



**SOĞUK ASFALT YAMA KATKILARININ BİTÜMLÜ KARIŞIMLARIN  
PERFORMANSINA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Tuğba ÖZTÜRK**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TEMMUZ 2019**

Tuğba ÖZTÜRK tarafından hazırlanan “SOĞUK ASFALT YAMA KATKILARININ BİTÜMLÜ KARIŞIMLARIN PERFORMANSINA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Doç. Dr. Mustafa Kürşat ÇUBUK

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

**Başkan:** Prof. Dr. İsmail Özgür YAMAN

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Orta Doğu Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

**Üye:** Dr. Öğr. Üyesi Seda HATİPOĞLU

Trafik Planlaması ve Uygulaması Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 01/07/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Tuğba ÖZTÜRK

01/07/2019

SOĞUK ASFALT YAMA KATKILARININ BİTÜMLÜ KARIŞIMLARIN  
PERFORMANSINA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Tuğba ÖZTÜRK

GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2019

ÖZET

Asfalt kaplama tabakalarında kullanılan malzemelerin seçimi, yol yapım ve kullanımını yani servis kabiliyetini önemli oranda etkilemektedir. Yapım teknikleri ve malzeme özelliklerinde sağlanan gelişmelere rağmen artan taşıt sayısı çevresel etkiler nedeniyle karayollarında yapısal ve yapısal olmayan bozulmalar örneğin lokal oturma, çukurlar oluşabilmektedir. Esnek üst yapı tabakalarında meydana gelen bozulmalar ve bu bozulmaların hızlı bir şekilde onarımını yaparak trafığa açma isteği, bazı bölgelerde bitümlü sıcak karışım uygulama sürelerinin kısa olması nedeniyle soğuk asfalt yama katkılarının kullanımı günümüzde artmaktadır. Ülkemizdeki asfalt tabakalarında kullanılan soğuk asfalt yama katkılarının üretici firmaların ürünle birlikte verdiği katalog/spesifikasyon bilgilerinin dışında ürün bileşimi ve özellikleri ile ilgili belirli bir standart bulunmamaktadır. Bu çalışmada, bitümlü asfalt kaplamalarında yama amaçlı kullanılan soğuk asfalt yama karışımlarının bileşenlerinin ve fiziksel özelliklerinin (bitüm, agrega, katkı özellikleri vb.) tanımlanması, sınıflandırılması, performans ölçümlerinin yapılması amaçlanmaktadır.

Bilim Kodu : 91124  
Anahtar Kelimeler : Soğuk asfalt yama katkısı, bozulma, bitüm, agrega, çukur, asfalt kaplama tabakası  
Sayfa Adedi : 77  
Danışman : Doç. Dr. Mustafa Kürşat ÇUBUK

# THE EFFECTS OF COLD ASPHALT PATCH ADDITIVES ON THE PERFORMANCE OF BITUMINOUS MIXTURES

(M. Sc. Thesis)

Tuğba ÖZTÜRK

GAZİ UNIVERSITY  
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2019

## ABSTRACT

Selection of materials used in asphalt pavement layers significantly affect road construction and usage, such as service capability. Despite advances in construction techniques and material properties, on the occasion of increasing number of vehicles and environmental impacts, structural and non-structural deformations on highways can occur, e.g local collapses and pits. Nowadays, the deterioration of the superstructure layers and the desire to quickly repair this traffic increase cold asphalt patch additives because of hot mix asphalt application time is less in some areas. Cold asphalt patch additives used in asphalt layers in our country, there is no specific standard for product composition and properties except for the catalog/specification information given by the manufacturers. In this study, it is intended to define, performance measurement and classify of cold asphalt patch mixtures components and physical properties (such as bitumen, aggregate, additives properties) that is used as a patch for bitumen asphalt pavement.

Science Code : 91124

Key Words : Cold asphalt patch additives , deformation, bitümen, aggregate, pit, asphalt pavement layer

Page Number : 77

Supervisor : Assoc. Prof. Mustafa Kürşat ÇUBUK

## TEŞEKKÜR

Gazi Üniversitesi Ulaştırma Anabilim Dalı Sayın Doç. Dr. Mustafa Kürşat ÇUBUK'a Yüksek Lisans Tez çalışmamda danışman hocam olarak bilgi ve tecrübesi paylaştığı için, deneysel çalışmalarım da laboratuvar imkânı sunan Karayolları Genel Müdürlüğü Araştırma ve Geliştirme Dairesi Başkanlığı Üstyapı Geliştirme Şubesi Müdürü Sayın Muhammet KOMUT'a, Bitümlü Karışımlar Şefi Sayın Savaş Nedim TUTAN'a ve çok değerli laboratuvar birimi çalışma arkadaşlarıma, bu yolculukta maddi ve manevi desteğini her zaman hissettiğim İnşaat Mühendisi eşim Sayın İsmail ÖZTÜRK'e ve bu tezin yapımı sırasında onlara yeteri kadar vakit ayıramadığım kızım Elif ve oğlum Yiğit'e özverilerinden dolayı çok teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

|                                                                        | Sayfa |
|------------------------------------------------------------------------|-------|
| ÖZET .....                                                             | iv    |
| ABSTRACT.....                                                          | v     |
| TEŞEKKÜR.....                                                          | vi    |
| İÇİNDEKİLER .....                                                      | vii   |
| ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....                                              | x     |
| ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....                                                | xi    |
| RESİMLERİN LİSTESİ .....                                               | xii   |
| RESİMLERİN LİSTESİ .....                                               | xiii  |
| SİMGELER VE KISALTMALAR.....                                           | xiv   |
| <br>1. GİRİŞ.....                                                      | <br>1 |
| 2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI .....                                           | 3     |
| 2.1. Asfalt .....                                                      | 3     |
| 2.2. Yolların Onarımı .....                                            | 4     |
| 2.3. Yol Bakım ve Onarımda Asfalt Çözümleri.....                       | 6     |
| 2.4. Yama ve Çukurların Doldurulması-Küçük Alanlardaki Bozulmalar..... | 6     |
| 2.5. Şeritler Halinde Onarım .....                                     | 7     |
| 2.6. Kazıma ve Yeniden Kaplama.....                                    | 7     |
| 2.7. Takviye Tabakası .....                                            | 7     |
| 2.8. Yeniden Yapım .....                                               | 8     |
| 2.9. Asfalt Yollarda Çukurlar ve Onarımı.....                          | 8     |
| 2.10. Malzeme Seçim Kriterleri.....                                    | 16    |
| 3. SOĞUK YAMA KATKILARIN BELİRLENMESİ .....                            | 19    |
| 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....                                            | 21    |

|                                                                      | <b>Sayfa</b> |
|----------------------------------------------------------------------|--------------|
| 4.1. Belirlenen Soğuk Yama Katkılarına Yapılan Deneyler .....        | 21           |
| 4.1.1. Ağır metal analizi.....                                       | 21           |
| 4.1.2. Kinematik viskozite .....                                     | 23           |
| 4.1.3. Yoğunluk tayini .....                                         | 24           |
| 4.1.4. Toplam asit sayısı .....                                      | 24           |
| 4.1.5. Toplam su tayini .....                                        | 24           |
| 4.1.6. Kırılma indisi tayini .....                                   | 25           |
| 4.1.7. Parlama noktası tayini.....                                   | 25           |
| 4.1.8. Ph ölçümü .....                                               | 25           |
| 4.1.9. Gaz kromatografisi.....                                       | 27           |
| 4.1.10. Destilasyon.....                                             | 28           |
| 4.1.11. FTIR yapı aydınlatma .....                                   | 30           |
| 4.2. Karışım Gradasyonu ve Özellikleri.....                          | 32           |
| 4.2.1. Elek analizi.....                                             | 33           |
| 4.2.2. Los angeles parçalanma direnci tayini deneyi .....            | 34           |
| 4.2.3. Magnezyum sülfat (MgSO <sub>4</sub> ) donma kaybı deneyi..... | 35           |
| 4.2.4. Yassılık indeksi deneyi .....                                 | 36           |
| 4.2.5. Metilen mavisi deneyi.....                                    | 37           |
| 4.2.6. Özgül ağırlık ve absorpsiyon (su emme) deneyi.....            | 38           |
| 4.2.7. Soyulma mukavemeti deneyi.....                                | 39           |
| 4.3. Bitümlü Bağlayıcılar .....                                      | 40           |
| 4.3.1. Penetrasyon deneyi .....                                      | 41           |
| 4.3.2. Yumuşama noktası deneyi .....                                 | 42           |
| 4.3.3. Parlama noktası deneyi .....                                  | 43           |

|                                                           | <b>Sayfa</b> |
|-----------------------------------------------------------|--------------|
| 4.3.4. Özgöl ağırlık deneyi.....                          | 43           |
| 4.3.5. Brookfield viskozite deneyi .....                  | 44           |
| 4.4. Bitümlü Bağlayıcı ve Soğuk Yama Katkı Karışımı ..... | 45           |
| 4.4.1. Kütle kaybı deneyi .....                           | 46           |
| 4.4.2. Brookfield viskozite deneyi .....                  | 47           |
| 4.5. Bitümlü Karışım Hazırlanması.....                    | 49           |
| 4.5.1. Marshall metodu ile bitümlü karışım dizaynı .....  | 50           |
| 4.5.2. Marshall stabilite ve akma deneyi.....             | 55           |
| 4.5.3. İndirekt çekme mukavemeti deneyi .....             | 57           |
| 4.5.4. İşlenebilirlik testi .....                         | 59           |
| 5. SONUÇ VE TARTIŞMALAR.....                              | 65           |
| KAYNAKLAR.....                                            | 69           |
| EKLER.....                                                | 74           |
| EK-1 Soğuk Yama Katkı Karışım Dizaynı.....                | 75           |
| ÖZGEÇMİŞ .....                                            | 76           |
| DİZİN.....                                                | 77           |

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

| Çizelge                                                                                            | Sayfa |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Çizelge 2.1. Soğuk yama malzemelerinde yaşanan sorunlar ve sıkıntı mekanizmaları .                 | 17    |
| Çizelge 4.1. Atık madeni yağ kategori belirleme parametreleri ve sınır değerleri .....             | 22    |
| Çizelge 4.2. Baz yağlar için müsaade edilebilir kirleticiler muhtevası.....                        | 22    |
| Çizelge 4.3. Ağır metal tayini deneylerin sonuçları .....                                          | 23    |
| Çizelge 4.4. Soğuk asfalt yama katkıları toplu analiz sonuçları .....                              | 26    |
| Çizelge 4.5. Bitkisel esaslı ürünleri GC analiz sonuçları.....                                     | 27    |
| Çizelge 4.6. Vakum destilasyonu sonucu elde edilen farklı sıcaklardaki destilat<br>yüzdeleri ..... | 30    |
| Çizelge 4.7. Elek analizi deney sonuçları .....                                                    | 34    |
| Çizelge 4.8. Agrega deney sonuçları .....                                                          | 40    |
| Çizelge 4.9. B70/100 bitümün deney sonuçları .....                                                 | 45    |
| Çizelge 4.10. B70/100+katkıların kütle kaybı deney sonuçları.....                                  | 46    |
| Çizelge 4.11. B70/100+ SYK1 numunesi Brookfield viskozite deney sonuçları.....                     | 47    |
| Çizelge 4.12. B70/100+ SYK2 numunesi Brookfield viskozite deney sonuçları.....                     | 48    |
| Çizelge 4.13. B70/100+ SYK3 numunesi Brookfield viskozite deney sonuçları.....                     | 48    |
| Çizelge 4.14. B70/100+ SYK4 numunesi Brookfield viskozite deney sonuçları.....                     | 48    |
| Çizelge 4.15. B70/100+ SYK5 numunesi Brookfield viskozite deney sonuçları.....                     | 49    |
| Çizelge 4.16. B70/100+ SYK6 numunesi Brookfield viskozite deney sonuçları.....                     | 49    |
| Çizelge 4.17. Marshall deney sonuçları .....                                                       | 54    |
| Çizelge 4.18. Stabilite deney sonuçları.....                                                       | 57    |
| Çizelge 4.19. İçm deney sonuçları.....                                                             | 59    |
| Çizelge 4.20. İşlenebilirlik deney sonuçları .....                                                 | 63    |
| Çizelge 6.1. Marshall deney formu.....                                                             | 75    |

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

| Şekil                                                           | Sayfa |
|-----------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 4.1. SKY3 katkı malzemesi destilatı kromatogramı .....    | 28    |
| Şekil 4.2. SKY3 Asmosferik ve vakum destilasyon sonuçları ..... | 29    |
| Şekil 4.3. SKY5 FTIR spektrumu .....                            | 31    |
| Şekil 4.4. SKY2, SYK3, SYK4, SYK5 ve SYK1 FTIR Spektrumu .....  | 32    |
| Şekil 4.5. Sıcak karışım dizayn Dp grafiği .....                | 52    |
| Şekil 4.6. Sıcak karışım A.B.D grafiği .....                    | 52    |
| Şekil 4.7. Sıcak karışım boşluk grafiği .....                   | 53    |
| Şekil 4.8. Sıcak karışım V.M.A grafiği .....                    | 53    |
| Şekil 4.9. Sıcak karışım stabilite grafiği .....                | 56    |
| Şekil 4.10. Sıcak karışım akma grafiği .....                    | 56    |

## RESİMLERİN LİSTESİ

| Resim                                                                                   | Sayfa |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Resim 1.1. Ser ve sıkıştır prosedürüne göre malzeme yerleştirilmesi ve sıkıştırılması.. | 12    |
| Resim 1.2. Yarı-kalıcı onarım prosedürü.....                                            | 13    |
| Resim 4.1. Ağır metal tayin cihazı görüntüsü.....                                       | 21    |
| Resim 4.2. Kinematik viskozite cihazı .....                                             | 24    |
| Resim 4.3. Parlama noktası cihazı .....                                                 | 25    |
| Resim 4.4. Gaz kromatografi cihazları .....                                             | 27    |
| Resim 4.5. Asmosferik vakum destilasyon cihazı .....                                    | 29    |
| Resim 4.6. FITR yapı aydınlatma cihazı .....                                            | 31    |
| Resim 4.7. Elek analizi deneyi.....                                                     | 34    |
| Resim 4.8. Los Angeles deneyi.....                                                      | 35    |
| Resim 4.9. Magnezyum sülfat ( $MgSO_4$ ) donma kaybı deneyi .....                       | 36    |
| Resim 4.10. Yassılık indeksi deneyi seti .....                                          | 37    |
| Resim 4.11. Metilen mavisi deneyi seti .....                                            | 37    |
| Resim 4.12. Özgül ağırlık ve absorpsiyon (su emme) deney seti.....                      | 39    |
| Resim 4.13. Malıköy Taş ocağı soyulma mukavemeti deney numunesi.....                    | 39    |
| Resim 4.14. B70/100 Kırıkkale bitümü penetrasyon deneyi .....                           | 42    |
| Resim 4.15. B70/100 Kırıkkale bitümü yumuşama noktası deneyi.....                       | 42    |
| Resim 4.16. B70/100 Kırıkkale bitümü parlama noktası deneyi.....                        | 43    |
| Resim 4.17. B70/100 Kırıkkale bitümünün özgül ağırlık deneyi .....                      | 44    |
| Resim 4.18. Brookfield deneyi .....                                                     | 44    |
| Resim 4.19. SKY5 + B70/100 ve SKY6+B70/100'e ait penetrasyon ve yumuşama noktası.....   | 46    |
| Resim 4.20. SKY1, SKY2 ve SKY3 kütle kaybı deney numuneleri.....                        | 47    |

| <b>Resim</b>                                                                | <b>Sayfa</b> |
|-----------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Resim 4.21. SYK3 katkısı ile karışım hazırlama .....                        | 53           |
| Resim 4.22. SYK3 katkısı ile Marshall briketi hazırlama .....               | 54           |
| Resim 4.23. SKY3 katkısı ile hazırlanan numuneye ait stabilite deneyi ..... | 55           |
| Resim 4.24. PVC numune hazırlama kalıbı ve yığılma aparatı .....            | 60           |
| Resim 4.25. Numune kalıba sıkıştırılması .....                              | 61           |
| Resim 4.26. PVC numune koşullandırma .....                                  | 61           |
| Resim 4.27. Kalıptan çıkan SYK3 numunesi .....                              | 62           |
| Resim 4.28. Yığılmış SYK3 numunesi .....                                    | 62           |
| Resim 4.29. SYK3 numunesinin yayılması .....                                | 63           |

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

### Simgeler

### Açıklamalar

|                 |                   |
|-----------------|-------------------|
| <b>cSt</b>      | Santi stoke       |
| <b>mPaS</b>     | Mega Paskal       |
| <b>mgKOH/gr</b> | Metrekare         |
| <b>ppm</b>      | Milyonda bir      |
| <b>%T</b>       | Yüzde Geçirgenlik |
| <b>mm</b>       | Milimetre         |
| <b>kPa</b>      | Kilo pascal       |

### Kısaltmalar

### Açıklamalar

|             |                                             |
|-------------|---------------------------------------------|
| <b>ASTM</b> | American Society for Testing and Materials  |
| <b>FTIR</b> | Fouirer Transform Infrared Spektrofotometre |
| <b>IR</b>   | Infrared Spektrofotometre                   |
| <b>İÇM</b>  | İndirekt Çekme Mukavemeti                   |
| <b>KTŞ</b>  | Karayolları Teknik Şartnamesi               |
| <b>MC</b>   | Orta Hızda Kürleşen                         |
| <b>RC</b>   | Hızlı Kürleşen                              |
| <b>SC</b>   | Yavaş Kürleşen                              |
| <b>TS</b>   | Türk Standardı                              |
| <b>UV</b>   | Ultra Violet                                |

## 1. GİRİŞ

Asfalt kaplama tabakalarında kullanılan malzemelerin seçimi yolun kullanımına bağlı servis kabiliyetini önemli oranda etkilemektedir. Yapım teknikleri ile malzeme özellikleri bakımından sağlanan gelişmelere rağmen gün geçtikçe artan trafik sayısı ile çevresel etkiler nedeniyle karayollarında yapısal veya yapısal olmayan bozulmalar meydana gelebilmekte, yolda lokal oturmalar ya da kaplamada çukurlar oluşabilmektedir. Kaplamada meydana gelen çukurların oluşma sebepleri başlıca; yanlış yapım teknikleri, kalite kontrol eksiklikleri, kullanılan malzemenin yeterli kalitede olmayışı, üstyapı granüler tabakalarındaki atılamayan rutubet, donma çözünme ve trafik etkileri ile üstyapı tabakalarının yetersiz oluşu şeklinde sıralanabilir. Meydana gelen bu bozulmaların onarımı sırasında küçük miktarlarda Bitümlü sıcak karışım üretimi yapmak ve depolamak mümkün olmamaktadır. Bu yüzden stoklama ve ani kullanıma olanak veren soğuk karışım asfaltların kullanımı tercih edilmektedir. Bu çalışmada soğuk yama katkılarının tanımlanması ve performans dayanımının belirlenmesi amacıyla deneyler yapılmış ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

Problem durumu / Konunun tanımı: Karayollarındaki kaplama tabakalarında meydana gelen çukur tamirinin kış aylarında da yapılabilmesini sağlayan Soğuk yama karışımların içerisinde bulunan agrega, bitüm ve katkı tipinin özelliklerinin belirlenmesi yolun tamir sonrası performansı için en önemli unsurlardan biridir. Soğuk yama katkı üretimi sırasında atık yağ kullanıldığı da bilinmektedir. Ülkemizde kullanılan soğuk yama katkıların kimyasal özellikleri belirlenmesi ve aynı karışım tipinde katkıların performansların karşılaştırılması katkı performans ilişkisini belirlemede yol gösterici olacaktır.



## 2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

### 2.1. Asfalt

Yol üstyapı tabakalarında kullanılan malzemeler agregalar (iri ve ince) ile bitümlü bağlayıcılardan oluşmaktadır. Karışımın tipine ve uygulama özelliklerine bağlı olarak bağlayıcı içeriği ağırlıkça %3-%7 arasında değişebilmektedir. Kaplama tabakalarında kullanılmak üzere seçilen agregalar, karışım dizayn özellikleri göz önünde bulundurularak agregalar boyutu ve fiziksel özelliklerine göre belirlenirler. Bitümler ise ham petrolün damıtılması sonucu meydana çıkan viskoz özelliğe sahip hidrokarbonlardır. Bu üretim sırasında viskozitesine ve dayanımına göre farklı sınıflarda bitümler elde edilebilir. Bitümler sıcaklık ve dayanım özelliklerini artırmak amacıyla bazı katkıları kullanılarak (polimer vb.) modifiye edilebilirler.

Bitümün kaplama tabakalarında kullanılmasının en önemli nedeni termoplastik davranış göstermesidir. Termoplastik davranışta bitümler belirli bir sıcaklığa ısıtıldıklarında yumuşar ve akıcı hale gelirler, soğuduklarında ise tekrar sertleşirler. Bu davranıştan ötürü işlenebilirliği sağlamak için asfalt serimi yaparken karışımı 140-160°C sıcaklık aralığında tutmak gerekir. Ayrıca bitüm viskoelastik özelliğinden dolayı normal şartlarda katı gibi bir davranış sergilemekte ancak yük altında oluşan deformasyon yük kalktığında eski haline dönebilmektedir. Bu durumda, asfalt yük altında basınç etkisine tepki olarak gelişen taban hareketleriyle beraber çalışır ve oluşan çok küçük çatlaklar kendiliğinden kapanabilir. Uygulama sırasında maliyet ve hizmet süresine bağlı olarak farklı karışım reçeteleri seçilebilmektedir.

Bitümlü Temel tabakası, üstyapıya gelen trafik yükünü karşılaması için uygulama kalınlığı diğer tabakalara göre daha kalın şekilde dizayn edilmektedir.

Binder tabakası, aşınma tabakası ile bitümlü temel tabakası arasında düzgün bir sathın sağlanması için kullanılan ve aşınma tabakasına gelen yükü alt tabakaya aktarımını sağlayan tabakadır. Bünyesindeki nemli atması için kurutulan farklı dane boyutlarındaki agregalar dizaynda bulunan oranlarda ve bitümlü bağlayıcıyla beraber asfalt plentinde karıştırılır.

Aşınma tabakası sürüş konforu açısından yüzeyi düzgün, kayma direncini sağlayacak yapıda ince bir tabakadır.

Plentte hazırlanan bitümlü karışım, uygulama alanına kadar sıcaklığını muhafaza edebilmek için üzeri örtülü kamyonlarla taşınmalıdır. Sıcaklık karışımın işlenebilirliği açısından çok önemli olduğu için taşıma mesafelerini mümkün olduğunca kısa tutmak önemlidir.

Kamyonla uygulama yerine getirilen karışım finişerin (serici) haznesine boşaltılır, finişer haznesindeki bitümlü karışımı helezonlar yardımıyla tablaya doğru ileterek finişerin mevcut genişliğince karışım serilir. Finişer içerisindeki helezonlar karışımı tabla boyunca dağılmasını ve finişer öne doğru hareket ederken karışımın düzgün ve eşit kalınlıkta serilmesini sağlamaktadır.

Karıştırma ve serme süresince karışım sıcaklığını kaybederek sertleşmeye başladığından serim işlem tamamlandığında vakit kaybetmeden silindirle sıkıştırılma işlemi yapılmalıdır.

## **2.2. Yolların Onarımı**

Yollar; özellikle yüzey tabakalarından başlayarak asfalt tabakalarının zamanla deformasyona uğrayacağı, aşınma veya bazı bozulmalar olabileceği bilinci ile tasarlanır. Bu nedenle sürücülerin güvenliği için yüzeydeki bozulmaların periyodik olarak onarılması gerekir. Bazen binder tabakasının yenilenmesi ve nadir olarak temel tabakasının yeniden yapılması gerekebilir.

Çevresel etkenlerden UV ışınları, oksijen, sıcaklık ve soğuk hava koşullarına maruz kalan yollarda suyun donması ve donma-çözünme olaylarının oluşması bozulmaları hızlandırır. Üstyapının her tabakasında suyun olumsuz etkileri görülür. Yaş taban toprağı ve doymun hale gelmiş granüler malzemeler çok zayıf taşıma gücüne sahiptirler.

Taban toprağının neminin değişmesi sonucu mevsimsel şişme ve büzölmeler oluşur. Bütün bu etkenler, bağlayıcılı tabaklarda çatlak ve bozulmaların oluşmasına neden olabilir. Taban drenajının olmaması halinde tüm yol yapısı taşıma gücünü kaybedebilir. Sonuç olarak yeterli drenajın sağlanması ve fonksiyonel halde tutulması hayati derecede öneme sahiptir.

Su; bağlayıcı malzeme içine girdiğinde, tabaklar arasından, derzlerden veya çatlaklardan aşağıya doğru sızarak agrega yüzeyinden bağlayıcının soyulmasına, bağlayıcısız malzemelerde ise dağılmalara neden olabilir. Bu durum kontrol altına alınmazsa özellikle kışın donma periyodundan sonra üstyapının tamamında bozulmalar meydana gelebilir.

Bitüm zamanla yaşlanır ve bitüm içindeki daha hafif olan yağlı bileşenlerin buharlaşması da dahil olmak üzere oluşan kompleks fiziksel ve kimyasal işlemler sonucunda bitüm sertleşir. Sert bitüm kırılgan olduğundan agrega ile adezyonu azalır, bozulmalara karşı daha hassas olur ve normal gerilmelere karşı direnci veya dayanımı düşer. Karışım tipine bağlı olarak sertleşme derecesi farklılık gösterir. Ayrıca tabakanın üstyapıdaki yeri de önemlidir, örneğin yüzey tabakası doğrudan güneş ışınlarına, ısıya veya diğer şartlara maruz kaldığından alta tabakalara göre daha çok etkilenir.

Yüzey tabakalarında trafiğin cilalanma etkisi ile yüzey dokusu kaybolarak kayma direnci azalabilir. Üstyapının tüm tabakalarında olan deformasyonların yüzeyden itibaren yenilenerek onarılması gerekir. Ayrıca yüzeyden alt tabakalara su girişini engellemek için yüzey sızdırmazlığı sağlanmalıdır. Kışın çivili lastikler kullanılması halinde yüzeyde malzeme aşınmalarının olduğu kesimler düzenli olarak yenilenmelidir.

İyi tasarlanmış ve bakım yapılmış yollarda yüzey tabakalarının ömrü 15-25 yıl civarındadır. Üstyapının yapısal tabakaları genellikle 30-40 yıllık hizmet ömrü ile dizayn edilir. Üstyapıların durumu düzenli olarak değerlendirilerek ömrünün sonuna yaklaşıldığında bazı önemli takviyeler veya yenilemelerin yapılması gerekir. Sadece yüzey tabakasının yenilenmesi ve onarılmasını gerektiren uzun ömürlü üstyapılarda daha iyi mukavemet elde edilebilir.

Asfaltın üstyapı dizaynında ve yapımında sağladığı esneklik ve uyumluluk sonucu yol basit bir şekilde takviye edilerek (veya genişletilerek) dayanımı ve trafik kapasitesi (trafik hacmi ve ağırlığı) arttırılabilir.

Asfaltın sağladığı bu imkân doğrultusunda yol ömrünün uzatılması ve performansın artırılmasına yönelik yapım ve bakım stratejileri finans olanaklarına bağlı olarak değişir.

### 2.3. Yol Bakım ve Onarımında Asfalt Çözümleri

Farklı üstyapı tiplerinin bakım ve onarımında yol idaresinin bütçesinden ayırabileceği finansal kaynağa, bozulma tipine, boyutuna ve derinliğine bağlı olarak asfalt kullanılması mümkündür. Uygulama prensipleri aynı olan ve koruyucu bakım yöntemlerinin her ikisi de uygulanabilir.

### 2.4. Yama ve Çukurların Doldurulması-Küçük Alanlardaki Bozulmalar

Yol yüzeyinde oluşan tipik çukurların alanı küçük (maksimum boyutu <300 mm) ve derinliği (<50 mm) fazla değildir. Ancak bu çukurlar onarılmazlarsa kenarlarında bulunan diğer bozuk kısımlarla birleşerek alanı ve derinlikleri artar ve hendek haline gelebilir. En önemli sorun trafiğin ve suyun etkisiyle bu alanlarda malzeme kaybının olması veya altyapıda ciddi boyutta çöküntülerin meydana gelmesidir. Bazen yol kullanıcılarının güvenliği açısından kalıcı etkin bir onarım yapılınca kadar çukurlar geçici olarak doldurulur. Asfalt karışımları ile yapılan bu doldurma işleminde, özellikle uygulamanın ve sıkıştırmanın kolay olması için işlenebilirlik süresi uzun olan asfalt karışımları kullanılır ve trafik etkisiyle sıkışma sağlanabilir. Çukurların geçici olarak doldurulması bozulmalara çözüm olmaz ve sonuçta aşağıya doğru malzeme kayıpları olarak çukurlar yine görünür hale gelir.

Üstyapının kalıcı olarak stabilitesini ve sürüş kalitesini artırmak için çukurlarda kalıcı onarımın yama ile yapılması gerekir. Yama işlemi bozuk üstyapı alanında yapılan kısmi bir onarımdır. Bu işlemde çukur etrafında en az 150 mm'lik kısımdaki veya bozuk olan alandaki malzeme, tabakanın sağlam olan derinliğine kadar kesilir. Kesilen yerlerde köşeler düzgün olmalıdır. Kesilen alandaki malzeme tamamen alınıp süpürülerek temizlenir ve alan kurutulur. Yama malzemesinin yüzeye iyice yapışması için kazınmış alanın tüm yüzeyleri (alt yüzey dahil) sıcak bitüm veya bitüm emülsiyonu püskürtülerek veya fırça ile sürülerek kaplanır. Yama malzemesinde agrega boyutu kazılan malzeme boyutuna eşdeğer veya bir alt boyutta olmalıdır. Yama malzemesinin kazılan alanın boyutuna uygun ekipmanla ve yanındaki tabaka ile aynı seviyede sıkıştırılması gerekir.

## **2.5. Şeritler Halinde Onarım**

Yolda çok şeritli üstyapının sadece bir şeridinde veya yol platformunun bir kısmında tipik olarak tekerlek izinde veya izleri arasında yapılan onarım işleri çukur onarımına benzer. Genellikle yaygın çatlak ve/veya aşırı deformasyonlar (tekerlek izi) oluşmuş şeritte veya şeridin bir kısmında altyapı tesisatı veya drenaj hattının yapımı için yol platformu üzerinde açılan kanallarla ve ağır trafik şeridinde gerekli yenileme işlemlerinin yapılması gerekir. Bu tip onarımda yama yapımında olduğu gibi bozuk alanın kazınması ve aynı prensiple yeniden yapılması gerekir. Ancak bu işlemin uygulama derinliği bozuk malzemeninkinden daha fazla olabilir.

## **2.6. Kazıma ve Yeniden Kaplama**

Yüzey tabakası ve/veya bazı durumlarda binder tabakasının hepsi veya bir kısmı tüm platform genişliğince yenilenir. Mevcut malzemenin kazınmasının en etkin yöntemi bu amaç için imal edilmiş özel makinaların kullanılmasıdır. Bu makinalar derin kazıma yapacak şekilde çalıştırılabildiğinden şerit ve kanal kazıma işlemlerinde de kullanılabilir. Kazınan alanlar büyük makinalarla süpürülür ve yeni malzeme seriminden önce bitüm esaslı yapıştırıcı yüzeye ve kenarlara uygulanır. Şeritler halinde onarımda ve yeniden kaplama işlemlerinde kazınan malzeme kalınlığı kadar uygulanacak olan yeni asfalt karışımının özelliklerinin yoldan kazınan malzemeye eşdeğer veya değişen trafik tipi veya hacmine göre daha yüksek performansa sahip olması gerekir.

## **2.7. Takviye Tabakası**

Mevcut yüzey tabakasının üzerine takviye tabakası uygulanır. Bu uygulamada mevcut üstyapı kabul edilebilir bir yapıya sahip olup sürüş kalitesini iyileştirmek, kayma direncini artırmak ve ilave belirli bir kalınlıktaki tabaka ile üstyapı ömrünü uzatmak amacı ile teşkil edilir. Ancak 40 mm'den daha ince olan takviye tabakalarının genellikle üstyapıya yapısal bir dayanım kazandırmadığı düşünülebilir. Bu işlemde, yol kotuna özellikle köprü altlarındaki yüksekliğe, çarpma bariyerlerinin seviyelerine ve diğer yol donatıları ile drenajlara özel itina gösterilmelidir.

## 2.8. Yeniden Yapım

Üstyapının servis ömrünü tamamladığı ve onarılmasının mümkün olmadığı durumlarda yeniden yapım gereklidir. Yolun üstyapısı, altyapısı, drenajı ve malzemeleri geleceğin ihtiyaçlarına uygun olarak yeterli performansı sağlayacak şekilde dizayn edilmelidir. Yoldaki mevcut malzemeler yeniden kullanılmak üzere kazılarak kaldırılır. Geçici veya kalıcı olarak çukur onarımı, yama yapılması, yenileme, takviye ve yeniden yapım işlemlerinde kullanılan asfalt karışımının bileşen malzemeleri ve dizaynı uygulanacak alanın performans gereklerine uygun olmalıdır [1]. Tüm bu çalışmalar ışığında maliyet, performans kriterleri, uygulama yöntem ve tekniklerin tespitinde önceki çalışmalardan yararlanılarak en uygun çözüm belirlenmelidir.

## 2.9. Asfalt Yollarda Çukurlar ve Onarımı

Asfalt çukurların yamanması, genellikle ya gerektiği durumlarda acil onarım olarak ya da daha sıcak ve kuru dönemlerde rutin bakım olarak yapılır. Yama işlemleri bahar ve kış aylarında 38°C sıcaklıktan -18°C sıcaklığa kadar geniş bir sıcaklık aralığında uygulanabilir. Derin çukurların onarım zamanı ilk periyoda ayrılabilir. İlk periyot sıcaklığın düşük olduğu, temel malzemesinin donmuş, donma-çözülme olayının periyodik olduğu kış dönemi, ikinci periyot ise temel malzemesinin yumuşak ve ıslak olduğu bahar dönemidir. Trafik ve hava koşulları değişse de kaliteli onarım için malzeme ve yöntemler oldukça benzerdir [2].

Asfalt çukurlar; nem, donma-çözülme, trafik, zayıf altyapı gibi sebeplerden ya da bu sebeplerin birkaçının kombinasyonundan meydana gelir. En önemli etken su ve trafiktir. Ağır trafik yükü ve diğer faktörler çatlaklar yaratabilir, bu da suyun bu kırıklardan sızıp asfaltı yumuşatmasına sebep olur. Trafiğe maruz kalmaya devam eden zayıf malzeme hareket etmeye başlar, sonrasında da desteklenemeyen kaplama kırılır. Donma-çözülme olayları da çukurların oluşmasında büyük bir etkidir [3].

Asfalt yolların bakım ve tamiri asfaltın ömrü, sürüş konforu, temel tabakasına suyun geçmesinin engellenmesi açısından önemlidir [4].

Yol çukurlarının tamiri kalıcı ve yarı-kalıcı olarak iki şekilde yapılır [5]. Limitli kaynak ve insan gücü sebebiyle bakım ve tamirin önemi artmıştır. Yolların tamiri çatlak tamiri, sızdırmazlık kaplamaları ve üst kaplama gibi çeşitli şekillerde tam ve kısmi derinlik yamama, püskürtmeli yüzey işlemleri gibi yöntemlerle yapılabilir. Tekerlek izi ve çöküntü olan asfalt yüzeylerinde çöküntü olan alana asfalt doldurma işlemi uygulanır, bu geçici bir onarımdır. Eğer tekerlek izi ve çökme olan alan timsah çatlama ile birlikteyse tam ve kısmi derinlik yamama birlikte uygulanmalıdır [4].

Malzeme seçimi ve asfaltlama dizaynında ki yeniliklere ve gelişmelere rağmen yollarda çöküntü, bozukluk ve çukurlar oluşabilir [5].

Soğuk asfalt karışımı agrega, bağlayıcı ve karışımın işlenebilirliğini sağlayan katkı malzemesinden oluşur. Son yıllarda soğuk karışım olarak kullanılabilen onarım amaçlı asfaltlar, işlenebilirlik süresini artırıcı katkı malzemesi ilave edilerek sıcak olarak plentte üretilir. Katkı malzemesi, karışımın soğumasına rağmen işlenebilirliğini uzun süre (2 ile 6 ay arası) korumasını sağlar [6].

Stok soğuk yama asfalt karışımlarda kullanılan cutback asfalt sınıfları SC 250, SC 800, MC 250, MC 800 olarak isimlendirilmiştir. Yerinde yapılan asfalt karışımlarda genellikle SC 250, SC 800, MC 250, MC 800 tipi asfaltlar kullanılır [7].

Cutback asfalt çözücü (solvent) ya da benzin, dizel, kerosen ya da nafta gibi distilatlar içeren oda sıcaklığında sıvı olan böylece agrega ile kaplanması geliştirilmiş bir asfalt karışımıdır [7].

Bu bozukluklar özellikle küçük boyutlarda ve izole bölgelerdeyse en yaygın bakım/onarım fonksiyonel olarak yolu tekrar kullanıma açmaktır. Üstyapıda asfaltta oluşan deliklerin yamanması pahalı ve zaman harcayan bir işlem olması açısından önemli bakım operasyonlarından biridir. Soğuk ve yağışlı mevsimlerde, üstyapıda kırılmaların yamanması çatlakların/deliklerin büyümemesi, bu deliklerin kazalara sebep olmaması açısından önemlidir [8].

Ortalama olarak her yıl Amerika'da 1 milyon dolardan fazla yol bakımlarında harcama yapılır [9].

Cutback asfaltların kullanımının kısıtlanmaya çalışılması ve çevresel zararları göz önüne alan kısıtlayıcı düzenlemeler düşünüldüğünde, cutback asfalt katkıları (cutter oil) yerine soğuk asfalt karışımlarda flux oil katkıların kullanımı yaygınlaşmıştır.

Flux oil katkıların cutback asfalt katkılarından farkı daha yüksek buharlaşma sıcaklığına sahip olmaları sebebiyle içindeki uçucuların asfalt hazırlama sıcaklıklarında buharlaşmayarak çevreye zarar vermemesidir. Soğuk asfalt karışımlarda flux oil katkıları daha uzun süre ile bağlayıcı viskozitesini düşürürler [10].

Sıvı petrol asfaltlar (cutback) veya emülsiyon asfaltlar soğuk asfalt kaplama tabakalarında kullanılır. Soğuk karışımda Türkiye’de kullanılan sıvı petrol asfaltları MC 800, RC 800, bitüm emülsiyonları ise MS-2 ve SS-1’dir [11].

Soğuk karışımlar emülsiyon asfalta veya sıvı asfalta mineral agregaya karıştırılarak yapıldığı gibi flux oil adı verilen akışkan yağlar ya da cutback katkısı adı verilen yağlar kullanılarak da yapılabilir. Flux oil kullanılması durumunda, agregaya ve bitüm düşük sıcaklıklarda karıştırılır ve karışıma, flux oil ilave edilir. Bağlayıcı olarak flux oil ya da cutback asfalt katkısı kullanılması durumunda, asfalt paketlenip depolanabilir. Paketlenen asfalt hava almaması koşuluyla 6 ay kadar özelliklerini kaybetmeden muhafaza edilebilir [12].

Cutback asfaltlar kürleşme süreleri ve viskozitelerine göre ayrılırlar. Hızlı kürleşme (RC) ve orta kürleşme (MC) olarak ifade edilmeleri karışımda bulunan çözücülerin uçuculuğundan kaynaklanır. Hızlı kürleşen cutback katkıları petrol ve benzin gibi yüksek uçuculukta çözücüler içerirken, orta kürleşme gösteren cutback katkıları gazyağı gibi daha az uçucu çözücüler içerir. Viskoziteleri ise 30-3000 cSt arasında değişen değerlerde tanımlanır. Değerin küçük olması ürünün daha çok çözücü içerdiği ve viskozitesinin daha düşük olduğunu gösterir. MC-30 yaklaşık %35-40 çözücü içerirken, MC-3000 %5 çözücü içerir [13].

Cutback asfaltlar iki harf ve ardından bir sayıyla sınıflandırılırlar. İlk iki harf cutback asfaltın yavaş, ortam ya da hızlı kürleştiğini ifade eder. Ardından gelen rakam ise asfalt karışımının 60°C sıcaklıktaki minimum kinematik viskozitesidir. Örneğin, MC-250 cutback asfaltın 60°C’deki kinematik viskozitesi 250 cSt dir. Benzin ya da nafta kullanılırsa karışım hızlı kürleşen (RC, rapid curing), dizel ya da kerosen kullanıldığında orta derecede

kürleşen (MC, medium curing), daha az uçucu distilat olan gaz yağı ile hazırlandığında ise yavaş kürleşen (SC, slow curing) karışım olur. Asfalt karışımındaki distilat miktarı viskoziteyi dolayısıyla cutback asfalt sınıfını belirler. Cutback asfaltlar %12-40 distilat içerebilir. Bu distilatların enerji sektöründe kullanımına olan talebin artması ve artan hava kalite regülasyonları sebebiyle cutback asfalt kullanımında düşüş olmuştur.

Cutback asfalt uygulandıktan sonra içindeki uçucular buharlaşır, asfalt çimentosu yüzeyde kalır. Uçucunun buharlaşarak uzaklaşmasına kürleşme denir. Faydalarına rağmen cutback asfaltın kullanımı çevresel düzenlemeler ve yüksek enerjili ürünlerin kaybından dolayı giderek azalmaktadır. Cutback asfaltların içerdiği uçucular atmosfere salındığı için çevresel sorunlara sebep olur. Cutback asfaltların bazı ülkelerde kullanımı kısıtlanmış ya da yasaklanmıştır. Örneğin, Teksas Çevre Kalite Komisyonu tarafından konulan düzenlemeler ile 15 Nisan-15 Eylül arası dönemde kullanımı, yama amaçlı kullanım dışında yasaklanmıştır [13].

Cutback asfaltın içine karıştırılan petrol bazlı uçucuların üretimi yüksek enerjili prosesler gerektirir, yalnızca suyun kullanıldığı ya da emülsiyede ajanların kullanıldığı proseslere göre daha pahalıdır [14].

Çukurların onarımında bitümlü sıcak karışım asfalt yerine genellikle soğuk asfalt karışımlar kullanılır. Her ne kadar bitümlü sıcak karışımın davranışı, performansı hakkında geniş bilgi olsa da, yollardaki bu bozukluk ve çukurların onarımında küçük miktarda üretim ve depolama mümkün değildir. Bu yüzden stoklama ve ani kullanıma olanak veren soğuk karışım asfaltlar kullanılır [15].

İlk soğuk karışım asfalt kullanım çalışmaları 1970'lerde incelenmiştir. Prowell and Franklin 1990'ların ortasında Virjinya Ulaştırma Departmanı için yaptıkları çalışmada yama işlemleri için bir performans değerlendirme sistemi geliştirmiştir. Sistemde işlenebilirlik ve yama ömrünün yanında görsel muayene, kasma, çözülme, sökölme gibi parametreler de değerlendirilmiştir. Sonuçlara göre karışım instabilitesi başarılı yama malzemelerindeki en önemli limitasyon olduğu bildirilmiştir.

Agrega gradasyonu, süzülen asfalt miktarı, agreg a yüzey alanı, agreg a absorpsiyonu, agreg a dayanımı gibi çok fazla değ erlendirme kriteri olmasına rağmen soğ uk karış ım asfaltların değ erlendirilmesinde karış ım iş lenebilirliğı , agreg a gradasyonu ve artık asfalt içeriğ inin performanstan daha önemli bir kriter olduğı belirtilmiştir [15].

Sürüş konforu ve güvenlik sebebiyle tespiti yapılan çukurların tamiri genellikle optimum yama koş ulları için beklenmeden tamir edilir. Çukurun yamanmasında malzeme seçimi ve onarım prosedür yamanın kalitesini etkiler. “Throw and roll” tekniğı kış sezonu boyunca tercih edilen standart bir metottur. Yama malzemesi çukurun iç ine dökülerek üzerinden silindir geçirilerek sıkıştırılır. Eğer sıkış ma sonrası çöküntü gözlenirse malzeme eklenerek tekrar silindir geçirilir. Yama malzemesinin çukurun iç ine yerleştirilmesi uygulamayı yapan personele göre değ iş iklik gösterir. Çukurun temizlenmesi, yumuş amış alt tabakanın süpürülmesi yamanın kalitesini önemli derecede etkiler. Kış aylarında yapılan yamama iş lemleri genellikle kısa ömürlü olur.



Resim 1.1. Ser ve sıkıştır prosedürüne göre malzeme yerleştirilmesi ve sıkıştırılması

Yarı-kalıcı onarım metodu ise en iyi onarım metodu olarak uygulanır. Bu metoda göre çukurdaki su ve döküntü parçalar kaldırılır. Resim 1.2.’de görüldüğü gibi asfalt kesici ekipman yardımıyla çukurun kenarları kesilerek düzeltilir, malzeme iç ine dökülür. Yamama alanından daha küçük bir kompaktör yardımıyla malzeme sıkıştırılır. Alan trafiğ e bölge boş altıldıktan sonra en kısa zamanda açılır.



Resim 1.2. Yarı-kalıcı onarım prosedürü

Sprey-injeksiyon metoduna göre ise onarım yerindeki su ve diğer parçalar temizlenir, yapıştırma tabakası (tack coat) çukurun taban ve kenarlarına püskürtülür. Agregası ve bağlayıcı da çukurun içine püskürtülür. En son olarak yama alanı agrega tabakası ile kaplanır ve yol trafiğe açılır. Bu prosedürde agrega tabakasının seriminden sonra tekrar sıkıştırma gerekmez.

Kenar sızdırmazlık metodu ise kullanılan başka bir yöntemdir. Çukurun içinin temizlenmiş olup olmadığına bakılmaksızın malzeme çukurun içine yerleştirilir. Kamyon tekerleri yardımıyla malzeme sıkıştırılır. Malzemenin çukurun 3-6 mm üstünde kalmasına dikkat edilir. Onarılan bölüm kurduktan sonra çukur kenarlarına yapıştırma tabakası uygulanır. Yapıştırma tabakası uygulanan kenarların üzerine kum serilerek tekerlek izi oluşum önlenir. Bu prosedür onarım yapılan bölgeye iki defa gelmeyi gerektirir [2].

Basit ürünler yerel asfalt plantlerinde mevcut agrega ve bağlayıcı kullanılarak performans beklentisi ön planda olmadan hazırlanan karışımlardır. Belediye ya da kullanıcı tarafından belirtilen spesifikasyonlara göre üretilen ürünler bir diğer gruptur. Kabul şartları olduğu için üretimden önce bağlayıcı ve agrega uyumu kontrol edilir. Diğer ürün grubu olan tescilli ürünler kullanılırken genellikle özellikleri belirtilen bağlayıcılar kullanılır. Bunlar karışım şeklinde ya da soğuk karışım asfalt katkısı şeklinde satılabilir. Yığın ve stok şeklinde depolanabilir ya da büyük plastik torbalarda paketlenir. Bu malzemelerin kabulünde bazı testler uygulanabilir [2].

Soğuk yama malzemeleri; basit ürünler, tescilli ürünler, belediye tarafından istenen özelliklerde ürünler olmak üzere üç farklı grupta toplanabilir. Tüm hava şartlarında

işlenebilir olması yama malzemesinden beklenen bir özelliktir. Malzeme esnek ve yumuşak olmalıdır. Yama malzemesi stok yığınları depolamadan aylar sonra dahi kullanılmalıdır. Ayrıca kış aylarında yapılan yamama işlemleri donma noktalarında dahi yapıldığından bu sıcaklıklarda işlenebilir ve uygulanabilir olması gerekir. Bağlayıcının depolama sırasında karışımdan süzülmesi istenmeyen bir durumdur. Özellikle daha sıcak havalarda yapılan depolamalarda bağlayıcının yığının dibinde süzülmesi gözlenir. Stoklanacak yama karışımının dizaynı depolama ve dayanıklılık aynı anda düşünüldüğünde zordur. Örneğin, yama malzemesi stoktan kolayca alınabilir ve bakım kamyonuna yüklenebilir olması, sahaya geldiğinde kolayca serilip, çukura yayılması istenir. Bu özellikleri karşılayan malzeme ise trafik altında daha az dayanıklıdır [3].

Tüm bu değişkenler düşünüldüğünde asfalt yama karışımlarının tatmin edici karışımlar olabilmesi için bazı beklenen özelliklere sahip olması gerekir. Örneğin, karışımın gradasyonunun küçük olması işlenebilirlik açısından istenmediği halde, küçük fakat tek tane boyutunda gradasyonu yapılmış agregalar karışımın işlenebilirliğini geliştirir. Örneğin, %100'ü 9,5 mm ya da 4,75 mm elekten geçen gradasyonun daha iyi işlenebilir olduğu, artan yüzey alanı sayesinde bağlayıcının karışıma daha iyi dağıldığı, karışımın uzun süre trafik altında dayanabilir olduğu gözlenmiştir. Karışımdaki agreganın temiz olması, düşük absorpsiyona sahip olması, yassı agrega şeklinin olması da yama karışımının dayanıklılığını artırır [3].

Yarı-kalıcı onarım genel bir seçenek olmakla beraber, bu şekilde onarımın etkili olması kullanılan malzemenin mekanik özelliklerine dayanır. Yama malzemesinden beklenen özellikler kolay karışabilir, hızlı dayanım gelişimi, kısa kürleşme süresi, güçlü bağlanma, uzun zaman sürdürülebilir, altyapı ile ısı (thermal) uyumluluk ve kabul edilebilir maliyette olmasıdır [16].

Daha küçük ve aynı tane boyut dağılımında agrega gradasyonları yüksek işlenebilirlik için istenir [15]. Piyasada çok sayıda yama malzemesi ve yama katkısı mevcuttur. Piyasada bulunan tescilli birçok ürün yollarda oluşan çukurlar için mükemmel tamir garantisi sunar. Bu ürünleri gerçekten test etmeden değerlendirmek zordur. Bunların performansını kullanılabilirliğini değerlendirmek (tanımlayabilmek) için bazı testler olmasına rağmen bu testler de çok açık bozukluk yaratan çukur yama malzemelerini tanımlayabilir.

Soğuk karışım yama malzemeleri değerlendirilmesi için bağlayıcı süzülmesi, işlenebilirlik, yapışma ve soyulma potansiyeli testleri kullanılmıştır. Süzülme testi yığın depolamada özellikle sıcak günlerde önem arz eder. Bu karışımın bir tabaka üstüne dökülerek karışımındaki bağlayıcının belirli bir süre ve sıcaklıkta süzülen miktarı ölçülerek bulunur. Karışımın işlenebilirliği karışımı düşük sıcaklıklara soğutup, bir miktarının spatula yardımıyla değerlendirilmesiyle incelenmiş, penetrasyon dayanımının ölçülmesiyle işlenebilirlik değerlendirilmiştir [3].

Bu çalışmada da bahsedildiği üzere soğuk yama karışımların malzeme kalitesinin belirlenmesi için performans bazlı testlere ihtiyaç duyulur. Asfalt viskozitesini, bağlayıcı distilasyonu, agrega gradasyonu ve diğer fiziksel ölçümlerin değerlendirildiği ASTM standartları ile ölçümler yapılır. Test ve performans gereklilikleri serim sonrası çökme mekanizmalarını yansıtabilmelidir [3].

Serim sırasında istenen işlenebilirlik plastik deformasyona karşı ilk dayanımı olumsuz etkiler. Kalıcı deformasyona ve kaymaya karşı olan direnç olarak tanımlanan yama stabilitesi genellikle basit prosedürler ile değerlendirilir. Her ne kadar literatürde işlenebilirlik ve stabilitenin tanımlanması konusunda raporlar olsa da, soğuk karışım asfalt stabilite karakterizasyonu standart bir prosedür olmaktan uzaktır [3].

Asfalt çukurların onarımında malzeme, işçilik ve ekipman olmak üzere üç ana maliyet vardır. Malzemeye harcanan para çukur yamanmasındaki toplam maliyetin küçük bir kısmını oluşturur [3]. Her ne kadar malzeme maliyeti toplam maliyete az etki etse de performansa etkisi büyüktür. Daha az enerji ve uğraş ile serimi yapılan malzemeler daha uzun süre de dayanıyorsa bu toplam maliyeti olumlu yönde etkiliyor demektir. İşçilik maliyeti ise malzemenin çukura serilmesi, sıkıştırılması yöneme göre çukurun temizlenmesi ve onarım sırasında trafiği kontrol etme aşamalarında görev alan personel sayısına göre değişir. Kullanılan onarım yöntemine göre değişiklik gösterir. Kullanılan ekipmanlar da yöneme göre değişiklik göstermekle birlikte malzeme taşıma, serme ve sıkıştırma için kullanılan ekipmanlardır. Toplam maliyet hesabı yapılırken malzeme satın alma, malzeme transferi, yardımcı ekipman ve ana ekipman maliyeti, işçi maliyeti, trafik kontrol maliyeti gibi parametreler birlikte değerlendirilir [2].

## 2.10. Malzeme Seçim Kriterleri

Günümüzde kullanılan yama malzemeleri ile ilgili olarak çok sayıda sorun vardır. Taşıma, depolama, uygulama ve kullanımla ilgili olan bu sorunlar yetersiz performans ve bozulma olarak yansır, bu sorunların bir kısmı Çizelge 2.1’de verilmiştir [17].

Karışımlarda en önemli sorun depolama alanındaki işlenebilirlik düşüklüğü ve soyulma [18], bazı türlerde ise bağlayıcının drenaj sorunudur [17].

Çukurların yamanmasında trafik yükü, planlanan rehabilitasyon veya kaplamaya kadar geçecek süre, personel, ekipman ve malzeme temini, seyahat eden insanların toleransı gibi parametreler karar verme sırasında önemlidir. Maliyet etkin bir onarım gerçekleştirebilmek için malzeme, işçilik ve ekipman maliyetleri göz önünde bulundurulur [2].

Yama karışımları ile ilgili oluşabilecek sıkıntılar stokta, taşımada veya servis sırasında olabilir. Yetersiz performanstan kaynaklı sorunlar çok çeşitlidir. Depolama sırasında bağlayıcının sertliği, agregaların kirli olması, çok büyük ya da çok küçük taneli agregalardan oluşan karışımlar çalışılması, güç asfalt karışımlara sebep olur. Bağlayıcının fazla yumuşak olması stoklama sırasında bağlayıcının dibe süzülmesine, çökmesine, kullanımda ısıtma yapılması durumunda bağlayıcının düşük sertlikte olmasına, bağlayıcının erken kürleşmesi, stoklama sırasında karışımda topaklanmalara sebep olur [5].

Çizelge 2.1. Soğuk yama malzemelerinde yaşanan sorunlar ve sıkıntı mekanizmaları

| Sorunlar/bozulma belirtileri              | Sebepler-bozulma nedenleri                                                                                                                                                               |
|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Depolamadaki sıkıntılar                   |                                                                                                                                                                                          |
| Çalışma zorluğu                           | Bağlayıcının kırılğan olması, çok küçük tane boyutlu agreg                                                                                                                               |
| Bağlayıcının dibe çökmesi                 | Bağlayıcının çok yumuşak olması, depo alanının sıcak olması                                                                                                                              |
| Topaklanma-erken sertleşme                | Bağlayıcının erken sertleşmesi                                                                                                                                                           |
| Karışım soğuk havada çok kırılğan olması  | Bağlayıcı iklime göre çok sert, bağlayıcının sıcaklık değişimine hassasiyeti oldukça yüksek, kirli agreg kullanımı                                                                       |
| Çalışma zorluğu                           | Bağlayıcının kırılğan olması, çok küçük dane boyutlu agreg kullanımı                                                                                                                     |
| Asfaltlamadaki sıkıntılar                 |                                                                                                                                                                                          |
| İşlenebilirlik düşük-serilmesi zor (sert) | Bağlayıcının çok sert olması, çok küçük agregaların olması                                                                                                                               |
| Isıtıldığında olduğundan çok yumuşaması   | Bağlayıcının çok yumuşak olması                                                                                                                                                          |
| Sıkıştırılması oldukça zor (yumuşak)      | Yetersiz karışım kararlılığından, bağlayıcı fazlalığından, dizayn hatası                                                                                                                 |
| Kullanımdaki sıkıntılar                   |                                                                                                                                                                                          |
| Ayrılma                                   | Zayıf sıkışma, bağlayıcının çok kullanılması, karışımın düşük bağlanması, bağlayıcının sıcaklık hassasiyetinin yüksek olması, zayıf agreg bağlanması, agreg boyutunun çok düşük olması   |
| Bombe yapması                             | Zayıf sıkışma, trafik sebebiyle sıkışma                                                                                                                                                  |
| Donma-Çözünme bozulmaları                 | Karışım çok geçirgen, zayıf sıkışmış, soyulma ve nem hasarı                                                                                                                              |
| Zayıf patinaj dayanımı                    | Bağlayıcının aşırı kullanılması, agreg patinaj dayanımına uygun değil, gradasyon çok yoğun                                                                                               |
| Çukura bağlanmama veya büzüşme            | Zayıf yapışma, bağlayıcı kullanılmaması veya zayıf çukur hazırlığı                                                                                                                       |
| Ayrılma                                   | Zayıf sıkışma, bağlayıcının aşırı kullanılması, karışımın düşük bağlanması, bağlayıcının sıcaklık hassasiyetinin yüksek olması, zayıf agreg bağlanması, agreg boyutunun çok düşük olması |

Geçmişte büyük agregalar (12-19 mm) kullanmak depolama sırasında yığının daha stabil olması açısından tavsiye edilmiştir. Böyle bir soğuk karışım, yamalama tekniğinin ideal olması durumunda işe yarar. Yamalamanın ideal olması deliğin kenarlarının dik ve temiz olması, sıkıştırma ve yapıştırmanın yeterli olması demektir. Ancak her zaman yamalama koşulları ideal olmadığı için trafik yükleri altında büyük agregalarla hazırlanan bu karışımlar başarısızlıkla sonuçlanır. Başka bir uygulama ise daha küçük boyutta agregalar kullanılarak karışımın stabilitesini göz ardı ederek yüksek işlenebilirlikte karışımlar hazırlanmasıdır. Daha büyük ve derin çukurlar içinse asfalt karışımı tabakalar halinde uygulanır [5].

Yarı-kalıcı onarım genel bir seçenek olmakla beraber, bu şekilde onarımın etkili olması kullanılan malzemenin mekanik özelliklerine dayanır. Yama malzemesinden beklenen özellikler kolay karışabilir, hızlı dayanım gelişimi, kısa kürleşme süresi, güçlü bağlanma, uzun zaman sürdürülebilir, altyapı ile ısı (thermal) uyumluluk ve kabul edilebilir maliyette olmasıdır [16].

Daha küçük ve aynı tane boyut dağılımında agrega gradasyonları yüksek işlenebilirlik için istenir [15].

Araştırmanın amacı: Bu araştırmanın amacı soğuk yama katkıların ürün içeriğinin tespiti ile performans özelliklerini belirleyerek katkı malzemelerinden kaynaklı hataları en aza indirmektedir. Kaplama tabakasında kullanılan soğuk yama katkısının en uygun oranda karıştırılarak hazırlanması ile imalat kusurlarını bertaraf ederek bitümlü sıcak karışım özelliklerine yakın, dayanıklı, uzun ömürlü ve beklenen performans özelliklerini sağlayan yama ürünü elde etmek, bakım onarım maliyetlerini azaltmak ve ülke ekonomisine pozitif katkı sağlamak amacıyla bu çalışma yapılmıştır. Ayrıca çalışma ile atık yağlar kullanılarak üretildiği bilinen yama katkılarının içerik bakımından çevre ve insan sağlığına zararı araştırılmıştır.

### 3. SOĞUK YAMA KATKILARIN BELİRLENMESİ

Ülkemizde kullanılan soğuk yama katkılarında, üretici tarafından beyan edilen teknik veriler dışında yeterince bilgi bulunmamasından dolayı öncelikle katkıların kimyasal özellikleri belirlemek amacıyla bir çalışma yapılmıştır.

Bu çalışma kapsamında uygulamada kaplama tabakaları tamirinde yaygın kullanımı olan yedi farklı ticari soğuk yama katkısı kullanılmış olup, bu katkılar SYK1 (%4) , SYK2 (%30), SYK3 (%10), SYK4, SYK5, SYK6 (%56) ve SYK7 olarak kodlanmıştır. Ülkemiz asfalt kaplama tabakalarında 2018 yılı soğuk asfalt yama katkıları kullanım miktarları parantez içinde verilmiştir.

Soğuk asfalt karışımlarda uygulamadan kaynaklı hataların yanında, soğuk asfalt katkılarından beklenen özelliklerin sağlanamaması da karışımların performansını olumsuz etkiler. Soğuk yama karışımından beklenen özellikler;

- Yama karışımı serilip, sıkıştırıldıktan kısa bir süre sonra kürünü almalı trafik yükü altında yatay ve dikey kaymalara dirençli olmalı,
- Karışımın yapışkanlığı iyi olmalı, özellikle tozlanmanın yoğun olduğu ve iyi temizlenmeyen çukur yüzeylerinde yapışmayı sağlayabilmeli,
- Suya dayanıklılığı iyi olmalı, bağlayıcı-agrega adezyonunu azaltmamalı ve hatta arttırmalı,
- Trafik yükleri altında yama yapılan çukur içindeki asfalt karışımın dayanıklılığı zamanla azalarak, sökülmelelere sebep olduğundan yama karışımında agregaların ve karışımın mukavemeti iyi olmalı ve zamanla oluşacak sökülmeleler az olmalı,
- Özellikle uzun ve geniş çukurlarda yeterli kayma direnci olmalı,
- Yama karışımı yeterince yumuşak ve işlenebilir olmalı, karışım içinde topaklar olmamalı,
- Yama karışımları depolandıktan sonraki 6-12 aylık periyotta işlenebilirliğini koruyabilmeli,
- Donma-çözülme döngülerine dayanıklı olmalıdır [5].



## 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 4.1. Belirlenen Soğuk Yama Katkılarına Yapılan Deneyler

Soğuk yama katkıların kimyasal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla çalışmanın bu aşamasındaki deneyler TÜBİTAK MAM Kimyasal Teknoloji Enstitüsü laboratuvarında yapılmıştır.

#### 4.1.1. Ağır metal analizi

Yama malzemelerinin düşük sıcaklıklarda uzun süre depolanabilmesi ile soğuk olarak serilip sıkıştırılabilmesine olanak sağlayan soğuk yama katkıların çevreye zararlı atık maddeler ile atık madeni ya da bitkisel yağlar içerip içermediğini bünyesinde ağır metal bulunup bulunmadığı tespit etmek için deneysel çalışmamızın ilk aşaması olarak Ağır Metal Analizi yapılmıştır.

ASTM D 6595 yöntemine uygun olarak soğuk yama katkılarında askıda ya da çözünmüş halde bulunan ağır metal miktarları optik emüsyon spektrometresi (OES) ile 22 elementin (Al, Fe, Cu, Sn, , Na, Pb, Ag, Ba, P, Ca, Ti, Si, V, Mg, B, Zn, Cr, Ni, As, Mn, Cd, Mo) analizi yapılmıştır. SYK1, SYK2, SYK3, SYK4, SYK5, SYK6 ve SYK7 katkılara ağır metal analizi yapılmış ve sonuçları çizelgede verilmiştir.



Resim 4.1. Ağır metal tayin cihazı görüntüsü

Ağır metal analiz sonuçları değerlendirilirken soğuk yama katkı malzemelerinin hazırlanmasında atık madeni/bitkisel yağların kullanılması durumu göz önünde

bulundurularak bu yağlarla ilgili mevzuat incelenmiştir. Bu kapsamda atık madeni yağ kategori belirleme parametreleri ve sınır değerleri ve baz yağlar için müsaade edilebilir kirleticiler muhtevası Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2’de verilmiştir [19].

Çizelge 4.1. Atık madeni yağ kategori belirleme parametreleri ve sınır değerleri

| Kirleticiler         | Sınır değerleri |              |               |
|----------------------|-----------------|--------------|---------------|
|                      | I. Kategori     | II. Kategori | III. Kategori |
| Arsenik (As), (ppm)  | <5              | 5*           | >5            |
| Kadmiyum (Cd), (ppm) | <2              | 2*           | >2            |
| Krom (Cr), (ppm)     | <10             | 10*          | >10           |
| Kurşun (Pb), (ppm)   | <100            | 100*         | >100          |
| Parlama noktası (°C) | 38**            | 38**         | -             |

Çizelge 4.2. Baz yağlar için müsaade edilebilir kirleticiler muhtevası

| Kirleticiler         | Müsaade edilen değerler* |
|----------------------|--------------------------|
| Arsenik (As), (ppm)  | 5                        |
| Kadmiyum (Cd), (ppm) | 2                        |
| Krom (Cr), (ppm)     | 5                        |
| Kurşun (Pb), (ppm)   | 5                        |
| Kalsiyum (Ca), (ppm) | 20                       |
| Fosfor (P), (ppm)    | 10                       |
| Çinko (Zn), (ppm)    | 10                       |

\*en çok; \*\*en az

Çizelge 4.3. Ağır metal tayini deneylerin sonuçları

|    | SYK1 | SYK2  | SYK3 | SYK4 | SYK5 | SYK6  | SYK7 |
|----|------|-------|------|------|------|-------|------|
| Fe | 0,52 | 45,7  | 10,2 | 0,41 | 1,53 | 126   | < 1  |
| Cr | 0,0  | 0,0   | 0,0  | 0,23 | 1,95 | < 1   | < 1  |
| Pb | 0,18 | 0,0   | 0,09 | 0,0  | 0,08 | 0,0   | < 1  |
| Cu | 0,0  | 0,5   | 0,0  | 0,23 | 0,75 | 1,4   | 0,0  |
| Sn | 0,0  | 1,04  | 12,1 | 9,4  | 3,6  | 46,3  | 1,1  |
| Al | 0,18 | 1,19  | 0,74 | 0,12 | 0,0  | 12,0  | 0,0  |
| Ni | 1,34 | 1,34  | 1,19 | 0,0  | 0,05 | 0,0   | < 1  |
| Ag | 0,36 | 0,38  | 0,35 | 0,0  | 0,0  | 0,0   | < 1  |
| Si | 0,0  | 0,0   | 1,64 | 0,87 | 6,83 | < 1   | < 1  |
| B  | 0,0  | 0,0   | 0,0  | 0,1  | 0,08 | < 1   | 0,0  |
| Na | 0,98 | 16,8  | 0,22 | 0,0  | 6,62 | 32,0  | 1,0  |
| Mg | 0,0  | 0,56  | 0,0  | 0,0  | 0,42 | < 1   | 0,0  |
| Ca | 0,0  | 0,0   | 0,15 | 0,0  | 0,56 | < 1,1 | 0,0  |
| Ba | 0,24 | 0,22  | 0,32 | 0,05 | 0,03 | 0,0   | < 1  |
| P  | 37,5 | 106,5 | 0,19 | 0,0  | 0,0  | 33,4  | 0,0  |
| Zn | 0,61 | 0,16  | 0,28 | 0,26 | 1,33 | < 1   | < 1  |
| Mo | 0,29 | 0,65  | 0,75 | 0,81 | 0,52 | < 1   | < 1  |
| Ti | 1,14 | 1,52  | 1,25 | 0,02 | 0,94 | < 1   | 0    |
| V  | 0,0  | 0,0   | 0,0  | 0,49 | 0,0  | 0,0   | < 1  |
| Mn | 3,11 | 3,27  | 3,25 | 0,15 | 0,0  | 0,0   | < 1  |
| Cd | 0,0  | 0,0   | 0,0  | 0,18 | 0,16 | < 1   | 0,0  |
| As | 0,85 | 1,34  | 0,81 | 0,0  | 0,76 | 0,0   | 0,0  |

Çizelge 4.1. verilen sınır değerler incelendiğinde fosfor (P) değerlerinin sınır değerlerini karşılamadığı görülmüştür. Soğuk yama katkı malzemelerinin hazırlanmasında atık madeni yağların kullanılması göz önünde bulundurulduğunda bu değerlerin madeni yağlara katılan fosfor esaslı katkı maddelerinden kaynaklanabileceği şeklinde yorumlanmıştır.

#### 4.1.2. Kinematik viskozite

Soğuk asfalt katkı malzemelerinin kinematik viskozite değerleri otomatik viskozimetre cihazı ile ölçülmüştür. Ölçüm için 1,5 ml numune alınarak viskozimetre kolonuna enjekte edilir. Cihazda okunan değer, cihazın kalibrasyon sabiti ile ortalama akış süresinin çarpımı ile belirlenmiş olan kinematik viskozite değeridir. Ölçümler ASTM D 88'e uygun olarak yapılmıştır.



Resim 4.2. Kinematik viskozite cihazı

#### 4.1.3. Yoğunluk tayini

Soğuk asfalt katkıları yoğunluk ölçümü U-tüpü prensibine dayalı olarak hesaplanmıştır. Örnekler cihazının ölçüm hücresine cihazın kendisinde bulunan pipet stili pompa veya şırınga kullanılarak doldurulur. Bir sıcaklık sensörü örnek sıcaklığını ölçüm hücresinde ölçer. Ölçümler ASTM D 5002'e uygun olarak yapılmıştır.

#### 4.1.4. Toplam asit sayısı

Katkıların asit sayısı potansiyometrik titrasyon yapılarak belirlenmiştir. Tartımı yapılan katkı numunesi hazırlanan çözücü (hacimce %50 toluen + %49 isopropanol alkol + %1 su) içerisinde çözülerek isopropanol alkoldeki 0,1M potasyum hidroksit çözeltisi ile titre edilir. Titrasyonun dönüm noktası olarak titrasyon eğrisinde son dönüm noktası alınır ve titrasyon sonlandırılır. Ölçümler TS 2432 EN 12634'e uygun olarak yapılmıştır.

#### 4.1.5. Toplam su tayini

Deneye alınacak numuneler tartılır ve anotta yük miktarının ölçülmesini sağlayan bir düzenek ile iyodun açığa çıktığı bir Karl Fischer cihazının titrasyon kabına enjekte edilir. Su tamamen titre edildiğinde elektrometrik dönüm noktası detektörü kullanılarak iyodun ilk açığa çıktığı dönüm noktası tayin edilir ve titrasyon sona erdirilir. Ölçümler TS 6147 EN ISO 12937'e uygun olarak yapılmıştır.

#### 4.1.6. Kırılma indisi tayini

Katkıların kırılma indisi refraktometre ile belirlenmiştir. Cihaz 589,3 nm dalga boyunda ışıktaki refraktif indeks değerini belirlemede kullanılır. Ölçümler TS 4368 ISO 5661'e uygun olarak yapılmıştır.

#### 4.1.7. Parlama noktası tayini

Numunelerin parlama noktası Tag kapalı kap yöntemine göre 1 ve 2 ml numune ile gerçekleştirilmiştir. Cihaz ile ölçümler ASTM D 6450 ve ASTM D 7094'e uygun olarak yapılmıştır.



Resim 4.3. Parlama noktası cihazı

#### 4.1.8. Ph ölçümü

pH ölçümü pH metre ile yapılmıştır. Örnekler seyreltilmeden doğrudan ölçüm alınmıştır.

Soğuk yama katkılara yapılan bu aşamaya kadar ki deney sonuçları soğuk asfalt yama katkıları toplu analiz sonuçları çizelgesinde verilmiştir.

Çizelge 4.4. Soğuk asfalt yama katkıları toplu analiz sonuçları

| Analiz                                       | SYK1   | SYK2   | SYK3   | SYK4  | SYK5   | SYK6   | SYK7  |
|----------------------------------------------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|
| Kinematik Viskozite<br>(cst (mPa.s); 37,8 °C | 37,5   | 8,79   | 5,11   | 2,64  | 4,81   | 8,23   | 1,498 |
| Kinematik Viskozite<br>(cst (mPa.s); 40 °C   | 34     | 8,32   | 4,92   | 2,534 | 4,65   | 7,86   | 1,463 |
| Kinematik Viskozite<br>(cst (mPa.s); 100 °C  | 5,52   | 2,75   | 1,79   | 1,01  | 2,07   | 2,69   | 0,756 |
| Yoğunluk<br>(gr/cm <sup>3</sup> ; 15 °C)     | 0,878  | 0,899  | 0,876  | 0,814 | 0,866  | 0,894  | 0,805 |
| Yoğunluk<br>(gr/cm <sup>3</sup> ; 15,6 °C)   | 0,877  | 0,898  | 0,875  | 0,814 | 0,865  | 0,893  | 0,804 |
| Yoğunluk<br>(gr/cm <sup>3</sup> ; 20°C)      | 0,875  | 0,895  | 0,873  | 0,811 | 0,862  | 0,891  | 0,802 |
| Asit Sayısı (mgKOH/gr)                       | 8,78   | 0,024  | 0,772  | 0,095 | 1,365  | 11,93  | 0,022 |
| Toplam su (ppm)                              | 2720,2 | 1078,9 | 1763,4 | 353,8 | 1933,5 | 2680,6 | 417,1 |
| Kırılma indisi (n)                           | 1,49   | 1,46   | 1,47   | 1,45  | 1,46   | 1,45   | 1,45  |
| Parlama Noktası<br>(Kapalı K.)(°C)           | 200    | 186    | 122    | 111   | 88     | 168,0  | 94,0* |
| pH (25°C, doğrudan)                          | 8,35   | 3,6    | 6,4    | 4,36  | 9,05   | 2,12   | 8,48  |

#### 4.1.9. Gaz kromatografisi

Gaz kromatografisi (GC) analizinde deney numuneleri biri hareketli biri sabit olan birbiri ile karışmayan iki faz arasında dağılırlar. Böylece deney numuneleri dağıldıkları faza göre yavaş veya hızlı hareket edebilirler. Sabit faz birbirine yakın gözenekli partiküller olarak tanımlanırken hareketli faz ise bu partiküller arasındaki boşluğu doldurur. Hareketli faz kolon boyunca maddeleri sürükler. Kolondan çıkan her maddenin konsantrasyon profili pik olarak adlandırılır, piklerin oluşturduğu çizelge ya da kromatogram adı verilir. Cihaz ile ölçümler TS EN 14039'a uygun olarak yapılmıştır.

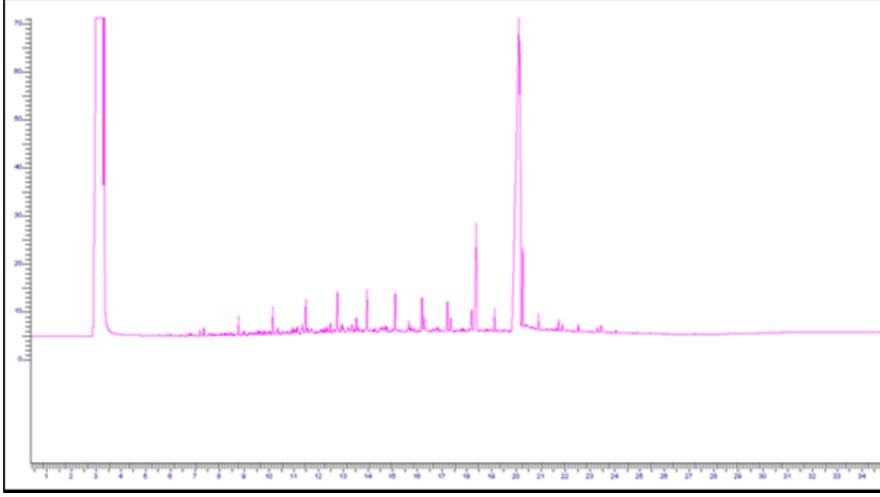


Resim 4.4. Gaz kromatografisi cihazları

Çizelge 4.5. Bitkisel esaslı ürünleri GC analiz sonuçları

| • Yağ Asidi Kombinasyonu | SYK2  | SYK3  | SYK5  | SYK6  |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|
| • Palmitic acid          | 9,32  | 6,28  | 6,07  | 16,05 |
| • Stearic acid           | 3,14  | 3,45  | 4,64  | 7,65  |
| • Oleic acid             | 34,79 | 19,54 | 35,33 | 33,36 |
| • Linoleic acid          | 43,38 | 46,25 | 16,09 | 33,92 |
| • a-Linoleic Acid        | 4,93  | 2,2   | 4,23  | 1,44  |
| • Diğer                  | 4,44  | 22,28 | 33,64 | 7,58  |

Kromatogramlarda yatay eksen zamanı (dakika) dikey eksen ise dedektör sinyalinin (mV) temsil eder.



Şekil 4.1. SKY3 katkı malzemesi destilatı kromatogramı

#### 4.1.10. Destilasyon

Petrol ürünleri karakterizasyon metotlarından birisi de destilasyondur. Destilasyon ile elde edilen kaynama noktası eğrisi molekül ağırlığı, yoğunluk ve kritik diğer özelliklerin temelini oluşturur. Katkıların destilasyon karakteristiği, onların zararları ile ilgili bilgi veren aynı zamanda katkıların sınıflandırılmasında kullanılacak olan önemli bir parametredir.

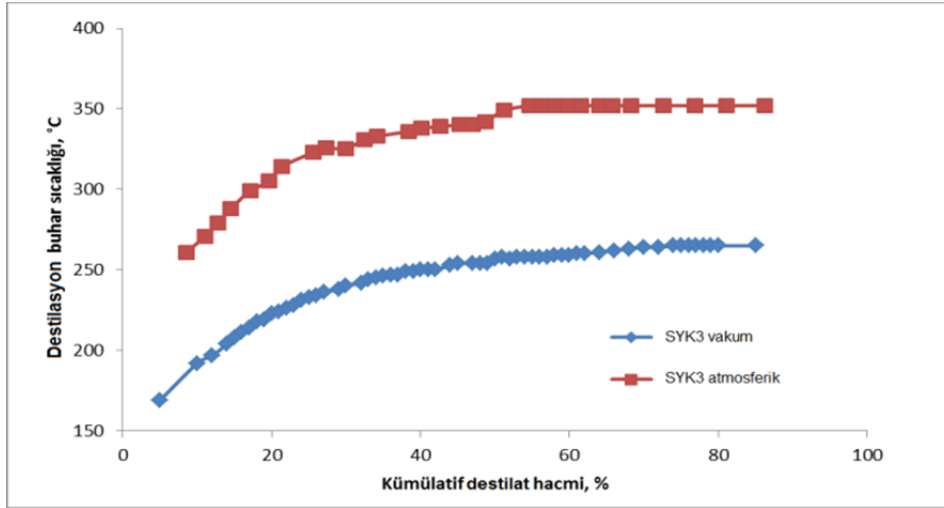
Destilasyonunun temeli olan uçuculuk soğuk asfalt katkıları için de ayırt edici bir parametre olduğundan soğuk asfalt katkıları basit destilasyon yöntemi ile destile edilmiştir. Bu amaçla sıvı katkıların destilasyonun atmosferik koşulda ya da vakum altında yapılmasının belirlenmesi için numunelerden rastgele SYK3 seçilerek laboratuvar deneylerine başlanmıştır.

SYK3 Atmosferik ve vakum destilasyonu: Atmosferik destilasyon ASTM D86 standardına, vakum destilasyonu ise ASTM D1160-15 standardına göre yapılmıştır.

Sistem; katkının bulunduğu bir cam balonun ısıtıcı üzerinde ısıtılması, sıcaklığın etkisiyle buharlaşan uçucuların soğutmalı cam kolondan geçerek yoğunlaşması ve bir mezür içinde toplanması için gerekli araçlardan oluşmuştur. Destilat sonrası çıkan ürün kırmızı daire içerisinde görülmektedir.



Resim 4.5. Asmosferik vakum destilasyon cihazı



Şekil 4.2. SKY3 Asmosferik ve vakum destilasyon sonuçları

Şekil 4.2. incelendiğinde destilasyon karakterinin vakum altında ve atmosferik destilasyonda aynı numune için benzer olduğu görülmüştür. Ancak destilasyon sırasında sıvı sıcaklıkları karşılaştırıldığında aynı miktarda destilatın toplanması için vakum altında düşük sıvı sıcaklıkları yeterli iken atmosferik destilasyonda sıvı sıcaklıkları 424°C'ye kadar çıkmıştır. Diğer numunelerle yapılan ön denemelerde distilasyon için gerekli buhar sıcaklıklarına çıkılabilmesi için çok yüksek sıvı sıcaklıklarına ihtiyaç duyulduğu gözlenmiştir. Bu sebeple, tüm numuneler için vakum altında distilasyon yapılmasına karar verilmiştir.

Çizelge 4.6. Vakum destilasyonu sonucu elde edilen farklı sıcaklardaki destilat yüzdeleri

| Destilasyon Aralığı (°C) | SYK1 | SYK2 | SYK3 | SYK4 | SYK5 | SYK6 | SYK7 |
|--------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 100                      | -    | -    | -    | -    | 10   | -    | -    |
| 120                      | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| 140                      | -    | -    | -    | 20   | -    | -    | -    |
| 160                      | -    | -    | 5    | 66   | -    | -    | -    |
| 180                      | 2    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| 200                      | 4    | -    | 14   | 68   | 20   | -    | -    |
| 220                      | 21   | -    | 19   | 70   | 24   | -    | -    |
| 225                      | 60   | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| 240                      | -    | 20   | 30   | 94   | 36   | -    | -    |
| 250                      | -    | -    | 42   | -    | 84   | -    | -    |
| 260                      | -    | 68   | 61   | -    | -    | -    | -    |
| 265                      | -    | -    | 85   | -    | -    | -    | -    |

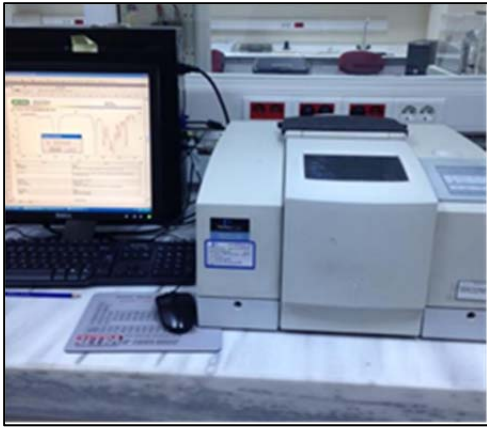
Çizelge 4.6. incelendiğinde SYK5, SYK3 ve SYK2 katkılarının yaklaşık 250°C, SYK1 katkısının ise 225°C buhar sıcaklığında hacimsel olarak %60-80 arasındaki miktarının distile edilebildiği görülür. SYK4 katkı numunesi ise 150°C ve 240°C civarında buharlaşan iki ayrı malzemenin karışımından oluşmuştur. Bu kapsamda literatürde var olan Amerika Queensland MRST19 teknik standardı incelendiğinde atmosferik distilasyonun da fluks yağlar için 350°C'nin altında en az %80'nin toplanması gerektiği bildirilmiştir

#### 4.1.11. FTIR yapı aydınlatma

FTIR (Fourier Transform Infrared Spevtroskopy) spektrumu cihazı numunelerin IR aktif molekül özellikleri kullanılarak organik bileşikler içerip içermediğinin tespitini sağlamaktadır. IR (Kızıl ötesi) bölgesi 4000-450 cm<sup>-1</sup> dalga boyu arası, elektromanyetik spektrumun görünür bölgesi ile mikro dalga bölgesi arasında yer alır. Organik maddenin temeli IR (Kızıl ötesi) spektrumu ile doğrudan bağlantılıdır.

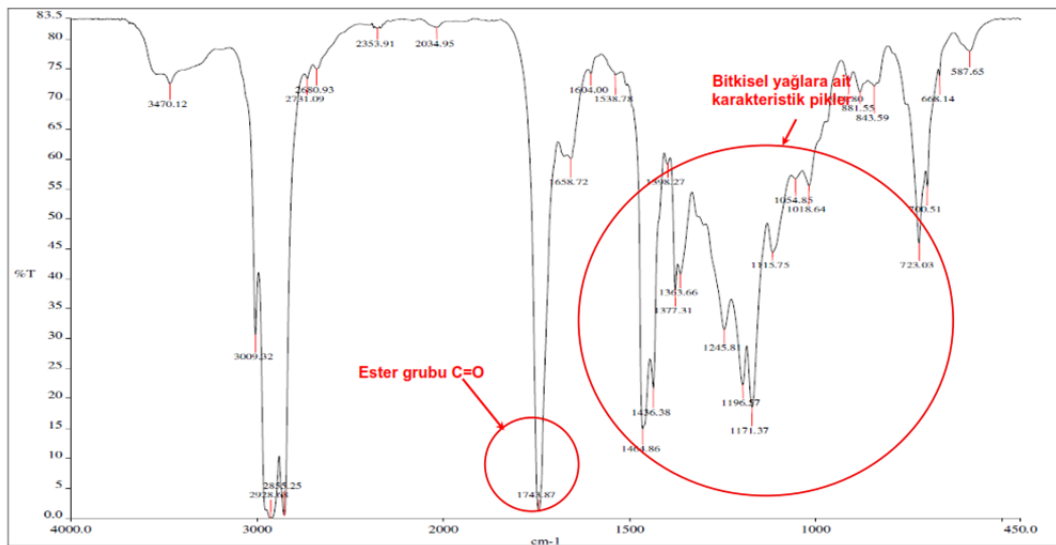
FTIR (Fourier Transform Infrared Spevtroskopy) spektrumu cihazında deneyler sırasında cam yerine (infraredi kuvvetli olarak soğurduğu için) KBr, AgCl' den yapılmış kaplar veya

prizmalar kullanılır. Deney numuneleri katı halde ise KBr ile toz haline getirilip preslenerek IR spektrumu alınır veya çözelti içerisine ilave edilerek de incelebilir. Deney aşamasında çok az emilim özelliği gösteren çözücü olarak  $\text{CCl}_4$  veya  $\text{CS}_2$  gibi çözücüler kullanılır. Ölçümlerde eğer örnek katı ve film özelliği var ise örnek uygun çözeltide çözülerek çözücüsü uçurulduktan sonra film elde edilir ve bu film FTIR'ın uygun aksesuarına yerleştirilerek çekim için hazırlanır. Eğer örnek film ise film yine FTIR'ın uygun çekim aksesuarına yerleştirilir ve çekime hazır hale getirilir. Yöntem, hesaplama işlemi gerektirmez.

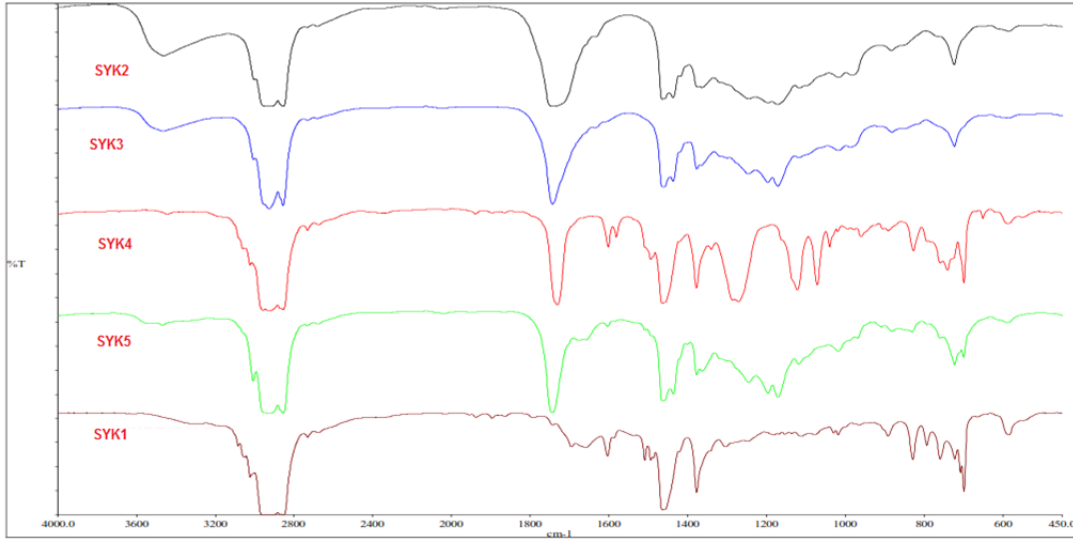


Resim 4.6. FTIR yapı aydınlatma cihazı

FTIR spekturumunda yatay eksen dalga boyu ( $\text{cm}^{-1}$ ) dikey eksen ise %T temsil eder.



Şekil 4.3. SKY5 FTIR Spektrumu



Şekil 4.4. SKY2, SYK3, SYK4, SYK5 ve SYK1 FTIR Spektrumu

#### 4.2. Karışım Gradasyonu ve Özellikleri

Karışımında kullanılacak agrega, Ankara ili sınırı içindeki Malıköy Taş ocağından temin edilmiştir. Agrega kökeni kireçtaşıdır. Kaba, ince ve mineral filler agrega özelliklerini belirlemek için Karayolları Genel Müdürlüğü laboratuvarında deneyler gerçekleştirilmiştir.

Agrega numunesinin alındığı ocağı temsil etmesi için deneye alınacak numune bölgeç yöntemiyle azaltılmıştır. Agreganın en büyük dane boyutuna göre değişiklik gösteren birbirine paralel olarak dizayn edilmiş düşey bölüntüsü olan metal kutuya bölgeç denilmektedir. Deneye alınacak numune önce bölgecin üzerine dökülerek paralel bölüntüler yardımıyla iki eşit parçaya ayrılmış olur. Eşit iki parçadan biri diğer deneylerde kullanılmak üzere ayrılırken diğeri ise deney için yeterli miktarda numune elde edilinceye kadar bölme işlemine tabii tutulur.

Agreganın bitümlü kaplamada kullanılabilirliği ocaktan üretimi, üretim sonrası kalitesi ve tüm bu işlemler sonrası oluşacak maliyet değeri ile doğrudan ilişkilidir. Kullanılacak agregada istenilen fiziksel özellikler şu şekilde sıralanabilir.

Kaplama tabakasına göre dane boyutu ve gradasyonu belirlenecek olan agregalar herhangi bir yabancı madde (bitki atıkları vb.) içermemelidir.

Agreganın kırılması sırasında titizlikle davranılmalı, köşeli kırılmış danelerin kullanımı tercih edilmelidir. Agreganın şekli agrega bitüm adezyonu etkiler.

Agreganın yüzey yapısı bitüm agrega adezyonu sebebiyle stabiliteyi etkilemektedir. Bu durum trafik yüküne karşı dayanımı belirlemekte ve yüzey sürtünmesini dolayısıyla kayma direncini etkilemektedir.

Agrega ile bitüm arasında yeteri kadar adezyon sağlamak için agrega yüzeyi bir miktar gözenekli olmalıdır.

#### 4.2.1. Elek analizi

Agregalara yapılan elek analizi deneyi ile belirlenen dane boyutu; agrega gruplarının tayininde, agregaların kullanılacağı tabakaya ait şartname zarf eğrisine uygunluğun tespitinde ve agrega gruplarının karışım oranlarının hesabında kullanılmaktadır. Gradasyon agrega danelerin büyüklüklerine göre dağılımı, bu dağılımı gösteren eğriye de gradasyon eğrisi denir. Elek analizleri ASTM C-136 ve TS EN 933-1'e uygun olarak yapılmıştır.

Elek analizi deneyinde etüvde kurutulan agrega No.4 (4,75 mm) elekten elenerek iri ve ince agrega olarak ikiye ayrılır. No.4 (4,75 mm) elek üzerinde kalan çakıl boyutundaki malzeme, 3/4 (19 mm), 1/2 (12,5 mm), 3/8 (9,52 mm) nolu kare delikli elekten elenir. Eleme işlemi bittikten sonra her elek üzerinde kalan malzeme tartılır. No.4 (4,75 mm) elek altında kalan ince agrega (kum) 10 (2 mm), 40 (0,425 mm), 80 (0,180 mm), 200 (0,075 mm) nolu eleklerden elenerek artanı bir tepsi içinde muhafaza etmek suretiyle her elek üzerinde kalan malzeme tartılır ve % kalan agrega miktarları Eşitlik 1.1'den hesaplanır.

$$\% \text{ Kalan} = \frac{\text{Elekte kalan}}{\text{Toplam numune miktarı}} \times 100 \quad (1.1)$$

Yapılan elek analizi deneyi sonucunda her elekten geçen agrega yığışımli olarak ağırlık yüzdeleri hesaplanır. Bulunan yığışımli ağırlıklar toplam ağırlığın yüzdesi haline çevrilerek elekten geçen yığışımli ağırlık yüzdesi bulunur.



Resim 4.7. Elek analizi deneyi

Çizelge 4.7. Elek analizi deney sonuçları

| Elek Açıklığı |        | Dizayn<br>Gradasyonu | KTŞ Kısım 409<br>Tip-2 |
|---------------|--------|----------------------|------------------------|
| mm            | inch   |                      |                        |
| 19            | 3/4"   | 100                  | 100-100                |
| 12,5          | 1/2"   | 92,0                 | 88-100                 |
| 9,5           | 3/8"   | 82,0                 | 72-90                  |
| 4,75          | No.4   | 46,0                 | 42-52                  |
| 2,00          | No.10  | 29,0                 | 25-35                  |
| 0,425         | No.40  | 13,0                 | 10-20                  |
| 0,18          | No.80  | 9,0                  | 7-14                   |
| 0,075         | No.200 | 4,5                  | 3-8                    |

Bu çalışmada kullanılan dizayn gradasyonu Karayolu Teknik Şartnamesi Kısım 409 Plentte Karıştırılarak Hazırlanan Bitümlü Karışım Bakım Malzemesi Tablo 409-1 Tip-2 sınıfına uygun olarak seçilmiştir. Bitümlü karışım kaplamalı yollarda çukur oluşumu genellikle aşınma tabakasında meydana geldiği için seçilen Tip-2 sınıfı aşınma tipi karışımın dane boyutu dağılımına eşdeğerdir.

#### 4.2.2. Los Angeles parçalanma direnci tayini deneyi

Kaplama tabakasında agregalarda hava değişimleri ve trafik yüklerinden dolayı parçalanma, kırılma, aşınma ve ufalanma görülebilir. Agregaların kullanıldığı tabakaya göre belirlenen değerlerde aşınmaya karşı dayanımının bilinmesi önem arz etmektedir. Aşınmaya karşı dayanımı Los Angeles Parçalanma Direnci deneyi ile tayin edilmektedir.

İri agregalar (dane boyutu 75 mm'den küçük) darbelenme ve aşındırma etkisiyle oluşan parçalanma miktarının tayininin amaçlandığı deneyde, iki ucu kapalı silindir şeklinde olan çelik bir tambur içerisine agrega ile birlikte metal aşındırıcı küreler konularak, belirli bir dönüş hızında ve belirli bir devir sayısında tambur çalıştırılır. Metal kürelerin üzerine düşmesi sonucu aşınan malzemenin deneyin başında alınan malzemeye göre ağırlıkça yüzdesi parçalanma kaybı olarak bulunur. Ölçümler TS EN 1097-2'e uygun olarak yapılmıştır.



Resim 4.8. Los Angeles deneyi

Malıköy Taş Ocağından alınan agregaların Los Angeles parçalanma değeri %27 bulunmuştur. İklim, trafik ve her ikisinin birleşimi sonucu agregada meydana gelen kırılmalarının fazla olması, karışımın hem stabilitesini hem de durabilitesini olumsuz etkilemektedir. Deneysel çalışma için kullanılan Malıköy Taş Ocağından alınan agregaya ait Los Angeles deney sonucu Karayolları Genel Müdürlüğü Karayolu Teknik Şartnamesi kriterlerini sağlamakta olup, karışımda herhangi bir stabilite ya da durabilite sorunu olmayacağı düşünülmektedir.

#### 4.2.3. Magnezyum sülfat ( $MgSO_4$ ) donma kaybı deneyi

Uzun süre hava tesirleri altında kalan agregaların donma ve çözölmeye karşı mukavemetlerinin ölçümünde kullanılan hızlandırılmış bir deneydir. Deneyde Magnezyum sülfat ( $MgSO_4$ ) çözeltisi kullanılır. Deney 4,75 mm üzerinde kalan agregaya uygulanan her biri 48 saat süren 5 adet donma çözölme periyodu sonrası oluşacak olan kaybın belirlenmesini kapsamaktadır. Ölçümler TS EN 1367-2'e uygun olarak yapılmıştır.



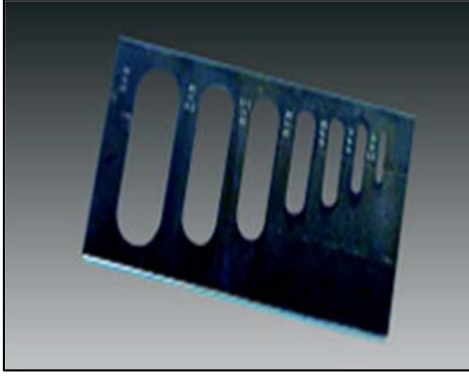
Resim 4.9. Magnezyum sülfat ( $MgSO_4$ ) donma kaybı deneyi

Deneysel çalışma için kullanılan ve Malıköy Taş Ocağından temin edilen agregaya ait  $MgSO_4$  donma kaybı deneyi sonucu Karayolları Genel Müdürlüğü Karayolu Teknik Şartnamesi kriterlerini sağlamaktadır. Aşınma tabakasında kullanılacak olan soğuk yama karışımlarında, donma ve çözünmeye en çok maruz kalan tabaka da aşınma tabakası olduğundan, bu deney sonucuna göre herhangi bir gradasyon bozulması olmayacağı düşünülmektedir.

#### 4.2.4. Yassılık indeksi deneyi

Yassı danelerden oluşturulan bir kaplama tabakası, üzerine gelecek yük altında yeteri kadar dayanım gösteremez. Yassı daneler yük altında kolaylıkla kırılır ve karışımın mukavemetini azaltır. Bu yüzden agregaların yassılık oranlarının bilinmesi bitümün agregaya yüzeyine yapışması ve agregaların birbirine kenetlenmesi açısından önem arz etmektedir. Ölçümler TS EN 933-3'e uygun olarak yapılmıştır.

Kalınlığı, nominal boyutunun % 60' ından daha küçük olan agregada danelerinin yassı olarak tanımlanmasına dayanan bir metottur. Agregada numunelerinin yassılık indeksi, belirli açıklıkları olan bir şablon kullanarak ayrılan yassı danelerin ağırlığının, o gruptaki toplam numune ağırlığına oranının yüzdesi olarak ifade edilir.

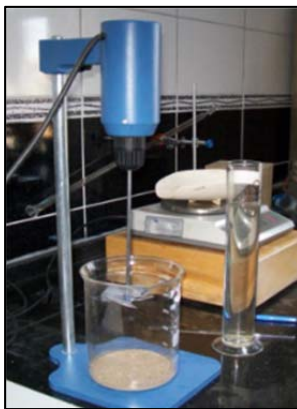


Resim 4.10. Yassılık indeksi deneyi seti

Deneyisel çalışma için kullanılan Malıköy Taş Ocağından temin edilen agregaların yassılık indeksi değeri, yama malzemesinin trafik yükü altında kabul edilebilir bir stabilite değerinde kırılmayacak kadar kübik olduğunun bir göstergesidir. Bu durumda yük altında parçalanmalar ve mukavemet sorunu yaşanmayacağı düşünülmektedir.

#### 4.2.5. Metilen mavisi deneyi

İnce agrega veya gruplandırılmamış agregalarda, (0-2) mm dane boyutu aralığındaki malzemenin, kilogram başına absorbe ettiği metilen boyasının gram cinsinden değeridir. Agreganın kirliliğinin ve bünyesindeki kil miktarının belirlenmesinde kullanılan bu deney, agrega içerisindeki kil varlığının sebep olacağı şişme sıkışmış durumdaki malzemelerin stabilite düşüşlerine sebep olma riski taşıdığından önemlidir. Ölçümler TS EN 933-9'a uygun olarak yapılmıştır.



Resim 4.11. Metilen mavisi deneyi seti

Deneysel çalışma için kullanılan Malıköy Taş Ocağından temin edilen agregalara ait Metilen Mavisı deney sonucuna göre içerisinde bulundurduğu kil miktarı Karayolları Genel Müdürlüğü Karayolu Teknik Şartnamesi kriterlerini sağlayacak oranda düşük olup şişme ve düşük stabilite problemleri çıkarmayacağı düşünülmektedir.

#### 4.2.6. Özgül ağırlık ve absorpsiyon (su emme) deneyi

Agreganın özgül ağırlığı, o agreganın birim hacimdeki ağırlığının, aynı hacimde ve 25<sup>0</sup>C'deki suyun ağırlığına oranıdır.

Özgül ağırlık deneyinin amacı, bitümlü karışımın teorik özgül ağırlığını, karışımdaki boşluk yüzdesini ve yine karışımın asfaltla doldurulmuş boşluk yüzdesini hesaplamak, agreganın hacim-ağırlık ilişkilerini tayin etmektir.

Agregaların boşluk oranları ile su emme özelliği arasında bir ilişki bulunmaktadır. Boşluk oranları yüksek olan agregaların su emme özelliği fazladır. Fazlaca su emen agregalar sıcaklığın oldukça düştüğü mevsimlerde içerisindeki sudan dolayı donacak bu durumda agreganın genleşip parçalanmasına neden olacaktır. Bu yüzden, kaplama tabakaları için seçilecek agregaların su emme değerlerinin düşük oranda olması istenilen özelliklerdendir. Agregalar için hesaplanan üç çeşit özgül ağırlık vardır.

Zahiri özgül ağırlık (Gsa): Belirli bir sıcaklıkta agreganın geçirimsiz boşluklarını içeren birim hacminin havadaki ağırlığının, aynı sıcaklıkta ve aynı hacimdeki havası alınmış destile suyun ağırlığına oranıdır.

Hacim özgül ağırlığı (Gsb): Belirli bir sıcaklıkta agreganın geçirgen olan ve olmayan boşluklarını içeren birim hacminin havadaki ağırlığının, aynı sıcaklıkta ve aynı hacimdeki havası alınmış destile suyun ağırlığına oranıdır.

Efektif özgül ağırlık (Geff): Belirli bir sıcaklıkta agreganın asfalt geçirimli boşlukları hariç geçirimli ve geçirimsiz boşluklarının içeren birim hacminin havadaki ağırlığının, aynı sıcaklık ve hacimdeki havası alınmış destile suyun ağırlığına oranıdır.

Sıkıştırılmış kaplamanın hava boşluğu hesabında, agreganın efektif özgül ağırlık değeri, agreganın tarafından absorbe edilen bitüm miktarı dikkate alınarak bulunan değeri kullanılır. Ölçümler TS EN 1097-6'a uygun olarak yapılmıştır.



Resim 4.12. Özgül ağırlık ve absorpsiyon (su emme) deney seti

Deneyisel çalışma için kullanılan Malıköy Taş Ocağından alınan agregaya ait deney sonucuna göre bulunan su emme değeri agreganın suya karşı hassasiyetinin az olduğunu göstermektedir.

#### 4.2.7. Soyulma mukavemeti deneyi

Soyulma mukavemeti deneyi, agreganın bitüm arasındaki adezyon etkisinin su ve sıcaklığa bağlı değişiminin belirlenmesi amacıyla yapılır. Agreganın cinsi ve kullanılan bitümün tipi soyulan bitüm miktarını değiştirmektedir. Soyulma mukavemetini artırmak için bitümlü bağlayıcıya farklı türlerdeki soyulmayı önleyici katkıları belirli oranlarda katılabilir. Ölçümler TS EN 12697-11'e uygun olarak yapılmıştır.



Resim 4.13. Malıköy Taş ocağı soyulma mukavemeti deney numunesi

Deneysel çalışma için kullanılan Malıköy Taş Ocağından temin edilen agregaya ait deney sonucuna göre KTŞ kriterleri bakımından soyulmaya karşı mukavemet değerinin yüksek olduğu agrega ve bitüm arasındaki bağın yeterli olduğu görülmüş olup, soyulma önleyici katkı malzemesi kullanılmamıştır.

Yüksek viskoziteli bitümler düşük viskoziteli bitümlere göre soyulmaya karşı daha dayanıklıdır. Soğuk yama katkıları bitüme eklendiğinde viskoziteyi düşürmekle birlikte soyulmaya karşı olan dayanıma etkisini anlamak için her bir katkı malzemesi için soyulma mukavemeti deneyi tekrar tekrar yapılmış ve sonuçları Bitümlü Bağlayıcı ve Soğuk Yama Katkı Karışımı kısmında verilmiştir.

Çizelge 4.8. Agrega deney sonuçları

| Deney Adı                        | Deney Sonucu | KTŞ Kısım 409-2 | Deney Standardı |
|----------------------------------|--------------|-----------------|-----------------|
| Los Angeles Aşınma Kaybı, %      | 27           | $\leq 30$       | TS EN 1072-2    |
| MgSO <sub>4</sub> Donma Kaybı, % | 4            | $\leq 18$       | TS EN 1367-2    |
| Yassılık İndeksi, %              | 19           | $\leq 25$       | TS EN 933-3     |
| Metilen Mavisi                   | 0,75         | $\leq 2,0$      | TS EN 933-9     |
| Su Emme, %                       | 0,9          | $\leq 2,5$      | TS EN 1097-6    |
| Soyulma Mukavemeti               | 65-70        | $\geq 50$       | TS EN 12697-11  |

Çizelge 4.8.'de verilen agrega deney sonuçları incelendiğinde agrega özelliklerinin soğuk yama malzemesi olarak kullanılması Karayolları Teknik Şartnamesi Kısım 409'a göre uygundur.

### 4.3. Bitümlü Bağlayıcılar

Bitüm, bir petrol ürünü olup, rafinerilerde ham petrolün işlenmesiyle temin edilen veya asfalt içinde mevcut olan, toliende çözünen, normal koşullarda viskozdan katıya kadar özellik gösterebilen, uçucu olmayan, yapışkan ve su geçirimsiz bir malzeme olarak tarif edilebilir.

Bitümlü bağlayıcı karakteristikleri düşük ısılarda viskoelastik, yüksek ısılarda da termoplastik davranış göstermesi, yani ısıtılınca kıvamının değişmesi, yüksek dayanıklılığı ve güçlü yapışma özelliği ile yüksek oranda, su ve hava geçirimsizliği nedeniyle üstyapı kaplama karışımlarında sıkça kullanılmaktadır.

Yol üst yapılarında kullanılan bitümler belirli penetrasyon ve yumuşama değerlerine sahip özel olarak rafinerilerde üretilmiş petrol kökenli malzemelerdir. Akıcı hale gelebilmesi için ısıtılması gereken bitüm B sembolü ile gösterilir

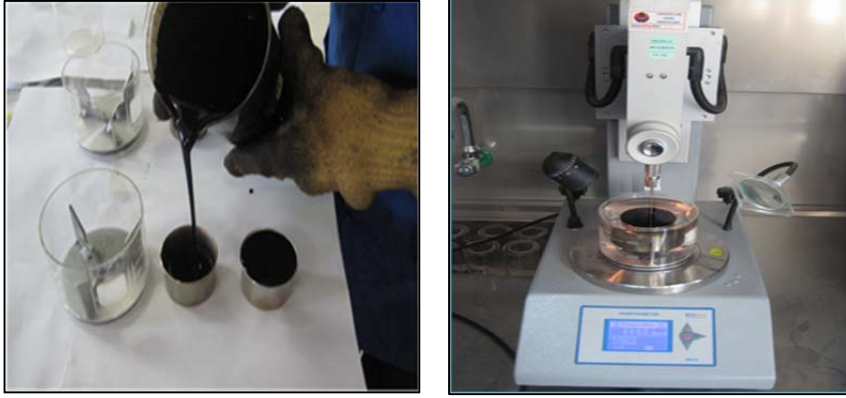
Bu tezin konusu olan deneysel çalışmada B70/100 penetrasyonlu Kırıkkale rafinerisinden temin edilen bitümlü bağlayıcı kullanılmıştır.

#### **4.3.1. Penetrasyon deneyi**

Bitümün penetrasyon değeri ile kıvam özellikleri arasında ters bir orantı vardır. Bitümün penetrasyon değeri düştükçe bitüm sertleşir, kıvamlilik azaldıkça bitüm yumuşar.

Bitümün sertlik veya kıvamının belirlendiği deneyde, ağırlığı bilinen bir iğnenin, belirli sabit bir sıcaklıkta (15 °C ya da 25 °C de), belirli bir yük (100g) altında belirli bir sürede (5sn süresince) bitümlü bağlayıcı içerisine düşey yönde battığı derinlik 0,1mm cinsinden bulunur.

Numune, tahmin edilen yumuşama noktasının (TS EN 1427) 100 °C' ye kadar bir sıcaklığa kadar ısıtılır ve temiz (toz, yağ, pas, vb. ihtiva etmeyen) bir deney numunesi kabına doldurulur. Deney numunesi tayin sıcaklığına kadar soğutulduğunda, numune iğnenin tahmin edilen batma derinliğinden en az 10 mm olacak şekilde numune kabına doldurulur. Ölçümler TS EN 1426'a uygun olarak yapılmıştır.

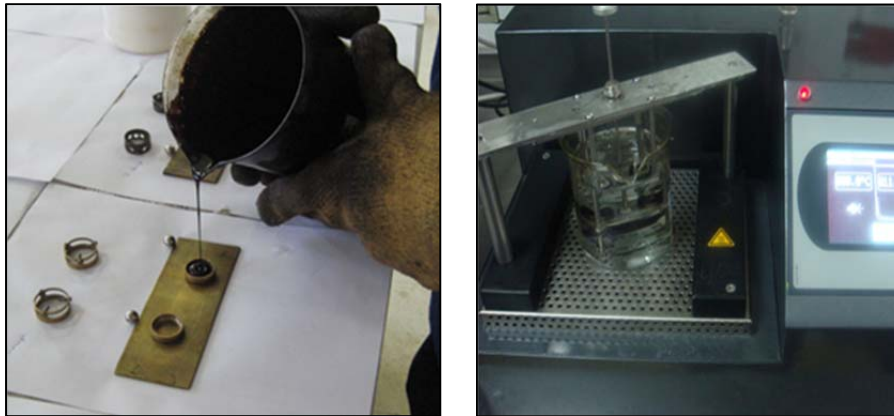


Resim 4.14. B70/100 Kırıkkale bitümü penetrasyon deneyi

#### 4.3.2. Yumuşama noktası deneyi

Bitümün deney ile tespit edilebilecek bir erime noktası mevcut değildir. Isıtıldığında, yavaş bir şekilde yumuşama özelliği gösterir. Belirli bir erime noktası olmaması nedeniyle, sıcaklık değişimlerini gösteren yumuşama noktası deneyi geliştirilmiştir.

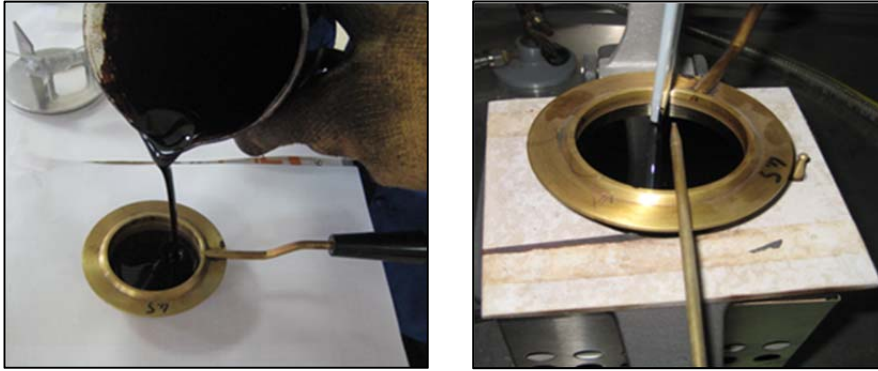
Bitümlü bağlayıcının hangi sıcaklıkta akmaya başladığı yüzük ve bilya yöntemi (ring and ball) kullanılarak tespit edilir. Bulunan değer yumuşama noktası olarak ifade edilen sıcaklık değeridir. Çok yüksek viskoziteye sahip bitümlerde yumuşama noktası yüksek olduğundan, yüksek viskoziteye sahip bitüm içerikli bitümlü karışım üretim ve imalat sıcaklıkları da yüksek olmaktadır. Ölçümler TS EN 1427'ye uygun olarak yapılmıştır.



Resim 4.15. B70/100 Kırıkkale bitümü yumuşama noktası deneyi

#### 4.3.3. Parlama noktası deneyi

Bitümlü malzemeler, derecelerine bağlı olarak, yüksek sıcaklıklarda uçucular bırakır. Bu uçucular, alev alarak parlamaya neden olur. Bu durum çok tehlikeli olup, her bitüm derecesi için bu sıcaklığın belirlenmesi gereklidir. Parlama noktası, imalat sırasında yüksek sıcaklıklara ısıtılmak zorunda kalınan bitümün parlaması ve bu sebepten alev almasını engellemek amacıyla önem arz etmektedir. Parlama noktası değeri belirtilen deney şartları altında bir tutuşturma kaynağının deney numunesi buharını tutuşturduğu en düşük sıcaklığın 101,3 kPa basınca göre düzeltilmiş değeridir. Ölçümler TS EN ISO 2592'ye uygun olarak Cleveland açık kap metoduna göre yapılmıştır.



Resim 4.16. B70/100 Kırıkkale bitümü parlama noktası deneyi

#### 4.3.4. Özgül ağırlık deneyi

Yoğunluk ( $\rho$ ): Bir malzemenin birim hacim başına düşen kütlesidir. Birimi  $\text{kg/m}^3$ 'tür. Yoğunluk belirlemek için kullanılan standart sıcaklık  $(25,0 \pm 0,2) ^\circ\text{C}$ 'dir.

Özgül Ağırlık ( $d$ ): Aynı koşullarda,  $(25,0 \pm 0,2) ^\circ\text{C}$ 'de, bitümlü bağlayıcının yoğunluğunun ( $\rho$ ) bir deney sıvısı yoğunluğuna ( $\rho_T$ ) oranıdır.

$$d_{25/25} = \frac{\rho}{\rho_T} \quad (1.2)$$

Bitümlü malzemenin özgül ağırlığı,  $25^\circ\text{C}$  sıcaklıktaki hacminin havadaki ağırlığının aynı sıcaklık ve aynı hacimdeki havası alınmış destile suyun ağırlığına oranıdır.

Bitümün özgül ağırlığı piknometre metodu ile ölçülür. Ölçümler TS EN 15326'ya uygun olarak yapılmıştır.



Resim 4.17. B70/100 Kırıkkale bitümünün özgül ağırlık deneyi

#### 4.3.5. Brookfield viskozite deneyi

Bitümlü bağlayıcının viskozite özelliği, bitümün kıvamından dolayı akmaya karşı olan direncidir. Kıvamlılık artıkça, yani bitüm yarı-katı hale yaklaştıkça viskozite değeri yükselir. Viskozite değeri ile bitümlerin karıştırma ve serme sıcaklıklarında akma özelliğini tayin etmektedir. Ölçümler ASTM D 4402'ye uygun olarak yapılmıştır.



Resim 4.18. Brookfield deneyi

Çizelge 4.9. B70/100 bitümün deney sonuçları

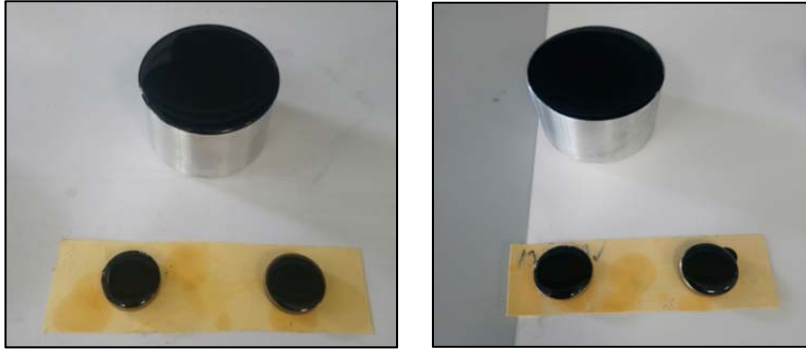
| Deney Adı                        | Deney Sonucu | KTŞ Kısım 412-1 | Deney Standardı |
|----------------------------------|--------------|-----------------|-----------------|
| Penetrasyon 25 °C, 0,1 mm        | 70           | 70-100          | TS EN 1426      |
| Yumuşama Noktası, °C             | 48,2         | 43-51           | TS EN 1427      |
| Parlama Noktası, °C              | 330          | ≥230            | TS EN ISO 2592  |
| Özgül Ağırlık, g/cm <sup>3</sup> | 1,028        | 1,0-1,1         | TS EN 15326     |
| Brookfield viskozite, 110 °C, cp | 1590         | -               | ASTM D 4402     |

Çizelge 4.9.'da verilen B70/100 Kırıkkale bitümünün deney sonuçları incelendiğinde seçilen bitüm numunesinin KTŞ kriterine uygun bir bitüm olduğu belirlenmiştir. B70/100 Kırıkkale bitümü seçilmiş olan soğuk yama katkıları ile karıştırılarak penetrasyon, yumuşama, kütle kaybı ve Brookfield viskozite değerleri ölçülmüştür.

#### 4.4. Bitümlü bağlayıcı ve soğuk yama katkı karışımı

Soğuk yama katkıları bitümlü bağlayıcı ile karıştırıldığında, bitümlü bağlayıcının viskozitesini nasıl etkilediğini belirlemek için Brookfield viskozite deneyi yapılmıştır. Her katkı için uygun karıştırma sıcaklığı ve katkı oranı belirlenmiş olup, bulunan en uygun katkı oranında ve en uygun sıcaklıkta 6 adet farklı katkı malzemesi eklenerek bitüm numuneleri hazırlanmıştır. Çalışmaların ilk kısmında kullanılan SYK7 katkısı kıyas amaçlı kullanılan referans bir katkı malzemesidir. Bu yüzden bitümlü bağlayıcı ile karışıma dahil edilmemiştir.

6 farklı soğuk yama katkı malzemesi karıştırılan B70/100 bitüme penetrasyon ve yumuşama noktası deneyleri yapılmak istenmiş ancak numunelerin kıvamı, deney sıcaklığında çok yumuşak olduğundan söz konusu deneyler gerçekleştirilememiştir.



Resim 4.19. SKY5 + B70/100 ve SKY6+B70/100'e ait penetrasyon ve yumuşama noktası deney numuneleri

#### 4.4.1. Kütle kaybı deneyi

Bitümün zamanla yaşlanması ve bünyesindeki uçucu gazların açığa çıkmasından ötürü bir miktar kayıp meydana gelir, ancak bazen bitümlerde okside ürünlerin oluşumundan dolayı bir kütle artışı da olabilir. B70/100 bitüm ile karıştırılan her bir katkı için kütle kaybı deneyi yapılmış olup, deney sonuçlarına göre SYK4+B70/100 numunesinde kaybın en yüksek olduğu görülmüştür. Çizelge 4.4 Vakum destilasyon sonuçlarına göre de SYK4 düşük sıcaklıklarda çabuk buharlaşan bir kimyasal yapıya sahip olduğu bu da kütle kaybının yüksek olmasına neden olduğu anlamına gelmektedir. Ölçümler TS EN 12607-1'ye uygun olarak yapılmıştır.

Çizelge 4.10. B70/100+katkıların kütle kaybı deney sonuçları

| Katkılar | Boş beher ağırlığı (gr) | Numune+ boş beher ağırlığı(gr) | Beklemiş Numune+ boş beher ağırlığı (gr) | Kayıp (%) ( 24 saat 25 °C) |
|----------|-------------------------|--------------------------------|------------------------------------------|----------------------------|
| SYK1     | 51,549                  | 115,499                        | 115,473                                  | 0,04                       |
| SYK2     | 51,953                  | 110,42                         | 110,331                                  | 0,15                       |
| SYK3     | 49,175                  | 102,324                        | 101,027                                  | 2,44                       |
| SYK4     | 52,525                  | 89,375                         | 86,953                                   | 6,57                       |
| SYK5     | 52,208                  | 102,34                         | 100,025                                  | 4,61                       |
| SYK6     | 49,010                  | 105,196                        | 104,928                                  | 0,48                       |



Resim 4.20. SKY1, SKY2 ve SKY3 kütle kaybı deney numuneleri

#### 4.4.2. Brookfield viskozite deneyi

Bitümlerin, pompalama, yükleme ve boşaltma sırasındaki akma özelliğini belirlemek için Brookfield dönel viskozimetre cihazı kullanılır. Ayrıca karışımların karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları da viskoziteye bağlı olarak bulunabilir. Bu kapsamda soğuk yama katkıların düşük sıcaklıklarda bitümün işlenebilirliğine etkisini incelemek için B70/100 Kırıkkale rafinerisinden temin edilen bitümün, farklı katkı malzemesi ve oranlarında, farklı sıcaklıklardaki Brookfield viskozite değeri ölçülmüştür.

Çizelge 4.11. B70/100+ SYK1 numunesi Brookfield viskozite deney sonuçları

| %15 SYK1 + B70/100 |              | %20 SYK1 + B70/100 |              | %25 SYK1 + B70/100 |              |
|--------------------|--------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|
| Sıcaklık °C        | Viskozite cp | Sıcaklık °C        | Viskozite cp | Sıcaklık °C        | Viskozite cp |
| 90                 | 1388         | 80                 | 1870         | 70                 | 2498         |
| 100                | 829          | 100                | 752          | 110                | 207.5        |
|                    |              |                    |              | 120                | 135          |

Çizelge 4.12. B70/100+ SYK2 numunesi Brookfield viskozite deney sonuçları

| %15 SYK2 + B70/100 |              | %20 SYK2 + B70/100 |              | %25 SYK2 + B70/100 |              |
|--------------------|--------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|
| Sıcaklık °C        | Viskozite cp | Sıcaklık °C        | Viskozite cp | Sıcaklık °C        | Viskozite cp |
| 60                 | 2406         | 70                 | 1320         | 60                 | 1710         |
| 70                 | 1847         | 100                | 230          | 70                 | 915          |
| 80                 | 1288         | 110                | 152.5        | 80                 | 592          |

Çizelge 4.13. B70/100+ SYK3 numunesi Brookfield viskozite deney sonuçları

| %15 SYK3 + B70/100 |              | %20 SYK3 + B70/100 |              | %25 SYK3 + B70/100 |              |
|--------------------|--------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|
| Sıcaklık °C        | Viskozite cp | Sıcaklık °C        | Viskozite cp | Sıcaklık °C        | Viskozite cp |
| 70                 | 2333         | 60                 | 2243         | 50                 | 1673         |
| 110                | 217.5        | 70                 | 1720         | 60                 | 797.5        |
| 120                | 137.5        | 100                | 240          | 70                 | 238.5        |
|                    |              | 110                | 147.5        |                    |              |

Çizelge 4.14. B70/100+ SYK4 numunesi Brookfield viskozite deney sonuçları

| %18 SYK4 + B70/100 |              | % 20 SYK4 + B70/100 |              | %25 SYK4 + B70/100 |              |
|--------------------|--------------|---------------------|--------------|--------------------|--------------|
| Sıcaklık °C        | Viskozite cp | Sıcaklık °C         | Viskozite cp | Sıcaklık °C        | Viskozite cp |
| 70                 | 1475         | 60                  | 1809         | 60                 | 1503         |
| 110                | 150          | 70                  | 1250         | 70                 | 944          |

Çizelge 4.15. B70/100+ SYK5 numunesi Brookfield viskozite deney sonuçları

| %15 SYK5 + B70/100 |              | %20 SYK5 + B70/100 |              | %25 SYK5 + B70/100 |              |
|--------------------|--------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|
| Sıcaklık °C        | Viskozite cp | Sıcaklık °C        | Viskozite cp | Sıcaklık °C        | Viskozite cp |
| 80                 | 1495         | 60                 | 1763         | 60                 | 1780         |
| 100                | 377          | 70                 | 1068         | 100                | 137.5        |

Çizelge 4.16. B70/100+ SYK6 numunesi Brookfield viskozite deney sonuçları

| %20 SYK6 + B70/100 |              | %25 SYK6 + B70/100 |              | %30 SYK6 + B70/100 |              |
|--------------------|--------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|
| Sıcaklık °C        | Viskozite cp | Sıcaklık °C        | Viskozite cp | Sıcaklık °C        | Viskozite cp |
| 50                 | 2698         | 50                 | 2369         | 50                 | 2228         |
| 60                 | 2139         | 60                 | 1810         | 60                 | 1128         |
| 70                 | 1580         | 70                 | 1251         | 100                | 137.5        |

6 ayrı soğuk yama katkı ve B70/100 bitüm numunesinin karışım Brookfield viskozite deney sonuçları bu çalışma kapsamında seçilen katkı tiplerine ait kullanım oranı ve karıştırma sıcaklığı belirlememizi sağlamıştır. B70/100 Kırıkkale bitümü 135 °C’de viskozite ölçümleri yapılmış katkılar ilave edildiğinde sıcaklık düşürülerek işlenebilirlik değerleri cp cinsinden belirlenmiştir.

#### 4.5. Bitümlü Karışım Hazırlanması

Soğuk asfalt katkıları kullanılarak hazırlanan bakım malzemesi karışımları ile sıcak olarak hazırlanan bitümlü bakım malzeme karışımlarının pratik yoğunluk, boşluk, agregalar arası boşluk değerleri hesaplanmış, üzerlerinde maksimum teorik özgül ağırlık, stabilite, koşullu stabilite, İÇM ve işlenebilirlik deneyleri yapılmıştır. SYK4 numunesi temin edilemediği için çalışmanın bundan sonraki aşamasında bu katkıya ait deneyler yapılamamıştır.

#### 4.5.1. Marshall metodu ile bitümlü karışım dizaynı

Marshall metodu, U.S. Army Corps of Engineers (USACE) tarafından II. Dünya Savaşı sırasında havaalanı kaplamaları için karışım dizayn yöntemi geliştirilmesi sonucu ortaya çıkmış ve sonradan modifikasyon yapılmıştır. Yöntem, Asfalt Enstitüsü tarafından karayolu kaplamalarının karışım dizaynlarına değiştirilerek adapte edilmiştir. [20]. Sınıfı bilinen bitüm ile maksimum boyutu 25 mm (1 inç) agregalar kullanarak hazırlanan dizayn sıcak karışım asfalt kaplamalara uygulanır. Ülkemizde bitümlü kaplama karışım dizaynlarında da Marshall metodu kullanılmaktadır. Marshall Metodunun ilk adımı deney numunelerini hazırlamaktır. Deney numuneleri hazırlanmadan önce yapılması gerekenler şunlardır:

- Kullanım için seçilen malzemeler özellikleri şartname değerleri içerisinde kalmalıdır.
- Agregalar grublarının karışımı şartname doğrultusunda oranları belirlenir.
- Agregaların hacim özgül ağırlıkları ve bitümün özgül ağırlıkları tayin edilir.

Marshall Metodunda standart, silindirik 64 mm yükseklik 102 mm çapında deney numuneleri kullanılır. Bu numuneler ısıtma-karıştırma ve sıkıştırma işlemlerinden oluşan özel bir prosedürle hazırlanır. Marshall Metodu ile karışım dizaynının en önemli özelliği, sıkıştırılmış deney numunelerinde yoğunluk-boşluk analizi ve stabilite-akma deneyleridir [21].

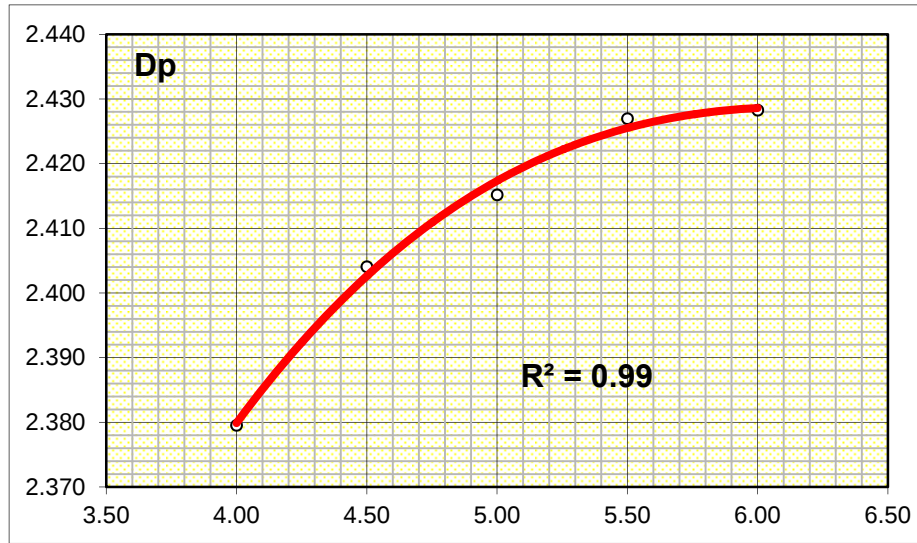
Asphalt Institute MS-2 Bitümlü Sıcak Karışımlar Rehberine göre Marshall dizayn metodunun amacı; durabil bir yapı elde etmek için gerekli optimum bitüm miktarı ile segregasyona neden olmayacak agrega gradasyonunu belirlemektir. Ayrıca karışım içeriğinde rutubet veya fazla hava barındırmayacak oranda agregalar arası boşluk sağlamak için kullanılan BSK dizayn metodudur.

Soğuk asfalt katkıları kullanılarak hazırlanan bakım malzemesi, karışım dizaynı Marshall dizayn metodu ile aynı gradasyondaki agrega karışımının sıcak olarak yapılan dizaynı sonucunda bulunan optimum bitüm yüzdesi dikkate alınarak, depolanma, işlenebilirlik, sıkıştırma sonrası sertleşme süresi ve mukavemetine dair kriterleri de sağlayacak şekilde en ideal oranda belirlenmeye çalışılmıştır. BSK karışım dizayn formu Ek 1 de verilmiştir.

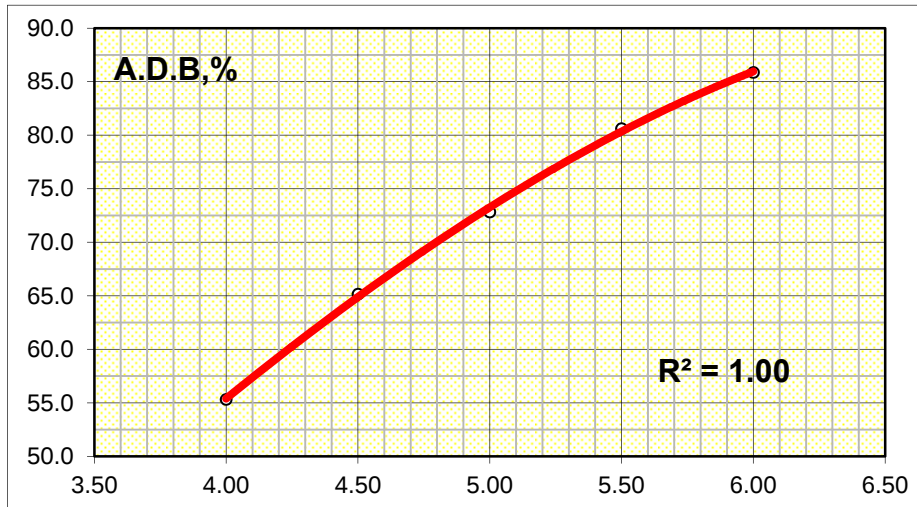
- Dizayn için seçilecek agregalar dane çapı bakımından üç ayrı gruptan (kaba, orta ve ince) alınmalı, elek analizleri tüm gruplar için yaşı olarak gerçekleştirilir ve seçilen kaplama tabakasına uygun olarak şartname değerlerine uygun oranlarda karıştırılmalı
- Briket için gerekli agrega miktarının tartılması, kaba ve ince özgül ağırlık, filler zahiri özgül ağırlık deneyinin yapılarak tüm agrega sınıflarına ait özgül ağırlık değerlerinin tespit edilmesi
- Tahmin edilen optimum bitüm ile bu değerin  $\pm 0.5$  ve  $\pm 1.0$  bitüm değerlerinde, her optimum bitüm değeri için Marshall tokmağı kullanılarak 2x75 darbe ile en az 3 briket briketlerin sıkıştırılması.
- Kalıptan çıkarılan briketlerin yüksekliklerinin ölçülmesi ve hacim özgül ağırlıklarının ( $D_p$ ) belirlenmesi.
- Her briketlerin Marshall stabilite ve Akma deneyinin yapılması.
- Tüm deney sonuçlarına göre Marshall formuna girilen değerler kullanılarak, her bitüm yüzdesi için briketlerin ortalama yükseklikleri, pratik yoğunluk ( $D_p$ ) hesaplandıktan sonra, teorik özgül ağırlık ( $D_t$ ), hava boşluğu ( $V_h$ ), agregalar arası boşluk ( $VMA$ ), asfaltla dolu boşluk ( $VFA$ ), briket yüksekliğine göre düzeltilmiş stabilite ve akma değerleri hesaplanır.

Soğuk Yama Katkıların karışım içerisindeki performansını belirlemek için seçilen agrega ve bitüm kullanılarak bir adet sıcak karışım ve brookfield viskozite deneyinde belirlenen oranlara uygun olarak 6 adet katkı ile kullanılarak 6 ayrı karışım elde edilmiştir.

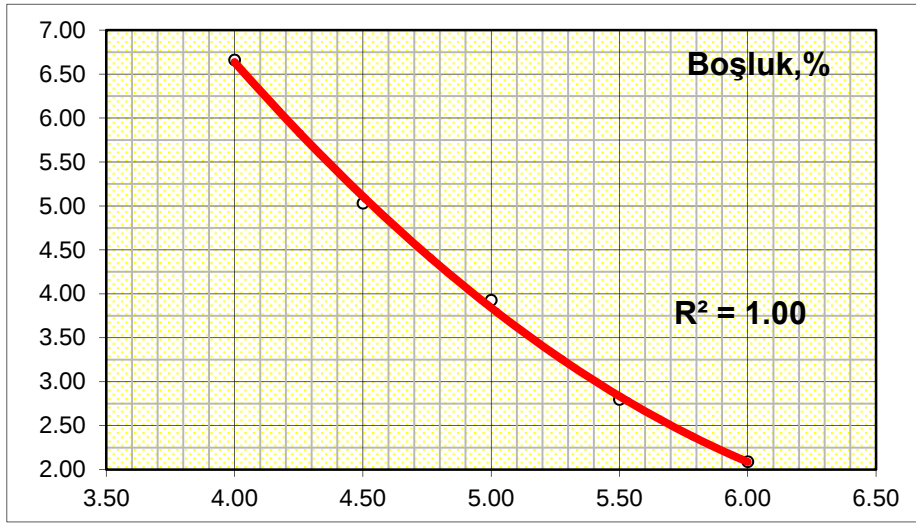
Sıcak karışım dizaynının Ek 1 'de verilen veriler yardımı ile aşağıdaki grafikler çizilmiştir.



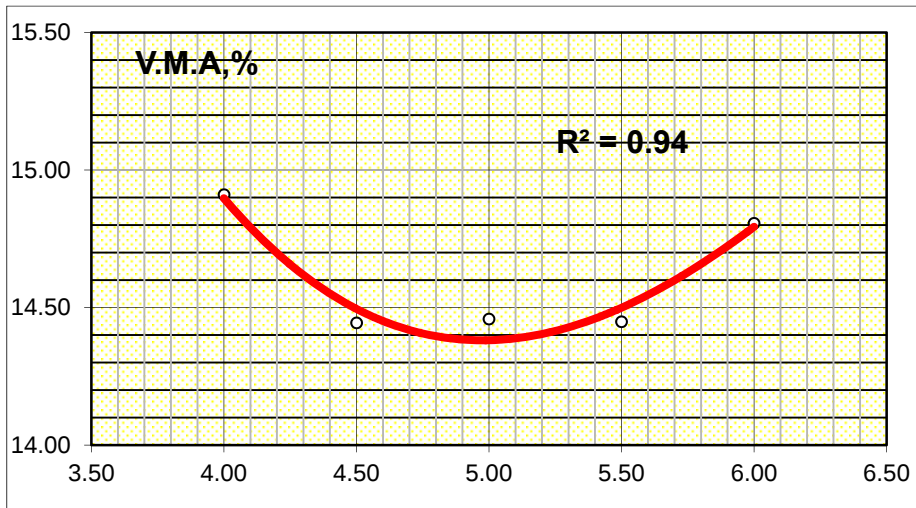
Şekil 4.5. Sıcak karışım dizayn  $D_p$  grafiği



Şekil 4.6. Sıcak karışım A.B.D grafiği



Şekil 4.7. Sıcak karışım boşluk grafiği



Şekil 4.8. Sıcak karışım V.M.A grafiği



Resim 4.21. SYK3 katkısı ile karışım hazırlama



Resim 4.22. SYK3 katkısı ile marshall briketi hazırlama

Çizelge 4.17. Marshall deney sonuçları

| Deney Adı                                      | SYK1 %<br>25 | SYK2<br>% 20 | SYK3<br>%20 | SYK5 %<br>25 | SYK6 %<br>25 | Sıcak<br>Dizayn |
|------------------------------------------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|-----------------|
| Pratik yoğunluk<br>sıcak sıkıştırma            | 2,414        | 2,415        | 2,414       | 2,412        | 2,404        | 2,407           |
| Pratik yoğunluk<br>soğuk sıkıştırma (25<br>°C) | 2,242        | 2,301        | 2,272       | 2,255        | 2,254        | -               |
| Maksimum Teorik<br>Özgül Ağırlığı              | 2,509        | 2,594        | 2,508       | 2,519        | 2,588        | 2,517           |
| Hava Boşluğu sıcak<br>sıkıştırma               | 3,8          | 6,9          | 3,7         | 4,2          | 7,1          | 4,4             |
| Hava Boşluğu soğuk<br>sıkıştırma               | 10,6         | 11,3         | 9,4         | 10,5         | 12,9         | -               |
| VMA sıcak<br>sıkıştırma                        | 14,3         | 14,2         | 14,3        | 14,3         | 14,6         | 14,5            |
| VMA soğuk<br>sıkıştırma                        | 20,4         | 18,3         | 19,3        | 19,9         | 19,9         | -               |

#### 4.5.2. Marshall stabilite ve akma deneyi

Marshall tokmağı ile sıkıştırılan numuneler oda sıcaklığına geldiğinde bir kriko ile kalıbından çıkarılan briketler 24 saat süresince oda koşullarında bekletilir. Bir kumpas yardımıyla üç ayrı yerden yükseklikleri ölçülen numunelerin havada, 25 °C suda ve yüzey kuru suya doymun durumdaki tartımları yapılır.

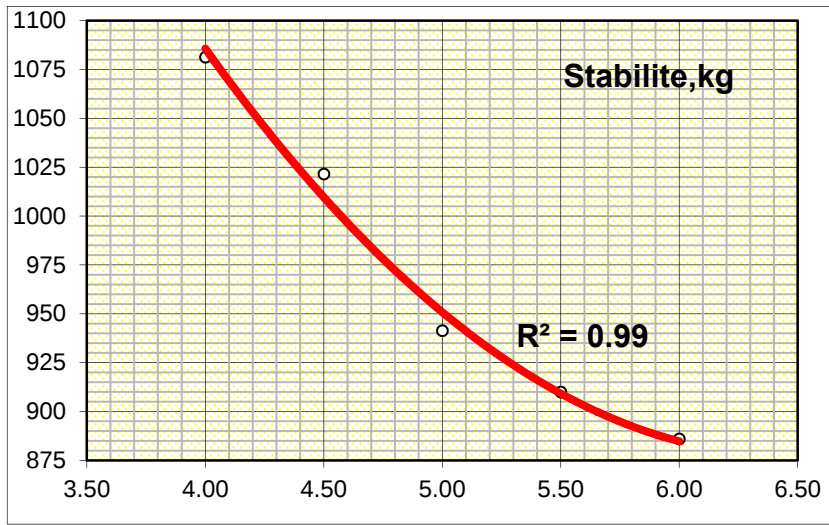
Stabilite ve akma deneylerine geçmeden önce numuneler  $60 \pm 1$  °C'lik su banyosunda 30 ila 40 dakika bekletilir.

Numune çelik bir halkanın iki segmanı arasına yerleştirilir. Akma ölçer sıfırlanır. Deneyde; üst segman sabittir. Maksimum yüke erişinceye kadar, alt segmanın hareket etmesiyle dakikada 50,8 mm'lik (2 inç) bir hızla yükleme yapılır. Numune kırılıncaya kadar yüklemeye devam edilir ve Marshall Stabilite değeri kaydedilir. “Marshall Stabilitesi” adı verilen bu değer numunenin kırılmasını sağlayan kg cinsinden toplam yük miktarıdır.

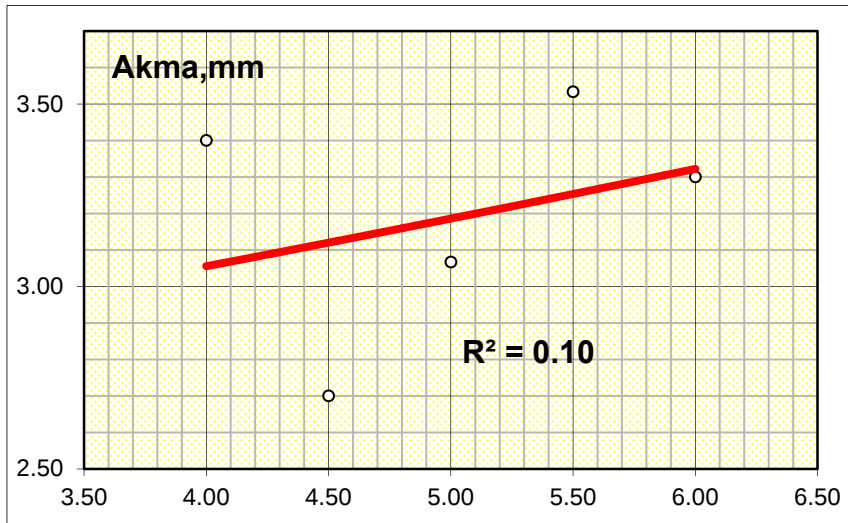
Numunenin akma dayanımının ölçümü sırasında çökme ya da hareket miktarı olan akma değeri de ölçülür. Bu esnada deney numunesinin su banyosundan çıkarılıp, maksimum yük saptamasına kadar geçen süre 30 saniyeden fazla olmamalıdır. Numune yüksekliği 63,5 mm'den (2 1/2 inç) farklıysa Marshall Stabilite düzeltme katsayıları kullanılarak yüke düzeltme faktörü uygulanır.



Resim 4.23. SKY3 katkısı ile hazırlanan numuneye ait stabilite deneyi



Şekil 4.9. Sıcak karışım stabilite grafiği



Şekil 4.10. Sıcak karışım akma grafiği

Çizelge 4.18. Stabilite deney sonuçları

| Deney Adı                                                                                                   | SYK1 %<br>25 | SYK2 %<br>20 | SYK3<br>%20 | SYK5<br>% 25 | SYK6<br>% 25 | Sıcak<br>Dizayn |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|-----------------|
| Normal marshall stabilite<br>(40 dakika 25 °C' de<br>60 °C' de su<br>banyosunda) sıcak<br>sıkıştırma        | 980,0        | 489,0        | 709,0       | 762,0        | 584,0        | 1153,0          |
| Koşullu marshall stabilite<br>(96 saat 25 °C' de<br>72 saat 60 °C' de su<br>banyosunda) sıcak<br>sıkıştırma | 885,0        | 561,0        | 771,0       | 782,0        | 650,0        | 1144,0          |
| Stabilite oranı                                                                                             | 90,3         | 114,7        | 108,7       | 102,6        | 111,3        | 99,2            |

#### 4.5.3. İndirekt çekme mukavemeti deneyi

Bitümlü karışımın donma çözünme etkileri nedeniyle suyun zararlı etkilerine karşı dayanımını belirlenmesi amacıyla İndirek Çekme Mukavemeti deneyi yapılır. Marshall metodu kullanılarak belirlenen optimum bitüm ve Dp (pratik yoğunluk) değerlerine uygun olarak üretilen briketler (en az 10 adet briket) koşullu ve koşulsuz olmak üzere iki gruba ayrılır.

Koşulsuz briketlere aşağıdaki belirtilen işlemler yapılır.

- Kalıptan çıkarılan briketler su geçirmez poşetlerde muhafaza edilir.
- 2 saat süreyle 25 °C'de su banyosunda tutulur ve tüm koşulsuz numuneler sırasıyla basınç plakası altına konulur.
- Basınç plakası altındaki numuneye çapı boyunca yük uygulanır. Yükleme şeritleri briket çapı ile değişmektedir. 4'' çapındaki briket numuneleri için, genişliği 13 mm olan yükleme şeritleri kullanılır.

- Numune cihaza bağlanarak yük uygulanır. Numune taşıyabileceği maksimum yüke ulaştığında çatlak oluşumu gözlenir ve numune daha fazla yük taşıyamaz hale gelir. Cihazın göstergesinden okunan yük değeri kaydedilir. İndirekt çekme mukavemeti (İÇM) değerleri hesaplanır.
- Briketler en olumsuz durumu görmek amacıyla koşullandırılmak için tabanına metal parçalar konmuş vakum kabı içine yerleştirilir. Vakum kabı içerisine numuneyi 250mm aşacak şekilde oda sıcaklığındaki (25 °C) damıtık su ile doldurulur. 5 dakika 10-26 inch vakum uygulanır, daha sonra numune doymuş hale gelmesi için 10 dakika su içinde bırakılır. Hazırlanan briketlerin hava boşluğunun tespiti için (%70-80'i suyla dolu hale) tartılarak kontrol edilir.
- Vakumlama işlemi tamamlanmış numuneler 10 ml damıtık su bulunan poşetlere konur ve poşetler bağlanır.
- Poşetli numuneler 16 saat -18 °C de derin dondurucuda, daha sonra 24 saat 60 °C'lik su banyosunda tutulur. En sonunda çıkarılarak 2 saat süreyle 25 °C'de su banyosunda tutulur.
- Koşullu numune sırasıyla basınç plakası arasına konur, yükleme şeritleri numunenin iki kenarına da yerleştirilir.
- Maksimum bir yük değerine ulaşıldığı anda numune çap boyunca düşey çatlak oluşumu gözlenir ve numune daha fazla yük taşıyamaz. Aletin göstergesinden okunan yük değeri kaydedilir. İndirekt çekme mukavemeti (İÇM) değerleri hesaplanır.
- Son aşamada bulunan değerler, koşullu grubun değerleri, koşulsuz grubun değerlerine oranlanarak İÇM oranları hesaplanır.

Çizelge 4.19. İçm deney sonuçları

| Deney Adı                                                                                                                                                                       | SYK1 %<br>25 | SYK2<br>% 20 | SYK3<br>%20 | SYK5 %<br>25 | SYK6 %<br>25 | Sıcak<br>Dizayn |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|-----------------|
| Normal İÇM<br>(2 saat 25 °C' de<br>su banyosunda)<br>sıcak ya da soğuk<br>sıkıştırma                                                                                            | Yapılamadı   | -            | -           | Yapılamadı   | Yapılamadı   | 9,90            |
| Koşullu İÇM<br>(%70-%80<br>doğgunluk, 16<br>saat -18 °C' de<br>dipfrizde, 24 saat<br>60 °C' de su<br>banyosunda, 2<br>saat 25 °C' de su<br>banyosunda)<br>sıcak karışım         | -            | -            | -           | -            | -            | 8,68            |
| Koşullu İÇM (10<br>dakika su<br>içerisinde vakum,<br>su içerisinde 30<br>dakika vakumsuz,<br>hacim<br>genişlemesi ≤<br>%2 ise, 72 saat 25<br>°C su banyosu)<br>soğuk sıkıştırma | Yapılamadı   | -            | -           | Yapılamadı   | Yapılamadı   |                 |
| İÇM oranı                                                                                                                                                                       | -            | -            | -           | -            | -            | 87,7            |

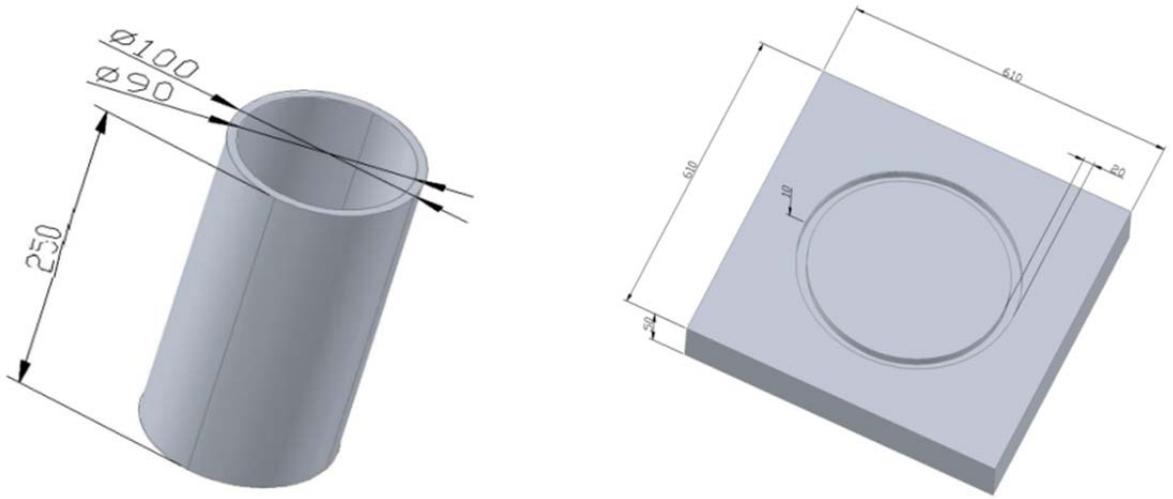
#### 4.5.4. İşlenebilirlik testi

Oregon Ulaştırma Departmanı tarafından çukur yamama malzemelerinin performansını incelenmiştir. Hem cutback hem de emülsiyon karışımlar farklı firmalardan temin edilmiş, laboratuvar ve saha çalışmaları yapılmıştır. Çalışmada farklı soğuk yama malzeme performansları karşılaştırılabilmesi için bütün soğuk karışımlar fırında tutulup test için stabil hale getirilmiştir. Örneklere, Marshall stabilite testi, maksimum ve dökme öz ağırlığı, ekstraksiyon ve bağlayıcı içeriği, viskozite (tekrar kazanılmış bağlayıcı),

kırılganlık (tekrar kazanılmış bağlayıcı), yumuşama noktası (tekrar kazanılmış bağlayıcı), esneklik modülü (resilient modulus) testleri yapılmıştır. Ancak sıcak karışım asfalt test sonuçları ve soğuk karışım performans testleri arasında bir korelasyon olmadığı gözlenmiştir.

En önemli performans göstergelerinden biri olan işlenebilirlik (workability) AASHTO TP43-94 standardına göre belirlenmiş bir kutu içerisindeki sıkıştırılmamış soğuk karışımın penetrasyona karşı maksimum dayanımıdır. Penetrasyon penetrometre ile ölçülür.

Önceden hazırlanmış ve bulunduğu ortamın sıcaklığına gelmiş soğuk asfalt katkıli bitümlü bakım malzemesi karışımı, alt tarafındaki kapağı sıkıca kapatılmış ve içerisindeki bitümlü karışımın bünyesine zarar vermeyecek şekilde uygun bir yağ ile iç kısmı yağlanmış olan PVC numune hazırlama kalıbı (Resim 4.24.) içerisine, nihai yüksekliği 20 cm olacak şekilde 2 tabaka halinde doldurularak sıkıştırılır. Sıkıştırma işlemi her bir tabakanın üzerinde Marshall çekicinin önce kendi serbest ağırlığında 10 saniye bekletilmesi, ardından da Marshall çekici üzerindeki tokmağın en üst seviyesine kadar kaldırılıp, bırakılarak serbest düşüş yapması şeklindeki 10 vuruşu ile yapılır.



Resim 4.24. PVC numune hazırlama kalıbı ve yığılma aparatı



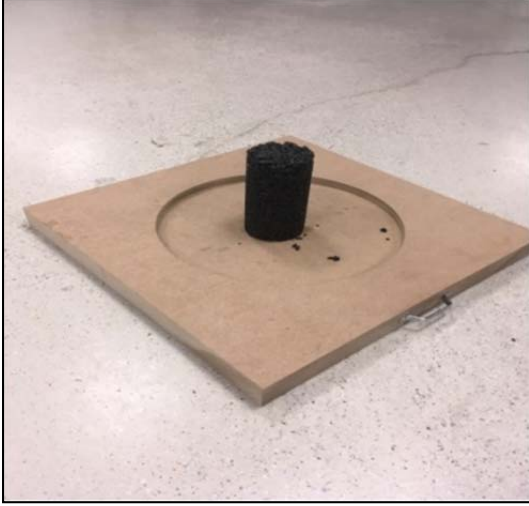
Resim 4.25. Numune kalıba sıkıştırılması

Bu şekilde içerisine iki tabaka halinde karışım numunesi sıkıştırılmış numune hazırlama kalıbının üst kapağı da sıkıca kapatılır ve dik vaziyette 4<sup>0</sup>C’ de 24 saat süresinde koşullandırmaya tabi tutulur.



Resim 4.26. PVC numune koşullandırma

Koşullandırma işlemi tamamlandıktan sonra 25 <sup>0</sup>C ortam sıcaklığına sahip laboratuvardaki uygun bir numune çıkarıcısı ile sıkıştırılmış numune örselenmeden kalıptan çıkarılır. Kalıptan çıkarılmış olan karışım numunesi vakit kaybetmeden, ahşap yayılma plakasının ortasına yerleştirilir ve kronometre çalıştırılır.



Resim 4.27. Kalıptan çıkan SYK3 numunesi

Başlangıçta 20 cm yüksekliğinde ve silindir şeklinde sıkıştırılmış olan karışım numunesinin, ilerleyen zamanla artan sıcaklık etkisiyle kendi ağırlığını taşıyamayarak, üst kısmındaki silindir şeklini tamamen kaybedecek şekilde devrilmesi ya da numune karışımın önce düşey yönde çöküp sonra devrilmesiyle, karışımındaki bitümlü agregaların birbirini üzerinden kaymaya başladığı an olarak tanımlanabilecek yığılmanın olduğu ana kadar ki geçen süre ölçülür. Bu süre boyunca her 5 dakika da bir numune sıcaklığı ölçülerek kaydedilir. Numunenin nihai yığılma süresi ve yığılma sıcaklığı kaydedilir.



Resim 4.28. Yığılmış SYK3 numunesi

Yığılmış numune derhal spatula yardımıyla yayılma kalıbının içerisine, üniform bir yükseklik elde edilinceye ve topaklanmış malzeme kalmayıncaya kadar elle yayılır.

Yayılma süresi yığılmış numuneye spatula ile müdahale edilen andan itibaren yayılma işlemi tamamlanıncaya kadar ki süre olarak kronometre ile ölçülerek kaydedilir.



Resim 4.29. SYK3 numunesinin yayılması

Çizelge 4.20. İşlenebilirlik deney sonuçları

| Deney Adı                                    | SYK1<br>% 25 | SYK2<br>% 20 | SYK3<br>%20 | SYK5<br>% 25 | SYK6<br>% 25 |
|----------------------------------------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|
| İşlenebilirlik çökme zamanı, sn              | 2220         | 8700         | 3600        | 1440         | 2100         |
| İşlenebilirlik kalıba yerleştirme zamanı, sn | 180          | 145          | 120         | 130          | 120          |



## 5. SONUÇ VE TARTIŞMALAR

Bitümlü asfalt kaplamalarında yama amaçlı kullanılan soğuk asfalt yama katkıların bitümlü karışım performansına etkisinin araştırılması kapsamında malzemelerin fiziksel özelliklerinin tanımlanması, sınıflandırılması, performans ölçümlerinin belirlenmesi için deneyler yapılmış ve aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

- Kromatogram sonuçları incelendiğinde katkı malzemesi ve destilat ürünü sonuçlarının benzer olduğu görülmüştür. Destilasyon işlemi vakum altında yapıldığı ve farklı sıcaklıklarda gelen distilatlar ayrı ayrı toplanmadığı için bu beklenen bir sonuçtur. Gaz kromatografi analizleri destilasyon sonuçları ile de uyumlu olduğu görülmüştür.
- Çizelge 4.1.' de örnekler incelendiğinde atık madeni yağ kategori belirleme parametreleri ve sınır değerlerine göre fosfor (P) değerlerinin sınır değerlerini (maksimum 10) karşılamadığı görülmüştür. Soğuk yama katkı malzemelerinin hazırlanmasında atık madeni yağların kullanılması göz önünde bulundurulduğunda bu değerlerin madeni yağlara katılan fosfor esaslı katkı maddelerinden kaynaklanabileceği şeklinde yorumlanmıştır.
- Soğuk yama katkılarının kimyasal yapısının belirlenmesi amacı ile FTIR analiz yapılmıştır. FTIR analiz sonuçlarından SYK2, SYK3, SYK5 ve SYK6 örneklerinin bitkisel yağ esaslı, diğer örneklerin ise kimyasal esaslı olduğu belirlenmiş ve daha detaylı yapı tanımlanması için Gaz Kromatografi (GC) cihazında analiz edilmiştir. Bitkisel esaslı ürünlere TÜBİTAK MAM Gıda Enstitüsü'nde yağ asidi kompozisyonu belirleme çalışmaları yapılmış ve ürünlerin madde içeriklerindeki farklılıkların, üretimde kullanılan yağların kaynağının farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmüştür.
- Destilasyon sonuçları KTŞ 2013'e göre değerlendirildiğinde SYK4 marka numunenin 260-360°C aralığında istenen koşulları sağlamadığı görülmüştür. Destilasyon sonuçları Amerika Queensland MRST19 teknik standardı incelendiğinde atmosferik destilasyonunda fluks yağlar için 350°C'nin altında en az %80'nin toplanması gerektiği bildirilmiştir.

- 40°C'deki viskozite ölçüm sonuçlarında SYK1, SYK2, SYK3 ve SYK6 numunelerinin tamamı Çizelge 4.2'de yer alan sınır değeri aşmış olmakla beraber SYK1 numunesi 36,80 mPa.s ile sınır değeri olan 4,6 mPa.s'nin yaklaşık 7 katı olarak ölçülmüştür. SYK1 numunesi kabul edilebilir değerin çok üzerinde sonuç vermiştir.
- Parlama noktası değerleri incelendiğinde bütün numuneler sınır değeri (MTRS 19,2009) olan 61,5°C'nin üzerinde kabul edilebilir özelliktedir. Ancak SYK7 numunesi parlama olmadan yanmaya başladığından ölçüm çok sağlıklı yapılamamıştır (yanıcı madde özelliği bulunmaktadır). Toplam su içeriği açısından ise yine SYK1, SYK2, SYK3, SYK4, SYK5, SYK6 ve SYK7 numunelerinin tamamı Çizelge 4.2'de yer alan sınır değeri olan %0,1'in üzerindedir.
- Çizelge 4.2'de verilen parametrelerde yer almamasına rağmen soğuk yama katkı malzemelerinin tanımlanması amacı ve/veya ayırt edici özellik olma ihtimali dikkate alınarak kırılma indisi ve pH; atık madeni yağ kullanılma ihtimali için de asit sayısı analizleri yapılmıştır. Numunelerde kırılma indisi değerinin 1,45-1,49 aralığında değiştiği ve benzer olduğu; pH değerinin ise çok değişken olduğu görülmüştür. pH değerleri incelendiğinde katkı malzemelerinin bir kısmının asidik, bir kısmının ise bazik özellik taşıdığı belirlenmiştir.
- Asit sayısı değerlerinin numuneye göre değişken olduğu bazı numunelerde çok düşük olduğu görülmüştür. Asit sayısı madeni yağ hammaddesi olan baz yağ yağlarda belirleyici faktör olup ilgili TS 13369'ta 1. ve 2. sınıf baz yağlarda en fazla 0,10 mg KOH/gr olarak belirtilmiştir. Soğuk yama katkı maddeleri analiz sonuçları bu kapsamda değerlendirildiğinde bazı katkı maddelerinin hazırlanmasında atık madeni yağ kullanılması söz konusu olabilir.
- Kimyasal esaslı ürünlerin GC analiz sonuçlarına göre SYK4 numunesinde heavy alkyl benzene (HAB) ve phthalate (moleküler ağırlığı Mw: 390 olan çeşitli DOP türevleri olabilir); SYK1 numunesinde heavy alkyl benzen (HAB) ve katkı; SYK7 numunesinin C10-C13 hidrokarbon aralığında petrol fraksiyonu olduğu tespit edilmiştir.

- Çizelge 4.10. kütle kaybı deney sonuçları incelendiğinde SYK3, SYK4 ve SYK5 numunelerinin değerlerinin yüksek olduğu için sınır değeri aştığı belirlenmiştir. SYK4 numunesinin %6,57 kütle kaybı değerinin erken buharlaşan kimyasalları bünyesinde bulundurmasından kaynaklanmaktadır. Bu yüksek kayıp oranının karışımda boşlukların artmasına neden olacağı ve stabilite sorunlarının oluşacağı düşünülmektedir.
- Çizelge 4.17. Marshall deney sonuçlarında SYK6 %25 karışım numunesinin sıcak karışımdaki hava boşluğu değeri %7,1 değeri tüm numunelere oranla yüksek olduğu görülmüştür. Bu durumda SYK6 %25 karışımının stabilite değerlerinin düşmesine neden olduğu görülmüştür.
- Çizelge 4.19. İndirekt çekme mukavemeti değerleri tüm numunelerde sonuç vermemiş numunelerin çoğu koşullandırma sonrası dayanımını kaybederek parçalanmış ve cihazda okuma yapılamamıştır. Tüm deney numunelerinin suyun zararlı etkilerine karşı dayanımının yeterli olmadığı görülmüştür.
- Çizelge 4.18.'da Stabilite deney sonuçları tüm numunelerin stabilite değerlerinin yüksek olduğu görülmüş SYK1 %25 karışımının diğer numunelere göre stabilite değerlerinin yüksek olduğu uzun süre koşullandırma sonrası stabilite değeri kısa süreli koşullandırma sonrası stabilite değerinde düşük olduğu görülmüştür. Ancak diğer tüm karışım numunelerinin uzun süreli stabilite değerlerinde yükselme olduğu gözlemlenmiş bu durumun nedeninin katkıların bünyesindeki kimyasalların zamana bağlı stabilite değerlerini iyileştirici özelliği olduğu düşünülmektedir.
- İşlenebilirlik deney sonuçları Çizelge 4.20.'de ki sonuçlar incelendiğinde SYK1 %25 numunesinin işlenebilirlik özelliğinin az olduğu belirlenmiştir. Bu durum Çizelge 4.18.'de stabilite deney sonuçlarının SYK1 %25 en yüksek çıkmasının nedenini açıklamaktadır. SYK1 katkısı işlenebilirlik özelliği az olması stabilite de olumlu etki yapmıştır. Ancak işlenebilirlik değerinin uygun olmamasının uygulamada serme ve sıkıştırma problemlerine neden olacağı düşünülmektedir.

- Karayolları Genel Müdürlüğü Araştırma ve Geliştirme Dairesi Başkanlığında bu çalışmaların devamı olarak soğuk yama katkılarıyla ilgili uygulama şartnamesinin geliştirilmesi çalışmaları devam etmektedir.
- Soğuk asfalt yama katkıları kullanılarak üretilen bitümlü karışımın performans özelliklerinin bitümlü sıcak karışıma göre daha düşük olması ayrıca uygulama sonrası suyun zararlı etkileri ve mevsimsel değişimlerden çabuk etkilenmesi nedeniyle soğuk asfalt yama katkıları yerine bitümlü sıcak karışım kullanarak yama uygulaması yapmanın daha iyi sonuç vereceği düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

1. European Asphalt Pavement Associatoin. (2014). *Asfalt-%100 Geri Kazanılabilen Yapı Malzemesi EAPA Durum Tespit Dokümanı*. (çev Temren, Z). Türkiye Asfalt Mütcahitleri Derneđi, 1-18.
2. U.S. Department of Transportation. (1999). *Materials and Procedures for Repair of Potholes in Asphalt-Surfaced Pavements*. Washington: U.S. Department of Transportation, 5-21.
3. Berlin, M., Hunt, E., (2001). Asphalt Concrete Patching Material Evaluation; Oregon Department of Transportation Research. *Interim Report SR 548*. Los Angeles, 3.
4. Basham, D.L., Wright, J.W., Ferguson, K.I., Moy, G.W., (2001). Asphalt Maintenance and Repair; U.S. Army Corps of Engineers.*WBDG Report*.Washington. 3-4.
5. Chatterjee, S., White, R.P., Smit, A., Prozzi, J., Prozzi, J. A., (2006). *Development of Mix Design and Testing Procedures for Cold Patching Mixtures*; Center for Transportation Research at the University of Texas. *FHWA/TX-05/0-4872-1*. Texas. 38-41
6. Tayfur, S., Özen. H., Eren, B.K., (2002). *Soğuk Karışım Tasarımı ve Katkı Malzemesi Miktarı-Kür Süresi İlişkisi Bildirisi*. I. Uluslararası Trafik ve Güvenliği Kongresi. Emniyet Genel Müdürlüğü Trafik Hizmetleri Başkanlığı. Ankara.
7. Lavin, P.G., (2003). *Asphalt Pavements: A Practical Guide to Design. Production and Maintenance for Engineers and Architects* (First edition). London: CRC Press, 76
8. Herrera, V.I., Prozzi. J., Prozzi. J.A., (2007). *Mixture Design and Performance-Based Specifications for Cold Patching Mixtures*. Texas: Texas Department of Transportation, 1.
9. National Cooperative Highway Research Program. NCHRP 463. (2014). *Pavement Patching Practices A Synthesis of Highway Practice*. Washington: Transportation Research Board, 3.
10. State of Queensland Department of Transport and Main Roads. (2009). *Cutter and Flux Oils. Main Roads Technical Standard*. Australia: Queensland Government, 2.
11. Orhan, F. (2012). *Bitümlü Karışımlar Laboratuvarı Çalışmaları Kitabı*. Ankara: Karayolları Genel Müdürlüğü, 10-13.
12. Ulaş, D. (2014). *Bitümlü Sıcak Karışım Tipleri Yüksek Lisans Tezi*. Bartın Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen Bilimleri Ensttüsü. Bartın, 28-30
13. Texas Department of Transportation. (2015). *Asphalt Materials and Uses Construction Division Materials and Pavements Section*. Texas: Texas Department of Transportation,4-5

14. Department of Environmental Protection. (2009). *Cutback Asphalt and Emulsified Asphalt*. Florida: Department of Environmental Protection, chapter 131, 1-2.
15. Diaz, L.G., (2016). *Creep Performance Evaluation of Cold Mix Asphalt Patching Mixes*. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 9, 149-158.
16. Chen, D.H., Lin, H.H., Sun. R., (2011). Field Performance Evaluations pf Partial-Depth Repairs. *Construction and Building Materials*, 25, 1369-1378.
17. Anderson, D. A., Thomas, H. R., Siddiqui, Z., Krivohlavek, D. D., (1988). *More Effective Cold. Wet-Weather Patching Materials for Asphalt Pavements*. Washington D. C.: Federal Highway Administration, 100-140.
18. Evans, L. D., Mojab, C. G., Patel, A. J., Romine, A. R., Smith, K. L., Wilson, T. P., (1993). *Innovative Materials Development and Testing*. Washington D. C.: National Research Council, 21-29
19. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.(2008). *Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği*. Ankara: T.C. Resmi Gazete.
20. US Army Corps of Engineers. (2000). *Hot-Mix Asphalt Paving Handbook*. Washington, 122-125
21. Uluçaylı, M., Yavuz A., (2002). *Asfalt El Kitabı*. İstanbul: İstanbul Asfalt Fabrikaları Sanayi ve Ticaret A.Ş. , 200-315
22. Dulaimi, A., Al Nageim, H., Ruddock, F. and Seton, L. (2016). New Developments with Cold Asphalt Concrete Binder Course Mixtures Containing Binary Blended Cementations Filler. *Materials and Design Book*. England: Elsevier, 124, 414-423.
23. Estakhri, C. K., Jimez, L. M., Button, J. W., (1999). *Evaluation of Texas DOT Item 334. Hot-Mix. Cold-Laid Asphalt Concrete Paving Mixtures*. Texas: Federal Highway Administration, 4-7
24. Ferrotti, G., Pasquini, E., Canestrari, F., 2014. Experimental Characterization of High Performance Fiber Reinforced Cold Mix Asphalt Mixtures. *Construction and Building Materials*. England: Elsevier, 57, 117-125.
25. Giani, M.I., Dotelli, G., Brandini, N., Politecnico, L. Z., (2015). Comparative Life Cycle Assessment of Asphalt Pavements Using Reclaimed Asphalt. Warm Mix Technology And Cold in-Place Recycling. *Resources, Conservation and Recycling*. 104, 224-238.
26. Gómez-Meijide, B., Pérez. I., (2014). A Proposed Methodology for the Global Study of the Mechanical Properties of Cold Asphalt Mixtures. *Materials Design*. England: Elsevier, 57, 520-527.
27. Dulaimi, A., Nageim, H. A., Ruddock, F., Seton, L., (2017). High Performance Cold Asphalt Concrete Mixture for Binder Course Using Alkali-Activated Binary Blended Cementitious Filler, *Construction and Building Materials*. England: Elsevier, 141,160.

28. International Organization for Standardization (2011). *ISO 12966-2 Animal and vegetable fats and oils - Gas Chromatography of Fatty Acid Methyl Esters - Part 2: Preparation of Methyl Esters of Fatty Acids*. Switzerland: ISO
29. Karayolları Genel Müdürlüğü Strateji Geliştirme Başkanlığı. (2016). Karayolları Genel Müdürlüğü 2015 Yılı Faaliyet Raporu; *Kgm İntranet*, Ankara, 190-220.
30. Karayolları Genel Müdürlüğü. (2013). *Karayolları Genel Müdürlüğü Karayolu Teknik Şartnamesi*. Ankara: Karayolları Genel Müdürlüğü, 409-412.
31. Khan, A., Redelius, P., Kringos, N., (2016). Evaluation of Adhesive Properties of Mineral-Bitumen Interfaces in Cold Asphalt Mixtures. *Construction and Building Materials*, 125, 1005-1021.
32. Lin, J., Hong, J., Xiao, Y., (2017). Dynamic Characteristics of 100% Cold Recycled Asphalt Mixture Using Asphalt Emulsion and Cement. *Journal of Cleaner Production*, 156, 337-344.
33. Ling, C., Hanz, A., Bahia, H., (2016). Measuring Moisture Susceptibility of Cold Mix Asphalt with a Modified Boiling Test Based on Digital Imaging. *Construction and Building Materials*, 105, 391-399.
34. Liu, X., Zhou, C., Feng, D., Tang, H., Xu, Y., Fan, X., (2016.) Influence of Moisture in Aggregates on Properties of Cold-Mixed Resin Asphalt Mixture. *Construction and Building Materials*, 120, 232-240.
35. Queensland Government. (2011). *Transport and Main Roads Specifications MRTS20 Cutback Bitümen*. Australia, 1-6.
36. Nassar, A. I., Mohammed, M.K., Thom, N., Parry, T., (2016). Mechanical, Durability and Microstructure Properties of Cold Asphalt Emulsion Mixtures with Different Types of Filler. *Construction and Buildings Materials*. England: Elsevier, 114, 352-363.
37. Saadoon, T., Garcia, A., Gómez-Meijide, B., (2017). Dynamics of Water Evaporation in Cold Asphalt Mixtures. *Materials and Design Book*. England: Elsevier, 134,196-206.
38. Sangiorgi, C., Tataranni, P., Simone, A., Vignali, V., Lantieri, C., Dondi, G., (2017). A Laboratory and Filed Evaluation of Cold Recycled Mixture for Base Layer Entirely Made with Reclaimed Asphalt Pavement. *Materials and Design Book*. England: Elsevier, 138, 232-239.
39. Türk Standartları Enstitüsü. (1999). *TS 4368 ISO 5661 Petrol Ürünleri-Sıvı Hidrokarbonlar-Kırılma İndisi Tayini standardı*. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
40. Türk Standartları Enstitüsü. (2002). *TS 6147 EN ISO 12937 Petrol Ürünleri-Su Tayini-Kulometrik Karl Fischer Titrasyon Metodu standardı*. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.

41. Türk Standartları Enstitüsü. (2000). *TS 2432 EN 12634 Petrol Ürünleri ve Yağlayıcılar-Asit Sayısı Tayini-Susuz Ortamda Potansiyometrik Titrasyon Metodu standardı*. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
42. Türk Standartları Enstitüsü. (2004). *TS EN 14039 Characterization of Waste-Determination of Hydrocarbon Content in the Range of C10 to C40 by Gas Chromatography standard*. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
43. Türk Standartları Enstitüsü. (2008). *TS 13369 Yağlama Yağları. Endüstriyel Yağlar ve İlgili Ürünler (Sınıf L)-Baz Yağlar-Naftenik ve Parafinik Esaslı. TS 13369 standardı*. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
44. Türk Standartları Enstitüsü. (2012). *TS EN 933-1 Agregaların geometrik özellikleri için deneyler bölüm 1: Tane büyüklüğü dağılımı tayini- Eleme metodu standardı*. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
45. Türk Standartları Enstitüsü. (2010). *TS EN 1097-2 Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler bölüm 2: Parçalanma direncinin tayini için metotlar standardı*. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
46. Türk Standartları Enstitüsü. (2010). *TS EN 1367-2 Agregaların termal ve bozunma özellikleri için deneyler bölüm 2: Magnezyum sülfat deneyi standardı*. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
47. Türk Standartları Enstitüsü. (2015). *TS EN 933-3 Agregaların geometrik özellikleri için deneyler - Bölüm 3: Tane şekli tayini - Yassılık endeksi standardı*. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
48. Türk Standartları Enstitüsü. (2010). *TS EN 933-9 Agregaların geometrik özellikleri için deneyler - Bölüm 9: İnce malzeme tayini - Metilen mavisi deneyi standardı*. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
49. Türk Standartları Enstitüsü. (2013). *TS EN 1097-6 Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler bölüm 6: Tane yoğunluğu ve su emme oranının tayini standardı*. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
50. Türk Standartları Enstitüsü. (2012). *TS EN 12697-11 Bitümlü karışımlar - Deney metotları - Sıcak karışimli asfalt için - Bölüm 11: Agrega ve bitüm arasındaki bağlanmanın tayini standardı*. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
51. Türk Standartları Enstitüsü. (2015). *TS EN 1426 Bitüm ve bitümlü bağlayıcılar-İğne batma derinliği tayini standardı*. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
52. Türk Standartları Enstitüsü. (2015). *TS EN 1427 Bitüm ve bitümlü bağlayıcılar-Yumuşama noktası tayini-Halka ve bilye yöntemi standardı*. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
53. Türk Standartları Enstitüsü. (2017). *TS EN ISO 2592 Petrol ve ilgili ürünler – Parlama ve yanma noktasının tayini - Cleveland açık kap yöntemi standardı*. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.

54. Türk Standartları Enstitüsü. (2010). *TS EN 15326+A1 Bitüm ve bitümlü bağlayıcılar-Yoğunluk ve özgül kütle tayini-Kapiler kapaklı piknometre yöntemi standardı*. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
55. Yan, J., Leng, Z., Li, F., Zhu, H., Bao, S., (2017). Early-Age Strength and Long-Term Performance of Asphalt Emulsion Cold Recycled Mixes with Various Cement Contents. *Construction and Buildings Materials Book*. England: Elsevier, 137, 153-159.

## **EKLER**

|                                           |                |                                               |              |                                    |                |
|-------------------------------------------|----------------|-----------------------------------------------|--------------|------------------------------------|----------------|
| Bitüm Penetrasyonu                        | : B70/100      | Kaba Agreganın Hacim Özgöl Ağırlığı $G_{kh}$  | 2.686        | <b>Briketteki agreg miktarı,gr</b> | <b>1150</b>    |
| Bitüm Özgöl Ağırlığı, $G_b$               | : 1.028        | Kaba Agreganın Zahirî Özgöl Ağırlığı $G_{kz}$ | 2.727        | <b>Darbe sayısı,adet</b>           | <b>75</b>      |
| Agreganın Bitüm Absorpsiyonu $P_{ba}$     | : 0.29         | İnce Agreganın Hacim Özgöl Ağırlığı $G_{ih}$  | 2.684        | <b>%Va=Agrega Hacim %'si</b>       | <b>: 84.91</b> |
| Agreganın Etketif Özg. Ağırlığı, $G_{ef}$ | : <b>2.710</b> | İnce Agreganın Zahirî Özgöl Ağırlığı $G_{iz}$ | 2.731        | <b>%Vb=Bitüm Hacim %'si</b>        | <b>: 10.52</b> |
| Agreganın Hacim Özg. Ağırlığı, $G_{sb}$   | : 2.689        | Fillerin Zahirî Özgöl Ağırlığı $G_{fz}$       | 2.768        | <b>%Vh=Hava Hacim %'si</b>         | <b>: 4.57</b>  |
| Agreganın Zahirî Özg. Ağırlığı, $G_{sa}$  | : 2.731        | $(G_{ih}+G_{iz})/2$                           | <b>2.700</b> |                                    |                |
|                                           |                | $(G_{sb}+G_{sa})/2$                           | <b>2.710</b> |                                    |                |

| No   | BİTÜM                                               |      | Sıcaklık<br>°C | YÜKSEKLİKLER,mm |      |      |       | Havadaki       | Sudaki         | Doy.Yüz.       | Hacim                | Hacim            | Maks.Teo.       | %            | %     | Asf.Dol      | Akma<br>mm | Stabilite<br>kg | Düzlme<br>Faktörü | Düzeltilm<br>Stabilite<br>kg |
|------|-----------------------------------------------------|------|----------------|-----------------|------|------|-------|----------------|----------------|----------------|----------------------|------------------|-----------------|--------------|-------|--------------|------------|-----------------|-------------------|------------------------------|
|      | Wa,%                                                | g    |                | 1               | 2    | 3    | ortlm | Ağırlık,g<br>A | Ağırlık,g<br>C | Ağırlık,g<br>B | cm <sup>3</sup><br>V | Özg.Ağırl.<br>Dp | Özgöl Ağ.<br>Dt | Boşluk<br>Vh | V.M.A | Boşluk<br>Vf |            |                 |                   |                              |
| 1    | 4.00                                                | 46.0 | 145            | 63.0            | 63.5 | 62.9 | 63.1  | 1182.6         | 691.4          | 1188.0         | 496.6                | 2.381            |                 |              |       |              | 3.40       | 1121            | 1.014             | 1136                         |
| 2    | 4.00                                                | 46.0 | 145            | 64.3            | 63.5 | 64.2 | 64.0  | 1188.2         | 693.0          | 1196.6         | 503.6                | 2.359            | iptal           |              |       |              | 2.90       | 1049            | 0.991             | 1040                         |
| 3    | 4.00                                                | 46.0 | 145            | 62.5            | 63.3 | 63.0 | 62.9  | 1187.4         | 693.2          | 1192.6         | 499.4                | 2.378            |                 |              |       |              | 3.40       | 1007            | 1.019             | 1026                         |
|      |                                                     |      |                |                 |      |      |       |                |                |                |                      | 2.380            | 2.549           | 6.66         | 14.91 | 55.3         | 3.40       |                 |                   | 1081                         |
| 4    | 4.50                                                | 51.8 | 145            | 63.3            | 62.3 | 63.0 | 62.9  | 1194.6         | 698.4          | 1197.7         | 499.3                | 2.393            |                 |              |       |              | 2.70       | 905             | 1.021             | 924                          |
| 5    | 4.50                                                | 51.8 | 145            | 63.8            | 62.9 | 63.0 | 63.2  | 1191.9         | 695.8          | 1195.2         | 499.4                | 2.387            | iptal           |              |       |              | 2.70       | 914             | 1.011             | 924                          |
| 6    | 4.50                                                | 51.8 | 145            | 62.7            | 62.9 | 62.0 | 62.5  | 1191.6         | 700.7          | 1194.0         | 493.3                | 2.416            |                 |              |       |              | 2.70       | 1087            | 1.030             | 1119                         |
|      |                                                     |      |                |                 |      |      |       |                |                |                |                      | 2.404            | 2.531           | 5.03         | 14.44 | 65.2         | 2.70       |                 |                   | 1022                         |
| 7    | 5.00                                                | 57.5 | 145            | 62.7            | 63.2 | 62.5 | 62.8  | 1202.4         | 705.9          | 1204.2         | 498.3                | 2.413            |                 |              |       |              | 2.60       | 935             | 1.023             | 956                          |
| 8    | 5.00                                                | 57.5 | 145            | 62.3            | 62.0 | 62.7 | 62.3  | 1192.4         | 701.2          | 1194.6         | 493.4                | 2.417            |                 |              |       |              | 3.30       | 886             | 1.035             | 917                          |
| 9    | 5.00                                                | 57.5 | 145            | 62.4            | 62.6 | 62.9 | 62.6  | 1193.4         | 701.5          | 1195.5         | 494.0                | 2.416            |                 |              |       |              | 3.30       | 926             | 1.027             | 951                          |
|      |                                                     |      |                |                 |      |      |       |                |                |                |                      | 2.415            | 2.514           | 3.93         | 14.46 | 72.8         | 3.07       |                 |                   | 941                          |
| 10   | 5.50                                                | 63.3 | 145            | 62.1            | 62.6 | 62.1 | 62.3  | 1194.3         | 701.5          | 1195.4         | 493.9                | 2.418            |                 |              |       |              | 3.90       | 844             | 1.037             | 875                          |
| 11   | 5.50                                                | 63.3 | 145            | 62.2            | 62.7 | 62.7 | 62.5  | 1205.4         | 710.6          | 1206.8         | 496.2                | 2.429            |                 |              |       |              | 3.00       | 897             | 1.030             | 924                          |
| 12   | 5.50                                                | 63.3 | 145            | 62.1            | 61.6 | 61.5 | 61.7  | 1192.4         | 703.0          | 1193.0         | 490.0                | 2.433            |                 |              |       |              | 3.70       | 886             | 1.051             | 931                          |
|      |                                                     |      |                |                 |      |      |       |                |                |                |                      | 2.427            | 2.497           | 2.80         | 14.45 | 80.6         | 3.53       |                 |                   | 910                          |
| 13   | 6.00                                                | 69.0 | 145            | 62.1            | 62.2 | 61.5 | 61.9  | 1191.7         | 701.0          | 1192.4         | 491.4                | 2.425            |                 |              |       |              | 3.00       | 800             | 1.046             | 837                          |
| 14   | 6.00                                                | 69.0 | 145            | 62.2            | 63.0 | 62.4 | 62.5  | 1216.4         | 717.1          | 1216.9         | 499.8                | 2.434            |                 |              |       |              | 3.20       | 915             | 1.030             | 942                          |
| 15   | 6.00                                                | 69.0 | 145            | 62.4            | 62.5 | 61.9 | 62.3  | 1203.7         | 708.2          | 1204.4         | 496.2                | 2.426            |                 |              |       |              | 3.70       | 848             | 1.037             | 879                          |
|      |                                                     |      |                |                 |      |      |       |                |                |                |                      | 2.428            | 2.480           | 2.09         | 14.81 | 85.9         | 3.30       |                 |                   | 886                          |
| 4.70 | OPTİMUM BİTÜM SONUÇLARI (Grafikten)                 |      |                |                 |      |      |       |                |                |                |                      | 2.409            | 2.524           | 4.50         | 14.40 | 68.0         | 3.15       | Fill/Bit        | Stb/akm           | 985                          |
| 4.70 | OPTİMUM BİTÜM SONUÇLARI (Hesapla $G_{eff}$ deneyle) |      |                |                 |      |      |       |                |                |                |                      | 2.409            | 2.517           | 4.28         | 14.43 | 70.4         | 3.15       |                 |                   | 985                          |
| 4.70 | OPTİMUM BİTÜM SONUÇLARI (Hesapla $G_{eff}$ hesapla) |      |                |                 |      |      |       |                |                |                |                      | 2.409            | 2.524           | 4.57         | 14.43 | 68.3         | 3.15       | 0.96            | 313               | 985                          |

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı. adı : ÖZTÜRK. Tuğba  
 Uyruğu : T.C.  
 Doğum tarihi ve yeri : 08.03.1983. Kırıkkale  
 Medeni hali : Evli  
 Telefon : 0 (312) 4497460  
 Faks : 0 (312) 4497461  
 e-mail : [tozturk2@kgm.gov.tr](mailto:tozturk2@kgm.gov.tr)



### Eğitim

| Derece        | Eğitim Birimi                           | Mezuniyet Tarihi |
|---------------|-----------------------------------------|------------------|
| Yüksek lisans | Gazi Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği | Devam ediyor     |
| Lisans        | KTÜ / İnşaat Mühendisliği               | 2006             |
| Lise          | Mustafa Kemal Süper Lisesi              | 2002             |

### İş Deneyimi

| Yıl        | Yer                           | Görev           |
|------------|-------------------------------|-----------------|
| 2010-Halen | Karayolları Genel Müdürlüğü   | Teknik Şef      |
| 2006-2010  | BA-GET Müh. Müş. ve Tic. A.Ş. | Proje Mühendisi |

### Yabancı Dil

İngilizce

### Yayınlar

Öztürk. T., Tutan. S.N., Kaşak. S., Komut. M. (2018. 28-29 Kasım). *Asfalt Kapmalarda Kullanılan Soğuk Yama Katkıların Tanımlanması ve Uygulama Yöntemlerinin Geliştirilmesi Bildirisi*. Karayolu 4. Ulusal Kongresi ve Sergisi. Karayolları Genel Müdürlüğü. Ankara.

### Hobiler

Kitap okumak, el sanatları

## DİZİN

**A**

absorpsiyon · 29  
 agrega · 3  
 Asfalt · 2

**B**

binder · 3  
 Bitüm · 4  
 Brookfield Viskozite · 45

**C**

cutback · 8

**D**

Destilasyon · 26  
 dizayn · 7  
 drenaj · 7

**E**

ekipman · 15

**F**

flux oil · 9

**G**

gradasyon · 13. 17

**İ**

indirekt çekme mukavemeti · 56  
 işlenebilirlik · 17

**K**

kalibrasyon · 21  
 Kaplama · 17  
 kompaktör · 11  
 kronometre · 59  
 kür · 18  
 kürleşme · 10

**L**

limitasyon · 10

**M**

Metilen Mavisi · 39  
 modifiye · 2

**O**

optimum · 55

**Ö**

Ölçüm · 21  
 Özgül Ağırlık · 42

**P**

partikül · 25  
 penetrasyon · 44  
 plent · 12

**R**

refraktometre · 23

**S**

soyulma · 15  
 sökölme · 18  
 spatula · 60  
 stabilite · 14

**T**

termoplastik · 39  
 titrasyon · 22

**V**

Vakum · 28

**Y**

yama · 18  
 yığışumlu · 32  
 yüzük · 40

**Z**

Zahiri özgül ağırlık · 37



*GAZİ GELECEKTİR..*