

T.C.  
FIRAT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BETON ASFALT KAPLAMALARDA  
RİJİTLİK MODÜLÜNÜN SHELL METODU VE İNDİREK  
ÇEKME METODU İLE KARŞILAŞTIRILMASI

Fatih ZALMOĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ  
ULAŞIM ANA BİLİM DALI

Danışman : Prof. Bekir YILDIRIM

ELAZIĞ  
HAZİRAN-2005

T.C.  
FIRAT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BETON ASFALT KAPLAMALARDA  
RİJİTLİK MODÜLÜNÜN SHELL METODU VE İNDİREK  
ÇEKME METODU İLE KARŞILAŞTIRILMASI

Fatih ZAIMOĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ  
ULAŞIM ANABİLİM DALI

Bu tez, 24.06.2005 Tarihinde, Aşağıda Belirtilen Jüri tarafından  
Oybirliği/Oyçokluğu ile Başarılı/Başarısız Olarak Değerlendirilmiştir.

Danışman: Prof. Bekir YILDIRIM

Üye: Prof.Dr.Necati KULOĞLU

Üye: Yrd.Doç.Dr. Salih YAZICIOĞLU

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 06/07.05... tarih  
ve 2005/212 sayılı kararıyla onaylanmıştır.

## **TEŞEKKÜR**

Beton Asfalt Kaplamaların Farklı Sıcaklıklardaki Rijitlik Modülünün Shell Metodu ve İndirek Çekme Metodu ile Hesaplanarak Karşılaştırılması konulu çalışmamda yardımlarını esirgemeyen danışmanım Sayın Prof. Bekir YILDIRIM 'a ve teknisyen Sayın Seyfettin ÇİÇEK 'e en içten dileklerle teşekkür ederim.



Fatih ZALMOĞLU  
Elazığ, 2005

## İÇİNDEKİLER

|                                                     |     |
|-----------------------------------------------------|-----|
| TEŞEKKÜR.....                                       | I   |
| İÇİNDEKİLER.....                                    | II  |
| ŞEKİLLER LİSTESİ.....                               | IV  |
| TABLolar LİSTESİ.....                               | V   |
| RESİMLER LİSTESİ.....                               | VI  |
| SİMGELER LİSTESİ.....                               | VII |
| ÖZET.....                                           | IX  |
| ABSTRACT.....                                       | X   |
| <br>                                                |     |
| 1. GİRİŞ.....                                       | 1   |
| 2. LİTERATÜR TARAMASI.....                          | 2   |
| 3. GENEL BİLGİLER.....                              | 4   |
| 3.1 Asfaltların Temel Özellikleri.....              | 4   |
| 3.1.1 Asfaltların Kimyasal Bileşenleri.....         | 4   |
| 3.1.2 Asfalt Katılıklarının Sınıflandırılması.....  | 4   |
| 3.1.3 Asfaltların Özgöl Ağırlığı.....               | 4   |
| 3.1.4 Asfaltların Hacimsel Genleşmesi.....          | 5   |
| 3.1.5 Asfaltın Isıl Özellikleri.....                | 5   |
| 3.1.6 Asfaltların Reolojik Karakteristikleri.....   | 5   |
| 3.1.7 Asfaltların Rijitlik Modülü.....              | 6   |
| 3.1.8 Asfaltların Isıya Duyarlılığı .....           | 7   |
| 3.1.9 Asfaltların Dayanıklılığı (Durabilitesi)..... | 7   |
| 3.1.10 Asfaltların Çekme Mukavemeti.....            | 7   |
| 3.1.11 Asfaltların Yorulma Mukavemeti.....          | 8   |
| 3.1.12 Asfaltların Adhezyonu.....                   | 8   |
| 3.2 Bitümlü Sıcak Karışımlar (Asfalt Betonu).....   | 9   |
| 3.2.1 Stabilite.....                                | 12  |
| 3.2.2 Durabilite.....                               | 12  |
| 3.2.3 Geçirimsizlik.....                            | 13  |
| 3.2.4 İşlenebilirlik.....                           | 13  |
| 3.2.5 Esneklik (Fleksibilite).....                  | 13  |
| 3.2.6 Yorulmaya Karşı Direnç.....                   | 13  |
| 3.2.7 Kayma Direnci.....                            | 14  |

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....                                      | 15 |
| 4.1. Asfaltlara Uygulanan Deneyler.....                          | 15 |
| 4.1.1 Penetrasyon.....                                           | 15 |
| 4.1.2 Yumuşama Noktası.....                                      | 15 |
| 4.1.3 Düktilite (Sünme).....                                     | 16 |
| 4.2. Agregalara Uygulanan Deneyler.....                          | 18 |
| 4.2.1 Losangeles Aşınma Kaybı.....                               | 18 |
| 4.2.2 Donma Kaybı.....                                           | 19 |
| 4.2.3 Agreganın Özgöl Ağırlık Tayini.....                        | 20 |
| 4.2.3.1 İri Agreganın Özgöl Ağırlık Tayini.....                  | 20 |
| 4.2.3.2 İnce Agreganın Özgöl Ağırlık Tayini.....                 | 21 |
| 4.2.3.3 Fillerin Özgöl Ağırlık Tayini.....                       | 22 |
| 4.3 Marshall Numunelerinin Hazırlanması.....                     | 22 |
| 4.4 Farklı Sıcaklıklarda Rijitlik Modülünün Bulunması.....       | 25 |
| 4.4.1 İndirekt Çekme Aleti ile Rijitlik Modülünün Bulunması..... | 25 |
| 4.4.2 Shell Metodu ile Rijitlik Modülünün Bulunması.....         | 29 |
| 5. Sonuç.....                                                    | 35 |
| 6. Kaynaklar.....                                                | 36 |

## ŞEKİLLER LİSTESİ

|                                                                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 4.1 Sıcaklıkla Rijitlik Modülünün Değişimi.....                                                                                    | 29 |
| Şekil 4.2 Bitüm Sıcaklığı ile Bitüm Rijitliği Arasındaki Bağını.....                                                                     | 31 |
| Şekil 4.3 Yükleme Süresi 0,01 sn Olması Durumunda Bitümlü Karışımın Rijitlik Modülü ile Sıcaklık Arasındaki Bağını.....                  | 31 |
| Şekil 4.4 Yükleme Süresi 0,05 sn Olması Durumunda Bitümlü Karışımın Rijitlik Modülü ile Sıcaklık Arasındaki Bağını.....                  | 32 |
| Şekil 4.5 Yükleme Süresi 0,1 sn Olması Durumunda Bitümlü Karışımın Rijitlik Modülü ile Sıcaklık Arasındaki Bağını.....                   | 32 |
| Şekil 4.6 İndirek Çekme Deney Sonucuna Göre Bitümlü Karışımın Rijitlik Modülü ile Sıcaklık Arasındaki Bağını.....                        | 33 |
| Şekil 4.7 Bitüm sıcaklığı ile Bitümlü Karışımın İndirekt Çekme Metodu ve Shell metodu ile Bulunan Rijitlik Modülü Arasındaki Bağını..... | 33 |



## TABLÖLAR LİSTESİ

|                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| Tablo 3.1 Asfalt Çimentolarının Sınıflandırılması.....            | 4  |
| Tablo 3.2 Binder Tabakası İçin Gradasyon Limitleri.....           | 10 |
| Tablo 3.3 Aşınma Tabakası İçin Gradasyon Limitleri.....           | 10 |
| Tablo 3.4 İnce Agreganın Özellikleri.....                         | 11 |
| Tablo 3.5 Kaba Agreganın Özellikleri.....                         | 11 |
| Tablo 4.1 Asfalt Çimentosunun Özellikleri.....                    | 18 |
| Tablo 4.2 Agreganın Fiziksel Özellikleri.....                     | 22 |
| Tablo 4.3 Beton Asfalt Kaplama Tabakasının Dizayn Kriterleri..... | 24 |
| Tablo 4.4 İndirekt Çekme Aleti İle Rijitlik Modülleri.....        | 28 |
| Tablo 4.5 Rijitlik Modülüne Ait Ortalama Değerler.....            | 28 |
| Tablo 4.6 Shell Metodu İle Rijitlik Modülleri.....                | 30 |



## RESİMLER LİSTESİ

|                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| Resim 1 : Penetrasyon Deney Aleti.....                                  | 15 |
| Resim 2 : Yumuşama Noktası Deney sonucu.....                            | 16 |
| Resim 3 : Düktilite Aleti ile Yapılan Deney Sonucu.....                 | 17 |
| Resim 4 : Numunelerin 160 °C Etüve Yerleştirilmesi.....                 | 23 |
| Resim 5 : Agreg a ile Bitümün Karıştırılması.....                       | 23 |
| Resim 6 : Numunenin Sıkıştırılması.....                                 | 23 |
| Resim 7 : Hazırlanan Deney Numuneleri.....                              | 24 |
| Resim 8 : İndirekt Çekme Aleti Isıtma-Soğutma Kabini.....               | 26 |
| Resim 9 : İndirekt Çekme Aleti Açma-Kapama Düğmeleri.....               | 26 |
| Resim 10 : Kalıba Numunenin Yerleştirilip Duyargaların Ayarlanması..... | 27 |
| Resim 11 : Duyarga Ayarlama Ekranı.....                                 | 27 |



## SİMGELER LİSTESİ

$(S_m)_H$  : Asfalt karışımının rijitliği ( $S_b \geq 5\text{MPa}$ )

$(S_b)$  : Bitümün rijitliği (MPa)

VMA: Agregası arası boşluk %'si dir.

$(S_m)_L$ : Asfalt karışımının rijitliği ( $S_b < 5\text{MPa}$ )

D : Don kaybı oranı (%)

$G_1$ : Deney numunesinin deney başlangıcındaki etüv kurusu ağırlığı (g) (16 mm den büyük dane sınıfları için 2 tüpe doldurulan numunenin toplam ağırlığı)

$G_2$ : Deney numunesinin deney sonunda elek üstünde kalan kısmının etüv kurusu ağırlığı (g) (16 mm den büyük dane sınıfları için 2 tüpe doldurulan numunenin toplam ağırlığı)

$\delta_k$  : Agreganın kuru özgül ağırlığı

$\delta_d$  : Agreganın doymuş kuru yüzey özgül ağırlığı

$\delta_z$  : Agreganın zahiri (görünen) özgül ağırlığı

$W_1$  : Numunenin etüv kurusu ağırlığı (g)

$W_2$  : Numunenin doymuş kuru yüzey durumundaki ağırlığı (g)

$W_3$  : Numunenin sudaki ağırlığı (g)

$m$  : Agreganın su emme oranı (%)

$X$  : Le Chatelier şişesi taşma mesafesi

$W$  : sabit 60 g filler numunesi

$\delta_{filler}$  : Fillerin özgül ağırlığı ( $\text{g/cm}^3$ )

$G_{sh}$  : Agregası karışımının özgül ağırlığı

$P_1$  : İri agreganın ağırlıkça %'si

$P_2$  : İnce agreganın ağırlıkça %'si

$P_3$  : Fillerin ağırlıkça %'si

$G_1$  : İri agreganın hacim özgül ağırlığı

$G_2$  : İnce agreganın hacim özgül ağırlığı

$G_3$  : Fillerin hacim özgül ağırlığı

$D_p$  : Numunenin pratik özgül ağırlığı

$V_A$  : Agregası hacmi (%)

$P_{ag}$  : Karışımındaki agregası %'si

$G_{sh}$  :Agrega hacim özgül ağırlığı  
 $D_p$  : Numunenin pratik özgül ağırlığı  
 $V_B$  : Bitüm hacmi (%)  
 $P_b$  : Karışımdaki bitüm %'si  
 $G_{sh}$  : Bitümün hacim özgül ağırlığı  
 $D_p$  : Numunenin pratik özgül ağırlığı  
 $S_t$  :İndirect çekme gerilmesi (kpa)  
 $F$  :Deney sırasında uygulanan max. kuvvet (N)  
 $L$  :Numune boyu (mm)  
 $D$  :Numune çapı (mm)  
 $E$  :Rijitlik modülü (mpa)  
 $R$  :Poisson oranı (0,35)  
 $H$  : Max. yatay yöndeki geçici deformasyon (mm)  
 $S_{b,e}$  :Bitüm elastik rijitliği (MPa)  
 $t_w$  :Yükün etki süresi (0,1 ~ 0,01 s)  
 $PI$  :Penetrasyon indeksi  
 $T_{RB}$  :Yumuşama noktası (°C)  
 $T$  :Bitüm sıcaklığı (°C)  
 $Pen25$  :25 °C deki Penetrasyon değeri  
 $A$  :Isıya duyarlılık parametresi  
 $E$  :Bitümlü karışımın elastik rijitliği  
 $Cv'$  :Karışımdaki agrega hacim konsantrasyonu  
 $V_A$  :Agrega hacmi (%)  
 $V_B$  : Bitüm hacmi (%)  
 $n$  : Viskozite  
 $\nu$  : Poisson oranı  
 $P$  : Penetrasyon

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### BETON ASFALT KAPLAMALARDA RİJİTLİK MODÜLÜNÜN SHELL METODU VE İNDİREK ÇEKME METODU İLE KARŞILAŞTIRILMASI

Fatih ZALMOĞLU

Fırat Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
2005, sayfa : 37

Bu çalışmada, asfalt betonunun farklı sıcaklıklardaki (0°C, 10°C, 20°C, 30°C, 40°C) rijitlik modülü araştırılmıştır. Bu amaçla hazırlanan Marshall numuneleri üzerinde indirek çekme deneyi yapılmıştır. İndirek çekme deneyinden önce numuneler deney sıcaklığında 2 saat bekletilmiştir.

Karışımın rijitliğine etki eden parametreler, karışım içindeki agreganın hacimsel konsantrasyonu ve bitüm rijitliğidir. Karışımın rijitliği agreganın hacimsel konsantrasyonu ve bitümün rijitliğinin artmasına bağlı olarak artmıştır.

Anahtar kelimeler: Marshall Deneyi, Rijitlik Modülü, Shell Metodu, İndirek Çekme Metodu

## **ABSTRACT**

Master Thesis

### **COMPARING THE STIFFNESS MODUL'S OF ASPHALT CONCRETE BY USING SHELL METHOD AND INDIRECT TENSILE METHOD**

Fatih ZALMOĞLU

Firat University  
Graduate School of Science and Technology  
Department of Civil Engineering  
2005, page : 37

In this study, stiffness modul of asphalt concrete was investigated at different temperatures. For this purpose, indirect tensile test experiments were applied on prepared marshall's samples. The samples were kept 2 hours at experiment temperatures before applying the indirect tensile test.

Volume concentration of aggregate in the asphalt mix and the stiffness of bitumen are the parameters that influence the stiffness of the mix. The stiffness of the mix was increased when the volume concentration of aggregate and the stiffness of bitumen was increased.

**Keywords :** Marshall Test, Stiffness modul , Shell Method, Indirect tensile test

## 1. GİRİŞ

Asfalt betonunu katı (agrega, filler), sıvı (asfalt) ve gaz (boşluklu) olmak üzere üç fazlı makrokolloidal bir sistem olarak düşünmek mümkündür.

Katı faz; sisteme elastiklik verir, kayma gerilmelerine mukavemet sağlar. Sıvı faz; sistemi viskoelastik yapan faz olup kohezyonu temin eder, gaz fazı ise sisteme dolaylı olarak tesir eder ve karışımın bazı fiziki ve mekanik özelliklerini etkiler.

Bitüm, viskoelastik bir maddedir. Sıcaklığa bağlı olarak gevrek, elastik, elasto plastik, viskoelastik ve viskoz olmak üzere değişik reolojik hallerde bulunur. Asfalt düşük sıcaklıklarda sertleşmekte, yüksek sıcaklıklarda ise yumuşayarak viskoz davranış göstermektedir. Ayrıca asfalt içerisindeki uçucu maddeler zamanla buharlaşarak asfaltın sertleşmesine neden olur. Bu sertleşme, asfaltın okside olması, bazı bileşenlerinin havadaki oksijenle reaksiyona girmesi sonucu meydana gelmektedir. Asfaltın bu özellikleri asfalt karışımlarının da özellikleri üzerine etkili olmaktadır.

Bitüm aynı zamanda termoplastik bir malzemedir. Isıtılınca kıvamı değişir. Bitümün bağlayıcı olarak kullanılmasını sağlayan özelliklerinden biri de budur. Bitüm termoplastik özelliğinden dolayı yüksek sıcaklıklarda düşük mukavemet gösterir. Özellikle yaz aylarında asfalt ısıyı absorbe eder ve bu durumda deformasyon direnci büyük ölçüde azalır. Düşük sıcaklıklarda ise yüksek mukavemet gösterir. Ancak çok düşük sıcaklıklarda ise asfalttaki sertleşme aşırı artarsa trafik yükleri altında oluşan çatlaklar kaplamanın kütleli ayrışmasına ve dolayısıyla stabilitesinin düşmesine neden olur.

Yapılan bu çalışmada, hazırlanan Marshall numunelerinin indirekt çekme aleti ve shell metodu ile farklı sıcaklıklardaki rijitlik modülleri araştırılmıştır.

## 2. LİTERATÜR TARAMASI

Yapılan literatür taramasında aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır. Birçok araştırmacı belirli bir seviyeye kadar sıcaklık azalması ile asfalt betonunda gerilme artışı gözlemlemiştir. Bazı çalışmalar, gerilme artışına neden olan ana materyal değişkenin asfalt rijitliğinin artırılması olduğunu kanıtlamıştır. Zaten gerilme artışı, düşük sıcaklıklardan dolayı mekanik adezyonun artmasının bir sonucudur. Kwang W. Kim ve M. El Hussein oldukça düşük sıcaklık altında ilk artışa müteakip gerilmede azalma gözlemlemiş, gerilmedeki bu ilk artış termal gerilmenin etkisi olarak açıklamıştır. Analitik olarak belirli bir sıcaklık altında bu homojen olmayan malzeme içindeki gerilme azalması, asfalt kaplama içindeki diferansiyel termal büzülmeden (DTC) meydana gelen hasardan dolayı ortaya çıkmıştır. Bu da asfalt çimentosu ile agrega arasındaki termal büzülme katsayıları arasındaki büyük farklılığın bir sonucu olarak açıklamıştır.

Düşük sıcaklıktan dolayı asfalt kaplamada sıcaklıkla ilgili birçok problemle karşılaşıldı. Özellikle düşük sıcaklıklardan dolayı çekme gerilmesi kaybının soğuk bölgelerde kaplamada termal çatlaklardan sorumlu olduğu biliniyordu.

1950'lerin başlarında Van der Poel bitümün mekanik özelliklerine karar verebilmek için düzenli bir sıra ile ve geniş aralıktaki sıcaklık ve yükleme zamanında tek eksenli kapsamlı bir sünme ve dinamik testini tamamladı. Bu çalışması dünya çapında kullanılan Van der Poel nomografı ile sonuçlanmış [1].

Nomograftan bitüm rijitliğine karar verebilmek için aşağıdaki özelliklerin yanı sıra yükleme zamanı veya frekansı da gereklidir. Bunlar; halka ve bilye yöntemiyle yumuşama noktası sıcaklığı, penetrasyon indeksi (PI), bitümün sıcaklığı ( $T_B$ ) dır [2].

Sabit tek eksenli gerilmeye maruz bırakılan bitüm numunesinin rijitliği, gerilmenin uygulanan kümülatif veya toplam birim şekil değiştirmeye oranı olarak tarif edilebilir ve genel olarak bu durum yükleme yöntemine, yükleme zamanına veya frekansına ve sıcaklığına bağlı olacaktır. [3]

Kısa yükleme zamanlarında eğriler yataydır ve yalnızca elastik davranış gösterir. Fakat uzun yükleme zamanlarında eğriler (log. ölçeğinde) 45° eğimli çizgi şeklinde oluşmuştur ve yalnızca viskoz davranış göstermiştir. Orta yüklem zamanlarında ise hem elastik hem de viskoz deformasyondan önemli şekil değiştirmeler ile viskoz davranış göstermiştir.

Yüksek değerlerdeki bitüm rijitliklerinde ( $S_b \geq 5\text{MPa}$ ) asfalt karışımın rijitliği bitümlü bağlayıcının rijitliği ve karışımın kompozisyonundan 1.1 ampirik eşitlik ile tahmin edilebilir.

$$(S_m)_H = S_b + \left[ 1 + \frac{257,5 - 2,5VMA}{n(VMA - 3)} \right]^n \dots\dots\dots 1.1$$

$$n = 0,831 \times \log_{10} \left[ \frac{4.10^4}{S_b} \right]$$

VMA: Agregas arası boşluk %'si dir.

Yukarıdaki eşitlik yalnızca  $12 \leq VMA \leq 30$  arasında olması durumunda ( $S_b \geq 5\text{MPa}$ ) ve hava boşluğu içeriğinin ( $V_h > 3\%$ ) den büyük olması durumunda uygulanabilir.

Hills yapmış olduğu çalışmada karışımın kompozisyonu ve bitümlü bağlayıcı rijitliğine ilave olarak aşağıdaki faktörleri de dikkate alarak düşük bitüm rijitliklerinde ( $S_b < 5\text{MPa}$ ) asfaltın rijitliği ( $S_m$ )<sub>L</sub> ve bitümün rijitliği arasında bir bağıntı elde etmiştir. Bu faktörler ; agregas sınıfının kalitesi, agregas şekli (kırılmış veya yuvarlaklaştırılmış), malzeme sıkıştırma metodu ve sınırlandırılmış şartlardır.

Değişik asfalt karışımları üzerinde sünme deneyini uygulayarak, bitümün rijitliğinin düşük değerlerinde asfalt karışımının deformasyon hızının azalmaya yönelik bir eğilimi olduğunu göstermiştir. Hills sünme deneyi boyunca karışımın iç yapısındaki değişikliklerin davranışını modelleyen bir hipotez sunarak bu değişiklikleri yansıtan çeşitli teorik modeller geliştirdi. Tüm sonuçlar ile 1.2 eşitliğine vardı.

$$(S_m)_L = \frac{C_1}{\left[ (1 + C_2 / S_b)^{2-q} - 1 \right]} \dots\dots\dots 1.2$$

Burada;

$C_1$ ,  $C_2$  ve  $q$  deneyler sonucu karar verilen sabitlerdir [4].

Başka bir çalışmada ise; Wahbab ve Balghuneim sıcaklığın  $30^\circ\text{C}$  den  $60^\circ\text{C}$  ye arttığında asfalt karışımının reziliyans modülünün 5500 den 800 Mpa ya düştüğünü tespit etti. Van de Loo (1978) de kaplamanın altındaki ve üstündeki sıcaklığın sırasıyla  $30^\circ\text{C}$  ve  $44^\circ\text{C}$  olduğunda kaplamanın altındaki ve üstündeki asfalt karışım rijitliği arasındaki farkın en fazla 4 kat olabileceğini tahmin etmiştir. Brawn ve Smith değişik sıcaklıklar altında bir seri deneyi tamamlayarak asfalt karışımların değişikliklerden daha hassas olarak etkilendiklerini buldu. Deneylerde kullanılan karışımların farklı kompozisyonunda olmalarına rağmen sonuçlar asfalt karışımların yüke yanıtının farklı sıcaklıklarda oldukça değiştiğini göstermiştir [5].

### 3. GENEL BİLGİLER

#### 3.1 Asfaltların Temel Özellikleri

Yol kaplamalarında kullanılan asfaltların özellikleri aşağıda kısaca anlatılmıştır.

##### 3.1.1 Asfaltların Kimyasal Bileşenleri

Asfaltlar çok karmaşık bir kimyasal yapıya sahip olmaları nedeniyle mühendislik özellikleri daha ziyade fiziksel özellikleri ile belirlenir. Birçok asfalt; Karbon %82-83, Hidrojen %8-11, Sülfür %1-6, Oksijen %0-1.5, Nitrojen %0-1 ve çok az miktarda metaller (oksit, tuz veya metal içeren organik bileşikler halinde) gibi bileşenlerden meydana gelir. Asfaltlar %95-99 oranında hidrokarbonlardan oluşan organik maddelerdir [6].

##### 3.1.2 Asfalt Katılıklarının Sınıflandırılması

Asfalt çimentolarının (AC) katılıkları penetrasyon veya viskozite değerlerine göre tablo 3.1 de belirtildiği gibi sınıflandırılır.

Tablo 3.1 Asfalt Çimentolarının Sınıflandırılması

| Penetrasyon Sınıflaması | Viskozite Sınıflaması |
|-------------------------|-----------------------|
| 40 – 50 Pen. AC         | AC – 40               |
| 60 – 70 Pen. AC         | AC – 20               |
| 85 – 100 Pen. AC        | AC – 10               |
| 120 – 150 Pen. AC       | AC – 5                |
| 200 – 300 Pen. AC       | AC – 2,5              |

Ülkemiz iklim koşulları için 85 – 100 Pen. AC en uygun asfalt tipidir. Ancak sıcak iklimli bölgelerde ve ağır trafik hacminin yüksek olduğu yollar için 60 – 70 Pen. AC kullanılması daha uygun olabilir [6].

##### 3.1.3 Asfaltların Özgül Ağırlığı

Asfaltların özgül ağırlıkları elde edildikleri petrole bağlı olarak 25 °C de 0,97 ila 1,05 arasında değişir. Yüksek penetrasyonlu asfaltların özgül ağırlıkları genellikle düşük penetrasyonlu asfalta nazaran daha azdır. Asfaltın 25 °C deki özgül ağırlığı 1,00 olarak alınırsa 60 °C de 0.979 , 100 °C de 0.955, 160 °C de 0.919 ve 200 °C de 0.895 olarak değişmektedir [6].

### 3.1.4 Asfaltların Hacimsel Genleşmesi

Pratik amaçlar için asfaltların hacimsel genleşme katsayısı  $6,1 \cdot 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$  olarak alınabilir.

Asfaltın genleşme katsayısı agreganın genleşme katsayısından yaklaşık 10 kat fazladır. Asfalt ve agregadan elde edilen karışımların ısı ile genleşmesi sırasında asfalt agregadan daha fazla genleşeceğinden dolayı karışımdan dışarı yani kaplamanın yüzeyine çıkacaktır. Bu olaya kuma veya terleme adı verilir. Bunu önlemek amacıyla asfalt karışımlarda belli bir boşluk bırakılması gerekir. Zira asfalt genleştiğinde bu boşlukları doldurup yüzeye çıkmayacağından dolayı kuma-terleme olayı engellenmiş olacaktır.

Asfaltlar derz dolgusu, çatlak dolgusu ve yama tamiri vb. işlerde kullanıldığında ısının düşmesi ile büzüşmeler olacağından dolayı yağmur suları kaplamanın içine sızacaktır.

Depolama tanklarının kapasite hesaplarında ısıtılan asfaltın genleşeceği göz önünde tutulmalıdır [6].

### 3.1.5 Asfaltın Isıl Özellikleri

Asfaltların özgül ısısı  $3,2 \cdot 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$  ile  $7,8 \cdot 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$  arasında değişen bir değer olup ısıyla doğrusal bir artış gösterir. Asfaltların ısı iletkenliği agregalara nazaran daha düşüktür. Yani agregalara nazaran daha geç soğur ve ısınırlar. Dolayısıyla asfalt karışımında, asfalt bağlayıcıya nazaran daha çabuk soğurlar. Bu da asfalt karışım içinde farklı büzülmelerden dolayı ilave gerilimler yaratmaktadır. Asfaltların ısıyı absorbe etme özelliği vardır. Bu nedenle, asfalt bağlayıcılı aşınma tabakalarında asfaltın ısıyı absorbe etmesinden dolayı alttaki tabakalardan daha çok genleşme beklenmelidir. Örneğin ortam ısısı  $30^{\circ}\text{C}$  iken kaplamanın en üstündeki birkaç cm kalınlıktaki ısısı  $70^{\circ}\text{C}$  ye kadar çıkabilmektedir [6].

### 3.1.6 Asfaltların Reolojik Karakteristikleri

Reoloji malzemelerin deformasyon karakteristiklerini yalnızca yüke bağlı olarak değil hem yüke hem de yükleme süresine bağlı olarak inceler. Mühendislikte kullanılan malzemeler gerilme-deformasyon yönünden üç gruba ayrılır. Bunlar; elastik malzemeler, viskoz malzemeler ve visko-elastik malzemelerdir. Elastik malzemeler gerilmeye tabi tutulduklarında yükün miktarı ile doğru orantılı olarak deformasyon miktarları artar ve tatbik edilen gerilme kalktığında deformasyonda ortadan kalkar. Viskoz malzemeler aşağıda belirtilen özelliklere sahiptir.

-Gerilme tatbik edildiğinde deformasyon başlar ve gerilme tatbik edildiği sürece deformasyon yükün tatbik süresine bağlı olarak artar.

-Gerilme ne kadar büyükse deformasyon o kadar büyük olur. Ancak gerilme süresi ne kadar uzunsa deformasyonda o kadar büyüktür.

-Elastik malzemelerin aksine gerilme kalktığında deformasyon kalkmaz. Yani deformasyon kalıcı olup geçici deformasyon oluşmaz.

Visko-elastik malzemeler ne tam elastik ne de tam viskoz davranış gösterirler. Ayrıca hızlı yüklendiklerinde elastik davranış gösterirlerken yavaş yüklendiklerinde ise viskoz davranış gösterirler. Yükleme hızı ne hızlı ne de yavaş olduğunda ise viskoz davranış ve elastik davranışların kombinasyonu şeklinde davranırlar. Bu nedenle bu tip malzemelere visko-elastik malzemeler denir [6].

### 3.1.7 Asfaltların Rijitlik Modülü

Asfaltların gerilme-deformasyon ilişkisi reolojik modeller ile tam olarak ifade edilemediklerinden dolayı yük altındaki visko-elastik davranışları rijitlik modülü ile tanımlamaya çalışılmıştır.

Rijitlik modülü asfaltların sahip olduğu visko-elastik ve termoplastik özelliklerini birlikte yansıtmalıdır. Asfalt yüksek ısılarda ve uzun yükleme sürelerinde viskoz sıvı gibi davranırken düşük ısılarda ve hızlı yüklemelerde elastik bir malzeme gibi davranır. Fakat ısının ve yüklemenin ara değerlerinde ise visko-elastik davranış gösterecektir. Eğer asfaltın belirli bir ısı ve yükleme hızındaki gerilme ve deformasyonu bilinirse rijitlik modülü tespit edilebilir.

Yükleme süresi, ısı ve PI (penetrasyon indeksi) arttıkça rijitlik modülü azalmaktadır. Asfalt ısı ve yük etki süresi arttıkça rijitlik modülü çok önemli ölçüde azalmaktadır. Bu nedenle düşük ısılarda asfalt kaplamaların rijitliği artarak hemen hemen hiç kalıcı deformasyon oluşmaz. Ancak yüksek ısılarda ve uzun yükleme sürelerinde (park halinde veya çok yavaş hızda hareket eden trafikte) rijitlik modülü hayli düşük olduğundan dolayı kaplamada kalıcı deformasyonlar meydana gelmektedir. Ayrıca asfaltın PI değeri azaldıkça ısıya karşı duyarlılıklarının az oluşu nedeniyle daha rijit davranış gösterirler.

Poisson değeri ( $\nu$ ), basınç veya çekme gerilmesi altında oluşan yanıl deformasyonun düşey deformasyona oranı olup malzemenin sıkışabilirliğine bağlıdır. Asfaltlar için  $\nu=0,5$  olarak kabul edilebilir.  $E=3G$ , ( $E=2(1+\nu)G$ ) alınabilir. Fakat  $\nu$  değeri, 0,15 ila 0,45 arasında değişmekte olup hesaplamalarda  $\nu=0,35$  olarak alınmaktadır.

Bitümlü yol malzemelerinde ise poisson oranı genellikle 0,4 dır. Monismith ve secar asfalt betonu karışımları için yükleme ve sıcaklığın sınır (ekstremum) şartlarında poisson oranının 0,3 ve 0,5 arasında değişebileceğini göstermiştir [6].

### 3.1.8 Asfaltların Isıya Duyarlılığı

Asfaltların termoplastik malzeme oluşu nedeniyle viskozlukları ısıyla değişir. Çünkü asfaltların katılıklarının ısıya bağlı olarak değişmesi ısıya karşı duyarlı olmasından kaynaklanmaktadır. Asfaltların ısıya duyarlılıklarının az olması istenir. Yani yüksek hava sıcaklıklarında yeterince katı (veya rijit) olması ve çok düşük ısılarda ise çok fazla gevrek (kırılgan) olmaması istenir.

Aksi halde asfalt kaplamalar yüksek ısılarda deformasyon ve düşük ısılarda ise çatlama eğilimi gösterirler. Kaplamalarda teker izi ve düşük ısı çatlakları gibi kusurların oluşumunun nedeni asfaltın bu özelliğinden kaynaklanmaktadır.

Asfaltların viskoziteleri ile penetrasyon değerleri arasında  $nP \approx \text{sabit}$  gibi bir ilişki mevcuttur. Burada P (penetrasyon) 25 °C deki asfalt numunesine 100 gr ağırlığındaki standart bir iğnenin 5 saniye süreyle batırıldığında her 1/100 mm lik batma miktarıdır. Asfalt çimentolarının (katı asfaltların) katılıklarını sınıflandırmada bir ölçek olarak kullanılmaktadır [6].

### 3.1.9 Asfaltların Dayanıklılığı (Durabilitesi)

Asfaltın dayanıklılığı sertleşmeye karşı gösterdiği direnç olarak ifade edilir. Asfaltların çeşitli nedenlerden dolayı sertleşmesine yaşlanma veya zamanla yaşlanma denir. Asfaltın dayanıklılığını etkileyen faktörler oksidasyon, uçucu madde kaybı, tiksotropi (asfaltın yüke maruz kalmadan bekletilmesi), polimerleşme (asfaltın hidrokarbon zincirinin zamanla değişime uğraması), parçalanma (asfaltın yapısında bulunan yağlı maddelerin agrega tarafından emilmesi) ve sineris (asfaltın yapısındaki yağlı kısımların ısı etkisi ve zamanla asfaltdan ayrılması) dir [6].

### 3.1.10 Asfaltların Çekme Mukavemeti

Asfaltların çekme gerilmeleri altında kopma gerilmesi veya kopma anındaki çekme deformasyon miktarı diğer bir önemli özelliğidir.

Asfalt visko-elastik ve termoplastik malzemeler olduğundan çekme mukavemetleri ısıya ve çekme hızına bağlı olarak önemli ölçüde değişiklik göstermektedir.

Asfaltların çekme altında kopması için büyük çekme gerilmeleri oluşması gerekir. Bu ise düşük ısılarda yani yüksek rijitliklerde meydana gelir. Bu durumda kopma anındaki deformasyon miktarı minimumdur. Halbuki yüksek ısılarda yani düşük rijitlik modülünde aynı yük altında kopma olmaz iken büyük deformasyonlar oluşmaktadır.

Dolayısıyla yüksek rijitlik modülüne sahip asfaltlar ise viskoz davranış göstermektedir. Asfaltların ne yüksek ne de düşük rijitlik modülüne sahip olduğu durumlarda ise davranış tam olarak belirlenememekle beraber Geciktirilmiş-Elastik (Delayed-Elastic) davranış sergilemektedir. [6]

### **3.1.11 Asfaltların Yorulma Mukavemeti**

Diğer malzemelerde olduğu gibi asfaltın mukavemeti de tekerrür eden yükler altında azalma göstermektedir. Bu olaya yorulma denir. Gerilmenin miktarı ve tekerrür sayısı arttıkça yorulma mukavemeti de azalmaktadır. Asfalt karışımların yorulma mukavemetine asfalt bağlayıcıların önemli bir etkisi olmakla beraber asfaltın yorulma mukavemeti ile karışımın yorulma mukavemeti birbirinden farklı davranış sergilemektedir. Bitümlü sıcak karışımların yorulma mukavemeti, kaplamada çatlamlar oluşmadan tekerrür eden yükler etkisinde eğilmeye (yani kalıcı olmayan deformasyonların oluşmasına ) müsaade etme yeteneğidir. Yorulma mukavemeti; rijitlik, gradasyon, yoğunluk, asfalt penetrasyonu, asfalt miktarı, kaplama kalınlığı arttıkça, eğilme gerilmesi azaldıkça artış göstermektedir. Asfalt kaplamalarda en çok görülen kusur yorulma çatlağı olup trafik yüklerinin belirli bir tekerrür sayısından sonra yavaş yavaş meydana gelmektedir. Yorulma çatlakları aynı anda oluşan birçok faktöre bağlıdır. Yorulma çatlağının oluşması için çok sayıda tekerrür eden ağır yüklerin olması gereklidir. İnce kaplama veya zayıf alt tabakalar olması halinde ağır trafik yükleri altında aşırı defleksiyonlar oluşacaktır. Yorulma çatlaklarını önlemek için çekme mukavemeti yüksek malzeme kullanmak gerekir. Dolayısıyla yumuşak asfalt katı asfalta nazaran daha iyi yorulma özelliğine sahiptir. Fakat karışımın yoğunluğu, rijitliği ve kohezyonu arttıkça, boşluk oranı azaldıkça, filler ve asfalt miktarı arttıkça yorulma mukavemeti önemli ölçüde artmakta ve dolayısıyla yorulma çatlakları azalmaktadır [6].

### **3.1.12 Asfaltların Adhezyonu**

Asfalt karışımların stabilitesi karışımdaki agrega daneleri arasındaki asfaltın bağ kuvvetine bağlıdır. Bu bağ kuvveti agrega danelerini saran asfalt filminin agregaya yapışma yeteneğine yani asfaltın adhezyonuna bağlıdır. Asfaltın adhezyonu, agregaya yapışabilme yeteneği iken asfaltın kohezyonu ise yük altında kopmadan uzayabilme yeteneğidir. Dolayısıyla asfaltın bu iki özelliği bitümlü sıcak karışımların stabilitesi üzerinde önemli bir rol oynamaktadır [6].

### 3.2 Bitümlü Sıcak Karışımlar (Asfalt Betonu)

Asfalt betonu belirli bir gradasyona sahip kaliteli agreganın asfalt çimentosu ile sıcak karışımından elde edilir. Asfalt betonu stabilitesini kohezyona ve içsel sürtünmeye bağlı olarak kazanır. Kohezyon ve içsel sürtünme ise agrega gradasyonuna, karışımın sıkışma yüzdesine ve bitüm miktarına bağlıdır. Asfalt betonu kaplamalarda bitümlü bağlayıcı olarak bölge koşullarına bağlı olmak üzere 40-50, 60-70 veya 75-100 penetrasyonlu asfalt çimentoları kullanılmalıdır [7].

Mühendislik davranışı açısından bitüm visko-elastik bir malzemedir. Bitüm agregalarla karıştırıldığında reolojik özellikler karışıma da geçer. Dolayısı ile bitümlü karışımlar da, en yaygın sıcak karışım olan asfalt betonu da visko-elastik bir malzemedir. [8]

Asfalt betonunu katı (agrega, filler), sıvı (asfalt) ve gaz (boşluklar) olmak üzere üç fazlı makrokolloidal bir sistem olarak düşünmek mümkündür. Katı faz sisteme elastiklik ve kayma gerilmelerine mukavemet verir. Sıvı faz sistemi visko-elastik yapan fazdır ve kohezyonu temin eder. Gaz faz sisteme dolaylı olarak tesir eder ve karışımın bazı fiziki ve mekanik özelliklerini etkiler. Asfalt çimentosu termoplastik bir malzemedir. Asfalt çimentosu düşük sıcaklıklarda sertleşmekte, yüksek sıcaklıklarda ise yumuşamaktadır. Her asfalt çimentosunun özellikle yapısına bağlı olarak sıcaklığa karşı hassasiyeti değişik olmaktadır. Asfalt betonu karışımda kullanılan asfalt çimentosunun penetrasyonu iklim şartlarına uygun olarak seçilmemiş ise önemli sorunlar ortaya çıkmaktadır. Soğuk bir iklimde sert asfalt çimentosu kullanılması halinde asfalt betonunda çatlamalar olmakta, sıcak bir iklimde yumuşak asfalt çimentosu stabilizeyi büyük ölçüde düşürerek büyük deformasyonların doğmasına neden olmaktadır [9].

Asfalt betonunda kullanılan agrega ya kırılmış çakıl veya taş, kum ve mineral fillerden oluşur. Yolun yapıldığı yörede bulunan yerel malzemelerden faydalanmak uygun bir çözümdür. Kırılmış çakıl veya kırılmış taş; temiz, sert, sağlam ve dayanıklı danelerden oluşmalıdır. Agregada içinde ağırlıkça %15 den fazla yassı ve uzun daneler bulunmamalıdır. Agregada oz ve zararlı maddenin de bulunması istenmez. Agregalar kuru, temiz ve sağlam danelerden oluşmalı ve kabadan inceye doğru homojen dane grupları içermelidir. İri agrega danelerinin biçimlerinin bu cins malzemenin karakteristiklerine gayet önemli etkileri vardır. En uygun biçimli agrega daneleri küre ve küp şekline mümkün olduğu kadar yaklaşanlardır. Bu şekillerden çok ayrılan danelere kusurlu daneler denir. Bunlar uzun ve yassı olmak üzere iki şekilde bulunur. Uzun daneler en büyük boyutlarının en küçük boyutlarına oranı 2,80 den büyük olan, yassı daneler ise kalınlığının en büyük boyutuna oranı 0,35 den küçük daneler olarak tanımlanır.

Her iki çeşit malzemenin fazla miktarda bulunması agreganın kompositesini dolayısıyla bitümlü karışımın kompositesini önemli derecede azaltır.

İnce agregaya kırılmış taş, çakıl veya kum ile karışımından oluşabilir. Karışımlarda kullanılacak doğal kum ince agregaya özelliklerine sahip olmalı, miktarı karışımından istenilen stabilite, akma, boşluk değerlerinin sağlanması şartıyla tespit edilmelidir. Mineral filler taş tozu, mermer tozu, portlant çimentosu, sönmüş kireç veya benzeri maddelerden oluşabilir. Tablo 3.2 de binder tabakasının Tablo 3.3 de aşınma tabakasının gradasyon limitleri verilmiştir.

**Tablo 3.2 Binder Tabakası İçin Gradasyon Limitleri [10]**

| Elek Boyutu       | Tip 1 (% geçen) | Tip 2 (% geçen) | Tip 3 (% geçen) |
|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 25 mm (1")        | 100             | 100             | 100             |
| 19 mm (3/4")      | 82-100          | 80-100          | 77-100          |
| 12,5 mm (1/2")    | 68-87           | 63-81           | 59-77           |
| 9,5 mm (3/8")     | 60-79           | 54-72           | 49-66           |
| 4,75 mm (No:4)    | 46-65           | 40-58           | 34-52           |
| 2,00 mm (No:10)   | 34-51           | 28-45           | 23-39           |
| 0,425 mm (No:40)  | 17-29           | 14-25           | 12-22           |
| 0,18 mm (No:80)   | 9-18            | 8-16            | 7-14            |
| 0,075 mm (No:200) | 2-7             | 2-7             | 2-7             |

**Tablo 3.3 Aşınma Tabakası İçin Gradasyon Limitleri [10]**

| Elek Boyutu     | Tip1(% geçen) | Tip2(% geçen) | Tip3(% geçen) | Tip4(% geçen) |
|-----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 19mm (3/4")     | 100           | 100           | -             | -             |
| 12,5mm (1/2")   | 84-100        | 77-100        | 100           | 100           |
| 9,5mm (3/8")    | 75-91         | 66-84         | 87-100        | 90-100        |
| 4,75mm(No:4)    | 57-75         | 46-66         | 66-82         | 55-72         |
| 2,00mm(No:10)   | 42-59         | 30-50         | 47-64         | 36-53         |
| 0,425mm(No:40)  | 22-35         | 12-28         | 24-36         | 16-28         |
| 0,18 mm (No:80) | 12-22         | 7-18          | 13-22         | 8-16          |
| 0,075mm(No:200) | 4-10          | 4-10          | 4-10          | 4-10          |

Yapıştırma tabakası için RC-1 ve RC-2 katbek asfaltları veya sulandırarak RS-1 asfalt emülsiyonları kullanılabilir.

Beton asfalt karışımında ise içinde su olmayan temiz, homojen, bölge koşullarına bağlı olmak üzere 60–70 ve 75–100 penetrasyonlu asfalt çimentosu kullanılır. Bağlayıcı malzemenin karakteri istenilen stabilitenin sağlanması için uygun olmalıdır.

Bağlayıcı çok çabuk sertleşmemelidir. Böylece kaplama iyi şekilde sıkıştırılır, karışım yoğun hale gelir. Yoğun bir karışım içerisinde hava kalmayacağından bağlayıcının oksitlenmesinden ileri gelen sertleşme bu tip karışımlarda geciktirilmiş olur. Sıcaklık değişimi karışımın dayanıklılığına etki eder. Sıcak iklimde yumuşak bağlayıcı kullanılması kaplamanın kararsız hal almasına neden olur. Buna karşılık soğuk iklimlerde sert asfaltlar çatlar. Tablo 3.4 ince agreganın Tablo 3.5 kaba agreganın özellikleri verilmiştir.

Tablo 3.4 İnce Agreganın Özellikleri [10]

| Özellikler                  | Deney Metodu              | Binder                   | Aşınma              |
|-----------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------|
| Plastisite İndeksi Max. (%) | TS 1900                   | 2                        | 2                   |
| Organik Madde Max. (%)      | TS 3673<br>(AASHTO T-194) | 0-1 (Renk Skalası) (0,5) | Müsaade edilmeyecek |

Tablo 3.5 Kaba Agreganın Özellikleri [10]

| Özellikler                                                                | Deney Metodu          | Hafif ve Orta Trafikli Yollar |        | Ağır Trafikli Yollar, Otoyollar, Tırmanma Şeritleri |        |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-------------------------------|--------|-----------------------------------------------------|--------|
|                                                                           |                       | Binder                        | Aşınma | Binder                                              | Aşınma |
| Aşınma Kaybı (Los Angeles) max.(%)                                        | TS 3694<br>ASTM C-131 | 35                            | 35     | 35                                                  | 30     |
| Hava Tesirlerine Dayanıklılık (Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) max. (%) | TS 3655<br>ASTM C-88  | 12                            | 10     | 12                                                  | 10     |
| Kırılmışlık (En az iki yüzü) ağırlıkça min.(%)                            | -                     | 60                            | 60     | 100                                                 | 100    |
| Yassılık İndeksi Max.(%)                                                  | BS 812                | 35                            | 35     | 35                                                  | 30     |
| Cilalanma değeri min.                                                     | BS 812                | -                             | 0,50   | -                                                   | 0,50   |
| Su Absorpsiyonu (%)                                                       | TS 3526<br>ASTM C-127 | 2,5                           | 2,5    | 2,5                                                 | 2,0    |
| Soyulma Mukavemeti Min.(%)                                                | EK-A                  | 50                            | 50     | 50                                                  | 50     |

Asfalt betonu kaplamaların sağlam temeller üzerine oturması gerekir. Genellikle bu amaçla çimento betonu, iri daneli asfalt betonu, sıcak bitümlü temel veya penetrasyon makadam temeller kullanılır. Asfalt betonu işyeri karışım formülüne göre, agrega ile bağlayıcı sabit karıştırma tesislerinde karıştırılarak elde edilir. karıştırma sırasında agreganın sıcaklığı en az 125 °C – 165 °C arasında ısıtılır.

Hazırlanan karışım, kaplama yerine önceden temizlenmiş kamyonlarla taşınır. Gerekirse üzerleri branda ile örtülmelidir. Karışım, kaplama yerine vardığında projede gösterilen plana, boykesit ve enkesite uygun olarak finişerlerle serilip tesviye edilir.

Silindirme de 8-10 ton ağırlığında elik bandajlı veya bunlarla beraber yürüyen lastik tekerlekli silindirlerle yapılır. Silindirme, alinyimanda kenardan ortaya doğru, devali yerlerde kurba içinden başlayarak dışa doğru yapılır.

Silindirme tekerlek izleri ortadan kalkıncaya ve max teorik birim ağırlığı %92 si oranında birim ağırlık sağlayıncaya kadar sürer. Silindir bandajların karışıma yapışmasını önlemek için bandajlar az su ile ıslatılır. Yeni yapılmış asfalt betonu kaplama tamamen soğuyup sertleşinceye kadar trafiğe kapalı tutulur [11].

Yüksek standartlı karayolları, otoyollar ve havaalanında yapılacak esnek kaplamalar için bitümlü sıcak karışımlar (asfalt betonu) kullanılmaktadır [6].

Bitümlü karışımların özellikleri aşağıda gösterilmiştir.

### **3.2.1 Stabilit**

Asfalt kaplamanın stabilitesi, trafik yüklerine, ötelenme ve tekerlek izleri oluşmayacak şekilde direnç gösterme yeteneğidir. Stabilit trafik yüklerini karşılayacak şekilde yüksek olmalıdır. Ancak çok yüksek stabilit, çok sert bir karışım anlamına gelir ki bu tür kaplamalar trafik yükleri altında oluşan defleksiyonlara uymayıp atlarlar. Bu nedenle düşük stabilit gibi çok yüksek stabilit de zararlıdır.

Stabilit, agregalar arası içsel sürtünmeye ve bitüm – agrega kohezyonuna bağlıdır. Agregalar arası içsel sürtünme agrega danesinin şekli ve yüzey yapısı ile, kohezyon ise asfaltın yapışma özelliği ile ilgilidir. Asfalt % sinin bir noktaya kadar artmasıyla kohezyon da artar. Ancak bitüm filmi daha fazla arttığında, içsel sürtünme ile stabilitesi azalır [12].

### **3.2.2 Durabilite**

Bir karışımın durabilitesi, karışımdaki asfaltın özelliklerinin değişmesine, agreganın kırılmasına ve asfaltın agrega yüzeyinden soyulmasına karşı gösterdiği direnç olarak ifade edilir. Bu faktörler iklim, trafik veya her ikisinin birleşimi sonucu ortaya çıkar. Yüksek durabilite genellikle yüksek asfalt %'si kullanarak, yoğun gradasyonlu, soyulma direnci yüksek agrega kullanarak ve karışımı en yüksek impermeabilite (geçirimsizlik) verecek şekilde dizayn edip sıkıştırarak sağlanır [6].

### 3.2.3 Geçirimsizlik

Bitümlü sıcak karışımlarda geçirimsizlik, kaplamanın içine hava ve suyun nüfus etmesinin bir ölçüsüdür. Kaplamadaki boşluk miktarı ile boşlukların irtibatı, kaplamanın altından üstüne kadar su, hava ve su buharının geçmesi için gerekli koridorları oluşturur.

Geçirimsizlik azaldıkça hava, suyun etkisi ile asfaltın yaşlanması hızlanır ve soyulma mukavemeti azalır ve donma-çözülme tekerrürü ile agreganın parçalanmasına neden olur.

Geçirimsizlik genel olarak; asfalt miktarı arttıkça, agrega gradasyonunun ve karışımın yoğunluğu arttıkça, sıkıştırma (özellikle yoğurma etkili pnömatik tip sıkıştırıcılarla) arttıkça artış gösterir [6].

### 3.2.4 İşlenebilirlik

İşlenebilirlik; Karışımın serilmesi ve sıkıştırılmasındaki kolaylık olarak ifade edilebilir. Kaba agrega miktarı, max dane boyutu arttıkça, kırmataş agrega kullanıldıkça, agrega yüzeyinin pürüzlülüğü ve kırılmışlık arttıkça, karışım ısısı, asfalt penetrasyonu düştükçe (katılaştıkça), asfaltın viskozitesi, filler miktarı, ara boyutlu malzeme miktarı aşırı arttıkça işlenebilirlik azalmaktadır [12,13].

### 3.2.5 Esneklik (Fleksibilite)

Bitümlü sıcak karışımların fleksibilitesi, zeminin ve temel tabakasının uzun dönemli oturma durumunda bu çökmelere uyum sağlayabilme kabiliyetidir. Eğer kaplama sıkışabilen bir kil üzerine inşa edilirse farklı oturmalar kaplamaya yansıtacağından çatlamalar oluşacaktır. Ayrıca yol eksenine yarma ve dolgulardan geçtiğinden yarmalarda prekonsolidasyondan ötürü az oturma fakat dolgularda ise drenaj, yetersiz sıkışma vb. nedenlerden ötürü fazla oturma oluşabilmektedir. Eğer kaplama uzun dönemde oluşan bu farklı oturmalara uyum sağlayacak şekilde esneklik gösterebilirse oturma çatlakları da büyük ölçüde azalacaktır.

Fleksibilite genel olarak; asfalt içeriği arttıkça, relatif açık gradasyonlu karışıma sahip olundukça artış gösterir. Ancak karışımın fleksibilitesi artarsa stabilitesi azalmaktadır [6].

### 3.2.6 Yorulmaya Karşı Direnç

Bir üstyapının yorulmaya karşı direnci trafik yükleri altında oluşan tekrarlanan eğilmeye karşı direncidir. Karışımdaki boşluk %'si ve asfaltın viskozitesi yorulmaya karşı direnç üzerinde çok etkilidir.

Yetersiz sıkışma, yüksek boşluk %'si, asfaltın yaşlanması ve sertleşmesi yorulma direncini azaltır. Üstyapının kalınlığı ve mukavemeti, taban zemininin taşıma gücü, üstyapı ömrünü etkileyen diğer faktörlerdir [12].

### **3.2.7 Kayma Direnci**

Asfalt kaplama yüzeylerinde, özellikle yağışlı havalarda araç tekerleğinin kaymasına karşı oluşan dirence kayma direnci denir. Kayma direncinin yüksek olması için hem agregası sert ve pürüzlü olmalı hem de asfalt kaplama yüzeyi pürüzlü olmalıdır. Maksimum dane boyutu 1/2" veya 3/8" olan açık gradasyonlu karışımların kayma direnci yüksek olur. Düşük kayma direncini oluşturan sebepler ise fazla asfalt %'si, agregası gradasyonunun fazla olması ve agregası cilalanma değerinin düşük olmasıdır [12].



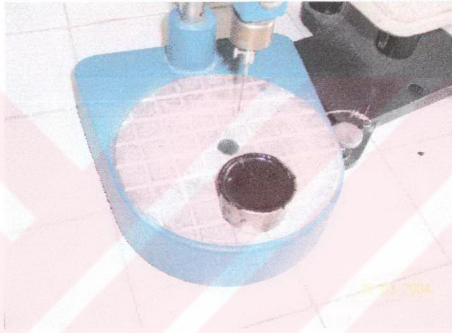
## 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 4.1. Asfaltlara Uygulanan Deneyler

#### 4.1.1 Penetrasyon

Katı asfaltların (pen. AC) kıvamlılıklarının tayini için uygulanır. Bu deney ile asfaltın kıvamlılığı yani katılığı saptandığı gibi katı asfaltın sınıfı da belirlenmektedir. Genel olarak penetrasyon arttıkça adhezyon artar, viskozluk ve katılık azalır.

Deneyin yapılışı: Bu deneyde 100 gr ağırlığındaki standart bir iğnenin 5 sn süre ile 25 °C deki asfalt numunesine batma miktarı ölçülmektedir. Her 0,1 mm batma miktarı 1 penetrasyon olmak üzere toplam batma miktarı ölçülerek asfaltın penetrasyon değeri saptanır. [6,22]



Resim 1 : Penetrasyon Deneyi

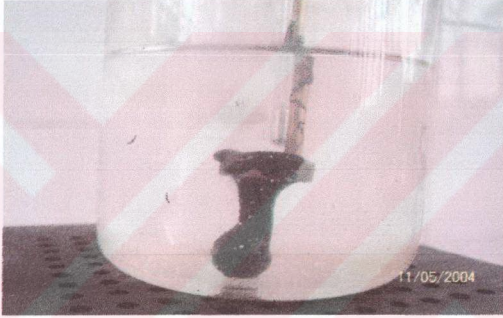
Bu deney sonucunda asfalt betonunda kullanılacak olan asfalt çimentosunun penetrasyon değeri 85 olarak tespit edilmiştir.

#### 4.1.2 Yumuşama Noktası

Asfaltın yumuşama ısısı izafi bir değerdir. Bu nedenle, standart kalınlık ve çapta bir yüzük içine konan asfalt numunesi üzerine standart çap ve ağırlıkta yerleştirilen bir bilye ile su içinde belirli bir hızda ısıtıldığında bilyenin ağırlığı ile yüzük içindeki asfaltın belirli bir derinliğe çökmesini sağlayan ısınin miktarı, asfaltın yumuşadığı ısı olarak kabul edilir. Genel olarak; penetrasyonları aynı ama yumuşama noktaları farklı olan iki asfalt numunesinin yumuşama noktası yüksek olan asfaltın ısıya olan duyarlılığı daha azdır. Yani ısıya fazla duyarlı olan asfaltın yüksek ısıdaki penetrasyon değeri ötekinden daha fazla olacaktır. Standart penetrasyon değerleri aynı olan iki asfalt numunesinin yüksek ısılardaki penetrasyon değerleri birbirinden farklı olabilir. Daha yüksek yumuşama noktasına sahip asfalt numunesi yüksek ısılarda daha düşük penetrasyon değerine sahiptir. Dolayısıyla

yumuşama noktası daha yüksek olan asfalt aynı hava sıcaklığında daha az sünme yani daha az deformasyon gösterecektir.

Deneyin Yapılışı: Taze destile edilmiş ve 5°C ye kadar soğutulmuş su ile banyo tabandan 8,25 cm yüksekliğe kadar doldurulur. Numuneyi pirinç halkanın alt yüzü banyonun tabanından 2,54 cm yukarıda olacak şekilde tespit edilir. Bu arada bilye suya konur. Termometre civa haznesinin ucu, halkanın alt yüzü ile aynı seviyede ve halkadan 0,635 cm mesafede bulunacak şekilde banyoya sarkıtılır. Banyonun sıcaklığı 15 dakika müddetle 5 °C de sabit tutulur. Sonra bilye uygun bir maşa yardımıyla halka içindeki bitümlü madde yüzünün tam ortasına yavaşça yerleştirilir. Banyo içerisindeki su dolu halde 5°C artacak şekilde ısıtılır. Halka içindeki bitümlü maddenin banyonun tabanına değdiği anda, termometrenin gösterdiği sıcaklık, yumuşama noktası olarak kaydedilir [6,20].



Resim 2: Yumuşama Noktası Deney sonucu

Bu deney sonucunda asfalt çimentosunun yumuşama noktasının 49 °C olduğu tespit edilmiştir.

#### 4.1.3 Düktilite (Sünme)

Standart bir kalıp içinde şekillendirilen asfalt numunesinin (briketinin) düktilite cihazı ile belirli bir ısıda belirli bir hızla çekerek sünmeye tabi tutulduğunda kopmanın olduğu uzunluk miktarıdır. Genel olarak; düktilite arttıkça adhezyon yeteneği artar, ısıya duyarlılık azalır, çekme mukavemeti ve deformasyonu artar. Düktilite azaldıkça düşük ısılarda büzülmeler (kırılganlık) artar [6].

Deneyin yapılışı: Deneye tabi tutulacak bitümlü madde, uygun akıcılığı temin eden en düşük sıcaklığa kadar ısıtılır. Akıcı hale getirilmiş numune standart elekten (297 mikron) süzülüp iyice karıştırıldıktan sonra düz bir pirinç levha üzerinde hazırlanmış kalıba dökülür.

Numune bir iplik halinde kalıbın bir ucundan diğer ucuna gezdirilmek suretiyle doldurulurken, kalıp parçalarının birbirinden ayrılarak, briket şeklinin bozulmamasına dikkat edilir. Numune ihtiva edilen kalıp 30 ila 40 dakika müddetle oda sıcaklığında soğutulur ve istenilen sıcaklıktaki su banyosunda 30 dakika bekletilir. Banyodan çıkarılan kalıptaki bitümün fazlası ısıtılmış geniş ağızlı düz bir spatula ile veya bıçakla kesip alınır. Fazlası alınmış kalıptaki bitümlü briket alt levhası ile istenilen sıcaklıktaki su banyosuna konularak 85 ila 95 dakika bekletilir. Bilahare briket alt levhadan ve kalıbın yan parçalarından ayrılarak düktilite deneyine tabi tutulur. Kalıptaki delikler cihazın pimlerine takılır ve istenilen çekme hızıyla bitümlü briket kopuncaya kadar deneye devam edilir. Numune briketi koptuğu anda, cihazın yanındaki cetvelden uzama miktarı (cm) olarak okunur. Çekme esnasında düktilite cihazının su banyosundaki su seviyesi numunenin 2,5 cm üzerinde olacaktır. Suyun sıcaklığı deney süresince istenilen dereceden  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  den fazla fark göstermeyecektir.

Normal bir deneyde kopma, çekilmekte olan maddenin muayyen bir noktada ayrılması veya iplik şeklinde olan numunenin kesit alanının sıfıra inmesi anıdır. Böylece 3 normal deney sonuçlarının ortalaması numunenin düktilitesi olarak alınır. Deney esnasında bitümlü madde suyun üst yüzeyine veya banyonun tabanına değerse, bu değer normal sayılmaz. Deney esnasında bitümlü madde ipliğinin suyun yüzüne çıkmasına veya banyo tabanına değmesine mani olmak için banyodaki suyun özgül ağırlığı (metil alkol veya sodyum klorür (tuz) ) ilavesi ile ayarlanır. Eğer 3 müteakip denemede deneyin normal olarak cereyanı sağlanamazsa, bu deney şartlarında düktilitenin tespit edilmediği anlaşılır [21].



Resim 3 : Düktilite Aleti ile Yapılan Deney Sonucu

Bu deney sonucunda asfalt çimentosunun düktilitesi 130 cm olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 4.1 de bitümlü karışımda kullanılacak asfalt çimentosunun özellikleri gösterilmiştir.

Tablo 4.1 Asfalt Çimentosunun Özellikleri

|                                |      |
|--------------------------------|------|
| Penetrasyon (TS 118)           | 85   |
| Düktilite (cm) (TS 119)        | 130  |
| Yumuşama Noktası (°C) (TS 120) | 49   |
| yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1,03 |

## 4.2. Agregalara Uygulanan Deneyler

### 4.2.1 Losangeles Aşınma Kaybı

Agregaların durabilitesinin yani aşınma direncinin tespiti için bu deney yapılmalıdır. Zira kaplamalarda kullanılacak agregalar kompaksiyon sırasında ve trafik yükleri altında kırılmaya ve aşınmaya karşı dirençli olmalıdır. Aksi takdirde ince malzeme miktarı artarak gradasyonun bozulması neticesinde dren kabiliyetinin ve don direncinin azalması gibi problemler doğuracaktır.

Deneyin yapılışı : Alet iki ucu kapalı, iç çapı  $70 \pm 0.5$  cm ve iç uzunluğu  $50 \pm 0.5$  cm olan içi boş çelik bir silindirden ibarettir. Silindir içinden geçmeyen aksla yatay durumda dönmeyi sağlayacak şekilde yapılmıştır. Numuneyi silindir içine koyabilmek için bir kapak vardır. Bu kapak silindirin iç yüzeyine tamamen uyacak şekilde sıkıca kapatılabilmektedir. İç yüzde silindir eksenine paralel olmak üzere 9 cm genişliğinde ve silindir boyunca uzanan yeter kalınlıkta ve deformasyon yapmayacak şekilde yerleştirilmiş çelik raf bulunur. Bu raf numune koyma deliğinden dönme doğrultusunda en az 127 cm uzaklıktadır. Aşındırma bilyeleri dökme demir ve çelikten yapılmış yaklaşık 4,8 cm çapında her birinin ağırlığı 390 g dan az 450 g dan çok olmamalıdır.

Deney numuneleri TS 3694 Çizelge 1 de agregaya boyutuna göre numune tipi ve miktarları verilmiştir. Çizelge 2 de ise numune tipine göre kullanılacak bilye sayısı ve ağırlıkları verilmiştir. Agregaya numunesi TS 707 ye uygun olarak elenir ve yıkandıktan sonra etüvde kurutularak Çizelge 1 de gösterilmiş olan miktarları tartımla ayrılarak ( $W_1$ ) bilyeli tambura konur. Daha sonra çizelge 2 den numune tipine uygun bilye sayısı ve toplam ağırlığı belirlenir ve tamburun içine konur. Tambur penceresini örten kapak sıkıca kapatıldıktan sonra hızı dakikada 30–33 devir olacak şekilde 100 dönüş yaptırılır. Aygıt durdurulur. Deney numunesi dışarıya alınır. 1,4 mm lik elekten elenir. Elek üstünde kalan agregaya 1 g duyarlılıkla tartılır ( $W_2$ ) elek üstünde kalan ve elekten geçen agregalar ve bilyeler tekrar tambura konur. Bilyelere A, B, C, D tipi numunelerde ilk 10 dönüş ek olarak 400 dönüş, E, F ve G tipi numunelerde ise ilk 100 dönüş ek olarak 900 dönüş daha yaptırılır. Aygıt durdurulur. Aşınmış deney numunesi dışarıya alınır. 1,4 mm lik elekten elenir. Elek üzerinde kalan agregaya tartılır ( $W_3$ ) ve aşınma oranı (4.1) ve (4.2) bağıntıları yardımıyla hesaplanır. [6,18]

$$a_1 = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \dots\dots\dots(4.1)$$

$$a_2 = \frac{W_1 - W_3}{W_1} \times 100 \dots\dots\dots(4.2)$$

B tipi numuneler kullanılarak yapılan deney sonucuna göre yapılan hesaplamalarda aşınma kaybı

$$a_2 = \frac{5000 - 4175}{5000} \times 100 = \%16,5 \quad (500 \text{ devir için}) \text{ olarak bulunmuştur.}$$

#### 4.2.2 Donma Kaybı

Agregalar donma-çözülme etkileri ile ufalanıp parçalanmamalıdır. Bunun için genellikle sodyum sülfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) çözeltisi içinde agreganın ufalanma miktarı ölçülerek don dayanımı tayin edilmelidir. [6]

Deneyin Yapılışı: en az 250 g susuz sodyum sülfat tuzu veya 750 g kristalize sodyum sülfat 1 lt su içinde çözülerek hazırlanır. Çözeltinin kullanılacağı sırada yoğunluğu  $1,53 \text{ g/cm}^3$  den küçük  $1,70 \text{ g/cm}^3$  den büyük olmamalıdır. TS 3655 çizelge 1 de verilen deney numune miktarına göre deney numunelerinin miktarları belirlenir. Numune  $105 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$  değişmez ağırlığa kadar kurutulup tartılır ( $G_1$ ) tel sepetin içine konur ve sepet ile birlikte içinde sodyum sülfat veya magnezyum sülfat çözeltisi bulunan kovaya daldırılır. Çözelti hacminin, deney numunesi hacminin en az 5 katı olması, üst yüzeyinin daldırılan agreganın üstünden en az 5 cm yukarıda bulunması sağlanmalıdır. Numune, çözeltinin içinde bu halde 18 saat bekletilir. Buharlaşmaya engel olabilmek için, deney sırasında kovanın üstü kapak ile kapatılır. Daldırma süresinin sonunda, numune çözeltinin içinden çıkarılır ve 15 dk bekletildikten sonra  $105 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$  değişmez ağırlığa kadar kurutulur. Oda sıcaklığına gelinceye kadar soğutulur ve tekrar çözelti kovasına daldırılır. Daldırma ve çıkartarak kurutma işlemi toplam 5 kez tekrarlanır. 5. tekrarlamanın sonunda kurutulup soğutulan deney numunesi alt tane büyüklüğünden bir küçük göz açıklıklı elek üzerine boşaltılır, su ile yıkanır. Aynı zamanda da elenir. Numunenin sülfattan tamamen temizlendiği, yıkamadan çıkan suya bir miktar baryum klorür ilave edildiğinde beyaz çökelti görülmemesi ile belirlenir. Yıkama ve eleme işlemi tamamlanınca, numune  $105 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$  değişmez ağırlığa kadar kurutulup oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra elek üzerinde kalan kısmı tartılır. ( $G_2$ ) ve (4.3) formülü ile donma kaybı hesaplanır.

$$D = \frac{G_1 - G_2}{G_1} \times 100 \dots\dots\dots(4.3)$$

D : Don kaybı oranı (%)

G<sub>1</sub>:Deney numunesinin deney başlangıcındaki etüv kuru su ağırlığı (g) (16 mm den büyük dane sınıfları için 2 tüpe doldurulan numunenin toplam ağırlığı)

G<sub>2</sub>:Deney numunesinin deney sonunda elek üstünde kalan kısmının etüv kuru su ağırlığı (g) (16 mm den büyük dane sınıfları için 2 tüpe doldurulan numunenin toplam ağırlığı) [17]

8/16 tane sınıfından, 500 g numune alınarak, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltisi hazırlanarak yapılan deney sonucunda bazalt agreganın don kaybı

$$D = \frac{500 - 476}{500} \times 100 = \%4,8 \text{ olarak bulunmuştur.}$$

#### 4.2.3 Agreganın Özgül Ağırlık Tayini:

##### 4.2.3.1 İri Agreganın Özgül Ağırlık Tayini

W<sub>1</sub> :Numunenin etüv kuru su ağırlığı (g)

W<sub>2</sub> :Numunenin doymun kuru yüzey durumundaki ağırlığı (g)

W<sub>3</sub> :Numunenin sudaki ağırlığı (g)

m :İri agreganın su emme oranı (%)

$$\delta_k = \frac{W_1}{W_2 - W_3} \dots\dots\dots(4.4)$$

$$\delta_d = \frac{W_2}{W_2 - W_3} \dots\dots\dots(4.5)$$

$$\delta_z = \frac{W_1}{W_1 - W_3} \dots\dots\dots(4.6)$$

$$m = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100 \dots\dots\dots(4.7) [16]$$

yapılan deney sonucunda deneyde kullanılan bazalt kaba agreganın yoğunlukları ve su emme oranları;

$$\delta_k = \frac{500,88}{507,93 - 317,06} = 2,624 \text{ g/cm}^3$$

$$\delta_d = \frac{507,93}{507,93 - 317,06} = 2,661 \text{ g/cm}^3$$

$$\delta_z = \frac{500,88}{500,88 - 317,06} = 2,725 \text{ g/cm}^3$$

$$m = \frac{507,93 - 500,88}{500,88} \times 100 = \%1,408 \text{ olarak bulunmuştur.}$$

#### 4.2.3.2 İnce Agreganın Özgül Ağırlık Tayini

$W_1$  : Numunenin etüv kurusu ağırlığı (g)

$W_2$  : Numunenin doymun kuru yüzey durumundaki ağırlığı (g)

$W_3$  : Ölçü kabı, numune ve su ağırlığı

$W_4$  : 500 ml çizgisine kadar su ile dolu ölçü kabı ağırlığı

$m$  : İri agreganın su emme oranı (%)

$$\delta_k = \frac{W_1}{W_2 + W_4 - W_3} \dots\dots\dots(4.8)$$

$$\delta_d = \frac{W_2}{W_2 + W_4 - W_3} \dots\dots\dots(4.9)$$

$$\delta_z = \frac{W_1}{W_1 + W_4 - W_3} \dots\dots\dots(4.10)$$

$$m = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100 \dots\dots\dots(4.11) [16]$$

Yapılan deney sonucunda bazalt ince agreganın yoğunlukları ve su emme oranı;

$$\delta_k = \frac{500}{509,48 + 765,63 - 1094,96} = 2,775 \text{ g/cm}^3$$

$$\delta_d = \frac{509,48}{509,48 + 765,63 - 1094,96} = 2,828 \text{ g/cm}^3$$

$$\delta_z = \frac{500}{500 + 765,63 - 1094,96} = 2,930 \text{ g/cm}^3$$

$$m = \frac{509,48 - 500}{500} \times 100 = \%1.896 \text{ olarak bulunmuştur.}$$

#### 4.2.3.3 Fillerin Özgöl Ağırlık Tayini

Fillerin özgöl ağırlığı bulunurken Le Chatelier şişesi kullanılır. Bunun için 60 g kuru filler numunesi alınır ve Le Chatelier şişesi sıfıra kadar gazyağı ile doldurulur daha sonra filler malzemesi şişeye boşaltılır ve mesafe ölçülerek (4.12) bağıntısı ile hesaplanır.

$$\delta_{filler} = \frac{W}{X} \dots\dots\dots (4.12) [16]$$

Yapılan deney sonucunda bazalt fillerin özgöl ağırlığı

$$\delta_{filler} = \frac{60}{21,6} = 2,778 \text{ g/cm}^3 \text{ olarak bulunmuştur.}$$

Tablo 4.2 de bitümlü karışımda kullanılacak bazalt agreganın fiziksel özellikleri gösterilmiştir.

Tablo 4.2 Agreganın Fiziksel Özellikleri

|                                                                |                          |
|----------------------------------------------------------------|--------------------------|
| Aşınma Kaybı (Losangeles) max %(TS 3694)                       | 16,5 (500 devir)         |
| Donma Kaybı (Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) max % (TS 3655) | 4,8 (NaSO <sub>4</sub> ) |
| Kaba Agreganın Hacim Özgöl Ağırlığı (gr/cm <sup>3</sup> )      | 2,62                     |
| İnce Agreganın Hacim Özgöl Ağırlığı (gr/cm <sup>3</sup> )      | 2,52                     |
| Fillerin Hacim Özgöl Ağırlığı (gr/cm <sup>3</sup> )            | 2,68                     |

#### 4.3 Marshall Numunelerinin Hazırlanması

Deneyde hazırlanan numuneler için agrega olarak Karayazı bazaltı, asfalt çimentosu olarak ise AC 75-100 kullanılmıştır. Asfalt çimentosunun ve agreganın fiziksel özellikleri sırasıyla Tablo 4.1 ve Tablo 4.2 de verilmiştir.

Numunelerin hazırlanmasında aşınma tabakası Tip 2 gradasyon kullanılmıştır. Deneyde % 5.2 oranında bitüm kullanılarak 15 adet Marshall numunesi hazırlanmıştır.

Marshall yöntemi, yalnızca maksimum boyutu 1" (25,4 mm) veya daha küçük agrega ihtiva eden ve penetrasyon veya viskozite ile sınıflandırılmış asfalt çimentosu kullanılan sıcak karışım asfalt kaplama karışımlarına uygulanır. Metot sıcak karışım asfalt kaplamaların laboratuvar dizaynı için tasarlanmıştır.

Marshall metodunda işlem, deney numunelerinin hazırlanması ile başlar. Bundan önce aşağıdaki işlemlerin yapılmış olması gerekmektedir.

- Karışımda kullanılacak malzemenin şartnamede istenilen özelliklere uygunluğunun kontrolü,
- Agregası karışım gradasyonunun şartname gradasyonuna uygunluğunun kontrolü,

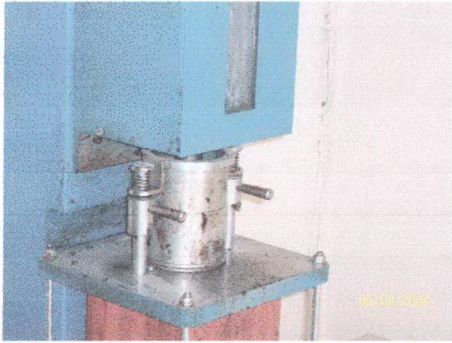
- Yoğunluk ve boşluk analizlerinde kullanmak için, karışımda kullanılan agreganın hacim özgül ağırlığı ve asfalt çimentosunun özgül ağırlığının tayinidir.
- Marshall metodunda 4" (101,6 mm) çapında ve 2,5" (63,5 mm) yüksekliğinde standart deney numuneleri kullanılır. Bu deney numuneleri asfalt-agrega karışımının ısıtılması, karıştırılması ve sıkıştırılması için belirlenmiş bir yöntem uygulanarak hazırlanır. [6,19]



Resim 4 : Numunelerin 160 °C Etüve Yerleştirilmesi



Resim 5 : Agregaya ile Bitümün Karıştırılması



Resim 6 : Numunenin Sıkıştırılması



Resim 7 : Hazırlanan Deney Numuneleri

Beton asfalt karışımların dizayn kriterleri Tablo 4.3 de verilmiştir.

Tablo 4.3 Beton Asfalt Kaplama Tabakasının Dizayn Kriterleri [6]

| Özellikler                                  | Hafif ve orta trafikli yollar |     |        |     | Ağır trafikli yollar otoyollar ve tırmanma şeritleri |     |        |     |
|---------------------------------------------|-------------------------------|-----|--------|-----|------------------------------------------------------|-----|--------|-----|
|                                             | Binder                        |     | Aşınma |     | Binder                                               |     | Aşınma |     |
|                                             | Min                           | Max | Min    | Max | Min                                                  | Max | Min    | Max |
| Biriktir yapımında uygulanacak darbe sayısı | 50                            | -   | 50     | -   | 75                                                   | -   | 75     | -   |
| Marshall stabilitesi                        | 600                           | -   | 750    | -   | 750                                                  | -   | 900    | -   |
| Boşluk %                                    | 4                             | 6   | 3      | 5   | 4                                                    | 6   | 3      | 5   |
| Asfaltla dolu boşluk %                      | 65                            | 75  | 75     | 85  | 65                                                   | 75  | 75     | 85  |
| Akma (mm)                                   | 2,5                           | 4,6 | 2,5    | 4,6 | 2                                                    | 4   | 2      | 4   |
| Filler/ bitüm oranı                         | -                             | -   | -      | -   | -                                                    | 1,4 | -      | 1,5 |
| Asfalt çimentosu (ağırlıkça %)              | 3,5                           | 6,5 | 4      | 7   | 3,5                                                  | 6,5 | 4      | 7   |

Marshall numuneleri üzerine yapılan deney sonucu (4.13), (4.14), (4.15) ve (4.16) bağıntılarından faydalanarak agreg a ve bitümün karışım daki hacimce %'leri bulunur.

$$G_{sh} = \frac{100}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \frac{P_3}{G_3}} \dots\dots\dots(4.13)$$

$$D_p = \frac{W}{(W_3 - W_2)} \dots\dots\dots(4.14)$$

$$V_A = \frac{P_{og}}{G_{sh}} \times D_p \dots\dots\dots(4.15)$$

$$V_B = \frac{P_B}{G_B} \times D_p \dots\dots\dots(4.16)$$

Yapılan deney sonucunda elde edilen verilere göre agreg a ve asfalt çimentosunun karışım daki hacim %'leri;

$$G_{sh} = \frac{100}{\frac{44}{2,624} + \frac{49}{2,775} + \frac{7}{2,778}} = 2,707 gr / cm^3$$

$$D_p = \frac{1244,86}{1253,94 - 729,98} = 2,376 gr / cm^3$$

$$V_A = \frac{94,8}{2,707} \times 2,376 = 83,21$$

$$V_B = \frac{5,2}{1,03} \times 2,376 = 12,00 \text{ olarak bulunmuştur.}$$

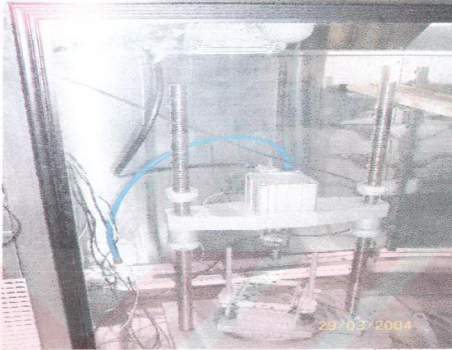
#### 4.4 Farklı Sıcaklılarda Rijitlik Modülünün Bulunması

##### 4.4.1 İndirekt Çekme Aleti ile Rijitlik Modülünün Bulunması

15 adet marshall numunesi hazırlandıktan sonra indirekt çekme aleti 0 °C, 10°C, 20°C, 30°C, 40°C sıcaklıklarında ayarlanarak numuneler belirli bir yükleme hızında F kuvvetine maruz kalarak rijitlik modülü bulunacaktır. Her bir sıcaklık için ayrı ayrı yapılan deneyde numuneler ve kullanılacak aparatlar 2 saat önceden deney sıcaklığına getirilip

deney şartları sağlandıktan sonra paket program kullanılarak rijitlik modülüne ait değerler bilgisayardan okunacaktır.

Deneyin yapılışı; Numuneler ve kullanılacak tüm aparatlar 2 saat önceden deney sıcaklığında kabin içerisinde (Resim 8) bekletilir ve hava kompresörü açılarak 60 bar hava dolması sağlanır.



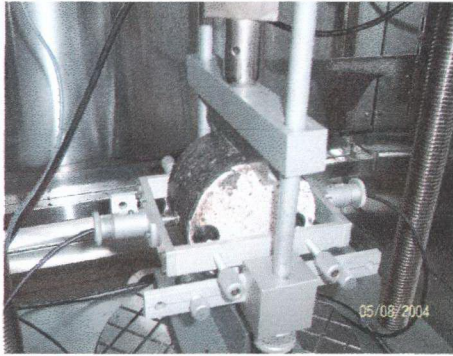
Resim 8 : İndirekt Çekme Aleti Isıtma-Soğutma Kabini

Bilgisayar ve sırası ile deney aletinin düğmeleri açılarak alet deneye hazır hale getirilir.



Resim 9 : İndirekt Çekme Aleti Açma-Kapama Düğmeleri

Numuneler Resim 10 da görüldüğü gibi kalıba yerleştirilerek her iki tarafta bulunan duyargalar Resim 11 de görülen ekrandan ayarlanır.



Numune çapı bütün numuneler için D=101,6 mm (4") olarak alınacaktır. Tablo 4.4 de 15 adet Marshall numunesinin değişik sıcaklıklarda indirekt çekme aletinde bulunan değerleri gösterilmiştir.

Tablo 4.4 İndirekt Çekme Aleti İle Rijitlik Modülleri

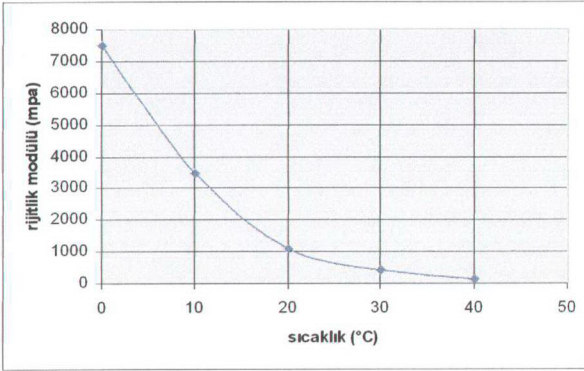
| Numune No | T (°C) | L (mm) | F (N)  | H (mm) | St (Kpa) | E (Mpa) |
|-----------|--------|--------|--------|--------|----------|---------|
| 1         | 0      | 66     | 5264,9 | 56,25  | 507,8    | 8792    |
| 2         | 0      | 66     | 4606   | 69,95  | 444,2    | 6186    |
| 3         | 0      | 66     | 2168,3 | 71,8   | 209,1    | 2836    |
| 4         | 10     | 66     | 2647,7 | 70,69  | 255,3    | 3518    |
| 5         | 10     | 67     | 2579,8 | 68,71  | 245,1    | 3474    |
| 6         | 10     | 65     | 2468,2 | 68,37  | 241,7    | 3443    |
| 7         | 20     | 66     | 701,6  | 72,1   | 67,67    | 914,2   |
| 8         | 20     | 67     | 856,86 | 76,08  | 81,41    | 1042    |
| 9         | 20     | 66     | 918    | 74,22  | 88,54    | 1163    |
| 10        | 30     | 67     | 332,84 | 68,31  | 31,62    | 450,8   |
| 11        | 30     | 66     | 325,57 | 73,24  | 31,4     | 417,8   |
| 12        | 30     | 67     | 323,14 | 71,21  | 30,7     | 420     |
| 13        | 40     | 66     | 117,9  | 72,97  | 11,37    | 151,7   |
| 14        | 40     | 66     | 103,34 | 74,33  | 9,968    | 130,6   |
| 15        | 40     | 67     | 108,68 | 71,44  | 10,32    | 140,7   |

Tablo 4.4 de verilen deney sonuçlarına göre yakın iki değerin ortalaması alınarak bulunan rijitlik modülüne ait değerler Tablo 4.5 de verilmiştir.

Tablo 4.5 Rijitlik Modülüne Ait Ortalama Değerler

| Sıcaklık °C | Rijitlik Modülleri (mpa) |
|-------------|--------------------------|
| 0           | 7489                     |
| 10          | 3458                     |
| 20          | 1102,5                   |
| 30          | 418,9                    |
| 40          | 135,65                   |

Şekil 4.1 de deney sonucunda sıcaklık değişimine göre rijitlik modülleri grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Sıcaklıkla Rijitlik Modülünün Değişimi

#### 4.4.2 Shell Metodu ile Rijitlik Modülünün Bulunması

Bitüm rijitliğini veren (4.19) eşitliği Van Der Poel tarafından geliştirilmiştir [25].

$$S_{b,e} = 1,157 \times 10^{-7} \times t_w^{-0,368} \times \exp(-PI) \times (T_{RB} - T)^5 \dots\dots\dots(4.19)$$

$$PI = \frac{20 \times T'_{RB} + 500 \times \log 10^{(Pen^{25})} - 1951,55}{T_{RB} - 50 \times \log 10^{(Pen^{25})} + 120,15} \dots\dots\dots(4.20)$$

$$A = \frac{\log 800 - \log(pen^{25})}{T_{RB} - 25} \dots\dots\dots(4.21)$$

$$PI = \frac{20 - 500 \times A}{1 + 50 \times A} \dots\dots\dots(4.22)$$

Bitümlü karışımın elastik rijitliğini veren bağıntı (4.23) de gösterilmiştir.

$$E = S_{b,e} \times \left[ 1 + \left( \frac{2,5}{n} \right) \times \frac{Cv'}{(1 - Cv)} \right]^n \dots\dots\dots(4.23)$$

$$Cv' = \frac{Cv}{[0,97 + 0,01 \times (100 - (V_A - V_B))]} \dots\dots\dots(4.24)$$

$$Cv = \frac{V_A}{V_A + V_B} \dots\dots\dots(4.25)$$

$$n = 0,83 \times \log \left( \frac{40000 \text{ Mpa}}{S_{b,e}} \right) \dots\dots\dots (4.26)$$

Yükleme süresi 0,05 ve 0 °C de dökülen 1 nolu numunenin rijitlik modülünü shell metodu kullanarak bulursak;

$$A = \frac{\log 800 - \log(85)}{49 - 25} = 0,040570$$

$$PI = \frac{20 - 500 \times 0,04057}{1 + 50 \times 0,04057} = -0,094045$$

$$S_{b,e} = 1,157 \times 10^{-7} \times 0,05^{-0,368} \times \exp(-(-0,0941) \times (49 - 0)^5) = 108,1275 \text{ Mpa}$$

$$Cv = \frac{83,21}{83,21 + 12,00} = 0,87400$$

$$n = 0,83 \times \log \left( \frac{40000 \text{ Mpa}}{108,13 \text{ Mpa}} \right) = 2,13154$$

$$Cv' = \frac{0,87400}{[0,97 + 0,01 \times (100 - (83,21 - 12,00))]} = 0,69483$$

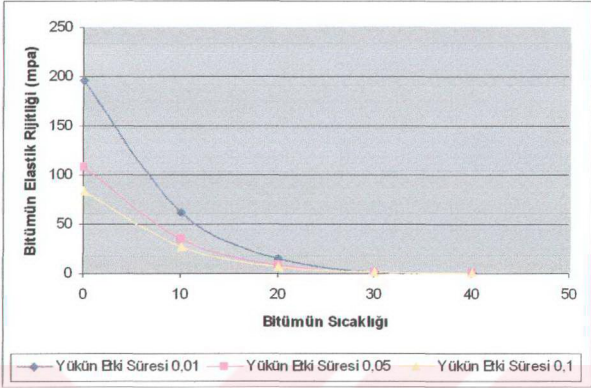
$$E = 108,13 \times \left[ 1 + \left( \frac{2,5}{2,13154} \right) \times \frac{0,69786}{(1 - 0,87400)} \right]^{2,13154} = 7855,923 \text{ Mpa}$$

Tablo 4.6 da shell metodu ile Marshall numunelerinin yükün etki süresine göre rijitlik modülleri gösterilmiştir.

Tablo 4.6 Shell Metodu İle Rijitlik Modülleri

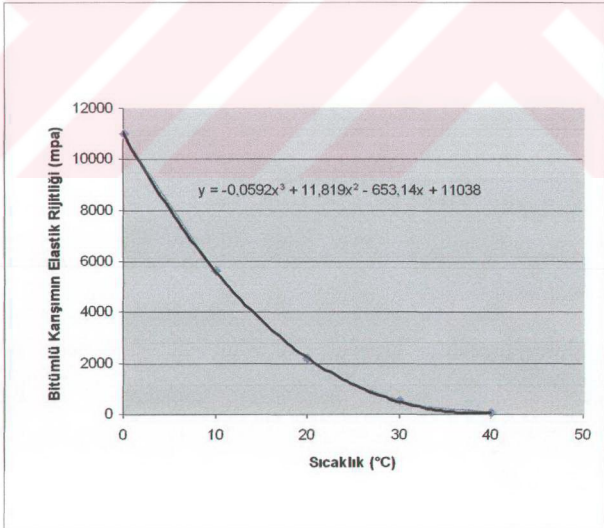
| Yükün Etki Süresi 0,01                   |          |          |          |          |          |
|------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Marshall Numuneleri                      | 1,2,3    | 4,5,6    | 7,8,9    | 10,11,12 | 13,14,15 |
| Bitümün Sıcaklığı °C                     | 0        | 10       | 20       | 30       | 40       |
| Bitümün Elastik Rijitliği (mpa) $S_{be}$ | 195,5046 | 62,44529 | 14,19602 | 1,713739 | 0,040869 |
| Bitümlü Karışımın Elastik Rijitliği (E)  | 11032,16 | 5652,611 | 2194,496 | 506,6132 | 30,10634 |
| Yükün Etki Süresi 0,05                   |          |          |          |          |          |
| Marshall Numuneleri                      | 1,2,3    | 4,5,6    | 7,8,9    | 10,11,12 | 13,14,15 |
| Bitümün Sıcaklığı °C                     | 0        | 10       | 20       | 30       | 40       |
| Bitümün Elastik Rijitliği (mpa) $S_{be}$ | 108,1275 | 34,53653 | 7,851374 | 0,947815 | 0,022603 |
| Bitümlü Karışımın Elastik Rijitliği (E)  | 7855,923 | 3908,898 | 1473,225 | 329,51   | 18,85184 |
| Yükün Etki Süresi 0,1                    |          |          |          |          |          |
| Marshall Numuneleri                      | 1,2,3    | 4,5,6    | 7,8,9    | 10,11,12 | 13,14,15 |
| Bitümün sıcaklığı °C                     | 0        | 10       | 20       | 30       | 40       |
| Bitümün elastik rijitliği (mpa) $S_{be}$ | 83,78321 | 26,76083 | 6,083683 | 0,73442  | 0,017514 |
| Bitümlü karışımın elastik rijitliği (E)  | 6752,842 | 3321,352 | 1237,04  | 273,1666 | 15,38745 |

Şekil 4.2 de yükün etki süresi dikkate alınarak sıcaklık değişimi ile bitüm rijitliği arasındaki değişimi gösterilmiştir.

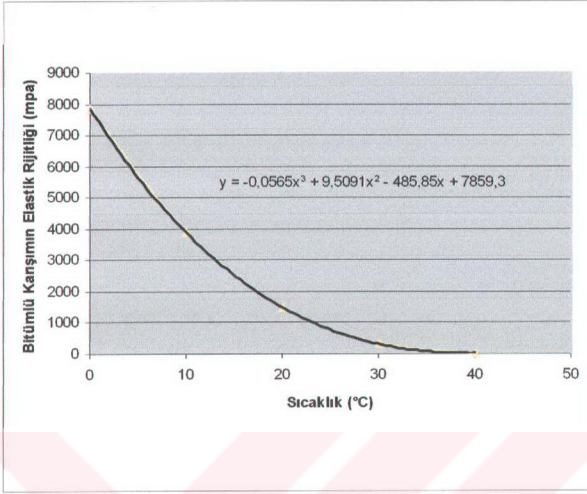


Şekil 4.2 Bitüm Sıcaklığı ile Bitüm Rijitliği Arasındaki Bağını

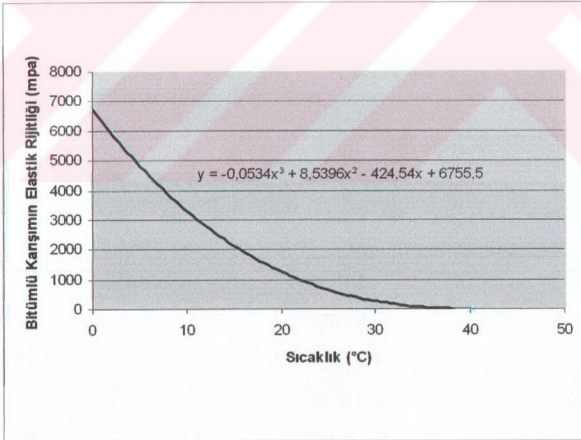
Şekil 4.3, 4.4 ve 4.5 de yükleme süresi dikkate alınarak sıcaklık ile bitümlü karışımın değişimi gösterilmiştir.



Şekil 4.3 Yükleme Süresi 0,01sn Olması Durumunda Bitümlü Karışımın Rijitlik Modülü ile Sıcaklık Arasındaki Bağını

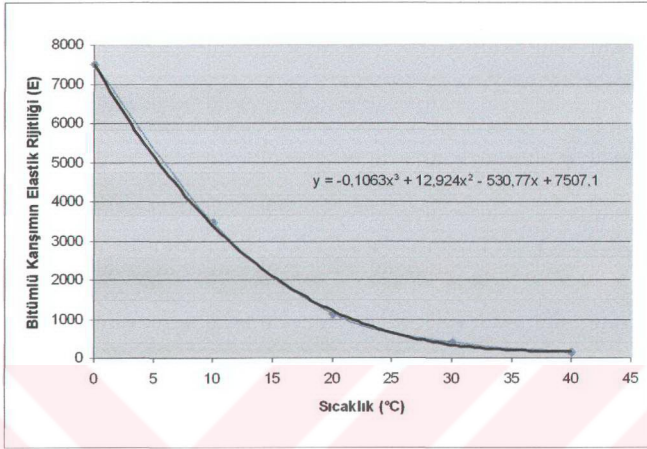


Şekil 4.4 Yükleme Süresi 0,05sn Olması Durumunda Bitümlü Karışımın Rijitlik Modülü ile Sıcaklık Arasındaki Bağntı



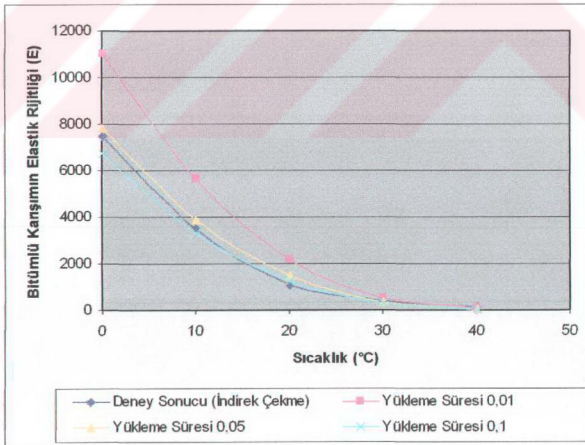
Şekil 4.5 Yükleme Süresi 0,1 sn Olması Durumunda Bitümlü Karışımın Rijitlik Modülü ile Sıcaklık Arasındaki Bağntı

Şekil 4.6 da indirekt çekme deneyi ile elde edilen sıcaklık ile bitümlü karışımın rijitlik modülü arasındaki değişim gösterilmiştir.



Şekil 4.6 İndirekt Çekme Deney Sonucuna Göre Bitümlü Karışımın Rijitlik Modülü ile Sıcaklık Arasındaki Bağlantı

Şekil 4.7 de indirekt çekme metodu ve shell metodu ile elde edilen sıcaklık ve bitümlü karışımın rijitlik modülleri birlikte gösterilmiştir.



Şekil 4.7 Bitüm sıcaklığı ile Bitümlü Karışımın İndirekt Çekme Metodu ve Shell metodu ile Bulunan Rijitlik Modülü Arasındaki Bağlantı

Bu çalışmada optimum bitüm oranında hazırlanan 15 adet Marshall numunesi kullanılmıştır. Numuneler AC 75-100 asfalt çimentosu ve agrega olarak bazalt kullanılarak

hazırlanmıştır. Bu numuneler deneyden önce 2 saat (0°C, 10°C, 20°C, 30°C, 40°C) deki sıcaklıklarda bekletilmiş daha sonra İndirek Çekme aletinde deneye tabi tutularak sıcaklık-rijitlik modülü ilişkisi incelenmiştir ve Shell Metodu kullanılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Şekil 4.7 de görüldüğü gibi her iki yöntemde de sıcaklığın artışı ile rijitlik modülünün düştüğü gözlemlenmiştir.

Bitümlü karışımların, rijitlik modülüne etki eden parametreler agreganın hacimsel konsantrasyonu ve bitüm rijitliğidir. Agreganın hacimsel konsantrasyonu arttıkça bitümlü karışımın rijitliğide artmaktadır. Aynı şekilde bitümün rijitliğinde meydana gelen artışta karışımın rijitliğini büyük ölçüde artırmaktadır. Dolayısıyla bitüm rijitliğine etki eden faktörlerin bitümlü karışımın rijitliği üzerinde büyük etkisi bulunmaktadır. Özellikle bitümün yumuşama noktası bitüm rijitliğine etki eden en önemli parametredir. Bu nedenle, bitümlü karışımlarda kullanılacak olan bitüm sınıfının kaplamanın yapılacağı bölgenin en yüksek ve en düşük sıcaklık değerleri dikkate alınarak seçilmesi kaplamanın bozulmasının önlenmesi bakımından oldukça önem taşımaktadır.

## 5. SONUÇ

Hazırlanan Marshall numuneleri, deney sonucu elde edilen değerlere göre rijitlik modülleri İndirek Çekme Metodu ve Shell Metodu ile bulunmuş sıcaklığın 0°C den 40°C ye çıkması durumunda rijitlik modülü grafiğinin üçüncü dereceden üstel fonksiyon şeklinde azaldığı görülmüştür. Bu da asfalt betonunun yaz aylarında rijitlik modülünün azalmasından ötürü trafik yüklerine karşı mukavemeti düşürmektedir.

Her iki metot da rijitlik modülleri birbirine yakın değerler vermektedir. Shell metodu ile rijitlik modülü bulunurken kullanılan bitüm, agrega ve Marshall numunesi üzerinde yapılan deney sonuçları ile bulunmaktadır. İndirek çekme metodu ile rijitlik modülü bulunurken Marshall numunesinin hazırlanması yeterlidir, bu da gösteriyor ki rijitlik modülü bulunurken indirek çekme metodu daha kolay ve daha hızlı bir metottur.

## KAYNAKLAR

1. Van Der Poel., 1954, "A General System Describing the Visco-Elastic Properties of Bitumens and its Relation to Routine Test Data", J.Appl. Chem., 4, 221-236
2. Anon., 1989, "Bitümen and Asphalt Nomographs Developed by shell"
3. Hills,JF., 1973, "The Creep of Asphalt Mixes", Journal of the İnstitute of Petroleum, 59
4. Collop, A.C. and Ceban, D., 1995, "Viscoelastik Approach to Rutting in Flexible Pavemets", Journal of Transportation Engineering, No.1,7194
5. Lu, Y.and Wright, P.J., 2000, "Temperature Related Visco-Elastoplastic Properties of Asphalt Mixtures", Journal of Transportation Engineering, No.1,17153
6. Tunç, A., 2001, Yol Malzemeleri ve Uygulamaları. Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul, 835s.
7. Karayolları Genel Müdürlüğü., 1995, Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi. Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara, 93s.
8. Uluçaylı, M., 1998, "Superpave ve Fransız Bitüm Şartnamesi", 2. Ulusal Asfalt Sempozyumu, Ankara, 118-129s.
9. Uluçaylı, M., 1975, "Türkiyede Asfalt Betonü Kaplamalar ve Alternatifleri", Karayolları Teknik Bülteni, Ankara, 16-65
10. Karayolları Genel Müdürlüğü., 1994, Yollar Fenni Şartnamesi. Yayın no:170/2, 435s.
11. Umar, F. ve Açar, E., 1985, Yol Üst Yapısı. İTÜ, İstanbul
12. Önal, M. ve Kahramangil, M., 1993, Bitümlü Karışımlar Laboratuar El Kitabı. Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara, 200s.
13. Orhan, F., 2001, Bitümlü Karışımlar Laboratuvarı Çalışmaları. Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara
14. Croney, P. and Croney, D., 1997, The Design and Performance of Road Pavements. McGraw Hill, New York, 502p.
15. Önal, M. ve Karaca, S., 1984, Asfalt Betonü ve Diğer Sıcak Karışım Tipleri için Karışım Dizayn Metodları
16. TSE 3526, 1980, Beton Agregalarında Özgöl Ağırlık ve Su Emme Oranının Tayini, Ankara.
17. TSE 3655, 1981, Beton Agregalarında Dona Dayanıklılık Tayini, Ankara.
18. TSE 3694, 1981, Beton Agregalarında Aşınmaya Dayanıklılık Aşınma Oranı Tayini Metodu, Ankara.
19. TSE 3720, 1983, Bitümlü Kaplama Karışımlarının Hesap Esasları – Marshall ve Hubbard – Field Metotları, Ankara.
20. TSE 120, 1972, Bitümlü Maddelerin Yumuşama Noktası Deney Metodu, Ankara.

21. TSE 119, 1964, Bitümlü Maddelerin Düktilite Deneyi için Metot, Ankara.
22. TSE 118, 1964, Bitümlü Maddelerin Penetrasyon Deney Metodu, Ankara.
23. Jackson, N. and Dhir, R., 1992, Civil Engineering Materials. Macmillan Education Ltd, Hampshire, 422p.
24. Ullidtz, P., 1987, Pavement Analysis. Elsevier, Amsterdam, 315p.
25. Kuloğlu, N., 2001, "Bitüm ve Bitümlü Sıcak Karışımların Rijitliğine Etki Eden Parametreler", Türk J Engin Environ Sci, TÜBİTAK, 25, 61-67.