamadığı görülmüştür. Kireçtaşı agregaların yüzeylerinin pürüzsüz olması daha fazla soyulma gösterdiği düşünülmektedir.

Sathi kaplama agregalarında adezyonu iyileştiği durumlarda bakım onarım maliyetlerini azaltarak ülke ekonomisine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Sonuç olarak; mermer atığı ve asfalt kırığının yapılan deneyler neticesinde adezyonu iyileştirdiği ve soyulmaları düşürdüğü anlaşılmıştır. Sıcaklık artışının adezyon üzerinde olumlu sonuçlar verdiği anlaşılmıştır.

Adezyon özelliklerinin artırmak için kullanılan katkı ve kimyasal maddelerin maliyetlerinin fazla olması dikkate alındığında agrega karışımları yapılarak adezyon problemlerinin önlenmesi açısından yararlı olabilir.

Sathi kaplama uygulamalarında karışımlar yapılarak agrega üretim maliyetlerinin düşüreceği düşünüldükçe asfalt kırığı ve mermer atıklarının geri dönüşüm olarak değerlendirilmesi önerilmektedir.

Bundan sonraki çalışmalarda karışım yapılan agrega numunelerinin deneme kesimi yapılarak trafik etkisi altında davranışı araştırılmalıdır.



KAYNAKÇA

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

Arıkan, E. (1997). *Sathi Kaplamalarda Su Etkisi Altında, Agregata İle Bitümlü Bağlayıcı Arasındaki Yapışma Yeteneğinin, Kullanılan Malzemelere Bağlı Olarak İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Ankara.

Aslan D. (2019). *Diyarbakır Yöresinde Bitümlü Sıcak Karışımlarda Kullanılan Bazalt, Kalker, Dere Malzemelerinin Karakteristik Özelliklerinin Karşılaştırılması* (Yüksek Lisans Tezi). Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.

Çabuk, A. (2010). *Dünyada ve Ülkemizde Mikro Yüzey Uygulamalarının İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Geçkil, T. (2008). *Siyah Karbonun Bitümlü Sıcak Karışımların Özelliklerine Etkisinin Araştırılması* (Doktora Tezi). Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

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., & Kardeş, M. (2014). *Sathi Kaplama Agregalarının Adezyon Özelliklerinin Araştırılması*, 1-11. Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 10(2), 1-11

Gürer, C., Korkmaz, B.E., Yarıcı, Ş. & Rahmany, M.B., (2019). *Sıcak Agregata İle Sathi Kaplama Uygulamasının Araştırılması*. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi 19, 402.

Karacasu, M. (2016). *Yol Üstyapı Deneyleri Ders Notları 1-207*.

Karacasu, M., & Akalın B.K. (2019). *Çevresel Atıklarla Modifiye Edilmiş Sathi Kaplamaların Performansına Agregata – Bitüm İlişkisi Bağlamında Değerlendirilmesi*, 127-136. Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi, 32(1), 127-136.

Karakaş, S.A. (2014). *Bitümlü Sıcak Karışımların Trafik Ekisi Altında Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi* (Doktora Tezi). Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

Karayolları Genel Müdürlüğü, (2021). *Yol Ağı Bilgileri* [Erişim: 31.12.2021, <https://www.KGM.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Kurumsal/YolAgi.aspx>]

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

KGM, (2020). *Karayolu Ulaşım İstatistikleri 7-8*. Karayolları Genel Müdürlüğü Yayınları.

KGM, (2020). *Sathi Kaplama Dizayn Rehberi 6-19*. Karayolları Genel Müdürlüğü Yayınları.

KGM, (2021). *Bitümlü Bağlayıcılar Laboratuvar El Kitabı 1-302*. Karayolları Genel Müdürlüğü Yayınları.

KGM, (2021). *Bitümlü Karışımlar Laboratuvar El Kitabı 1-278*. Karayolları Genel Müdürlüğü Yayınları.

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

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

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

TS 1097-2, (2000). *Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler, Bölüm 2: Parçalanma Direncinin Tayini İçin Metotlar*, TSE, Ankara.

TS 1097-6, (2002). *Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler, Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini*, TSE, Ankara.

TS 1367-1, (2001). *Agregaların Isıl ve Bozunma Tayini İçin Deneyler, Bölüm 1: Donmaya ve Çözünmeye Karşı Direncin Tayini*, TSE, Ankara

TS 1367-2, (1999). *Agregaların Termal ve Bozunma Özellikleri İçin Deneyler, Bölüm 2: Magnezyum Yolculuk Testi*, TSE, Ankara

TS 3530 EN 933-1, (1999). *Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 1: Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini - Eleme Metodu*, TSE, Ankara.

TS 9582 EN 933-3, (1999). *Agregaların Deneyleri İçin Deneyler, Bölüm 3: Tane Şekli- Yassılık Oluşturma*, TSE, Ankara

TS EN 1097-3 (1999). *Agregaların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 3: Gevşek Yığın Yoğunluğunun ve Boşluk Hacminin Tayini*, TSE, Ankara.

- TS EN 12272-3**, (2004). *Yüzey Kaplama Test Yöntemi, Bölüm 3: Vialit Plaka Şok Test Yöntemiyle Bağlayıcı Agregası Yapışkanlığının Belirlenmesi*, TSE, Ankara.
- TS EN 12697-11**, (2012). *Bitümlü Karışımlar Deney Metotları, Sıcak Karışımli Asfalt İçin, Bölüm 11: Agregası ve Bitüm Arasındaki Bağlanmanın Tayini*, TSE, Ankara.
- TS EN 1426**, (2008). *Bitüm ve Bitümlü Bağlayıcılar: İğne Batma Derinliği Tayini*, TSE, Ankara.
- TS EN 1427**, (2008). *Bitüm ve Bitümlü Bağlayıcılar: Yumuşama Noktası Tayini, Halka ve Bilye Yöntemi*, TSE, Ankara.
- TS EN 22592**, (1996). *Petrol Ürünleri- Parlama ve Yanma Noktası Tayini*, Cleveland Açık Kap Metodu, TSE, Ankara.
- Tunç, T. T., & Alyamaç, K.E. (2020).** *Farklı Test Parametreleri için Agregası Tipinin Los Angeles Aşınma Kaybı Üzerine Etkisi*, 1-10. Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi, 32(1),1-10.
- Türkiye Cumhuriyeti Dışişleri Bakanlığı (MFA)**, (2021). *Türkiye’de Karayolları Taşımacılığı* [Erişim:31.12.2021, <https://www.mfa.gov.tr/turkiye-de-karayolu-tasimaciligi-tr.mfa>]
- Türkyılmaz, A.** (2007). *Esnek Üstyapılı Karayollarında Koruyucu Bakım Yöntemlerinin İncelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yücel, C.** (2011). *Kocaelide Uygulanan Sathi Kaplama Uygulamaları, Sathi Kaplamalarda Meydana Gelen Bozulmalar* (Yüksek Lisans Tezi). Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

EKLER

Ek 1. Los Angeles Deney Hesapları Değerleri

	Bilye ağırlığı (gr)	Numune ağırlığı (W1) gr	400 devir sonucu elek üstü kalan agrega ağırlığı (W2) gr	400 devir sonucu elek üstü kalan agrega ağırlığı (W3) gr	Los Angeles Aşınma Yüzdesi 400 Devir Sonucu	Los Angeles Aşınma Yüzdesi 400 Devir Sonucu	Los Angeles Aşınma Yüzdesi 400 Devir Ortalama Sonucu	Şartname Limiti
Bazalt	4592,2	5000,3	4268,3	4279,5	14,64	14,42	14,5	≤ 30
Mermer Atığı	4592,6	5000,4	3512,1	3608,1	29,76	27,84	28,8	
Asfalt Kırığı	4592,2	5000,3	3970	3953,8	20,60	20,93	20,8	
Kireçtaşı	4592,2	5000,2	3723,1	3625,7	25,54	27,49	26,5	

Ek 2. Yassılık İndeksi Deney Hesapları Değerleri

	Agrega miktarı ağırlığı (gr)	8 mm elekten geçen agrega miktarı (gr)	Yassılık İndeksi %	Şartname Limiti
Bazalt	1000	63	6,3	≤20 (FI ₂₀)
Mermer Atığı	1000	185	18,5	
Asfalt Kırığı	1000	68	6,8	
Kireçtaşı	1000	95	9,5	

Ek 3. İri Agrega Özgöl Ağırlık Değerleri

	Yüzey Kuru Suya Doygun Ağırlık (Mssd) gr	Sudaki Ağırlık (Ms) gr	24 Saat Etüv Kurusu (Mk) gr	Zahiri Özgöl Ağırlık	Hacim Özgöl Ağırlık	Yüzey Kuru Suya Doygun Özgöl Ağırlık	Su Emme (%)	Efektif Özgöl Ağırlık
Bazalt	2007	1221,4	1959	2,656	2,494	2,555	2,450	2,575
Mermer Atığı	2017	1212,4	1987	2,565	2,470	2,507	1,510	2,517
Asfalt Kırığı	2014	1169,3	1998	2,411	2,365	2,384	0,801	2,388
Kireçtaşı	2007	1214	1992	2,560	2,512	2,531	0,753	2,536

Ek 4. Agrega Birim Hacim Ağırlık Değerleri

	Ölçü kabı boş ağırlığı (Wi) gr	Ölçü kabı sıkışık agrega ile dolu ağırlığı (Ws) gr	Ölçü kabı gevşek agrega ile dolu ağırlığı (Ws) gr	Ölçü kabı hacmi (V) cm3	Gevşek Ağırlık	Sıkışık Ağırlık
Bazalt	3557	8611	8066	3000	1,503	1,685
Mermer Atığı	3557	8089	7512	3000	1,318	1,511
Asfalt Kırığı	3557	7629	7330	3000	1,258	1,357
Kireçtaşı	3557	8594	8057	3000	1,500	1,679

Ek 5. Agrega Donma Çözünme Deneyi Değerleri

	Deney başlangıç ağırlığı W_i (gr)	Deney sonucundaki ağırlığı W_s (gr)	Donma Çözünme Deneyi	Donma Çözünme Deneyi Yuvarlatılmış	Şartname Limiti
Bazalt	500	488,5	2,3	3	≤ 18 (MS ₁₈)
Mermer Atığı	500	497,5	0,5	1	
Asfalt Kırığı	2000	1996,3	0,185	1	
Kireçtaşı	500	475,5	4,9	5	

Ek 6. Asfalt Kırığı Vialit Deneyi Değerleri

	50-70pen.			100-150pen.			160-220pen.		
Mıcır Sayısı	1. Levha	2. Levha	3. Levha	1. Levha	2. Levha	3. Levha	1. Levha	2. Levha	3. Levha
Bitümle sarılmamış düşen mıcır sayısı	2	1	1	2	1	2	2	1	2
Mıcır ile sarılmış düşen mıcır sayısı	7	7	9	9	12	11	6	7	5
Levhada kalan düşmeyen mıcır sayısı	91	92	90	89	87	87	92	92	93
Toplam mıcır sayısı	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Adezyon miktarı	98	99	99	98	99	98	98	99	98
Ortalama adezyon miktarı	98,66666667			98,33333333			98,33333333		

Ek 7. Mermer Atığı Vialit Deneyi Değerleri

	50-70pen.			100-150pen.			160-220pen.		
Mıcır Sayısı	1. Levha	2. Levha	3. Levha	1. Levha	2. Levha	3. Levha	1. Levha	2. Levha	3. Levha
Bitümle sarılmamış düşen mıcır sayısı	3	3	4	4	4	3	2	1	1
Mıcırda sarılmış düşen mıcır sayısı	12	15	9	10	11	12	8	11	10
Levhada kalan düşmeyen mıcır sayısı	85	82	87	86	85	85	90	88	89
Toplam mıcır sayısı	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Adezyon miktarı	97	97	96	96	96	97	98	99	99
Ortalama adezyon miktarı	96,66666667			96,33333333			98,66666667		

Ek 8. Bazalt Vialit Deneyi Değerleri

	50-70pen.			100-150pen.			160-220pen.		
Mıcır Sayısı	1. Levha	2. Levha	3. Levha	1. Levha	2. Levha	3. Levha	1. Levha	2. Levha	3. Levha
Bitümle sarılmamış düşen mıcır sayısı	2	2	2	4	3	4	2	2	2
Mıcırda sarılmış düşen mıcır sayısı	8	9	7	10	9	12	7	5	6
Levhada kalan düşmeyen mıcır sayısı	90	89	91	86	88	84	91	93	92
Toplam mıcır sayısı	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Adezyon miktarı	98	98	98	96	97	96	98	98	98
Ortalama adezyon miktarı	98			96,33333333			98		

Ek 9. Kireçtaşı Vialit Deneyi Değerleri

	50-70pen.			100-150pen.			160-220pen.		
Mıcır Sayısı	1. Levha	2. Levha	3. Levha	1. Levha	2. Levha	3. Levha	1. Levha	2. Levha	3. Levha
Bitümle sarılmamış düşen mıcır sayısı	4	4	3	5	4	5	6	7	6
Mıcır ile sarılmış düşen mıcır sayısı	11	14	13	11	9	10	7	9	10
Levhada kalan düşmeyen mıcır sayısı	85	82	84	84	87	85	87	84	84
Toplam mıcır sayısı	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Adezyon miktarı	96	96	97	95	96	95	94	93	94
Ortalama adezyon miktarı	96,33333333			95,33333333			93,66666667		

Ek 10. %75AK+%25BT Vialit Deneyi Değerleri

	50-70pen.			100-150pen.			160-220pen.		
Mıcır Sayısı	1. Levha	2. Levha	3. Levha	1. Levha	2. Levha	3. Levha	1. Levha	2. Levha	3. Levha
Bitümle sarılmamış düşen mıcır sayısı	2	4	4	3	10	4	12	9	11
Mıcır ile sarılmış düşen mıcır sayısı	98	96	96	27	46	29	26	18	29
Levhada kalan düşmeyen mıcır sayısı	0	0	0	70	44	67	62	73	60
Toplam mıcır sayısı	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Adezyon miktarı	98	96	96	97	90	96	88	91	89
Ortalama adezyon miktarı	96,66666667			94,33333333			89,33333333		

Ek 11. %75AK+%25MA Vialit Deneyi Değerleri

	50-70pen.			100-150pen.			160-220pen.		
Mıdır Sayısı	1. Levha	2.Levha	3. Levha	1. Levha	2. Levha	3. Levha	1. Levha	2. Levha	3. Levha
Bitümle sarılmamış düşen mıcır sayısı	3	3	4	3	3	3	1	1	3
Mıcırle sarılmış düşen mıcır sayısı	97	96	94	77	57	78	63	48	57
Levhada kalan düşmeyen mıcır sayısı	0	1	2	20	40	19	36	51	40
Toplam mıcır sayısı	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Adezyon miktarı	97	97	96	97	97	97	99	99	97
Ortalama adezyon miktarı	96,66666667			97			98,33333333		

Ek 12. %75AK+%25KT Vialit Deneyi Değerleri

	50-70pen.			100-150pen.			160-220pen.		
Mıdır Sayısı	1. Levha	2. Levha	3. Levha	1. Levha	2. Levha	3. Levha	1. Levha	2. Levha	3. Levha
Bitümle sarılmamış düşen mıcır sayısı	0	0	1	3	4	2	6	4	8
Mıcırle sarılmış düşen mıcır sayısı	100	99	99	80	79	96	36	40	26
Levhada kalan düşmeyen mıcır sayısı	0	1	0	17	17	2	58	56	66
Toplam mıcır sayısı	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Adezyon miktarı	100	100	99	97	96	98	94	96	92
Ortalama adezyon miktarı	99,66666667			97			94		

Ek 13. %50AK+%50BT Vialit Deneyi Değerleri

	50-70pen.			100-150pen.			160-220pen.		
Mıcır Sayısı	1. Levha	2. Levha	3. Levha	1. Levha	2. Levha	3. Levha	1. Levha	2. Levha	3. Levha
Bitümle sarılmamış düşen mıcır sayısı	2	3	5	5	7	5	15	14	5
Mıcır ile sarılmış düşen mıcır sayısı	98	96	92	49	45	47	22	24	27
Levhada kalan düşmeyen mıcır sayısı	0	1	3	46	48	48	63	62	68
Toplam mıcır sayısı	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Adezyon miktarı	98	97	95	95	93	95	85	86	95
Ortalama adezyon miktarı	96,66666667			94,33333333			88,66666667		

Ek 14. %50AK+%50MA Vialit Deneyi Değerleri

	50-70pen.			100-150pen.			160-220pen.		
Mıcır Sayısı	1. Levha	1	3. Levha	1. Levha	2. Levha	3. Levha	1. Levha	2. Levha	3. Levha
Bitümle sarılmamış düşen mıcır sayısı	1	1	1	0	2	1	1	1	3
Mıcır ile sarılmış düşen mıcır sayısı	99	99	99	51	47	47	57	47	41
Levhada kalan düşmeyen mıcır sayısı	0	0	0	49	51	52	42	52	56
Toplam mıcır sayısı	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Adezyon miktarı	99	99	99	100	98	99	99	99	97
Ortalama adezyon miktarı	99			99			98,33333333		

Ek 15. %50AK+%50KT Vialit Deneyi Değerleri

	50-70pen.			100-150pen.			160-220pen.		
Mıcır Sayısı	1. Levha	2. Levha	3. Levha	1. Levha	2. Levha	3. Levha	1. Levha	2. Levha	3. Levha
Bitümle sarılmamış düşen mıcır sayısı	0	0	0	0	2	1	5	6	6
Mıcırla sarılmış düşen mıcır sayısı	100	99	100	68	63	62	38	33	39
Levhada kalan düşmeyen mıcır sayısı	0	1	0	32	35	37	57	61	55
Toplam mıcır sayısı	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Adezyon miktarı	100	100	100	100	98	99	95	94	94
Ortalama adezyon miktarı	100			99			94,33333333		

Ek 16. %75MA+%25BT Vialit Deneyi Değerleri

	50-70pen.			100-150pen.			160-220pen.		
Mıcır Sayısı	1. Levha	2. Levha	3. Levha	1. Levha	2. Levha	3. Levha	1. Levha	2. Levha	3. Levha
Bitümle sarılmamış düşen mıcır sayısı	8	9	10	8	4	7	3	3	5
Mıcırla sarılmış düşen mıcır sayısı	92	91	90	58	70	71	56	39	36
Levhada kalan düşmeyen mıcır sayısı	0	0	0	34	26	22	41	58	59
Toplam mıcır sayısı	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Adezyon miktarı	92	91	90	92	96	93	97	97	95
Ortalama adezyon miktarı	91			93,66666667			96,33333333		

Ek 17. %75MA+%25KT Vialit Deneyi Değerleri

	50-70pen.			100-150pen.			160-220pen.		
Mıcır Sayısı	1. Levha	2. Levha	3. Levha	1. Levha	2. Levha	3. Levha	1. Levha	2. Levha	3. Levha
Bitümle sarılmamış düşen mıcır sayısı	3	4	3	7	7	6	0	1	0
Mıcırle sarılmış düşen mıcır sayısı	97	96	97	70	70	71	41	42	45
Levhada kalan düşmeyen mıcır sayısı	0	0	0	23	23	23	59	57	55
Toplam mıcır sayısı	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Adezyon miktarı	97	96	97	93	93	94	100	99	100
Ortalama adezyon miktarı	96,66666667			93,33333333			99,66666667		

Ek 18. %75MA+%25AK Vialit Deneyi Değerleri

	50-70pen.			100-150pen.			160-220pen.		
Mıcır Sayısı	1. Levha	2. Levha	3. Levha	1. Levha	2. Levha	3. Levha	1. Levha	2. Levha	3. Levha
Bitümle sarılmamış düşen mıcır sayısı	0	1	1	2	2	1	0	1	1
Mıcırle sarılmış düşen mıcır sayısı	100	99	99	47	41	40	22	31	44
Levhada kalan düşmeyen mıcır	0	0	0	51	57	59	78	68	55
Toplam mıcır sayısı	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Adezyon miktarı	100	99	99	98	98	99	100	99	99
Ortalama adezyon	99,33333333			98,33333333			99,33333333		

Ek 19. %50MA+%50BT Vialit Deneyi Değerleri

	50-70pen.			100-150pen.			160-220pen.		
Mıcır Sayısı	1. Levha	2. Levha	3. Levha	1. Levha	2. Levha	3. Levha	1. Levha	2. Levha	3. Levha
Bitümle sarılmamış düşen mıcır sayısı	8	9	11	8	5	8	9	5	8
Mıcır ile sarılmış düşen mıcır sayısı	84	91	89	61	63	68	65	81	60
Levhada kalan düşmeyen mıcır sayısı	8	0	0	31	32	24	26	14	32
Toplam mıcır sayısı	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Adezyon miktarı	92	91	89	92	95	92	91	95	92
Ortalama adezyon miktarı	90,66666667			93			92,66666667		

Ek 20. %50MA+%50KT Vialit Deneyi Değerleri

	50-70pen.			100-150pen.			160-220pen.		
Mıcır Sayısı	1. Levha	2. Levha	3. Levha	1. Levha	2. Levha	3. Levha	1. Levha	2. Levha	3. Levha
Bitümle sarılmamış düşen mıcır sayısı	1	2	2	3	2	2	3	2	4
Mıcır ile sarılmış düşen mıcır sayısı	99	96	98	67	64	56	64	63	64
Levhada kalan düşmeyen mıcır sayısı	0	2	0	30	34	42	33	35	32
Toplam mıcır sayısı	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Adezyon miktarı	99	98	98	97	98	98	97	98	96
Ortalama adezyon miktarı	98,33333333			97,66666667			97		

Ek 21. %50KT+%25AK+%25MA Vialit Deneyi Değerleri

	50-70pen.			100-150pen.			160-220pen.		
Mıcır Sayısı	1. Levha	2. Levha	3. Levha	1. Levha	2. Levha	3. Levha	1. Levha	2. Levha	3. Levha
Bitümle sarılmamış düşen mıcır sayısı	2	3	2	2	4	7	3	4	2
Mıcır ile sarılmış düşen mıcır sayısı	98	96	97	55	42	55	60	62	48
Levhada kalan düşmeyen mıcır sayısı	0	1	1	43	54	38	37	34	50
Toplam mıcır sayısı	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Adezyon miktarı	98	97	98	98	96	93	97	96	98
Ortalama adezyon miktarı	97,66666667			95,66666667			97		

Ek 22. %75AK+%25BT 40°C Sıcaklık Vialit Deneyi Değerleri

	100-150pen.			160-220pen.		
Mıcır Sayısı	1. Levha	2. Levha	3. Levha	1. Levha	2. Levha	3. Levha
Bitümle sarılmamış düşen mıcır sayısı	5	2	1	7	5	6
Mıcır ile sarılmış düşen mıcır sayısı	55	48	34	45	41	46
Levhada kalan düşmeyen mıcır sayısı	40	50	65	48	54	48
Toplam mıcır sayısı	100	100	100	100	100	100
Adezyon miktarı	95	98	99	93	95	94
Ortalama adezyon miktarı	97,33333333			94		

Ek 23. %75AK+%25KT 40°C Sıcaklık Vialit Deneyi Değerleri

	100-150pen.			160-220pen.		
Mıcır Sayısı	1. Levha	2. Levha	3. Levha	1. Levha	2. Levha	3. Levha
Bitümle sarılmamış düşen mıcır sayısı	0	1	1	0	1	0
Mıcır ile sarılmış düşen mıcır sayısı	62	73	65	26	32	47
Levhada kalan düşmeyen mıcır sayısı	38	26	34	74	67	53
Toplam mıcır sayısı	100	100	100	100	100	100
Adezyon miktarı	100	99	99	100	99	100
Ortalama adezyon miktarı	99,33333333			99,66666667		

Ek 24. %50MA+%50BT 40°C Sıcaklık Vialit Deneyi Değerleri

	100-150pen.			160-220pen.		
Mıcır Sayısı	1. Levha	2. Levha	3. Levha	1. Levha	2. Levha	3. Levha
Bitümle sarılmamış düşen mıcır sayısı	1	6	5	2	3	0
Mıcır ile sarılmış düşen mıcır sayısı	93	76	86	47	54	52
Levhada kalan düşmeyen mıcır sayısı	6	18	9	51	43	48
Toplam mıcır sayısı	100	100	100	100	100	100
Adezyon miktarı	99	94	95	98	97	100
Ortalama adezyon miktarı	96			98,33333333		

Ek 25. %50MA+%50BT 80°C Sıcaklık Vialit Deneyi Değerleri

	100-150pen.			160-220pen.		
Mıcır Sayısı	1. Levha	2. Levha	3. Levha	1. Levha	2. Levha	3. Levha
Bitümle sarılmamış düşen mıcır sayısı	0	1	1	1	1	3
Mıcır ile sarılmış düşen mıcır sayısı	56	51	57	46	43	50
Levhada kalan düşmeyen mıcır sayısı	44	48	42	53	56	47
Toplam mıcır sayısı	100	100	100	100	100	100
Adezyon miktarı	100	99	99	99	99	97
Ortalama adezyon miktarı	99,33333333			98,33333333		

Ek 26. %50MA+%50BT 120°C Sıcaklık Vialit Deneyi Değerleri

	100-150pen.			160-220pen.		
Mıcır Sayısı	1. Levha	2. Levha	3. Levha	1. Levha	2. Levha	3. Levha
Bitümle sarılmamış düşen mıcır sayısı	0	0	0	0	0	0
Mıcır ile sarılmış düşen mıcır sayısı	20	13	21	28	22	30
Levhada kalan düşmeyen mıcır sayısı	80	87	79	72	78	70
Toplam mıcır sayısı	100	100	100	100	100	100
Adezyon miktarı	100	100	100	100	100	100
Ortalama adezyon miktarı	100			100		