

**T.C.
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ**

**BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLARIN (BSK)
ŞARTNAME SINIR DEĞERLERİ ARASINDA
KALAN ÜRETİM HATALARININ KARIŞIM
PERFORMANSINA ETKİSİ**

Yüksek Lisans Tezi

ZEYNEL DELEN

İSTANBUL, 2014

**T.C.
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KENTSEL SİSTEMLER VE ULAŞTIRMA YÖNETİMİ**

**BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLARIN (BSK)
ŞARTNAME SINIR DEĞERLERİ ARASINDA
KALAN ÜRETİM HATALARININ KARIŞIM
PERFORMANSINA ETKİSİ**

Yüksek Lisans Tezi

ZEYNEL DELEN

Tez Danışmanı: DOÇ. DR. Halit ÖZEN

İSTANBUL, 2014

T.C.
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KENTSEL SİSTEMLER VE ULAŞTIRMA YÖNETİMİ

Tezin Adı: Sıcak Karışımların (BSK) Şartname Sınır Değerleri Arasında Kalan Üretim Hatalarının Karışım Performansına Etkisi

Öğrencinin Adı Soyadı: Zeynel DELEN
Tez Savunma Tarihi: 10.04.2014

Bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak gerekli şartları yerine getirmiş olduğu Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanmıştır.

Doç.Dr. Faik Tunç BOZBURA
Enstitü Müdürü

Bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak gerekli şartları yerine getirmiş olduğunu onaylarım.

Prof.Dr. Mustafa ILICALI
Program Koordinatörü

Bu Tez tarafımızca okunmuş, nitelik ve içerik açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak yeterli görülmüş ve kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmzalar

Tez Danışmanı
Doç. Dr. Halit ÖZEN

.....

Üye
Yrd. Doç. Dr. Aybike ÖNGEL

.....

Üye
Yrd. Doç. Dr. Nilgün CAMKESEN

.....

ÖNSÖZ

Tez çalışmam sırasında bana yol gösteren ve her türlü yardımı sağlayan çok değerli Hocam Sayın Doç. Dr. Halit ÖZEN'e, Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi Yüksek Lisans Programı Koordinatörü Sayın Prof. Dr. Mustafa ILICALI ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Nilgün CAMKESEN Hocalarıma; kaynak temini ve teknik bilgilendirmeler konusunda yardımlarını esirgemeyen İnşaat Y. Mühendisi Sayın Bülent TURAN'a, İSFALT Genel Müdür Yardımcısı sayın İBRAHİM SÖNMEZ'e, İSFALT Laboratuar çalışanları Seyit Ali YILDIRIM, Yasin BAYRAKLI'ya ve tez çalışması boyunca bana sabır gösteren, her zaman varlığını yanımda hissettiğim sevgili eşim Merve İNCİ DELEN'e teşekkürü borç bilirim.

İstanbul, 2014

Zeynel DELEN

ÖZET

BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLARIN (BSK) ŞARTNAME SINIR DEĞERLERİ ARASINDA KALAN ÜRETİM HATALARININ KARIŞIM PERFORMANSINA ETKİSİ

Zeynel DELEN

Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi

Tez Danışmanı: Doç.Dr. Halit ÖZEN

Nisan 2014, 80 sayfa

Sıcak asfalt karışımları agrega ve bağlayıcının sabit tesislerde karıştırılması ile oluşturulmaktadır. Karışım performansı, agreganın tipi, gradasyonu, bağlayıcı tipi ve miktarı gibi parametrelere bağlı olarak değişmektedir. Bu parametrelerin değişmesiyle beraber karışımın performansı değişmektedir.

Bu çalışmada karışıma giren agrega ve bağlayıcının gerek gradasyon gerekse miktar olarak şartnamenin öngördüğü sınır değerler arasında değişmesiyle performansın değişimi arasındaki ilişki incelenmiştir. Bu amaçla hazırlanan karışımlara Marshall Stabilitesi, Dolaylı Çekme Mukavemeti deneyleri uygulanmış ve ayrıca hazırlanan numuneler koşullandırılarak, koşullandırma sonrasında numunelere aynı deneyler tekrar uygulanmıştır. Bundan amaç karışımın şartname sınır değerlerinin değişiminin koşullandırma sonrasındaki durumunu ortaya çıkarmaktır.

Bu amaçla, 78 adet Marshall Numunesi hazırlanmıştır. Çalışma neticesinde, gradasyonun ve bitüm muhtevasının değişimiyle karışım özelliklerinin de değişimlerin olduğu gözlenmiştir. Söz konusu değişimlerin şartnamenin istemiş olduğu stabilite değerinin üzerinde olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bitümlü Sıcak Karışımlar, Üretim Hataları, Karışım Performansına Etkisi

ABSTRACT

THE PRODUCTION ERRORS BETWEEN HOT BITUMEN MIXTURES(HBM) AND SPECIFICATION BOUNDARY VALUES WHICH AFFECTS ON MIXTURE PERFORMANCE

Zeynel DELEN

Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi

Thesis advisor : Associate Prof. Halit ÖZEN

April 2014, 80 pages

Hot asphalt mixtures are produced by mixing with aggregate and binder at fixed plants Mixture performance can change by the parameters which depends on aggregate type, gradation, type of binder and amount By changing these parameters, the performance of the mixture changes

In this article, the relation between agregate and binder is surveyed which are changed the gradation and amount by the specification provide between limit quantities occurs performance change For this purpose to the prepared mixtures which were applied Marshall stability, indirect tensile strength test and also samples were conditioned for re-applied the same experiments The aim of this is finding out the condition of the mixture of changes in specification limits is to reveal the state during conditioning

For this purpose, 78 marshall samples are prepared Based on the results, by changing the gradation and bitumen content of the mixture has been observed that variations in properties The result of such changes, it was found out that higher than the stability value which the specification needs.

Keywords: Bitumen Hot Mixtures, Production Errors, Effect On The Performance Of The Mixture

İÇİNDEKİLER

TABLolar	ix
ŞEKİLLER	x
SEMBOLLER	xi
1. GİRİŞ	1
2. ÇALIŞMADA İZLENEN YÖNTEM	2
3. KARAYOLU ESNEK ÜSTYAPISINDA KULLANILAN MALZEMELER VE UYGULANAN DENEYLER	4
3.1 AGREGALAR	4
3.1.1 Agregatipleri	4
3.1.2 Agregatgradasyonu	4
3.1.2.1 Gradasyon tipleri	4
3.1.3 Bitümlü kaplamalar yönünden agregat	6
3.1.4 Agregalara uygulanan deneyler	7
3.1.4.1 Elek analizi	7
3.1.4.2 Aşınma (Los Angeles) deneyi	8
3.1.4.3 Hava tesirlerine karşı dayanıklılık (dona dayanım) deneyi	10
3.1.4.4 Cilalanma deneyi	12
3.1.4.5 Su etkilerine karşı dayanıklılık (Nicholson yöntemi) deneyi	14
3.1.4.6 Yassılık indeksi deneyi	15
3.1.4.7 Birim hacim ağırlık deneyi	16
3.1.4.8 Özgül ağırlık ve su emme (absorbsiyon) deneyi	17
3.1.4.8.1 İnce agregat için özgül ağırlık ve su emme deneyi	17
3.1.4.8.2 Kaba agregat için özgül ağırlık ve su emme deneyi	19
3.2 YOL MALZEMESİ OLARAK BİTÜMLÜ BAĞLAYICILAR...	19
3.2.1 Bitümlü bağlayıcı tipleri	20
3.2.1.1 Asfalt	20
3.2.1.1.1 Asfalt çimentoları	21

3.2.1.1.2 Sıvı petrol asfaltları	22
3.2.1.1.3 Asfalt emülsiyonları	22
3.2.1.2 Katran	23
3.2.2 Bitümlü bağlayıcılara uygulanan deneyler	23
3.2.2.1 Penetrasyon deneyi	23
3.2.2.2 Düktilite deneyi	25
3.2.2.3 Yumuşama noktası deneyi	27
3.2.2.4 Viskozite deneyi	29
3.2.2.5 Parlama ve yanma noktası deneyi	30
3.2.2.6 Dönel ince film halinde ısıtma kaybı deneyi.....	32
3.2.2.7 Özgül ağırlık deneyi	33
4. ÇALIŞMADA KULLANILAN MALZEMELER VE ÖZELLİKLERİ	37
4.1. AGREGA	37
4.1.1 Elek analizi ve gradasyon eğrileri.....	37
4.1.2 Kullanılan agreganın şartname değerleri ile karşılaştırılması.....	38
4.1.3 Agreganın karışım dizaynı	39
4.2 BİTÜM	41
5. ÇALIŞMADA UYGULANAN DENEYLER	43
5.1 SICAK ASFALT KARIŞIMLARINA UYGULANAN TEMEL DENEYLER	43
5.1.1 Marshall Stabilitesi Deneyi	43
5.1.2 Sıcak Karışımların Marshall Yöntemiyle Optimum Bitüm Muhtevasi Tespiti	46
5.1.2.1 Agreganın karışım tartım değerlerinin belirlenmesi.....	46
5.1.2.2 Farklı bitüm yüzdelerine göre Marshall briketlerinin hazırlanması	47
5.1.2.3 Briket değerlerinin ve optimum bitüm muhtevasının hesaplanması	48
5.1.4 Dolaylı çekme mukavemeti deneyi.....	51
5.1.5 Koşullu dolaylı çekme mukavemeti deneyi.....	53

6. ÇALIŞMADA UYGULANAN DENEYLERİN SONUÇLARI	54
6.1 SICAK KARIŞIMLARIN MARSHALL YÖNTEMİYLE OPTİMUM BİTÜM MUHTEVASI TESPİTİ	54
6.1.1 Agreganın karışımı tartım değerleri ve bitüm miktar tespiti.....	54
6.1.2 Briket değerlerinin belirlenmesi	56
6.1.3 Grafiklerin çizilmesi ve optimum bitüm muhtevası hesabı	58
6.2 ÇALIŞMADA UYGULANAN DİĞER DENEYLER	61
6.2.1 Numuneler için agreganın karışımı ve katkı maddeleri tartım değerleri tespiti	61
6.2.2 Marshall stabilite deneyi sonuçları	65
6.2.3 Dolaylı çekme mukavemeti deney sonuçları	66
6.2.4 Koşullu dolaylı çekme mukavemeti deney sonuçları	68
7. DEĞERLENDİRME.....	70
7.1 KOŞULLU VE KOŞULSUZ DOLAYLI ÇEKME MUKAVEMETİ SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI	70
7.2 SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	72
7.2.1 Marshall Stabilite sonuçlarının değerlendirilmesi	72
7.2.2 Akma sonuçlarının değerlendirilmesi.....	74
7.2.3 Koşullu ve koşulsuz dolaylı çekme mukavemeti sonuçlarının değerlendirilmesi.....	76
7.2.4 Dolaylı gerilme gücü oranı sonuçlarının değerlendirilmesi..	78
8. SONUÇ.....	80
KAYNAKÇA.....	81
ÖZGEÇMİŞ.....	82

TABLULAR

Tablo 3.1 Aşınma Deneyi İçin Gerekli Deney Numunesi Tipleri Ve Miktarları	9
Tablo 3.2 Aşınma Deneyi İçin Tabakalardaki Sınır Değerler	10
Tablo 3.3 Donma Deneyi Tane Boyutları Ve Ağırlıkları	11
Tablo 3.4 Dona Dayanım Deneyi İçin Tabakalardaki Sınır Değerler	12
Tablo 3.5 Yassılık İndeksi Tayini İçin Alınacak Minimum Numune Miktarları	15
Tablo 3.6 Bitümün Kimyasal Kompozisyonu	20
Tablo 3.7 Geçerlilik İçin Penetrasyon Değerleri Arasındaki Maksimum Farklar	25
Tablo 3.8 Parlama Noktası İçin Basınç Düzeltme Değerleri	32
Tablo 3.9 Yol Üst Yapılarında Kullanılan Asfalt Çimentolarının Özellikleri	36
Tablo 4.1 Elek Analizi.....	37
Tablo 4.2 Agregada Deney Sonuçlarının Şartname Değerleri İle Karşılaştırılması.....	38
Tablo 4.3 Tip-1 İçin Karışım Yüzdeleri	39
Tablo 4.4 Değişik Tipteki Malzemelerin Belirlenen Elek Analiz Sonuçları	39
Tablo 4.5 Hazırlanan Agregada Karışımı İçin Elek Analizi Ve Şartname Değerleri ...	40
Tablo 4.6 Çalışmada Kullanılan Bağlayıcının Karakteristiği	42
Tablo 6.1 Karışım İçin Gerekli Malzeme Miktarları	54
Tablo 6.2 Kümülatif Tartım İçin Hesaplanan Malzeme Miktarları	55
Tablo 6.3 Karışımlardaki Bitüm Oran Ve Miktarları	55
Tablo 6.4 Numunelerin Hesaplanan Teorik Ve Pratik Birim Hacim Ağırlıkları	56
Tablo 6.5 Numunelerin Boşluk Değerleri Ve Marshall Deney Sonuçları	57
Tablo 6.6 Normal Karışım İçin Gerekli Malzeme Miktarları	62
Tablo 6.7 Kümülatif Tartım İçin Hesaplanan Malzeme Miktarları (Normal Karışım)	62
Tablo 6.8 Kaba Karışım İçin Gerekli Malzeme Miktarları	63
Tablo 6.9 Kümülatif Tartım İçin Hesaplanan Malzeme Miktarları(Kaba Karışım) .	63
Tablo 6.10 İnce Karışım İçin Gerekli Malzeme Miktarları	64
Tablo 6.11 Kümülatif Tartım İçin Hesaplanan Malzeme Miktarları (İnce Karışım).	64
Tablo 6.12 Marshall Deney Sonuçları	65
Tablo 6.13 Dolaylı Çekme Mukavemeti Deney Sonuçları	67
Tablo 6.14 Koşullu Dolaylı Çekme Mukavemeti Deney Sonuçları	69
Tablo 7.1 Stabilite Oranlarının Ve Değişim Yüzdelerinin Belirlenmesi	71

ŞEKİLLER

Şekil 2.1 Çalışmanın Akış Şeması	3
Şekil 3.1 Agrega Gradasyonları İçin Elek Boyutları	5
Şekil 3.2 Agrega Gradasyon Tipleri Ve Dağılımları	6
Şekil 3.3 Elek Analizi Deneyi İçin Kullanılan Standart Elek Serisi.....	8
Şekil 3.4 Los Angeles Aşındırma Makinesi.....	9
Şekil 3.5 Cilalanma Deney Cihazı.....	13
Şekil 3.6 Kayma Direnci Ölçme Cihazı.....	14
Şekil 3.7 Yassılık İndeksi Eleği.....	16
Şekil 3.8 Özgül Ağırlık Tespiti İçin Kullanılan Piknometre.....	18
Şekil 3.9 Bitümlü Bağlayıcı İçin Genel Tipler	20
Şekil 3.10 Asfalt Emülsiyonları İçin Kesilme Mekanizması	22
Şekil 3.11 Penetrasyon Deney Düzeneği.....	24
Şekil 3.12 Düktilite Deney Düzeneğinde Kullanılan Pirinç Kalıplar.....	26
Şekil 3.13 Düktilite Deney Düzeneği Ve Deneyin Uygulanması.....	26
Şekil 3.14 Halka İçinde Hazırlanmış Olan Deney Numuneleri.....	27
Şekil 3.15 Yumuşama noktası için halka tutucu deney düzeneği.....	28
Şekil 3.16 Viskozite Deney Düzeneği.....	30
Şekil 3.17 Cleveland Açık Kap Cihazı.....	31
Şekil 3.18 Dönel İnce Film Halinde Isıtma Deney Aleti.....	33
Şekil 3.19 Bağlayıcı Özgül Ağırlığının Piknometre İle Tespiti.....	34
Şekil 4.1 Agrega Karışımı İçin Gradasyon Eğrisi Ve Şartname Eğrileri İle Kıyaslama.....	40
Şekil 4.2 Çalışmada Kullanılan Ac 50/70 Bağlayıcı.....	41
Şekil 5.1 Marshall Numune Kalıpları.....	44
Şekil 5.2 Marshall Tokmağı.....	44
Şekil 5.3 Marshall Yükleme Cihazı.....	45
Şekil 5.4 Marshall Numunelerinin Su Banyosunda Bekletilmesi.....	46
Şekil 5.5 Marshall Briketleri İçin Hazırlanan 1150 Gramlık Agrega Karışımları...	47
Şekil 5.6 Değişik Bitüm Yüzdelerine Göre Karışımların Hazırlanması.....	48
Şekil 5.7 Briketlerin Yükseklik Ölçümü, Havada Ve Suda Tartımları.....	49

Şekil 5.8 Marshall Yöntemi Bitüm Muhtevası İle Karışım Özellikleri İlişkisi	51
Şekil 5.9 Akma Ve Bitüm Muhtevası İlişkisi	51
Şekil 5.10 Dolaylı Çekme Mukavemeti Deneyinin Uygulandığı Marshall Numunesi.....	52
Şekil 6.1 Bitüm Yüzdesi - Pratik Özgül Ağırlık Değişimi	58
Şekil 6.2 Bitüm Yüzdesi - Stabilite Değişimi	59
Şekil 6.3 Bitüm Yüzdesi - Asfaltla Dolu Boşluk Yüzdesi Değişimi	59
Şekil 6.4 Bitüm Yüzdesi - Boşluk Yüzdesi Değişimi	60
Şekil 6.5 Bitüm Yüzdesi - Akma Değerleri Değişimi	60
Şekil 6.6 Bitüm Yüzdesi - Agrega Arası Boşluk Yüzdesi Değişimi.....	61
Şekil 7.1 Gradasyon farkına bağlı Marshall Stabilite Değişimi	72
Şekil 7.2 Bağlayıcı miktarına bağlı Marshall Stabilite Değişimi	73
Şekil 7.3 Gradasyon farkına bağlı Akma Değişimi	74
Şekil 7.4 Bağlayıcı miktarına bağlı Akma Değişimi	75
Şekil 7.5 Gradasyon farkına bağlı Dolaylı Çekme Mukavemeti Değişimi	76
Şekil 7.6 Bağlayıcı miktarına bağlı Dolaylı Çekme Mukavemeti Değişimi	77
Şekil 7.7 Gradasyon farkına bağlı Dolaylı Gerilme Gücü Oranı Değişimi.....	78
Şekil 7.8 Bağlayıcı miktarına bağlı Dolaylı Gerilme Gücü Oranı Değişimi.....	79

SEMBOLLER

Karışım agregasının özgül ağırlığı (gr/cm^3)	:	δ_{agrega}
İri agreganın özgül ağırlığı (gr/cm^3)	:	δ_{iri}
İnce agreganın özgül ağırlığı (gr/cm^3)	:	δ_{ince}
Fillerin özgül ağırlığı (gr/cm^3)	:	δ_{filler}
Bitümün özgül ağırlığı (gr/cm^3)	:	$\delta_{\text{bitüm}}$
Karışım agregasındaki iri agrega miktarı (gram)	:	P_{iri}
Karışım agregasındaki ince agrega miktarı (gram)	:	P_{ince}
Karışım agregasındaki filler miktarı (gram)	:	P_{filler}
Numunedeki agrega miktarı (gram)	:	P_{agrega}
Numunedeki bitüm miktarı (gram)	:	$P_{\text{bitüm}}$
Teorik birim hacim ağırlık (gr/cm^3)	:	D
Pratik (ölçülen) birim hacim ağırlık (gr/cm^3)	:	d
Numunenin havadaki ağırlığı (gram)	:	W_{hava}
Numunenin sudaki ağırlığı (gram)	:	W_{su}
Numunedeki bitüm hacmi (cm^3)	:	V_{b}
Asfaltla dolu boşluk yüzdesi (%)	:	VFA
Boşluk hacmi (%)	:	V

1.GİRİŞ

Sıcak asfalt karışımının agrega ve bağlayıcının sabit tesislerde karıştırılması ile oluşturulmaktadır. Karışım performansı, farklı gradasyondaki agregalar ile belirli oranlardaki bağlayıcının karıştırılmasıyla belirlenir.

Bu çalışmanın amacı, Bitümlü Sıcak Karışımların (BSK) şartname sınır değerleri arasında kalan üretim hatalarının karışım performansına etkisinin araştırılması ve karışımların Marshall Stabilesi, Dolaylı Çekme Mukavemeti üzerine olan etkisinin araştırılmasıdır.

Çalışmada, Ömerli bölgesi Taşocaklarından temin edilen agrega ile Tüpraş İzmit Rafinerisinden getirilen bağlayıcı malzeme (bitüm) kullanılmıştır.

2. ÇALIŞMADA İZLENEN YÖNTEM

Bu çalışmanın amacı, Bitümlü Sıcak Karışımların (BSK) şartname sınır değerleri arasında kalan üretim hatalarının karışım performansına etkisinin araştırılması ve karışımların Marshall Stabilitesi, Dolaylı Çekme Mukavemeti üzerine olan etkisi araştırılmıştır.

Bu kapsamda öncelikli olarak Marshall tasarım yöntemiyle sıcak asfalt karışımının optimum bitüm muhtevası belirlenmiştir.

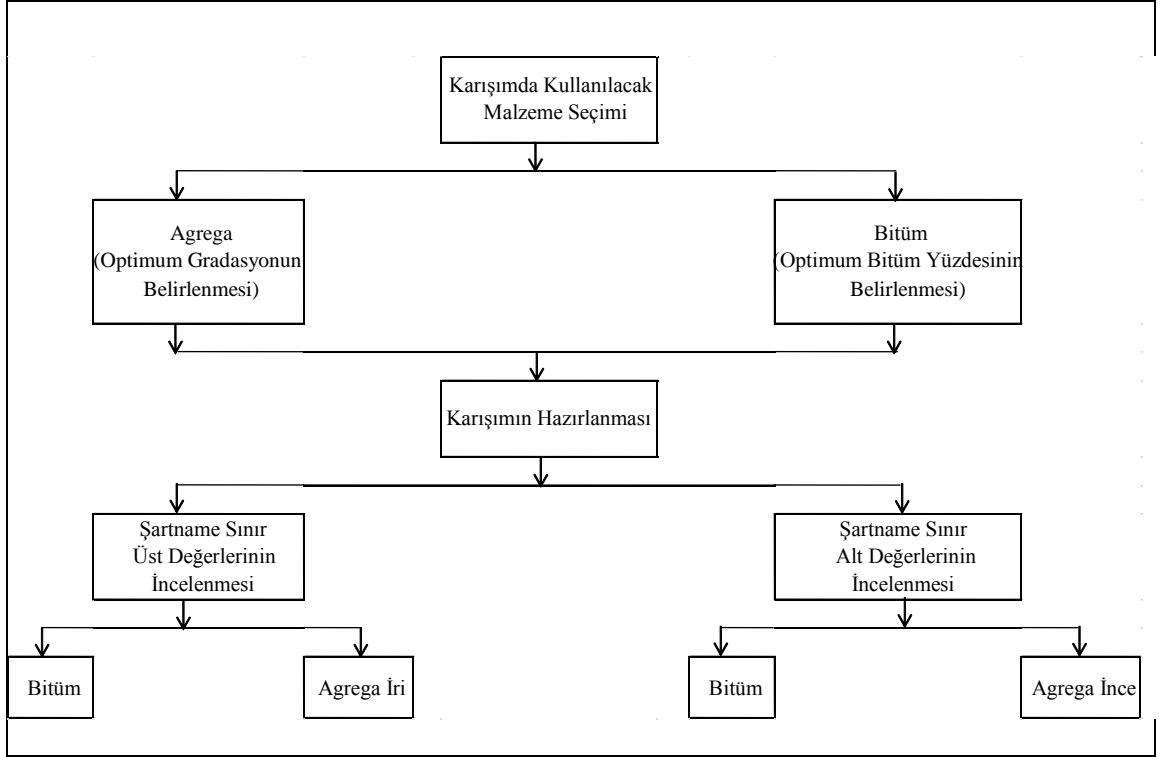
Optimum bitüm muhtevasında hazırlanan numuneler için şartname sınır değerlerinde karışımlar hazırlanmıştır. Agrega gradasyonu sınır değerleri için agreganın iş yeri formülü alt (kaba), üst (ince) gradasyonda agrega karışımları hazırlanmıştır. Ayrıca optimumdaki gradasyonda agrega karışımlarına şartname sınırları olan KTŞ 2006; \pm yüzde 0,3 ve KTŞ 2013 \pm yüzde 0,2 bitüm ilave edilerek Marshall briketleri üretilmiştir.

Üretilen karışımların performanslarını belirlemek amacıyla da;

- I. Marshall stabilite deneyi
- II. Dolaylı çekme mukavemeti deneyi
- III. Koşullu Dolaylı çekme mukavemeti deneyi

Uygulanmıştır. Söz konusu çalışmaya ilişkin akış şeması Şekil 2.1’de gösterilmiştir.

Şekil 2.1 Çalışmanın akış şeması



3. KARAYOLU ESNEK ÜSTYAPISINDA KULLANILAN MALZEMELER VE UYGULANAN DENEYLER

3.1 AGREGALAR

Üstyapının gerek ağırlıkça gerek hacimce önemli bir lüsmüm oluşturan agregaya yol yapımında kullanılan ana malzeme olmakla birlikte yola etkiyen yüklerin meydana getirdiği gerilmelerin taşınmasında önemli rol almaktadır. Bu yüzden yolların projelendirilmesi sırasında istenilen verimin elde edilmesi için yol mühendislerinin çeşitli tipteki agregaların karakteristiklerini iyi bilmeleri gerekmektedir.

3.1.1 Agregaya Tipleri

Kum, kırılmış çakıl, kırılmamış çakıl, kırılmış taş, cüruf, taş tozu gibi beton, bitümlü kaplama, granüler temel ve alt temel yapımında kullanılan sert ve sağlam doğal mineral bileşiklere mineral agregaya denir . Mineral agregaya içinde standart eleklerden 4,75 mm. açıklığa karşılık gelen no:4 elek üzerinde kalan kısmına kaba, 4,75 mm. ile 0,075 mm. elek açıklığına karşılık gelen kısma ince, 0,075 mm. boyutundaki no:200 elekten geçen agregaya ise filler denir.

3.1.2 Agregaya Gradasyonu

Agregaya karışımındaki agregaya danelerinin boyutları dikkate alınarak ve toplam ağırlığın yüzdesi olarak ifade edilen dane boyutu dağılımına gradasyon denir.

3.1.2.1 Gradasyon tipleri

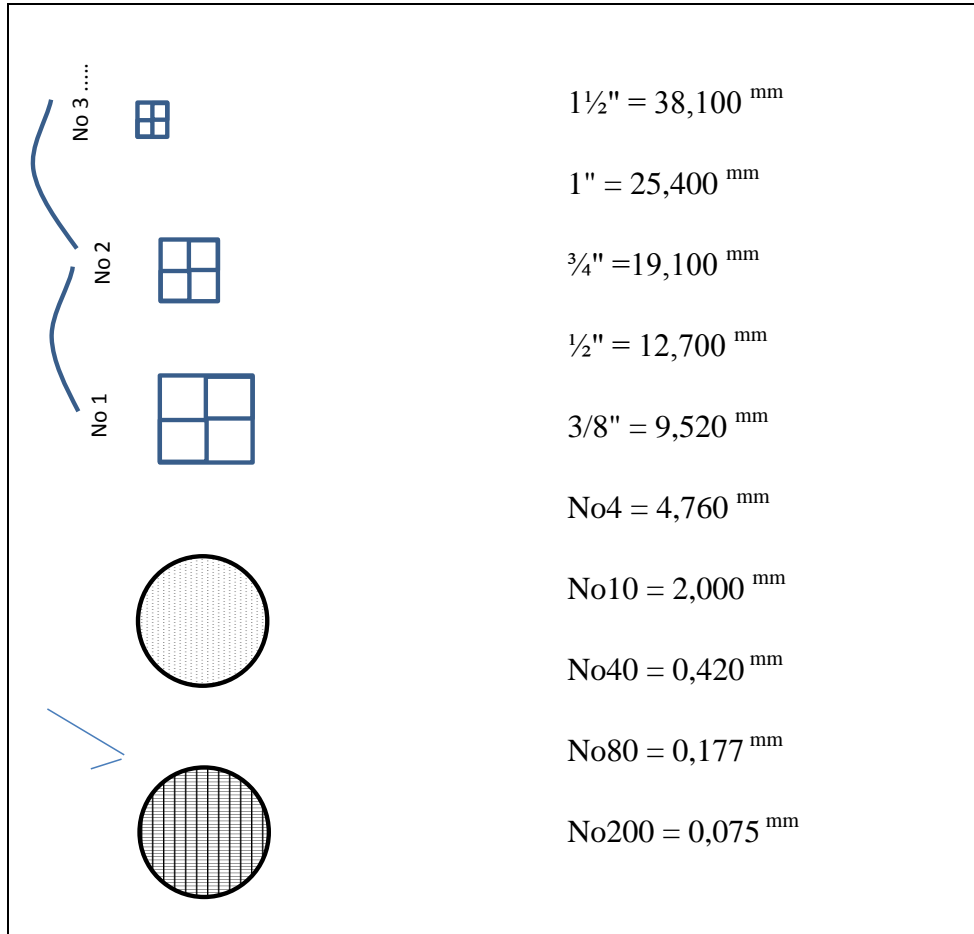
Gradasyonlarında filler veya ince agregaya olmayan veya çok az olan agregaya karışımı açık gradasyonlu karışımlardır. Bu tür agregaya karışımı, sıkıştırıldıklarında çok yüksek boşluk içerir.

Yoğun gradasyonlu agregalar ise bitümlü karışımlarda kullanıldığı zaman düşük boşluk ve yüksek stabilite veren, kaba agregadan fillere kadar her boyuttan yeterli malzeme bulduracak şekilde gradasyona sahip agrega karışımlarıdır.

Bütün agrega danelerinin boyutlarının birbirine çok yakın olduğu agrega karışımları ise tek boyutlu gradasyona sahip karışımlar olarak nitelendirilir.

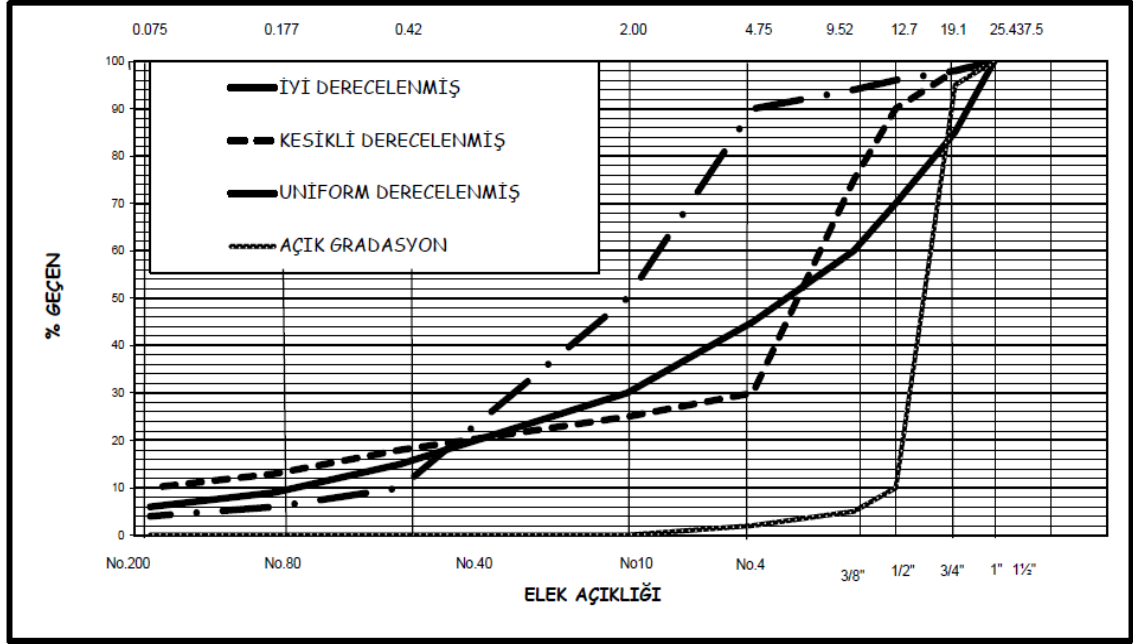
Son olarak da gradasyonunda ara boyutlardaki agrega fraksiyonlarının bulunmadığı veya çok az olduğu karışımlara ise kesikli gradasyona sahip karışımlar denir.

Şekil 3.1 Agrega gradasyonları için elek boyutları



Bitümlü sıcak karışımın yapımında kullanılacak agregaların seçiminde, malzemenin elde edilebilirliği, maliyeti ve kalitesi dikkate alınır. Agregaların bitümlü kaplama yapımı için uygun olup olmadığı ise fiziksel özellikler ve bir dizi deneysel yöntemle çeşitli özelliklerinin ve karakteristiklerinin ortaya konması neticesinde tespit edilir.

Şekil 3.2 Agregada gradasyon tipleri ve dağılımları



Kaynak: ORHAN, F., 2012. Bitümlü Karışımlar Laboratuvarı Çalışmaları [online]. www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Baskanliklar/BaskanliklarTeknikArastirma.html. [ziyaret tarihi 10.12.2013].

3.1.3 Bitümlü Kaplamalar Yönünden Agregada

Bitümlü kaplamalarda kullanılacak agreganın kökeni ne olursa olsun, her kaplama tipi için şartnamelerde verilen fiziksel özellikleri sağlaması gerekir. Ancak aranan bütün koşulları sağlayan bir agregada karayolu üstyapısında kullanılabilir. Tanıtmış olduğumuz üç tip malzemenin her biri bitümlü karışımın ayrı ayrı özelliklerini kontrol eder. Bitümlü karışımlardaki iri agregada yüzdesi 40-50' ye çıkarılırsa, karışımın mekanik direncini arttıran bir iskelet oluşur ve karışım direncinde önemli bir artış hissedilir. İnce agregada ise iri agreganın oluşturduğu iskeletin boşluklarını doldurarak daha yoğun bir karışım elde edilmesini sağlar. Bu arada ince agreganın satıh dokusu da önemlidir ki pürüzsüz bir çakıl kumu daha düşük deformasyon direnci sağlar. Mineral filler toplamı ise agregada karışımının çok düşük bir yüzdesini oluşturmasına karşın, karışımın özelliklerinin düzenlenmesini sağlar. Bildiğimiz gibi mineral filler 0,075 mm' lik elekten geçen agregada malzemesidir. Ancak bu koşulu sağlayan bütün malzemeler filler görevini görmez. Mineral filler düzgün bir granülometrik bileşime sahip olmalıdır.

3.1.4 Agregalara Uygulanan Deneyler

Agregaların, karayolu üstyapısında kullanılabilmesi için, aşınmaya ve donmaya karşı dirençlerinin, özgül ağırlık, su absorpsiyonu, soyulma değerlerinin, elek analizleri ve dane şekillerinin, sürtünme etkileriyle oluşacak cilalanmaya karşı dirençlerinin bilinmesi gerekmektedir. Ancak bu özelliklerin tamamının üstyapı tabakalarının tümünde bilinmesine de gerek yoktur. Örneğin, temel tabakasında kullanılacak bir agrega numunesi için cilalanma deneyi uygulanmaz.

Birçok ülkede kullanılan fiziksel deneyler, yol agregalarının özellikleri hakkında sayısal bilgiler vermektedir. Yukarıda adı geçen tüm deneylerin güvenilir olması için denenecek numunenin özenli bir şekilde alınmış temsili numune olması gerekir. Aksi durumda, o numune için yanlış değerler bulunacaktır.

3.1.4.1 Elek Analizi

Bu deney yöntemi, standartlarda nitelikleri verilmiş olan elekleri kullanarak agreganın dane büyüklüğünün dağılımının saptanmasını amaçlar.

Eleme işlemi elle ya da eleme makinesiyle yapılır. Elek serisi içindeki elek sayısı ve numaraları, malzeme hakkında yeterli bilgiyi verecek sayıda olmalıdır. Örneğin bir bitümlü kaplamada kullanılacak agreganın elek analizi için genellikle 25,00 mm.'den, 0,074 mm.'ye yani 200 nolu eleğe kadar olan elekler kullanılır. Eleklerde eleme sathı kare gözlü tel elek kafeslerdir.

**Şekil 3.3 Elek analizi deneyi için
kullanılan standart elek serisi**



Elek analizine girecek numune miktarı, kullanılacak en büyük tane boyutuna göre seçilir. Numuneler elekler üzerinde en az 2 dakika sarsıldıktan sonra her bir elek üzerinde kalan ve eleği geçen agrega ağırlıkları yüzde 0,1 duyarlılıkla saptanır. Bu ağırlıkların toplamı ile yükleme miktarı arasında yüzde 2,0'dan fazla fark oluşur ise deney tekrarlanır. Elek analizi deneyinde, eleğin fazla yüklenmesi önemli yanlışlara neden olduğu için elekler üzerindeki numune ağırlıkları ve tane boyutları sınırlandırılmıştır. Deney, kullanılan elek serisi içindeki her bir elekten geçen miktarın, toplam numune ağırlığının yüzdesi olarak hesaplanıp grafik olarak gösterilmesiyle tamamlanır.

3.1.4.2 Aşınma (Los Angeles) Deneyi

Bu deney, agregaların durabilitesini yani aşınmaya karşı dayanıklılığını gösterir. Bu işlem, Los Angeles aşınma makinesi ile yapılır. Alet iki ucu kapalı iç çapı 710 mm. ve iç uzunluğu 510 mm. olan içi boş çelik bir silindirden oluşur. Aşındırma sürecini kısaltmak için 46,8 mm. çapında ve 390-444 gram ağırlığında dökme demir ya da çelik bilyeler kullanılır.

Şekil 3.4 Los Angeles aşındırma makinesi



Tablo 3.1 Aşındırma deneyi için gerekli deney numunesi tipleri ve miktarları

Geçtiği Elek	Üzerinde Kaldığı Elek	Granülometri Sınıfı			
		A	B	C	D
37,5 mm	25 mm	1250			
25 mm	19 mm	1250			
19 mm	12,5 mm	1250	2500		
12,5 mm	9,5 mm	1250	2500		
9,5 mm	6,3 mm			2500	
6,3 mm	4,76 mm			2500	
4,76 mm	2,36 mm				5000
TOPLAM		5000	5000	5000	5000
KÜRE SAYISI		12	11	8	6

Hazırlanan deney numunesi ve aşındırıcı yükler aşındırma makinesine konur ve makinenin ağzı sıkıca kapatılır. Makine dakikada 30-33 devir hızla döndürülerek yaklaşık 500 devir sonrası makineden çıkarılır. 12 nolu elekten geçirilir. Elek üstünde

kalan kısım yıkanır ve 110 derecede değişmez ağırlığa kadar kurutulur ve tartılır. Numunenin ilk ağırlığı cinsinden bulunan yüzde, malzemenin aşınma kaybıdır.

Tablo 3.2 Aşınma deneyi için tabakalardaki sınır değerler

Tabaka veya Kaplama Türü	Maksimum Aşınma Sınır Değeri (%)
Alt Temel	50
Granüler Temel	40
Bitümlü Temel	35
Binder Tabakası	35
Aşınma Tabakası	30
Sathi Kaplama	35

3.1.4.3 Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık (Dona Dayanım) Deneyi

Agregaların hava etkileriyle donarak ufalanmaya karşı olan dirençleri hakkında laboratuarda kısa süre içinde karar verebilmek amacıyla uygulanan hızlandırılmış bir deneydir. Bu deneyde doygun halde sodyum sülfat ya da magnezyum sülfat çözeltisi kullanılır. Çözeltinin hazırlanması için saf ve susuz sodyum sülfat tuzu 25-30 °C derecede su içinde iyice karıştırılarak yavaş yavaş çözülür. Her litre su için en az 250 gram sodyum sülfat tuzu ya da en az 750 gram kristalize sodyum sülfat tuzu katılır. Çözelti aynı şekilde magnezyum sülfat tuzu veya kristalize hali ile de hazırlanabilir.

Tablo 3.3 Donma deneyi tane boyutları ve ağırlıkları

Tane Boyutu (mm)		Ağırlık (gr)
İRİ AGREGA	63,00-50,00	3000
	50,00-37,50	2000
	37,50-25,00	1000
	25,00-19,00	500
	19,00-12,50	630
	12,50-9,50	330
	9,50-4,75	300
İNCE AGREGA	4,75-2,35	100
	2,35-1,10	100
	1,80-600 mm	100
	600-300 mm	100

Şartname sınırları içinde kalacak şekilde elenmiş ve 110 derecede kurutulmuş olan agregalar belirli miktarlarda tel sepetler ve elekler üstüne konularak, üzeri en az 2 cm. Kaplanacak biçimde sodyum sülfat ya da magnezyum sülfat çözeltisi içine daldırılır ve kabın üzeri kapatılır. Sıcaklığı 21 derece olan ortamda 16-18 saat bekletilir. Daldırma süresi sonunda agrega numunesi çözeltiden çıkarılır ve 5 dakika süzmeye bırakılır ve 110 derece etüvde değişmez ağırlığa kadar kurutulur. Etüvden çıkarıldıktan sonra oda sıcaklığına gelinceye kadar soğutulur. Anlatmış olduğumuz işlemler zinciri 5 kez tekrarlanır. En son tekrardan sonra etüvden çıkarılan numune soğutulup, çözelti tamamen temizleninceye kadar suyla yıkanır. Daha sonra tekrar değişmez ağırlığa kadar etüvde kurutulup tartılır. Deney sonrasında her elek üzerinde kalan numune ağırlığı ilk numune ağırlığı arasındaki fark donma kaybıdır.

Tespit edilen kaybın ilk ağırlığa göre yüzdesi ise donma kaybı yüzdesidir. Şartnamede belirtilen tane boyutlarına göre bulunan donma kayıpları o agrega için uygulanacak özgün granülometriye çevrilir.

Tablo 3.4 Dona dayanım deneyi için tabakalardaki sınır değerler

Tabaka veya Kaplama Türü	Maksimum Kayıp Sınır Değeri (%)
Alt Temel	25
Granüler Temel	15
Bitümlü Temel	12
Binder Tabakası	10
Aşınma Tabakası	10
Sathi Kaplama	12

3.1.4.4 Cilalanma Deneyi

Bu deneyin amacı, çeşitli yol agregalarının trafik altındaki sürtünme tesiriyle ne dereceye kadar cilalanacaklarının laboratuarda kısa bir zamanda saptamaktır. Agreganın cilalanma değeriyle kaymaya karşı olan direnci arasındaki ilişki, trafik koşulları, kaplamanın tipi gibi unsurlara bağlı olarak değişir.

Bu deneyde hızlandırılmış bir cilalanma makinesiyle kayma direncini ölçme cihazı kullanılır. Böylece yoldaki koşullara benzeyen, ancak hızlandırılmış bir cilalanma elde edilir. Hızlandırılmış cilalanma makinesi, çevresinde 14 adet numunenin yerleşebileceği, dakikada 315-325 devir hızla dönen 406 mm. çapında bir demir tekerlekle, numunelerin üzerinde dönen 203 mm. çapında, 50 mm. genişliğinde ve numunelerin yerleştiği demir tekerleğe 40 kg yük uygulayan bir lastik tekerlekten oluşur.

Şekil 3.5 Cilalanma deney cihazı



Kayma direncini ölçme cihazı ise bir ucunda ağırlık olan bir pandül, bunun altında numuneye sürtünen ve belirli özellikleri bulunan lastik bir pabuç ve göstergeden oluşur. Deney için ayrı agrega gruplarının her birinden 4 adet alınarak toplam 12 numune hazırlanır. Deney numunelerinin hazırlanmasında kullanılacak agreganın tamamı 9,5 mm. elekten geçip 8 mm. elek üzerinde kalmalı, içinde yassı ve uzun daneler bulunmamalıdır. Agregalar, birer birer aralarında boşluk kalmayacak şekilde yan yana tek sıra dizilir. Bir numunedeki agrega sayısı 35-50 arasında olmalı ve aralarındaki boşluk çok ince kumla doldurulmalıdır.

Hazırlanan numuneler belirli bir kür uygulandıktan sonra üzerlerine zımpara tozu ve su akıtılarak hızlandırılmış cilalanma makinesinde 6 saat süreyle cilalanmaya uğratılır. Her numunenin deney sonucunda eriştiği cilalanma değeri, kayma direncini ölçme cihazı göstergesinden okunur. Bu işlem bir numune için 5 defa tekrarlanır ve son üç okumanın ortalaması en yakın tamsayıya yuvarlanarak alınır.

Her bir agrega grubu için hazırlanan dört numunenin değerlerinin sıralaması 5 birimden daha fazla ise deney tekrarlanır.

Şekil 3.6 Kayma direnci ölçme cihazı



3.1.4.5 Soyulma Mukavemeti Deneyi

Bir asfalt kaplamanın ömrü geniş ölçüde agreganın suyun etkisine karşı yapışma kabiliyetine bağlıdır. Soyulma olayı, suyun ve trafiğin bir arada etkimesiyle bağlayıcı maddenin agrega üzerinden ayrılması demektir. Boyutu 10-6,3 mm arasında olan 600 gram kırılmış agrega numunesi 6,3 mm'lik elekten yıkanarak elendikten sonra 110 ± 5 derecede etüvde sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulur. Yıkanmış kurumuş malzemeden 150 adet agrega numunesi bir kapta, yeterli miktarda bitümlü bağlayıcı ayrı bir metal kapta olmak üzere, karıştırma kabı ile birlikte TS EN 12697-35'te verilen sıcaklıklara uygun olarak B 50/70 için 150 ± 5 derece sıcaklıkta ısıtılır. Isıtılmış karıştırma kabının içerisine agrega numunesi konulduktan sonra agreganın ağırlıkça yüzde 5'ine eşit miktarda ısıtılmış bitüm numunesi agreganın üzerine dökülür. Agrega ve bitüm numunesi karıştırma kabında agregalar bitüm ile tamamen kaplanıncaya kadar karıştırılır. Karışım numunesi yeterli çaptaki düz tabanlı iki petri kabına eşit miktarda aktarılır ve kaplanmış mıcırilar birbirinden tamamen ayrı olacak şekilde cam bagetle çok hafif darbelerle düzeltilerek yerleştirilir. Petri kapları, $1 \text{ saat} \pm 5 \text{ dakika}$ laboratuvar sıcaklığında bekletildikten sonra, saf su ile dolu derin bir tepsi içerisine batacak ve petri

kaplarının üzerinde en az 3 cm su olacak şekilde yerleştirilir. 24 saat süreyle bekletilmek üzere 6 derecelik etüve konur. Bu sürenin sonunda petri kabı dışarıya alınır, suyu değiştirilir yandan gelen bir ışık altında incelenir. Deney sonucunda tecrübe ve gözlemlerle soyulmamış yüzeyin, bütün yüzeye oranı, TS EN 12697-11'e uygun olarak belirlenerek en yakın yüzde 5'e yuvarlanır ve soyulmaya karşı dayanıklılık olarak ifade edilir.

3.1.4.6 Yassılık İndeksi Deneyi

Yassı agrega tanelerinin en küçük boyutunun anma boyutuna oranının 0,6'dan küçük olması şeklinde tanımlanır. İki elek arasında kalan tane için bu iki elek boyunun aritmetik ortalaması anma boyutu olarak kabul edilir. Bir agrega numunesinin yassılık indeksi, yassı tanelerin ağırlığının tüm numune ağırlığına oranı olarak bilinir. Bu deney, 63,50 mm.'lik elek üzerinde kalan ve 6,35 mm.'lik elekten geçen malzemeler için uygulanmaz.

Tablo 3.5 Yassılık indeksi tayini için alınacak minimum numune miktarları

Maksimum Tane Boyutu (mm)	Maksimum Miktar (Kg)
63,50	25,00
50,00	20,00
37,50	15,00
25,00	10,00
12,50	5,00
9,50	2,50
6,35	2,00

Alınan numunelerin elek analizi yapılır ve her elek üzerinde kalan malzeme tartılır. Tartılan malzemeler ağırlıklarına göre her elek arasında kalan yüzde bulunur. Yassılık indeksi aleti yardımı her elek arasında kalan malzeme teker teker alet üzerindeki ve ilgili tane çapına ait deliklerden geçip geçmediği kontrol edilir. Bu işlemden sonra tane

kalınlığını ölçme aletinden geçen bütün malzeme tartılır. ilk malzeme miktarına oranlanarak yassılık indeksi değeri tespit edilmiş olur.

Şekil 3.7 Yassılık indeksi eleği



3.1.4.7 Birim Hacim Ağırlık Deneyi

Bu deney ile agregaların sıkışık ya da gevşek birim ağırlıklarını belirleyebilmek için yapılır. Sıkışık birim hacim ağırlık ve gevşek birim hacim ağırlık deneylerinde kullanılacak numune miktarı en büyük tane boyutuna bağlı olarak değişir. Sıkışık birim hacim ağırlık tespiti için belli bir ölçü kabı 1/3 yüksekliğine kadar birim ağırlığı istenen malzeme ile doldurulur. Sathı sert olmamak şartıyla 25 kez şişlenir. Ölçü kabı ikinci kez 2/3 yüksekliğine kadar doldurulur ve aynı işlem yapılır. Son olarak ölçü kabı tamamen doldurulur ve aynı biçimde şişlenip üst yüzü düzeltilerek tartılır. Tartım değerinden ölçü kabı ağırlığı çıkarılır ve net agreg ağırlığı bulunur. Bu rakam ölçü kabı hacmine bölüldüğü zaman birim ağırlık elde edilmiş olur.

Aynı deney içeriğinde gevşek birim ağırlık saptaması yapmak istediğimiz zaman malzeme, ölçü kabına üst kenarından 5 cm.'den fazla yükseklikte olmamak şartıyla kürekle doldurulur. Agreg a sathı, elle tesviye edilir. Sıkışık birim hacim ağırlık için yapılan hesabın aynısı uygulanır. Deney en az iki kez yinelenir. İki deney sonucu

arasındaki farkın yüzde 1,0'dan az olmasına dikkat edilir. Birim hacim ağırlık deneyi, hacmi bilinen ve kolay deforme olmayan herhangi bir kap yardımıyla da yapılabilir.

3.1.4.8 Özgül Ağırlık Ve Su Emme (Absorbsiyon) Deneyi

Özgül ağırlık, belli hacimdeki numune ağırlığının aynı hacimdeki +4 derecedeki suyun ağırlığa oranıdır. Bu deneyin genel amacı agreganın hacim-ağırlık ilişkilerini saptayabilmektir. Özgül ağırlık deneyleri ince ve iri agrega için ayrı ayrı yapılır.

3.1.4.8.1 İnce agrega için özgül ağırlık ve su emme deneyi

Yıkanmış ve kurutulmuş ince malzemeden yaklaşık 500 gram numune alınır, ince agrega özgül ağırlığı piknometresine konur ve piknometreyle birlikte tartılır. Daha sonra piknometre yarısına kadar damıtık suyla doldurulup 24 saat bekletilir. Bu süre sonunda vakum yardımı ile piknometre içindeki hava emilir. Üst kısımda tamamen berrak su oluşunca, piknometre taşınmaya kadar damıtık su ile doldurulur . Kapağı, hava kabarcığı kalmayacak biçimde kapatılır ve 25 derece su banyosunda 1-1,5 saat bekletilir. Piknometre havlu ile kurutulup 0,1 grama duyarlı terazide tartılır. Deney, iki numune üzerinde uygulanır ve sonuçların ortalaması alınır.

**Şekil 3.8 Özgül ağırlık tespiti için
kullanılan piknometre**



$$\text{Görünür Zahiri Özgül Ağırlık} = \frac{(C - A)}{(B - A) - (D - C)} \quad (3.1)$$

A: Piknometre boş ağırlığı (gram)

B: Piknometrenin suyla dolu ağırlığı (gram)

C : Piknometre içinde kuru numuneyle birlikte ağırlığı (gram)

D: İçinde numune bulunan piknometrenin, numune üzerinde kalan kısmı suyla doldurulduktan sonraki ağırlığı (gram)

İnce agreganın su emme yüzdesi, numunenin doymuş yüzey kuru durumundaki ağırlığıyla kuru ağırlığı arasındaki farkın numunenin kuru ağırlığına bölünmesiyle bulunur. Doymuş yüzey kuru hali gözle anlaşılmasından dolayı deneyi yapan kişinin tecrübesi ön plan çıkmaktadır. Doymuş yüzey kuru hali kesik koni yöntemi uygulanarak da tespit edilir. Kesik koni yönteminde ince agrega, konik kaba yerleştirilir ve 25 kez tokmaklanır. Kalıp, dik olarak kaldırıldığında nem fazlaysa ince agrega konik şeklini muhafaza eder. Bu durumda kurutma işlemi sürdürülür. Konikliğin serbestçe bozulması

agreganın doygun yüzey kuru hale geldiğini ifade eder ve tartıldığı zaman da doygun yüzey kuru ağırlık tespit edilir.

3.1.4.8.2 Kaba agrega için özgül ağırlık ve su emme deneyi

Malzemenin 4,00 mm.'lik elek üzerinde kalan kısmından en az 2 kg alınır ve iyice yıkanır. Numunenin etüvde kurutulmuş ağırlığı, doygun yüzey kuru durumdaki ağırlığı, sudaki ağırlığı saptanır. Gerekli hesaplamalar yapılarak istenen değerler tespit edilir.

$$\text{Kuru özgül ağırlık} = \frac{A}{B - C} \quad (3.2)$$

$$\text{Doygun yüzey özgül ağırlık} = \frac{B}{B - C} \quad (3.3)$$

$$\text{Zahiri görünür özgül ağırlık} = \frac{A}{A - C} \quad (3.4)$$

$$\text{Su emme yüzdesi} = \frac{B - A}{A} \quad (3.5)$$

A : Etüvde kurutulmuş ağırlık (gram)

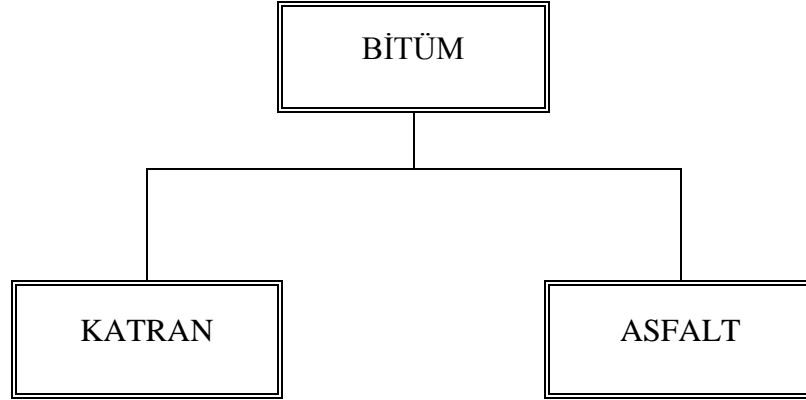
B : Doygun yüzey kuru durumundaki ağırlık (gram)

C : Sudaki ağırlık (gram)

3.2 YOL MALZEMESİ OLARAK BİTÜMLÜ BAĞLAYICILAR

Bitüm, doğal kökenli hidrokarbonların bir karışımı ya da projenik kökenli (doğal, ısı etkisiyle oluşan ergime sonucu meydana gelen) hidrokarbonların bir karışımı ya da bunların her ikisinin bir kombinasyonu olup, çok kez bunların gaz, sıvı, yan-kat ya da katı halde olabilen, metal dışı türevleriyle bir arada bulunan, yapıştırıcı özellikleri olan ve karbondisülfürde (CS₂) tamamen çözülen madde olarak tanımlanır.

Şeki1 3.9 Bitümlü bağlayıcı için genel tipler



Tablo 3.6 Bitümün kimyasal kompozisyonu

Element	Kütle Yoğunluk yüzde'si
Karbon	82-88
Hidrojen	8-11
Sülfür	0-6
Oksijen	0-1,5
Nitrojen	0-1

3.2.1 Bitümlü Bağlayıcı Tipleri

3.2.1.1 Asfalt

Koyu kahverengiden siyaha kadar değişen, kuvvetli bağlayıcı özelliği olan, kıvamlılık bakımından katı, yarı-katı ya da sıvı halde olabilen, doğal halde bulunan ya da ham petrolün arıtılmasıyla elde edilen ve başlıca hidrokarbonlardan oluşan bir maddedir. Doğal ve yapay tipleri mevcuttur.

Dogal asfaltlar genelde mineral maddelerle karışmış halde bulunurlar ve kullanılabilir hale getirmek için birtakım işlemlerden geçirmek gerekir. Göl asfaltı ve kaya asfaltı örnek olarak verilebilir.

Yapay asfaltlar ise ham petrolün arıtılmasından elde edilir. Damıtma kulelerinde kolay uçucu kısımlar üst kesimden çıkarlar ve soğutucularda yoğunlaştırılarak ayrılırlar. Hafif, orta ve ağır ürünler olarak sınıflandırıldığı ve ayrıldığı zaman kule dibinde biriken kalıntı maddeler de genel itibariyle asfaltı oluşturur.

3.2.1.1.1 Asfalt çimentoları

Kalıntı maddelerinin daha ileri damıtılmasından SC sınıfı yavaş kür olan yol yağları elde edilir ve geriye asfalt çimentosu kalır. Koşulların değiştirilmesiyle, istenilen penetrasyonda asfalt çimentosu elde edilir.

Yol üstyapısında kullanılan asfalt çimentoları, özellik ve kıvam bakımından doğrudan doğruya bitümlü kaplamalarda kullanılmak için hazırlanmış petrol kökenli asfaltlardır.

AC ile gösterilen asfalt çimentoları, kıvamlılığı gösteren ve 10-300 arasında değişen Penetrasyon derecelerine göre sınıflanır.

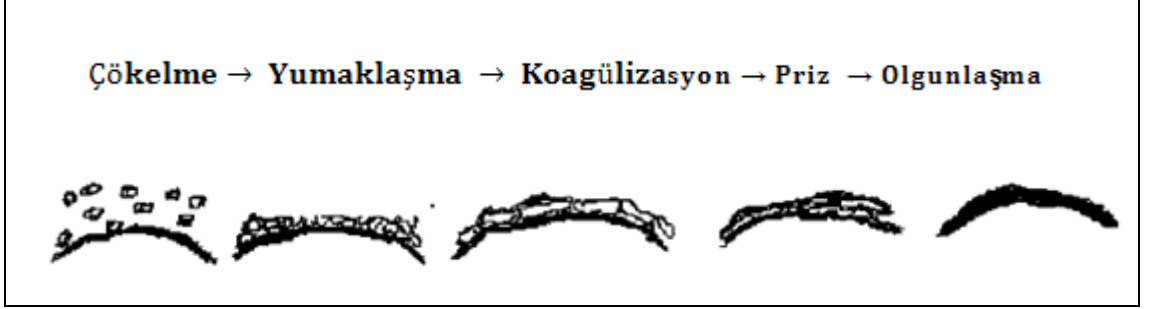
Asfalt emülsiyonları da emülgatör cinsine göre anyonik ya da katyonik asfalt emülsiyonları olarak ayrılırlar.

Bir asfalt emülsiyonu agregayla karıştırıldığı ya da bir yolun sathına püskürtüldüğü zaman emülsiyon kesilir, yani asfalt kürecikleri sıvı ortamdan ayrılarak agreganın üzerine yapışır. Serbest kalan su ise buharlaşır. Yolda kullanılan asfalt emülsiyonları da çabuk kesilen RS, orta hızda kesilen MS ve yavaş kesilen SS asfalt emülsiyonları olarak üç tipte bulunmaktadır.

Emülsiyonların kullanımı dünya genelinde son dönemler içinde artmaktadır. Ülkemizde ise emülsiyonun tüketimi istenilen düzeye ulaşmamıştır. Asfalt emülsiyonları belli başlı

olarak sathi kaplamalarda, karışım kaplamalarda, harç kaplamalarda, yama ve onarım işlerinde ve penetrasyon makadam yol kaplamalarında kullanılmaktadır.

Şekil 3.10 Asfalt emülsiyonları için kesilme mekanizması



3.2.1.1.2 Sıvı petrol asfaltları

Asfalt çimentosuyla kaynama noktası düşük, yani kolay uçan bir çözücü (benzin, nafta) ile karıştırılarak çabuk kür olan RC Sıvı Petrol Asfaltları, orta derecede uçucu bir çözücünün (gaz yağı) karıştırılmasıyla orta hızda kür olan MC Sıvı Petrol Asfaltları ve ağır yağlarla inceltilerek yavaş kür olan SC Sıvı Petrol Asfaltları elde edilir.

Ayrıca sıvı petrol asfaltlarının her biri kendi aralarında kinematik vizkozite değerlerine göre tiplere ayrılırlar. Sıvı petrol asfaltları, asfalt malzemesi ve çimentolu temel tabakaların satırlarında kür malzemesi olarak kullanılırlar.

3.2.1.1.3 Asfalt Emülsiyonları

Emülsiyon, birbirini içinde çözünemeyen iki sıvıdan birinin ötekisi içerisinde küçük küre tanecikleri halinde üniform halinde dağılmasıdır.

Asfalt emülsiyonları da asfalt çimentosu küreciklerinin su içinde dağılmasından oluşur. Bu işlem mekanik olarak yapılır; ancak asfalt küreciklerinin birbirine yapışarak sudan ayrılmalarını önlemek için emülgatör denilen katkı maddeleri kullanılır.

3.2.1.2 Katran

Katran, başlıca kömürün ve odunun kapalı bir sistem içerisinde kuru kuruya damıtılmasından elde edilir. Bu şekilde elde edilen katrana ham katran denir. Genellikle katran, bu şekilde değil, arıtıldıktan sonra kullanılır. Yol kaplamalarında bağlayıcı olarak kullanılan katranın kömür kökenli olması tercih edilir.

RT sembolü ile gösterilen yol katranları kıvamlılıklarına göre RT-1, RT-2, . . . RT-12 ve RTCB-5, RTCB-6 olarak 14 sınıfa ayrılır. Numaralar büyüdükçe kıvamlılık artar.

3.2.2 Bitümlü Bağlayıcılara Uygulanan Deneyler

Bitümlü bağlayıcılara uygulanan deneyler, bağlayıcıyı teknik şartnamelerde istenilen kurallara uygun olup olmadığının belirlenmesi için yapılır.

3.2.2.1 Penetrasyon Deneyi

Bitümlü bağlayıcıların kıvamlılığı penetrasyon deneyi ile tespit edilir. Penetrasyon, standart bir iğnenin belirli yük altında, belirli süre içinde, belli sıcaklıktaki bağlayıcıya dikey doğrultuda batma uzunluğudur. Penetrasyon birimi 0,01 cm.'dir ve penetrasyon cihaz göstergesindeki her taksimat 0,1 mm.'ye eşittir.

Şekil 3.11 Penetrasyon deney düzeneği



Penetrasyon deneyine tabi tutulacak numune yumuşama noktası sıcaklığını geçmeyecek kadar (maksimum 90 derece) ısıtılıp, kap içerisinde hava kabarcığı kalmayacak şekilde iyice karıştırıldıktan sonra metal veya camdan yapılmış, dibi düz silindirik olan numune kabına doldurulur. Numune 5-30 derecede bir ortama soğumaya bırakılır. Soğutma süresi, hacmi 180 santimetreküpe kadar olan numunelerde derinliği 44 mm.'ye kadar olanlar 60-90 dakika, derinliği 45-60 mm.'ye kadar olanlar 90-120 dakika süreyle soğumaya bırakılırlar. Daha sonra numuneler aktarma kabının içine alınır ve sabit sıcaklıktaki su banyosunda 1-1,5 saat bekletilir.

İçinde numune kabı bulunan aktarma kabı penetrasyon cihazının tablası üzerine konulur. İstenilen ağırlık ile yüklenmiş iğne numune yüzeyine temas edecek şekilde ayarlanır. Bir ışık kaynağı yardımıyla numune yüzeyi aydınlatılır. İğnenin ucu numune ile temas edecek fakat batmayacak konuma getirilir.

Numune üzerinde kabın kenarına ve birbirine 10 mm.'den daha yakın olmayan noktalardan en az 3 deneme yapılır. Bu denemeler 2 dakika içinde yapılmazsa numune ve aktarma kabı yeniden su banyosuna konulur. Ölçümler tekrarlanır. İğne ise her ölçüm öncesi temizlenmelidir.

Denemelerin geçerli olabilmesi için penetrasyon değerleri arasında oluşacak en büyük fark değerlerinin aşılması durumunda ikinci bir numune ile deney tekrarlanır. Yapılan deneylerden sonuç alınmaz ise dikkate alınmadan yinelenir. Bu yöntemde kabul edilebilir değerlerin ortalaması penetrasyon değeri olarak kabul edilir.

Tablo 3.7 Geçerlilik için penetrasyon değerleri arasındaki maksimum farklar

0,1 mm Olan Penetrasyonlar	≤ 49	50-149	150-249	≥ 250
En Düşük ve En Yüksek Penetrasyon Farkı	2	4	6	8

3.2.2.2 Düktilite Deneyi

Düktilite deneyi, bitümlü bağlayıcıların uzama kabiliyetini göstermektedir. Bitümlü bir maddenin düktilitesi, standart bir kalıpta hazırlanmış bir bitüm numunesinin her iki ucundan çekilerek uzatılması sonucunda koptuğu andaki mesafenin cm. cinsinden ifadesidir.

Deney yapılacak bitüm numunesi mümkün olan en düşük sıcaklıkta ısıtılarak akıcı hale getirilir. Akıcı hale getirilen numune 297 mikronluk elekten süzülür. Bitüm numunesi vazelinle yağlanmış pirinç düktilite deney kalıbına doldurulur. Kalıp içindeki numuneler oda sıcaklığında 30-40 dakika bekletilir. Soğuduktan sonra da 25 derece su banyosunda 30 dakika bekletilir.

Şekil 3.12 Düktilite deney düzeneğinde kullanılan pirinç kalıp



Su banyosundan çıkartılan numunenin kalıp üzerinden taşan kısmı spatula yardımı ile kalıp üst seviyesinde kalacak şekilde kesilir. Numune tekrar 25 derece su banyosunda 1,5 saat bekletilir. Kalıp içindeki numune su banyosundan çıkarılır. Kalıbın altındaki pirinç ve yanlardaki kalıplar sökülür. Numune bekletilmeden düktilite cihazına yerleştirilir. Numune 5 cm./dakika hızla kopuncaya kadar çekilir. Asfalt numunesinin koptuğu andaki mesafesi cihaz kenarındaki cetvelden okunur. Çekme sırasında düktilite cihazı içindeki su haznesinin numunenin alt ve üstünden en az 25 mm. tabaka oluşturması lazımdır.

Resim 3.13 Düktilite deney düzeneği



Anlatılan biçimde yapılan üç deney sonucunun ortalaması alınarak numune için düktilite değeri tespit edilmiş olunur. Normal bir deneyde kopma, çekilmekte olan bitüm numunesinin belirli bir yerde birbirinden ayrılması veya iplik şeklini alarak kesit alanının sıfır olmasıdır. Deney sırasında dikkat edilmesi gereken diğer bir husus da asfalt numunesinin suyun üst yüzeyine veya tabanına temas etmemesi gerekmektedir.

3.2.2.3 Yumuşama Noktası Deneyi

Bitümlü bağlayıcıların sıcaklık karşısındaki davranışları farklılık göstermektedir. Bitümlü maddelerin yumuşaması belli bir sıcakta gerçekleşmez. 25 derece sıcaklıkta aynı penetrasyona sahip 2 bitümlü bağlayıcı farklı sıcaklıkta farklı özellikler gösterebilir. Bu davranışları ölçmek için halka ve bilye metodu kullanılmaktadır.

Bitüm numunesi ısıtılarak akıcı hale getirilir. İçinde hava kabarcığı kalmayacak kadar kanştırılır. Pirinç levha üzerine yapışmayı önleyici vazelin gibi bir madde sürüldükten sonra pirinçten yapılmış standart halkalar levha üzerine konur. Numune halka içine dökülür ve üst seviyeyi geçecek şekilde doldurulur. Numune 1 saat süreyle soğutulur ve taşan numune kesimleri spatula ile düzeltilir.

Şekil 3.14 Halka içinde hazırlanmış olan deney numuneleri



Yumuşama noktası 80 derece veya daha düşük olan maddelerde deney yapılırken deney düzeneği yardımı ile düzenekte bulunan cam kaba 8,25 cm. yükseklikte 5 derecede saf su koyulur. İçinde numune bulunan halka su içine sarkıtılır. Halkanın alt yüzü camın dibinden 2,54 cm. yukanda, üst yüzünden 5,08 cm. aşağıda kalacak şekilde ayarlanır. Bilye halka üzerine ve numune ortasına yerleştirilir. Su sıcaklığı dakikada 5 derece artacak şekilde beher ısıtılmaya başlanır. Deneyin ilk 3 dakikasından sonra bu yükselme hızı 0,5 derece olmalıdır. Halka içindeki bitümlü maddenin camın dibine temas ettiği anda okunan sıcaklık değeri yumuşama noktası değeridir. Bu deney iki numune için yapılıp, sonuçların ortalaması alınır.

Şekil 3.15 Yumuşama noktası için halka tutucu deney düzeneği



Yumuşama noktası 80 derece ve daha yüksek olan bitümlü numuneler için su yerine gliserin kullanılır. Deneyin başlangıç sıcaklığı yaklaşık 30 derece olmalıdır.

Yumuşama noktası 150 dereceden daha yüksek olan numuneler için silikon esaslı yağ kullanılır. Deneyin başlangıç sıcaklığı ise 100 derece dolaylarında olmalıdır.

3.2.2.4 Viskozite Deneyi

Petrol ürünlerinin ve yağların kıvamlılığını tespit etmek için yapılmaktadır. Bitümlü bir maddenin viskozite değeri yükseldikçe kıvamlılığı artmakta yan katı hale geçmektedir.

Viskozite değeri standart bir tüp içine konan bitüm numunesinin belirlenen deney sıcaklığına kadar ısıtıldıktan sonra 60 santimetreküp hacmindeki toplama kabını doldurması için geçen zamanın saniye cinsinden değeridir.

Viskozite deneyi sırasında standart tüp olarak universal delikli tüp kullanılıyorsa Saybolt Üiversal; furol delikli tüp kullanılıyorsa Saybolt Furol viskozitesi adını alır. Furol viskozitesi, universal viskozitenin yaklaşık onda biri kadardır.

Akma zamanı 32 saniyeden fazla olan yağlar ve damıtılmış petrol ürünlerinin viskozitesi Saybolt universal ile tespit edilir. Saybolt furol viskozitesi ise akma zamanı 25 saniyeden fazla olan fuel-oil ve benzeri destilasyon ürünlerine uygulanır. Deney sırasında viskozimetre cihazı hava akımlarının etkisinde kalmamalı ve deney numunesi toz ve buhardan etkilenmemelidir.

Deneye başlanmadan önce numunenin bulunduğu tüpler temizlenmelidir. Tüpün alt deliğine hava sızdırmayacak şekilde mantar tıpa takılır. Deney numunesi tüplere konmadan önce 149 mikronluk elekten süzdürülür. Numune, tüp içine alındıktan sonra bir dakika karıştırılır, termometre ile de sıcaklığı kontrol edilir. Karıştırma sırasında sıcaklık değişmiyor ise termometre ve cam baget numunedan çıkarılır. Toplama kabı deney tüpünün altına yerleştirilir. Numune tüpü altındaki mantar tıpa çekilir. Kronometre çalıştırılır. Numune miktarı, toplama kabı üstündeki işaret çizgisine geldiği

anda kronometre durdurulur. Bu ana kadar geçen zaman saniye cinsinden viskozite değeri olarak kaydedilir.

Şekil 3.16 Viskozite deney düzeneği



3.2.2.5 Parlama Ve Yanma Noktası Deneyi

Petrol ürünlerinin parlama ve yanma noktalarının bilinmesi özellikle uygulamalar sırasında doğabilecek tehlikelerin önlenmesi açısından çok önemlidir.

Deney cihazı olarak Cleveland açık kap deney düzeneği kullanılır. Deney cihazı, hava akımı olmayan, yatay ve sabit bir yüzey üzerine yerleştirilir. Deney sırasında parlama noktası tespiti için deney yerinin fazla ışık almaması gerekir. Deney kabı kullanılmadan önce iyice temizlenir. Termometre, numune kabı tabanından 6,35 mm. yukarıda ve numune kabının yarıçapının ortasına dikey gelecek şekilde yerleştirilir.

Deney yapılacak bitümlü malzeme çalışma sıcaklığına kadar ısıtıldıktan sonra (yaklaşık 140- 160 derece) deney kabına yüzeyinde hava kabarcığı kalmayacak şekilde

doldurulur. Numune sıcaklığı başlangıçta dakikada 14-17 derece arttırılır. Parlama noktasına yaklaşıldığı anlarda sıcaklık arttırma hızı dakikada 5-6 derece olacak şekilde düşürülür. Beklenen parlama noktasına 28 derece önceden başlanarak sıcaklığın her 3 derece yükselmesinde numune üzerinden deney alevi geçirilir. Deney alevinin çapı yaklaşık 4 mm. olmalıdır. Deney alevi kabın üzerinden yaklaşık 1 saniye içinde geçirilmelidir. Numune yüzeyinde herhangi bir noktada tutuşma görüldüğü an termometreden okunan sıcaklık değeri parlama noktası olarak kaydedilir. Tatbik edilen alev sonucu numune yüzeyinde 5 saniyeden fazla bir yanma meydana geldiği anda ise termometrede okunan sıcaklık değeri yanma noktası olarak kaydedilir.

Şekil 3.17 Cleveland açık kap cihazı



Deney yapılan yerde atmosfer basıncı 95,3 kPa değerinden küçük ise sonuçlara düzeltme değeri eklenmelidir. Aynı kişi tarafından aynı deney cihazı ile yapılan iki deney sonucu arasındaki fark 8 dereceden fazla olmamalıdır. İki aynı laboratuarda elde edilen deney sonucu arasındaki fark ise 6 dereceden fazla olmamalıdır.

Tablo 3.8 Parlama noktası için basınç düzeltme değerleri

Atmosfer Basıncı (kPa)	Düzeltilme Miktarı (oC)
95,3-88,7	2
88,6-81,3	4
81,2-73,3	6

3.2.2.6 Dönel İnce Film Halinde Isıtma Deneyi (RTFOT)

Bitümlü bağlayıcılarda, agregayla plentte karıştırılması, taşınması, depolanması, uygulama ve ayrıca servis ömrü boyunca oksidasyon ve uçucu madde kaybı olması gibi çeşitli nedenlerden ötürü yapısal sertleşme meydana gelmektedir. Bağlayıcılarda meydana gelen toplam yaşlanmanın büyük bir kısmının, agregayla plentte karıştırma sırasında kısa bir süre içerisinde meydana geldiği belirlenmiştir. Bağlayıcılarda kısa bir süre içerisinde oluşan bu yaşlanmayı laboratuvar ortamına yansıtmak için birçok metod geliştirilmiş fakat en çok kabul gören ve tercih edileni, dönel ince film halinde ısıtma deney (RTFOT) yöntemi olmuştur. Bu yöntemde, asfalt hazırlama tesislerinde karıştırma sırasında bitümlü bağlayıcının maruz kaldığı sertleşmeyi temsil edecek şekilde, ince bir film halinde hareket eden bitümlerin veya bitümlü bağlayıcıların üzerinde, sıcaklık ve havanın birleşik etkisi değerlendirilmektedir. Bağlayıcıların ısıtma sonucu uçucu madde kaybı belirlenebilmekte ayrıca sıcaklık ve havanın etkisiyle bitümlü malzemelerin fiziksel özelliklerindeki değişimi tespit etmek amacıyla gerekli malzeme elde edilebilmektedir. TS EN 12607-1’de belirtilen bu deney, 163°C sıcaklığa sahip etüve yerleştirilen 8 adet şişe kullanılarak yapılmaktadır.

Şekil 3.18 Dönel ince film halinde ısıtma deney aleti



Etüv 163 derece deney sıcaklığına ayarlandıktan sonra hazırlanmış 2 adet numune cihaz içindeki rafa yerleştirilir. Döner raf dakikada 5-6 devirlik hızla döndürülür. Deney süresi, numunenin etüve yerleştirilmesinden sonra sıcaklık 162 dereceye ulaştığı anda başlar. Bu andan itibaren numune etüvde 5 saat süre ile 163 derecede bekletilir. Numune kabının etüvde bekleme süresi hiçbir zaman 15 dakikayı aşmamalıdır. Süre bitiminde numuneler etüvden çıkarılır ve oda sıcaklığında soğutulup tartılır. Ağırlık kaybının, ilk ağırlığa oranı yüzde değeri olarak ısıtma kaybını verir.

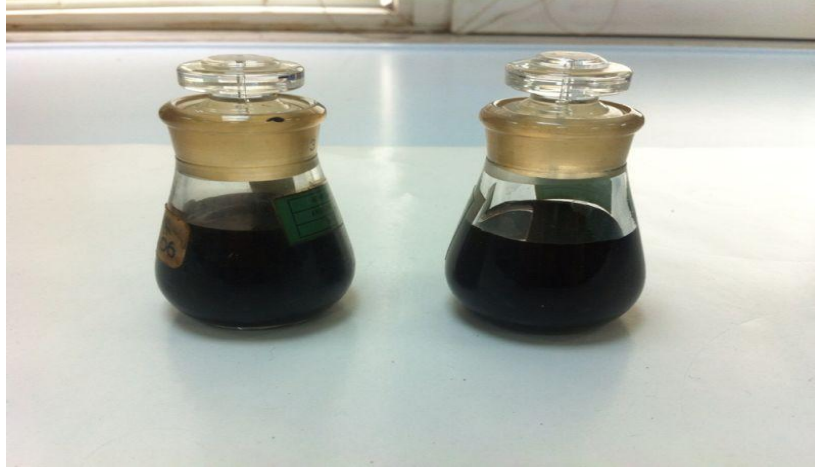
Numunenin, deney sonrasında penetrasyonu bulunarak orijinal penetrasyona oranlanır. Oranlanan orijinal penetrasyona göre yüzdesi tespit edilir. Aynı şekilde numunenin ısı kaybından sonraki düktilitesi de tespit edilir.

3.2.2.7 Özgül Ağırlık Deneyi

Bitümlü maddelerin özgül ağırlığı 25 derecede hacmi bilinen bir bitüm numunesinin aynı sıcaklık ve hacimdeki suyun ağırlığına bölünmesinden elde edilen orandır.

Yüksek viskoziteye sahip olan sıvı ve yan-katı bağlayıcılar ile asfalt emülsiyonlarının özgül ağırlık tayininde piknometre yöntemi uygulanır.

Şekil 3.19 Bağlayıcı özgül ağırlığının piknometre ile tespiti



Piknometre temizlenip kurutulduktan sonra hassas terazide tartılır. Daha sonra piknometreye saf su konur ve kapağı kapatıldıktan sonra 25 derece su banyosunda en az 40 dakika bekletilir. Taşan su varsa temiz bir bezle temizlenip, tartım yapılır. Özgül ağırlık tayini yapılacak bitüm numunesinden piknometrenin yarısını dolduracak miktarda alınır. Isıtılarak akıcı hale getirilen numune, kabın üst kısımlarına bulaştırmadan ve hava kabarcığı oluşturmadan dikkatlice piknometreye dökülür. Yarısına kadar bitüm numunesi ile doldurulan piknometre oda sıcaklığına kadar soğutulur. Kapağı ile birlikte tartılır. Tartılan numuneye su ilave edilerek kapağı kapatılır ve 25 derece su banyosunda 40 dakika bekletildikten sonra tekrar tartılır.

$$\text{Özgül Ağırlık} = \frac{(C - A)}{(B - A) - (D - C)} \quad (3.6)$$

A: Piknometre ağırlığı (gram)

B: Piknometrenin saf su ile dolu ağırlığı (gram)

C: Yarısına kadar numune doldurulan piknometre ağırlığı (gram)

D: Numuneye su ilave edilmesinden sonraki ağırlık (gram)

Bağlayıcılar ile ilgili deneylerin bilinmesiyle yol üst yapılarında kullanılan asfalt çimentolarının seçimi arasında doğrudan ve önemli ilişkiler mevcuttur. Nitekim karışım içerisindeki bağlayıcının değer ve özelliklerinin bilinmesi, üstyapı tipinin seçimi ve üst yapıda gözlenmek istenen performans değerleri üzerinde etki yaratacaktır.

Bu bağlamda özetlenebilecek olan temel bağlayıcı kriterlerinin incelenip, üst yapı veya hangi amaç için uygun değerler arasında kaldığı tespit edilip, bu esaslar doğrultusunda hangi bağlayıcının kullanılması gerektiği ortaya koyulmalıdır.

Nitekim şu anda da ülkemizde kullanılan ve çeşitli bitüm sınıfları için değer aralıkları veren ve Karayolları Teknik Şartnamesi ile garanti altına alınan asfalt çimentosu özellik ve değerleri mevcuttur.

Tablo 3.9 Yol üst yapılarında kullanılan asfalt çimentolarının özellikleri ¹

SINIFLAR ---->	10	20	30	40	60	75	120	150	200
ÖZELLİKLER V	20	30	40	50	70	100	150	200	300
Penetrasyon (25°C, 100 gr, 5 sn)	10 20	20 30	30 40	40 50	60 70	75 100	120 150	150 200	200 300
Yumuşama Noktası (Halka - bilya ile, °C olarak)	63 73	57 67	52 62	49 59	45 55	44 49	40 46	37 44	27 37
Düktilite (25°C, 100 gr, 5 cm/dak, cm olarak)	5 ---	15 ---	40 ---	100 ---	100 ---	100 ---	100 ---	100 ---	100 ---
İnce Film Halinde Isıtma Kaybı (3,2 mm, 163°C, 5 saat, ağırlık kaybı yüzdesi)	--- 0,5	--- 0,5	--- 0,5	--- 0,8	--- 0,8	--- 1,00	--- 1,00	--- 1,00	--- 1,00
Isıtma Kaybı Sonrası Penetrasyon (Orjinalin Yüzdesi Olarak)	60 ---	60 ---	60 ---	58 ---	54 ---	50 ---	46 ---	43 ---	40 ---
Isıtma Kaybı Sonrası Düktilite (25oC, 100 gr, 5 cm/dak, cm olarak)	--- ---	--- ---	--- ---	--- ---	50 ---	75 ---	100 ---	100 ---	100 ---
Parlama Noktası (Cleveland açık kap, °C)	275 ---	250 ---	250 ---	230 ---	230 ---	230 ---	220 ---	200 ---	175 ---

¹ Her sınıf için yazılan değerlerden üstte ifade edilen minimum, alttaki maksimum olarak aralık belirtilmiştir.

4. ÇALIŞMADA KULLANILAN MALZEMELER VE ÖZELLİKLERİ

4.1 AGREGA

Çalışmada kullanılan agrega 1 nolu, 2 nolu ve taş tozu olmak üzere üç tip olup, Ömerli bölgesi (Şile) taşocağından temin edilmiştir. Çalışma için kullanılacak olan bu agrega gruplarının elek analizleri ve temel fiziksel özellikleri belirtilmiştir.

4.1.1 Elek Analizi Ve Gradasyon Eğrileri

Tablo 4.1 Elek Analizi

Elek No.	2 No Mıçır (3/4"- 1/2") %Geçen	1 No Mıçır (1/2"-No:4) %Geçen	Taş Tozu (No:4-0) %Geçen
3/4"	100.0		
1/2"	20.5	99.3	
3/8"	1.3	80.7	100
No 4	0.6	11.7	99.1
No 10	0.6	1.4	58.7
No 40	0.5	1.1	28.5
No 80	0.5	1.1	17.9
No 200	0.5	1.1	11.2

4.1.2 Kullanılan Agreganın Şartname Değerleri İle Karşılaştırılması

Tablo 4.2 Agregada deney sonuçlarının şartname değerleri ile karşılaştırılması

Deney Adı	Deney Metodu	Birim	Deney Sonucu	Şartname Limitleri (KTŞ 2006) Aşınma
Los Angeles Aşınma Kaybı 500 devir	TS EN 1097-2	%	22,0	Max. %30
Yassılık Endeksi (5-12mm Agregada için)	BS 812	%	26,2	Max. %30
Yassılık Endeksi (12-19mm Agregada için)	BS 812	%	20,2	Max. %30
Soyulma Mukavemeti (B50/70 ile)	Nicholson	%	60-70	Min. % 50
	TS EN 1367-2	%	2,4	Max.% 16
Kaba Agregalarda Tane yoğunluğu (Hacim özgül Ağırlığı –kuru)	TS EN 1097-6	gr/cm ³	2,710
Kaba Agregalarda Su emme (Absorbsiyon)	TS EN 1097-6	%	0,43	2,0
İnce Agregalarda Tane yoğunluğu (Hacim özgül Ağırlığı –kuru- ortalama)	TS EN 1097-6	gr/cm ³	2,696
İnce Agregalarda Su emme (Absorbsiyon) ort.	TS EN 1097-6	%	0,90
Filler Tane Yoğunluğu Tayini	TS EN 1097-7	gr/cm ³	2,701

4.1.3 Agregas Karışım Dizaynı

Çalışma kapsamında mevcut tipteki agregalardan oluşturulan karışım Yollar Fenni şartnamesi Tip-1 karışım yüzdeleri ile belirlenmiştir. Şartname yüzdeleri ile oluşturulan karışım için her agregas tipinin elek analiz değerlerinden faydalanılarak, elekler için gereken malzeme yüzdeleri tespit edilmiştir. Oluşturulan karışımın elek analiz değerleri, şartname değerleri ile kıyaslanmıştır.

Tablo 4.3 Tip 1 için karışım yüzdeleri

Malzeme	Karışım İçindeki Yüzdese
2 Nolu agregas	15
1 Nolu agregas	37
Taş tozu	48
Kum	0

Tablo 4.4 Değişik tipteki malzemelerin belirlenen elek analiz sonuçları

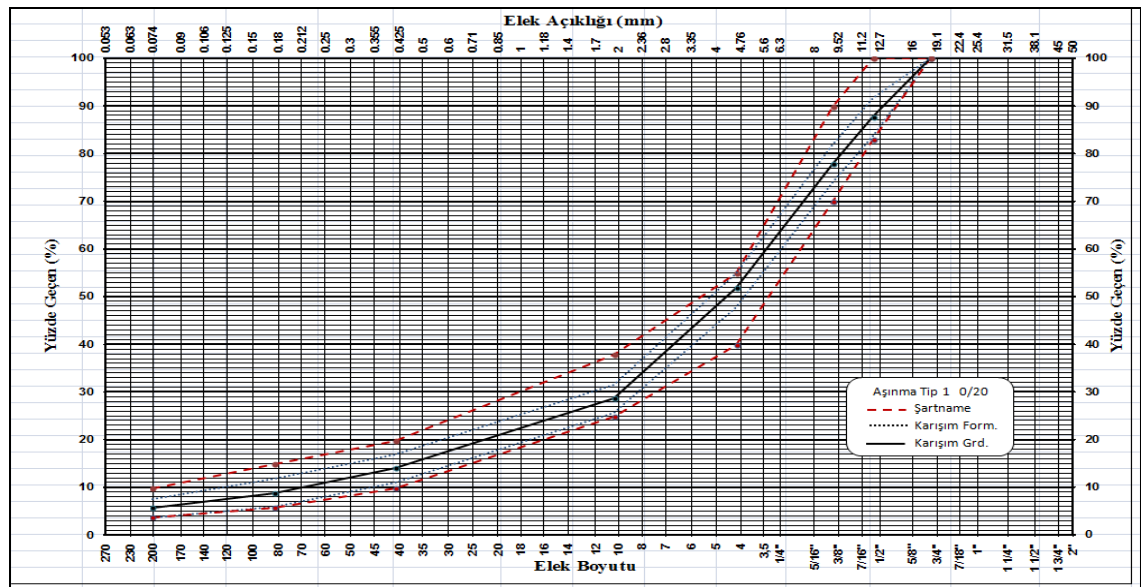
Elek No	2 Nolu agregas (% geçen)	1 Nolu agregas (% geçen)	Taş Tozu (% geçen)	Kum (% geçen)
3/4"	100,00	100,00	100,00	0,00
1/2"	20,5	99,30	100,00	0,00
3/8"	1,30	80,70	100,00	0,00
No.4	0,60	11,70	99,10	0,00
No.10	0,60	1,40	58,70	0,00
No.40	0,50	1,10	28,50	0,00
No.80	0,50	1,10	17,90	0,00
No.200	0,50	1,10	11,20	0,00

Agrega karışımı için gerekli olan yüzdelerde malzemeler alınarak, karışım oluşturuldu ve elek numaralarına göre analiz sonucunda geçen miktar yüzdeleri yazıldı. Buna bağlı olarak karışımın gradasyon eğrisi oluşturuldu. Nitekim bu eğri mevcut olan şartname değerlerinin minimum ve maksimum sınır değerleri için oluşturulan eğriler arasında kalmıştır.

Tablo 4.5 Hazırlanan agrega karışımı için elek analizi ve şartname değerleri

Elek No	2 Nolu agregadan alınan %	1 Nolu agregadan alınan %	Taş Tozundan alınan %	Karışım	Şartname
3/4"	15,00	37,00	48,00	100,00	100,00
1/2"	3,10	36,70	48,00	87,80	83-100
3/8"	0,20	29,90	48,00	78,10	70-90
No.4	0,10	4,30	47,60	52,00	40-55
No.10	0,10	0,50	28,20	28,80	25-38
No.40	0,10	0,40	13,70	14,20	10-20
No.80	0,10	0,40	8,60	9,10	6-15
No.200	0,10	0,40	5,40	5,90	4-10

Şekil 4.1 Agrega karışımı için gradasyon eğrisi ve şartname eğrileri ile kıyaslama



4.2 Bitüm

Daha önce birçok özelliğini deneysel olarak belirlemiş olduğumuz bağlayıcı olarak çalışma kapsamında Tüpraş rafinerisinden temin edilen AC 50/70 asfalt çimentosu bağlayıcısı kullanılmıştır. Bağlayıcıya ait olan önemli özellikler ve kriterler belirlenmiştir (Tablo 4.10).

Şekil 4.2 Çalışmada kullanılan AC 50/70 bağlayıcı



Tablo 4.6 Çalışmada kullanılan bağlayıcının karakteristiği

Deneyin adı	Birim	Değeri	Şartname değeri
Özgül ağırlık	gr/cm ³	1,014	---
Parlama noktası (Clevelan açık kap, °C)	°C	310	Min. 230
Penetrasyon (25 °C, 100 gr, 5 sn)	pen.	60	50-70
Düktilite (25 °C, 5cm/dak, cm olarak)	cm	100 cm'de kopmadı	Min.100
İnce film halinde ısıtma kaybı (3,2 mm, 163 °C, 5 saat, ağırlık kaybı yüzdesi)	%	0,33	Mak. 0,8
Isıtma kaybı sonrası penetrasyon (Orjinalin % si)	%	59	Min. 54,0
Isıtma kaybı sonrası düktilite (25 °C, 5 cm/dak, cm olarak)	cm	100 cm'de kopmadı	Min. 50
Yumuşama noktası (Halka-bilya ile, °C olarak)	°C	48	45-55

5. ÇALIŞMADA UYGULANAN DENEYLER

5.1 Sıcak Asfalt Karışımlarına Uygulanan Temel Deneyler

5.1.1 Marshall Stabilitesi Deneyi

Bu deneyin amacı, maksimum tane büyüklüğü 19 mm.'ye kadar olan iri agregaya içeren kaplama karışımlarının Marshall Metodu ile akma direncinin bulunmasıyla karışım hesabının yapılması ve bu metotla karışım hesabı yapılmış kaplamaların imalat ve sonrası için gerekli bilgilerin elde edilmesidir.

Marshall numunelerinin hazırlanması için dizayn edilmiş olan agregaya karışımından belli elekler için belli miktarlar alınarak yaklaşık 1150 gram etüve konur ve karışım sıcaklığına kadar ısıtılır. Bu sırada bitümlü bağlayıcı da aynı şekilde ısıtılarak karışım sıcaklığına getirilir. Karışım sıcaklığına erişen agregaya alınarak homojen hale gelinceye kadar karıştırılır. Sonra ortasına bir çukur açılarak karışım sıcaklığına gelmiş bağlayıcıdan gerekli miktar bu çukura konur ve agregaya bitümlü madde ile tamamen kaplanıncaya kadar karıştırılır. Karışımdan sonra, sıkıştırma sıcaklığından yaklaşık 10 dereceden daha yüksek sıcaklığa ayarlanmış bir etüvde kür tamamlanıncaya kadar havalandırılır (Yeterli kür, sıvı petrol asfaltı çözücüsünün yüzde 50'sinin uçtuğu andır). Kür tamamlandıktan sonra sıkıştırma işlemine geçilir. Bu işlemden önce kalıplar iyice temizlenir ve tokmağın sıkıştırma kafasında artık malzeme olmamasına dikkat edilmelidir. Sıkıştırma tokmağı 90 ila 150 dereceye kadar ısıtılır. Malzeme konmadan önce numune kalıbının dibine bir filtre kağıdı konur. Hazırlanan karışım kalıba aktarılarak 15 defa kenardan ve 10 defa ortadan spatula ile şişlenir. Kalıp tutucusu yerine yerleştirilerek üzerine filtre kağıdı konur ve tokmak 457 mm'den serbest olarak düşürülerek, otoyol için 75, normal yollar için 50 darbelik sıkıştırma yapılır. Daha sonra numune ters çevrilerek öbür yüzüne de aynı sıkıştırma uygulanır ve briket haline getirilir.

Yeterli stabiliteye erişmesi için numuneler sıkıştırmadan hemen sonra kalıptan çıkarılmaz. Gerekli bir zaman soğuduktan sonra kalıptan numune çıkarıcısı yardımıyla

ıkarılır ve bir gece laboratuvar sıcaklığında bekletilir. Karışımın belli değerlerinin tespit edilebilmesi için havada ve suda numune ağırlıkları bulunur.

şekil 5.1 Marshall numune kalıpları



şekil 5.2 Marshall tokmağı



Asfalt çimentosuyla hazırlanmış numuneler sıcaklığı 60 ± 1 derecede olan su banyosunda 30-40 dakika, katranla hazırlanan da ise 38 derecede tutulur. Sıvı petrol asfaltı ile deney numuneleri ise 25 derece hava banyosunda en az 2 saat bekletilir. Kırma kafasının, kırılacak numunenin sıcaklığına bağlı olarak 20 ila 40 derece sıcaklık arasında olması sağlanır. Sonra briket, kırma kafasının alt başlığı üzerine yerleştirilir. Akma ölçme aleti kırma kafası üzerinde bulunan yerine düzgünce yerleştirilir ve sıfırlanır. Numunelere Marshall Yükleme Aygıtı ile yükleme yapılır. Yükleme 51mm./dk.'lık sabit bir deformasyon hızıyla, en büyük yük değerine erişinceye kadar devam eder. En büyük yük değeri not edilir. En büyük yük değerine eriştiği anda flowmetre (akma aleti) yerinden çıkarılır ve akma değeri kaydedilir. Buraya kadar olan işlemlerin tümü 30 saniye içerisinde bitirilmelidir.

Şekil 5.3 Marshall yükleme cihazı



Şekil 5.4 Marshall numunelerinin su banyosunda bekletilmesi



5.1.2 Sıcak Karışımların Marshall Yöntemiyle Optimum Bitüm Muhtevası Tespiti

Sıcak karışımların oluşturulmasında optimum bitüm muhtevasının değeri karışım performansına doğrudan etki eden en önemli tesirlerden biridir. Nitekim karışım içindeki optimum bitüm miktarının tespit edilmesi için bir dizi deneyler ve bu deneyler sonucu sıcak karışıma ait bazı özelliklerin değerlerinin hesaplanarak dizaynın tamamlanması gerekir.

5.1.2.1 Agrega Karışım Tartım Değerlerinin Belirlenmesi

Mevcut olan üç farklı (kaba, normal, ince) tipteki agrega ile Tip 1 için belirlenmiş olan karışım oranları ile şartname aralığında gradasyon tespiti yapılmıştı.

Elek boyutlarına karşılık gelen malzeme yüzdeleri yardımıyla, Marshall numunelerinin hazırlanması için kullanılacak olan 1150 gram sabit ağırlıktaki agrega karışımı oluşturulmalıdır. Bunun için 1150 gram briket numunesine karşılık gelen her elek boyutundaki malzeme ağırlıkları eklenerek agrega karışımı oluşturulmaktadır. Tartımın kolay ve hatasız yapılabilmesi için en kaba malzemeden en ince malzemeye kadar yüzde oranları ile tespit edilen miktarlar kümülatif olarak toplanır ve tablo oluşturularak

belirlenir. Daha sonra bu değerler ile oluşturulan ve her elek arası malzemeyi içeren toplam 1150 gramlık karışımlar oluşturulur ve deney için hazır hale getirilir.

Şekil 5.5 Marshall briketleri için hazırlanan 1150 gramlık agrega karışım numuneleri



5.1.2.2 Farklı Bitüm Yüzdelerine Göre Marshall Briketlerinin Hazırlanması

Agrega karışımlarının tartım işleminden sonra Marshall briketlerinin hazırlanmasına geçilir. Bunun için değişik bitüm yüzdelerinde üçer adet numune hazırlanır.

yüzde 4,35 - yüzde 4,65 - yüzde 4,95 bitüm yüzdeleri için belirlenen 50,0gr - 53,5gr - 56,9gr bitüm ağırlıkları kullanılır. Karışımın oluşturulması daha önce Marshall deneyinde anlatmış olduğumuz standartlarda yapılır. Farklı bitüm yüzdelerinin kullanılması, karışımın özellikleri ve stabilitesi üzerindeki değişimlerin de bir göstergesi niteliği taşıyacaktır.

Şekil 5.6 Değişik bitüm yüzdelere göre karışımların hazırlanması



5.1.2.3 Briket değerlerinin ve optimum bitüm muhtevasının hesaplanması

Hazırlanan Marshall briketlerinin stabilite ve akma değerlerinin ölçülmesi için uygulanacak Marshall yükleme deneyi öncesinde, optimum bitüm muhtevasının tespitinde kullanılacak olan bir dizi değerlerin hesaplanması için numunelerin yükseklik ölçümleri 3 farklı noktadan yapıp, ortalama alınarak bulunur. Ayrıca numunelerin havada ve suda tartım değerleri belirlenir.

Daha önce ayrıntılı olarak açıklamış olduğumuz Marshall deneyine tabi tutulan numunelerin stabilite ve akma değerleri de okunur. Havadaki ağırlıkları, sudaki ağırlıkları, karışım agregasının özgül ağırlığı ve karışım içerisindeki agrega ve bitüm miktarlarına bağlı olarak numunelerin teorik ve pratik özgül ağırlıkları, boşluk yüzdeleri, agregalar arası boşluk yüzdeleri ve asfaltla dolu boşluk yüzdeleri belirlenir.

Numune yüksekliklerinde belli bir standart olmadığı için tespit edilen stabilite değeri, numune yükseklik değerlerine göre tespit edilen düzeltme faktörleriyle çarpılarak düzeltilmiş stabilite değerleri hesaplanır ve diğer hesaplanan tüm değerlerle birlikte tablolaştırılır.

Şekil 5.7 Briketlerin yükseklik ölçümü, havada ve suda tartımları



$$\delta_{\text{agrega}} = \frac{100}{\left(\frac{P_{\text{iri}}}{\delta_{\text{iri}}} + \frac{P_{\text{ince}}}{\delta_{\text{ince}}} + \frac{P_{\text{filler}}}{\delta_{\text{filler}}} \right)}$$

5.1

δ_{agrega} : Karışım agregasının özgül ağırlığı (gr/cm³)

P_{iri} : Karışım agregasındaki iri agreganın miktarı (gram)

P_{ince} : Karışım agregasındaki ince agreganın miktarı (gram)

P_{filler} : Karışım agregasındaki filler miktarı (gram)

δ_{iri} : İri agreganın özgül ağırlığı (gr/cm³)

δ_{ince} : İnce agreganın özgül ağırlığı (gr/cm³)

δ_{filler} : fillerin özgül ağırlığı (gr/cm³)

$$D = \frac{100}{\left(\frac{P_{\text{agrega}}}{\delta_{\text{agrega}}} + \frac{P_{\text{bitüm}}}{\delta_{\text{bitüm}}} \right)}$$

5.2

D : Teorik birim hacim ağırlık (gr/ cm³)

P_{agrega} : Numunedeki agreganın miktarı (gram)

$P_{\text{bitüm}}$: Numunedeki bitüm miktarı (gram)

δ_{agrega} : Karışım agregasının özgül ağırlığı (gr/cm³)

$\delta_{\text{bitüm}}$: Bitümün özgül ağırlığı (gr/cm³)

$$d = \frac{W_{\text{hava}}}{(W_{\text{hava}} - W_{\text{su}})} \quad 5.3$$

d : Pratik (ölçülen) birim hacim ağırlık (gr/cm^3)

W_{hava} : Numunenin havadaki ağırlığı (gram)

W_{su} : Numunenin sudaki ağırlığı (gram)

$$V = \frac{(D - d)}{D} \times 100 \quad 5.4$$

V : boşluk hacmi (%)

D : Teorik birim hacim ağırlık (gr/cm^3)

d : Pratik (ölçülen) birim hacim ağırlık (gr/cm^3)

$$V_b = \frac{P_{\text{bitüm}}}{\delta_{\text{bitüm}}} \times d \quad 5.5$$

V_b : Numunedeki bitüm hacmi (cm^3)

$P_{\text{bitüm}}$: Numunedeki bitüm ağırlığı (gram)

$\delta_{\text{bitüm}}$: Bitümün özgül ağırlığı (gr/cm^3)

d : Pratik (ölçülen) birim hacim ağırlık (gr/cm^3)

$$\text{VFA} = \frac{V_b}{(V_b + V)} \times 100$$

VFA : Asfaltla dolu boşluk yüzdesi (%)

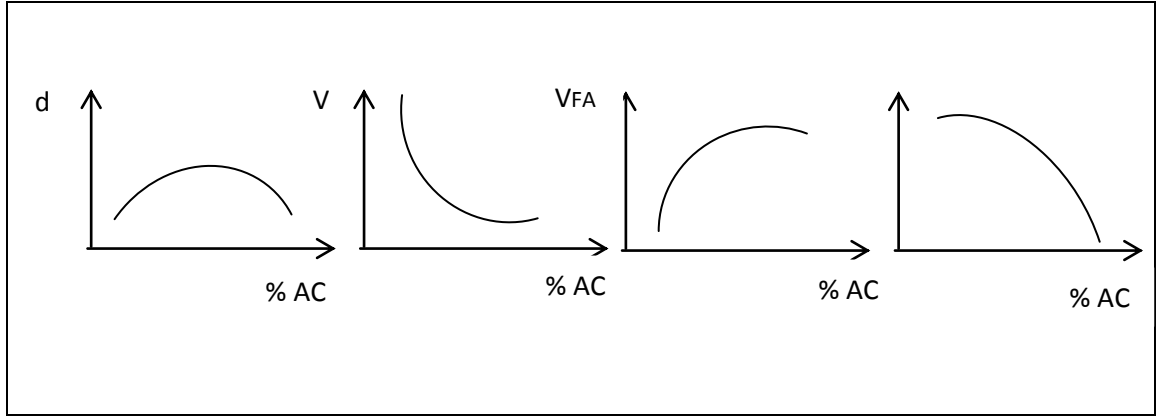
V_b : Numunedeki bitüm hacmi (cm^3)

V : Boşluk hacmi (%)

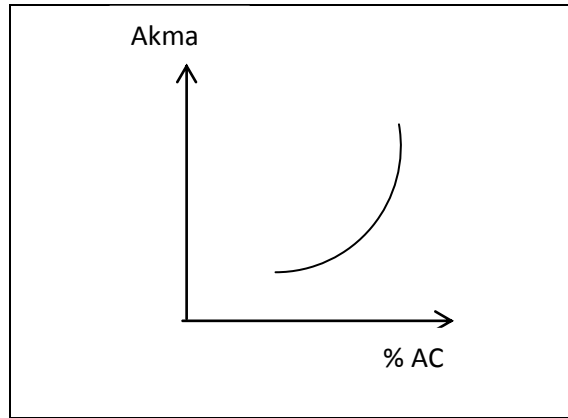
Değerlerin tespit edilmesinden sonra, numunelerdeki bitüm miktarlarıyla değişim grafikleri çizilir. Grafikler yardımıyla yüzde 4 boşluk oranına denk gelen bitüm optimum bitüm muhtevası olarak belirlenir.

Akma değerlerinin bitüm yüzdesiyle değişim eğrisi de çizilip, tespit edilen optimum bitüm muhtevasına karşılık gelen akma değeri kontrol edilmelidir.

Şekil 5.8 Marshall yöntemi bitüm muhtevası ile karışım özellikleri ilişkisi



Şekil 5.9 Akma ve bitüm muhtevası ilişkisi



5.1.4 Dolaylı Çekme Mukavemeti Deneyi

Bu metot bitümlü karışımların dolaylı çekme mukavemeti özelliklerinin tespitini içerir ve dolaylı çekme mukavemeti bitümlü karışımların ısı ve yorulmadan dolayı oluşan çekme gerilmelerini karakterize eder. Deney sonucunda bulunan dolaylı çekme mukavemeti değeri, bitümlü karışımların yorulma çatlaklarının oluşma potansiyeli ve karışımın optimum bitüm muhtevasının belirlenmesinde kullanılır.

Şekil 5.10 Dolaylı çekme mukavemeti deneyinin uygulandığı Marshall numunesi



Marshall stabilitesi için hazırlanan numunelerin imal şekline uygun olarak üretilen numuneler bu deney için kullanılmaktadır. Karışım numunesine, dik doğrultuda; sabit bir deformasyon altında bozuluncaya kadar bir basınç yükü uygulanır. Deney aşamasında bozulma uygulanan yükte bir artışın olmadığı veya en büyük yükün oluştuğu zaman olarak tamamlanır ve numunenin dayanım göstermiş olduğu en büyük yük dolaylı çekme mukavemeti olarak alınır.

Dolaylı çekme mukavemeti ve bozulma deformasyonu değerleri, üstyapı tasarımında ve bitümlü karışımın kalitesinin değerlendirilmesinde kullanılır. Bu deneyden elde edilen değerler karışımın sıcaklık, nem ve farklı dingil yükleri karşısında göstermiş olduğu davranış hakkında bilgi edinmek amacıyla da kullanılabilir.

Deney sonucunda elde edilen sonuçlar, numune alanlarının tespit edilebilmesinden hareket edilerek, gerilme cinsinden yazılır ve değerlendirmeler yapılır.

5.1.5 Koşullu Dolaylı Çekme Mukavemeti Deneyi

Bu metot bitümlü karışımların koşullu dolaylı çekme mukavemeti özelliklerinin tespitini içerir ve koşullu dolaylı çekme mukavemeti bitümlü karışımların ısı ve yorulmadan dolayı oluşan çekme gerilmelerini karakterize eder. Deney sonucunda bulunan koşullu dolaylı çekme mukavemeti değeri, bitümlü karışımların yorulma çatlaklarının oluşma potansiyelinin belirlenmesinde kullanılır.

Koşullu dolaylı çekme mukavemeti deneyi için elde edilen ve kalıplarından çıkarılan asfalt briket numuneleri çevresel tesirlerin, laboratuvar ortamında sağlanarak etki ettirilmesi için öncelikle 72 saatlik süre boyunca 40 derecede su banyosunda tutulur. Su banyosundan sonra 2 saat 25 derecede tekrar su banyosunda tutulur sabit numune sıcaklığında Marshall yükleme cihazı ile daha önce açıkladığımız gibi yük tesirine maruz bırakılır. Stabilite değerleri belirlenir.

6. ÇALIŞMADA UYGULANAN DENEYLERİN SONUÇLARI

6.1 Sıcak Karışımların Marshall Yöntemiyle Optimum Bitüm Muhtevası Tespiti

6.1.1 Agrega Karışımı Tartım Değerleri Ve Bitüm Miktar Tespiti

Tablo 6.1 Karışım için gerekli malzeme miktarları

Hazırlanan Karışım Sayısı	3x7=21		
Elek No	Karışım (% geçen)	Şartname	1150 gram briket için gerekli miktar (gr)
3/4"	100,00	100,00	140,1
1/2"	87,8	83-100	112,3
3/8"	78,1	70-90	299,8
No:4	52,0	40-55	266,9
No:10	28,8	25-38	168,0
No:40	14,2	10-20	58,5
No:80	9,1	6-15	37,0
No:200	5,9	4-10	67,4

Tablo 6.2 Kümülatif tartım için hesaplanan malzeme miktarları(Normal karışım)

Hazırlanan Karışım Sayısı	3x7=21
Malzeme cinsi	Kümülatif tartım (gram)
1/2" üstü	140,1
3/8" üstü	252,4
No:4 üstü	552,2
No:10 üstü	819,1
No:40 üstü	987,1
No:80 üstü	1045,6
No:200 üstü	1082,6
Filler	1150

Hazırlanan karışımlar üçerli gruplar halinde değişik bitüm miktarları kullanılarak hazırlanmıştır. (Tablo 6.3) Üçerli gruplara yapılacak olan deneylerin sonuçlarının ve hesaplanacak briket özellik değerlerinin ortalamaları göz önüne alınmıştır.

Tablo 6.3 Karışımlardaki bitüm oran ve miktarları

Hazırlanan Karışım Sayısı	Bitüm yüzdesi (%)	Bitüm miktarı (gram)
3	4,00	46,00
3	4,50	51,80
3	5,00	57,50
3	5,50	63,30
3	6,00	69,00
3	6,50	74,80
3	7,00	80,50

6.1.2 Briket Değerlerinin Belirlenmesi

Tablo 6.4 Numunelerin hesaplanan teorik ve pratik birim hacim ağırlıkları

Biriket No	Bitüm yüzdesi (%)	Havadaki ağırlık(W_{hava}) (gram)	Sudaki ağırlık (W_{su})(gram)	Max teorik birim hacim ağırlık (D) (gr/cm^3)	Pratik birim hacim ağırlık (d) (gr/cm^3)
1	4,0	1193,6	705,0	2,560	2,414
2		1190,3	703,0		2,408
3		1189,3	700,8		2,406
Ortalama					2,409
4	4,5	1189,3	701,8	2,541	2,428
5		1197,0	706,5		2,425
6		1197,0	707,5		2,435
Ortalama					2,429
7	5,0	1201,1	712,0	2,523	2,451
8		1197,3	708,5		2,442
9		1198,4	708,0		2,436
Ortalama					2,443
10	5,5	1201,4	714,0	2,506	2,460
11		1204,9	714,5		2,452
12		1204,4	715,0		2,456
Ortalama					2,456
13	6,0	1207,1	717,6	2,488	2,464
14		1206,2	718,2		2,469
15		1206,2	717,0		2,463
Ortalama					2,65
16	6,5	1206,7	718,1	2,471	2,468
17		1205,2	716,6		2,465
18		1195,1	709,9		2,462
Ortalama					2,465
19	7,0	1214,0	718,7	2,455	2,450
20		1206,1	715,0		2,454
21		1207,3	716,0		2,456
Ortalama					2,453

Tablo 6.5 Numunelerin boşluk değerleri ve Marshall deney sonuçları

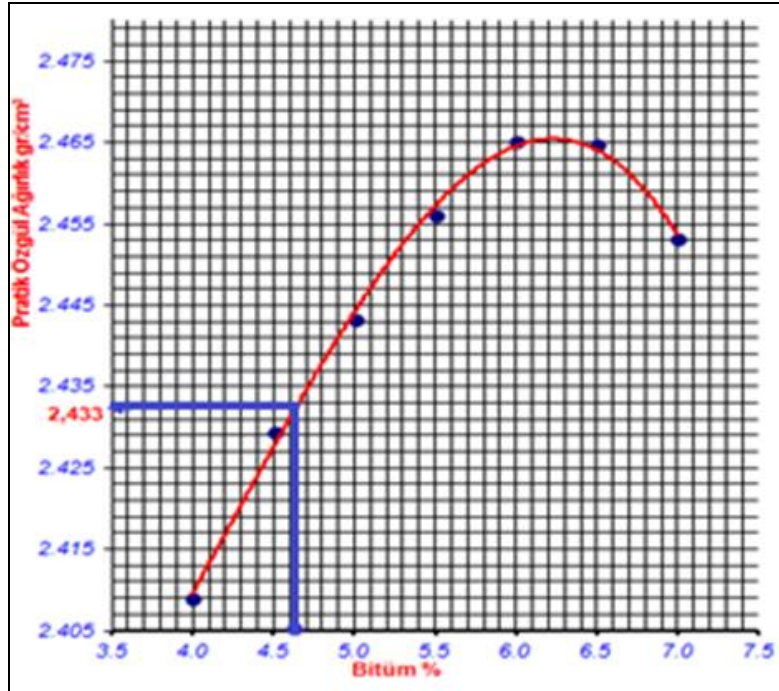
Biriket No	Bitüm yüzdesi (%)	Boşluk (V) (%)	Asfaltla dolu boşluk (VFA)(%)	Agrega arası boşluk (VMA) (gr/cm ³)	Akma (mm)	Stabilite (kg)
1	4,0	5,90	58,8	14,31	3,23	1391
2					2,45	1439
3					3,13	1367
Ortalama					2,94	1399
4	4,5	4,41	68,52	14,00	3,86	1432
5					3,20	1322
6					3,28	1291
Ortalama					3,45	1349
7	5,0	3,17	77,23	13,92	3,79	1286
8					3,83	1316
9					3,00	1266
Ortalama					3,54	1289
10	5,5	1,98	85,77	13,88	4,24	1184
11					4,79	1204
12					3,85	1159
Ortalama					4,29	1182
13	6,0	0,93	93,32	13,97	4,42	1092
14					4,99	1114
15					5,74	1197
Ortalama					5,05	1134
16	6,5	0,27	98,13	14,38	5,13	1096
17					5,39	1106
18					5,28	1120
Ortalama					5,27	1107
19	7,0	0,07	99,55	15,18	5,75	1054
20					6,25	1049
21					6,37	1044
Ortalama					6,12	1049

6.1.3 Grafiklerin Çizilmesi Ve Optimum Bitüm Muhtevası Hesabı

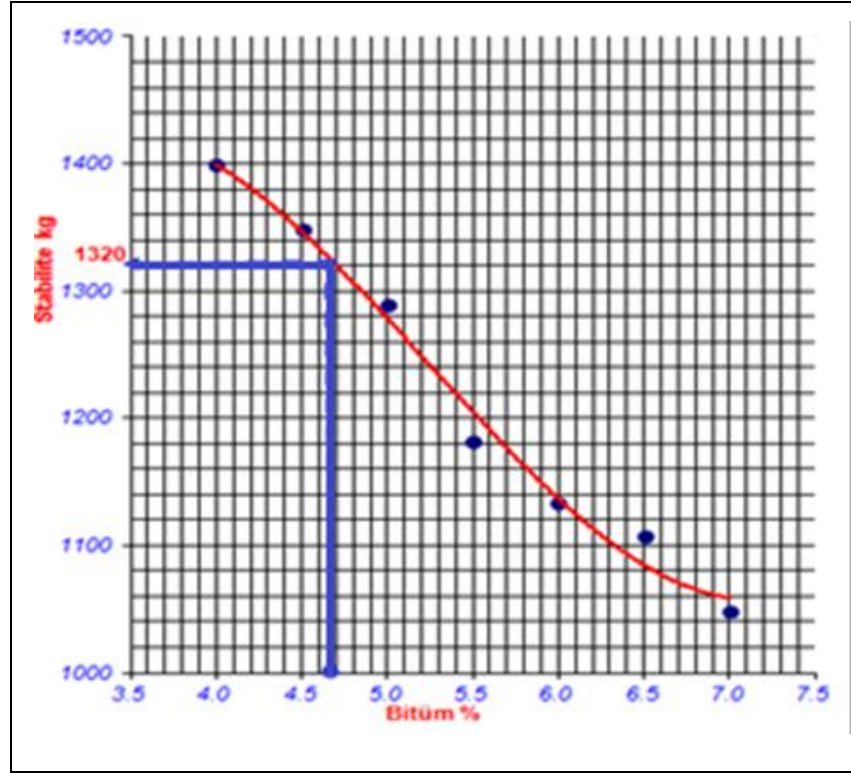
Gerekli olan briket değerlerinin tespit edilmesinden sonra daha önce açıkladığımız değerler doğrultusunda gerekli olan Marshall grafikleri çizildi bu grafiklerden faydalanılarak boşluk oranı yüzde 4'e karşılık gelen optimum bitüm muhtevası yüzde 4,65 olarak bulunmuştur.

Optimum Bitüm %	4,65 ± 0,3
Pratik Özgül Ağırlık, gr/cm ³	2,433
Stabilite, kg	1320
Boşluk, %	4,0
Asfaltla (bitüm) dolu boşluk, %	71,00
V.M.A., (Agregalar arası boşluk) %	14,05
Akma, mm.	3,45
Max. Teorik Özgül Ağırlık	2,536
Filler /Bitüm Oranı	1,26

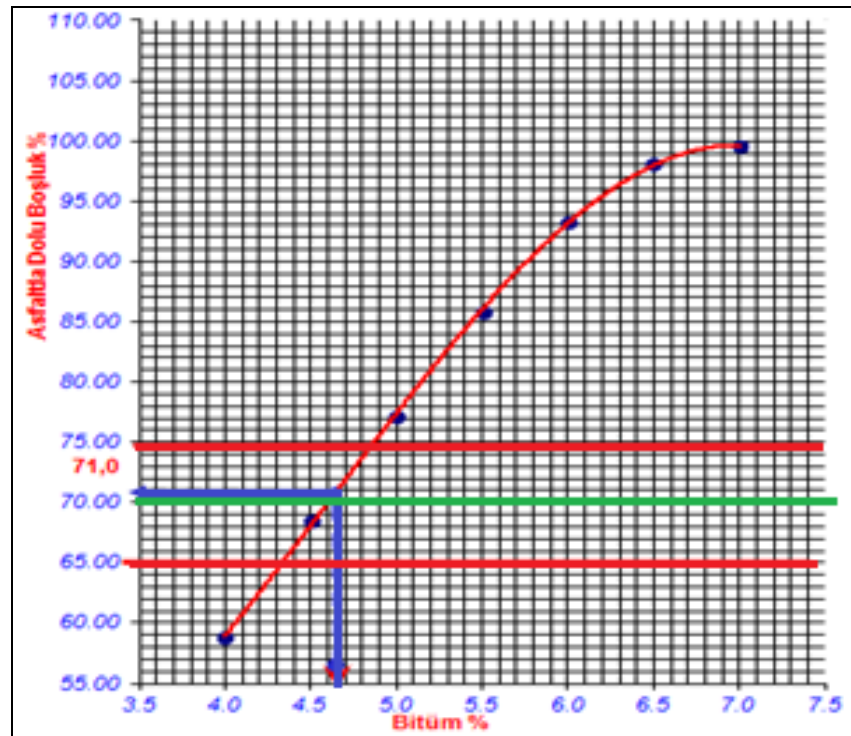
Şekil 6.1 Bitüm yüzdesi - Pratik özgül ağırlık değişimi



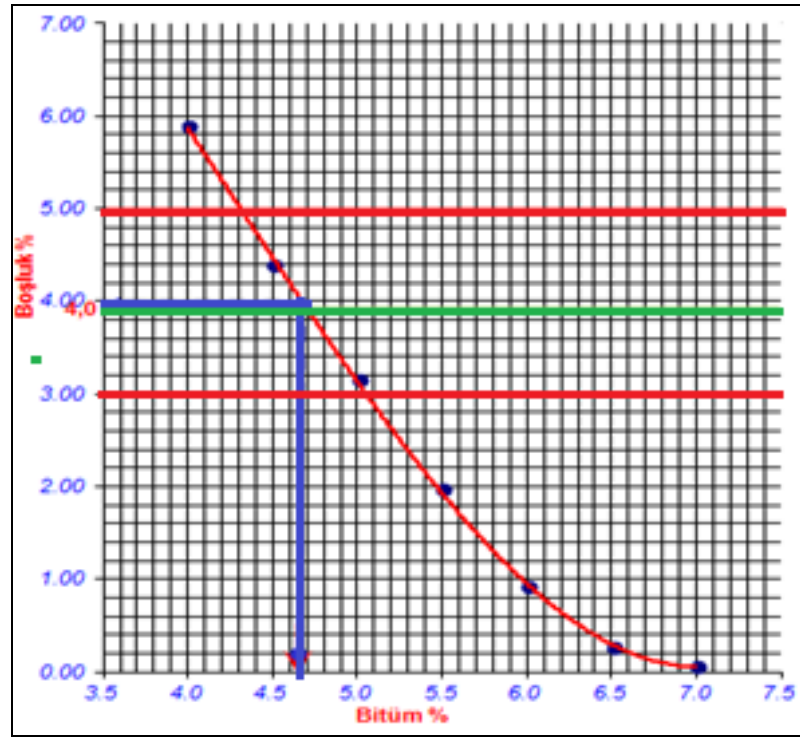
Şekil 6.2 Bitüm yüzdesi - Stabilite değişimi



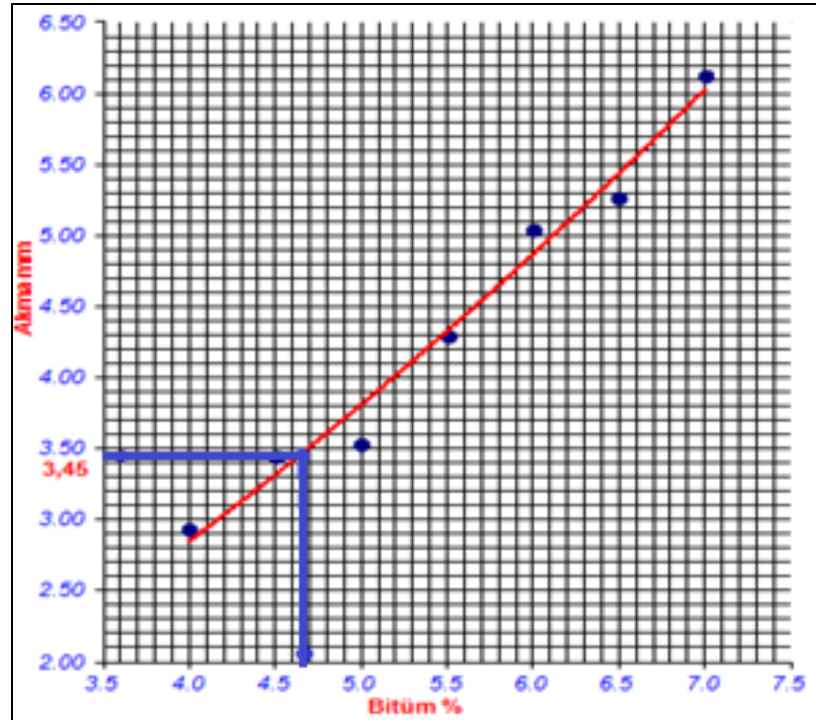
Şekil 6.3 Bitüm yüzdesi - Asfaltla dolu boşluk yüzdesi değişimi



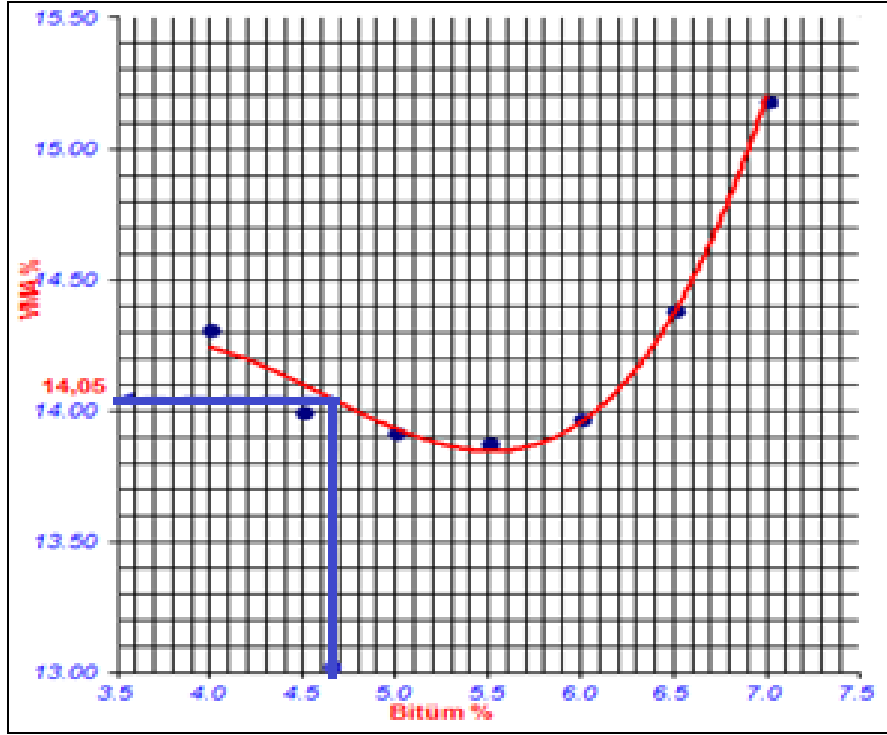
Şekil 6.4 Bitüm yüzdesi - Boşluk yüzdesi değişimi



Şekil 6.5 Bitüm yüzdesi - Akma değerleri değişimi



Şekil 6.6 Bitüm Yüzdesi - Agrega Arası Boşluk Yüzdesi Değişimi



6.2 Çalışmada Uygulanan Diğer Deneyler

6.2.1 Numuneler İçin Agrega Karışımı Ve Katkı Maddeleri Tartım Değerleri Tespiti

Çalışmanın içeriği gereği, optimum bitüm muhtevası değerinin hesaplanmasından sonra, tespit edilen optimum bitüm miktarı ve şartname sınır değerler (KTŞ 2006; +yüzde 0,3 –yüzde 0,3, KTŞ 2013; +yüzde 0,2 –yüzde 0,2) kullanılarak yeni Marshall briketleri imal edilmiştir.

Sınır değerlerin performansa etkisini belirlemek amacıyla normal, kaba ve ince gradasyona sahip malzeme ile optimum miktarda bitüm karışımları ve bitüm şartname sınır değerleri (KTŞ 2006; +yüzde 0,3 –yüzde 0,3, KTŞ 2013; +yüzde 0,2 –yüzde 0,2) ile normal gradasyona sahip agregaya kullanılarak toplam 57 adet briket hazırlanmıştır. (Tablo 6.6-11).

Tablo 6.6 Normal Karışım için gerekli malzeme miktarları

Hazırlanan Karışım Sayısı	9x3+6x2=39		
Elek No	Karışım (% geçen)	Şartname	1150 gram briket için gerekli miktar (gr)
3/4"	100	100,00	140,1
1/2"	87,8	83-100	112,3
3/8"	78,1	70-90	299,8
No:4	52,0	40-55	266,9
No:10	28,8	25-38	168,0
No:40	14,2	10-20	58,5
No:80	9,1	6-15	37,0
No:200	5,9	4-10	67,4

Tablo 6.7 Kümülatif tartım için hesaplanan malzeme miktarları (Normal karışım)

Hazırlanan Karışım Sayısı	9x3+6x2=39
Malzeme cinsi	Kümülatif tartım (gram)
1/2" üstü	140,1
3/8" üstü	252,4
No:4 üstü	552,2
No:10 üstü	819,1
No:40 üstü	987,1
No:80 üstü	1045,6
No:200 üstü	1082,6
Filler	1150

Tablo 6.8 Kaba Karışım için gerekli malzeme miktarları

Hazırlanan Karışım Sayısı	3x3=9		
Elek No	Karışım (% geçen)	Şartname	1150 gram briket için gerekli miktar (gr)
3/4"	100	100,00	167,7
1/2"	85,4	83-100	125,4
3/8"	74,5	70-90	360,0
No:4	43,2	40-55	196,1
No:10	26,2	25-38	166,6
No:40	11,7	10-20	51,2
No:80	7,2	6-15	27,5
No:200	4,8	4-10	55,4

Tablo 6.9 Kümülatif tartım için hesaplanan malzeme miktarları (Kaba karışım)

Hazırlanan Karışım Sayısı	3x3=9
Malzeme cinsi	Kümülatif tartım (gram)
1/2" üstü	167,7
3/8" üstü	293,1
No:4 üstü	653,1
No:10 üstü	849,2
No:40 üstü	1015,8
No:80 üstü	1067,0
No:200 üstü	1094,6
Filler	1150

Tablo 6.10 İnce Karışım için gerekli malzeme miktarları

Hazırlanan Karışım Sayısı	3x3=9		
Elek No	Karışım (% geçen)	Şartname	1150 gram briket için gerekli miktar (gr)
3/4"	100,00	100,00	43,5
1/2"	90,10	83-100	122,0
3/8"	78,10	70-90	379,5
No:4	47,90	40-55	197,1
No:10	28,10	25-38	198,0
No:40	12,60	10-20	55,2
No:80	8,80	6-15	61,5
No:200	6,30	4-10	93,1

Tablo 6.11 Kümülatif tartım için hesaplanan malzeme miktarları (İnce karışım)

Hazırlanan Karışım Sayısı	3x3=9
Malzeme cinsi	Kümülatif tartım (gram)
1/2" üstü	43,5
3/8" üstü	165,5
No:4 üstü	545,0
No:10 üstü	742,1
No:40 üstü	940,2
No:80 üstü	995,4
No:200 üstü	1056,9
Filler	1150,0

6.2.2 Marshall Stabilite Deneyi Sonuçları

Belirtmiş olduğumuz malzeme miktarlarıyla hazırlanan numuneler için koşulsuz Marshall stabilite deneyi uygulama sonuçları gösterilmiştir. Deneyin uygulanış biçimi, daha önce anlatmış olduğumuz şekilde gerçekleştirildi ve sonuçlar tablo haline getirildi. (Tablo 6 .12)

Tablo 6.12 Marshall deneyi sonuçları

Biriket No	Karışım Tipi	Akma (mm)	Stablite (kg)
1	Normal	3,28	1354
2		3,20	1308
3		3,86	1297
Ortalama		3,45	1320
1	N-3	3,41	1350
2		3,23	1363
3		3,02	1294
Ortalama		3,22	1336
1	N+3	3,34	1278
2		3,60	1311
3		4,08	1327
Ortalama		3,67	1305
1	İnce	4,25	1487
2		4,08	1322
3		3,62	1262
Ortalama		3,98	1357
1	Kaba	3,49	1340
2		4,02	1172
3		3,26	1020
Ortalama		3,59	1177

6.2.3 Dolaylı Çekme Mukavemeti Deney Sonuçları

21 adet numuneye dolaylı çekme mukavemeti deneyi ile, çekme mukavemeti tespit edildi. Aynı zamanda, bulunan germe kuvveti değerleri ve numunelerin yükseklik ile çap değerinden elde edilen alan değerleri yardımıyla mevcut gerilmelerin hesabı yapıldı ve tablo olarak gösterildi . (Tablo 6.13)

Tablo 6.13 Dolaylı çekme mukavemeti deney sonuçları

Biriket No	Karışım Tipi	d (gr/cm ³)	h (mm)	Stablite (kN)	Dolaylı Çekme Muk. (kPa)
4	Normal	2,34	65,70	10,32	1000,5
5		2,35	65,50	10,56	1026,9
6		2,35	65,50	10,62	1032,7
Ortalama		2,35	65,57	10,50	1020,0
4	N-3	2,39	65,30	12,36	1205,6
5		2,39	65,10	12,46	1219,1
6		2,39	65,20	12,37	1208,4
Ortalama		2,39	65,20	12,40	1211,0
4	N-2	2,40	63,2	10,58	1054,7
5		2,42	63,1	12,70	1265,5
6		2,41	64,0	11,79	1158,3
Ortalama		2,41	63,4	11,69	1159,5
4	N+2	2,41	63,2	12,80	1276,0
5		2,42	63,1	12,46	1241,6
6		2,42	63,0	13,06	1303,4
Ortalama		2,42	63,1	12,78	1273,7
4	N+3	2,40	64,40	12,39	1225,4
5		2,40	64,00	12,48	1242,0
6		2,40	63,80	12,19	1217,0
Ortalama		2,40	64,07	12,35	1228,1
4	İnce	2,39	63,70	13,09	1308,9
5		2,38	64,10	12,31	1223,2
6		2,39	64,30	12,26	1214,5
Ortalama		2,39	64,03	12,55	1248,8
4	Kaba	2,34	65,90	10,66	1030,3
5		2,35	65,30	10,99	1072,0
6		2,34	66,40	10,16	974,6
Ortalama		2,34	65,87	10,60	1025,6

6.2.4 Koşullu Dolaylı Çekme Mukavemeti Deney Sonuçları

21 adet numunenin koşullu dolaylı çekme mukavemeti deneyi ile çekme mukavemeti tespit edildi. Bulunan germe kuvvetleri ve numunelerin yükseklik ile çap değerinden elde edilen alanlar yardımıyla mevcut gerilmelerin hesabı yapıldı ve tabloda gösterildi. (Tablo 6.14)

Tablo 6.14 Koşullu dolaylı çekme mukavemeti deney sonuçları

Biriket No	Karışım Tipi	d (gr/cm ³)	h (mm)	Stablite (kN)	K. Dolaylı çekme muk. (kPa)
7	Normal	2,34	64,60	8,55	843,0
8		2,35	65,70	8,56	829,9
9		2,36	64,70	9,00	886,0
Ortalama		2,35	65,00	8,70	853,0
7	N-3	2,39	65,10	9,60	939,3
8		2,39	65,50	9,48	921,9
9		2,39	64,60	9,75	961,3
Ortalama		2,39	65,07	9,61	940,8
7	N-2	2,41	63,4	9,73	965,9
8		2,43	63,4	9,26	920,2
9		2,42	63,7	9,85	971,3
Ortalama		2,42	63,5	9,61	952,5
7	N+2	2,41	63,8	11,19	1103,9
8		2,43	62,9	11,48	1149,8
9		2,40	63,7	10,41	1026,5
Ortalama		2,41	63,5	11,03	1093,4
7	N+3	2,40	64,60	10,22	1007,7
8		2,40	64,50	9,95	982,6
9		2,41	64,50	9,80	967,8
Ortalama		2,40	64,53	9,99	986,0
7	İnce	2,39	63,90	9,34	931,0
8		2,40	64,00	9,86	981,3
9		2,38	64,50	9,30	918,4
Ortalama		2,39	64,13	9,50	943,6
7	Kaba	2,35	66,00	9,09	877,2
8		2,34	65,30	8,45	824,2
9		2,35	66,50	8,00	766,2
Ortalama		2,35	65,93	8,51	822,6

7. DEĞERLENDİRME

7.1 Koşullu Ve Koşulsuz Dolaylı Çekme Mukavemeti Sonuçlarının Karşılaştırılması

Dolaylı çekme mukavemetinin koşulsuz ve koşullu durumları için deney sonuçları karşılaştırıldı ve şartname değerleriyle kıyaslandı (Tablo 7.1)

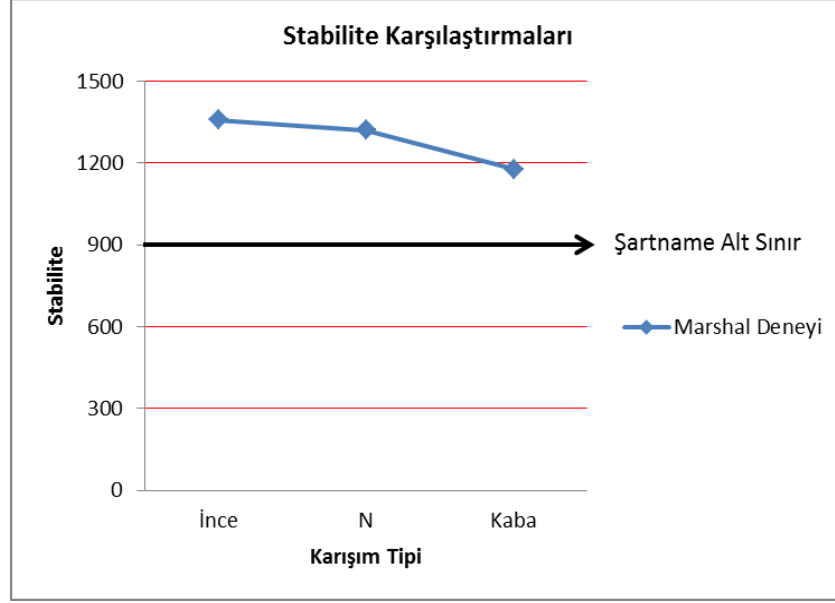
Tablo 7.1 Stabilite oranlarının ve değişim yüzdelerinin belirlenmesi

Biriket No	Karışım Tipi	Koşullu Çekme Muk. Deneyi Stabl.(kPa)	Değişim Miktarı %	Koşulsuz Çek. Muk. Den Stabl.(kPa)	Değişim Miktarı (%)	M1/M2 (Min 0,80)
4 - 7	Normal	843,0	0,00	1000,5	0,00	0,84 > 0,80
5 - 8		829,9		1026,9		
6 - 9		886,0		1032,7		
Ortalama		853,0		1020,0		
4 - 7	N-3	939,3	10,3	1205,6	18,7	0,78 < 0,80
5 - 8		921,9		1219,1		
6 - 9		961,3		1208,4		
Ortalama		940,8		1211,0		
4 - 7	N-2	965,9	11,7	1054,7	13,7	0,82 > 0,80
5 - 8		920,2		1265,5		
6 - 9		971,3		1158,3		
Ortalama		952,5		1159,5		
4 - 7	N+2	1103,9	28,2	1276,0	24,9	0,86 > 0,80
5 - 8		1149,8		1241,6		
6 - 9		1026,5		1303,4		
Ortalama		1093,4		1273,7		
4 - 7	N+3	1007,7	15,6	1225,4	20,4	0,80 ≥ 0,80
5 - 8		982,6		1242,0		
6 - 9		967,8		1217,0		
Ortalama		986,0		1228,1		
4 - 7	İnce	931,0	10,6	1308,9	22,43	0,76 < 0,80
5 - 8		981,3		1223,2		
6 - 9		918,6		1214,5		
Ortalama		943,6		1248,8		
4 - 7	Kaba	877,2	-3,56	1030,3	0,55	0,80 ≥ 0,80
5 - 8		824,2		1072,0		
6 - 9		766,2		974,6		
Ortalama		822,6		1025,6		

7.2 Sonuçların Değerlendirilmesi

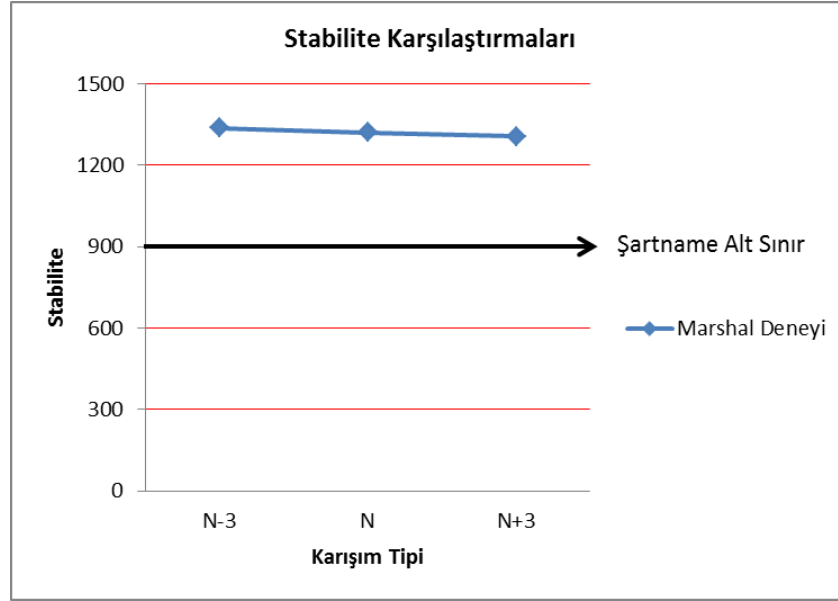
7.2.1 Marshall Stabilite Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Şekil 7.1 Gradasyon farkına bağlı Marshall stabilite değişimi



Grafikten (Şekil 7.1) de anlaşılacağı üzere Bitümlü Sıcak Karışımlarda Marshall stabilite deney sonuçlarına göre optimum bitüm ve farklı gradasyonlardaki karışımların şartname alt limiti olan 900 kg sınırının üzerinde olduğu görülmekle birlikte en iyi sonucu ince gradasyona sahip karışım vermektedir.

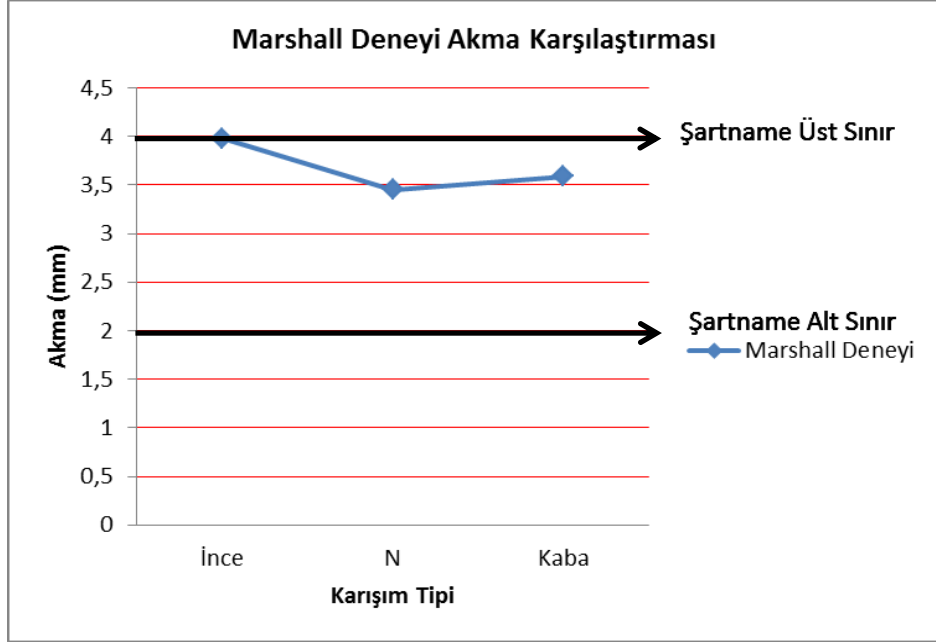
Şekil 7.2 Bağlayıcı miktarına bağlı Marshall stabilite değişimi



Grafikten (Şekil 7.2) de anlaşılacağı üzere Bitümlü Sıcak Karışımlarda Marshall stabilite deney sonuçlarına göre normal gradasyon ve farklı bitüm muhtevasına sahip karışımların şartname alt limiti olan 900 kg sınırının üzerinde ve birbirine çok yakın olduğu görülmekle birlikte en iyi sonucu bitüm oranı alt sınırdaki normal gradasyona sahip karışım vermektedir.

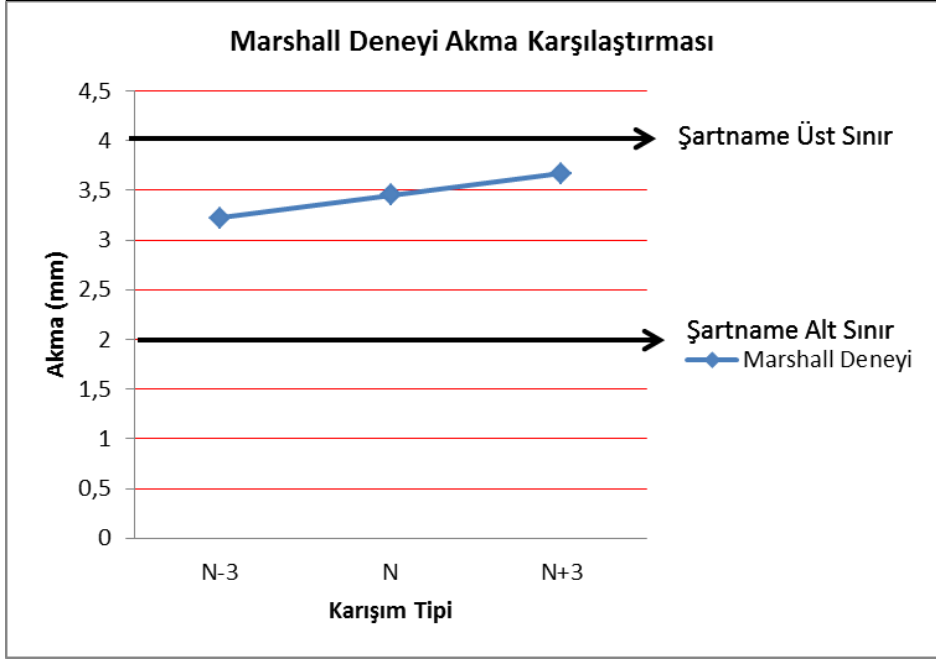
7.2.2 Akma Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Şekil 7.3 Gradasyon farkına bağlı Akma değişimi



Grafikten (Şekil 7.3) de anlaşılacağı üzere Marshall Akma deney sonuçlarına göre bütün karışımların şartname sınırları içinde kaldığı ancak bitüm miktarı normal, ince gradasyonlu karışımın şartname üst limitine dayandığı görülmektedir.

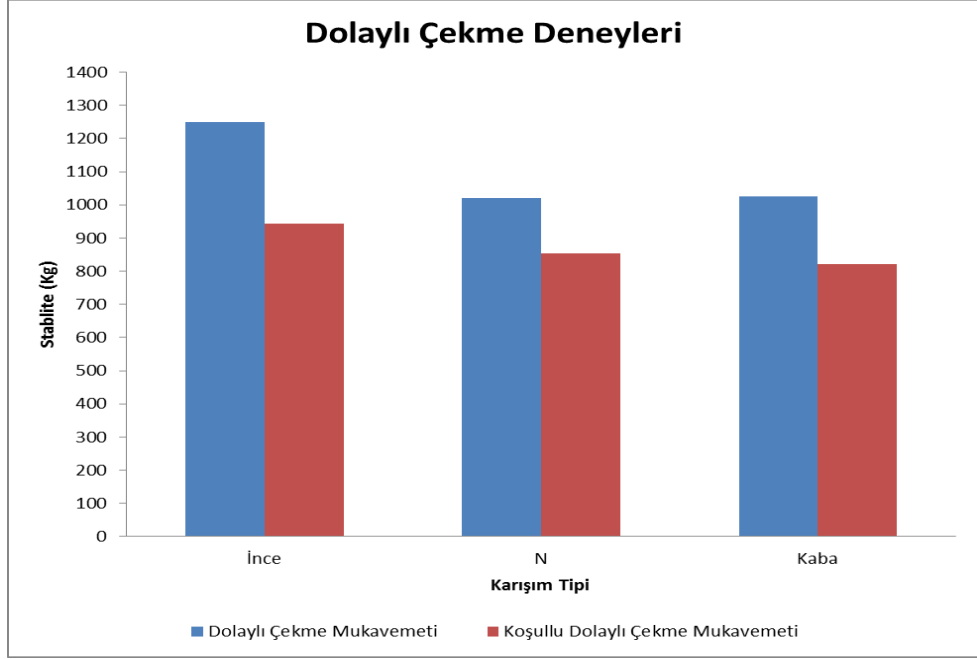
Şekil 7.4 Bağlayıcı miktarına bağlı Akma değişimi



Grafikten (Şekil 7.4) de anlaşılacağı üzere Marshall Akma deney sonuçlarına göre bütün karışımların şartname sınırları içinde kaldığı görülmektedir.

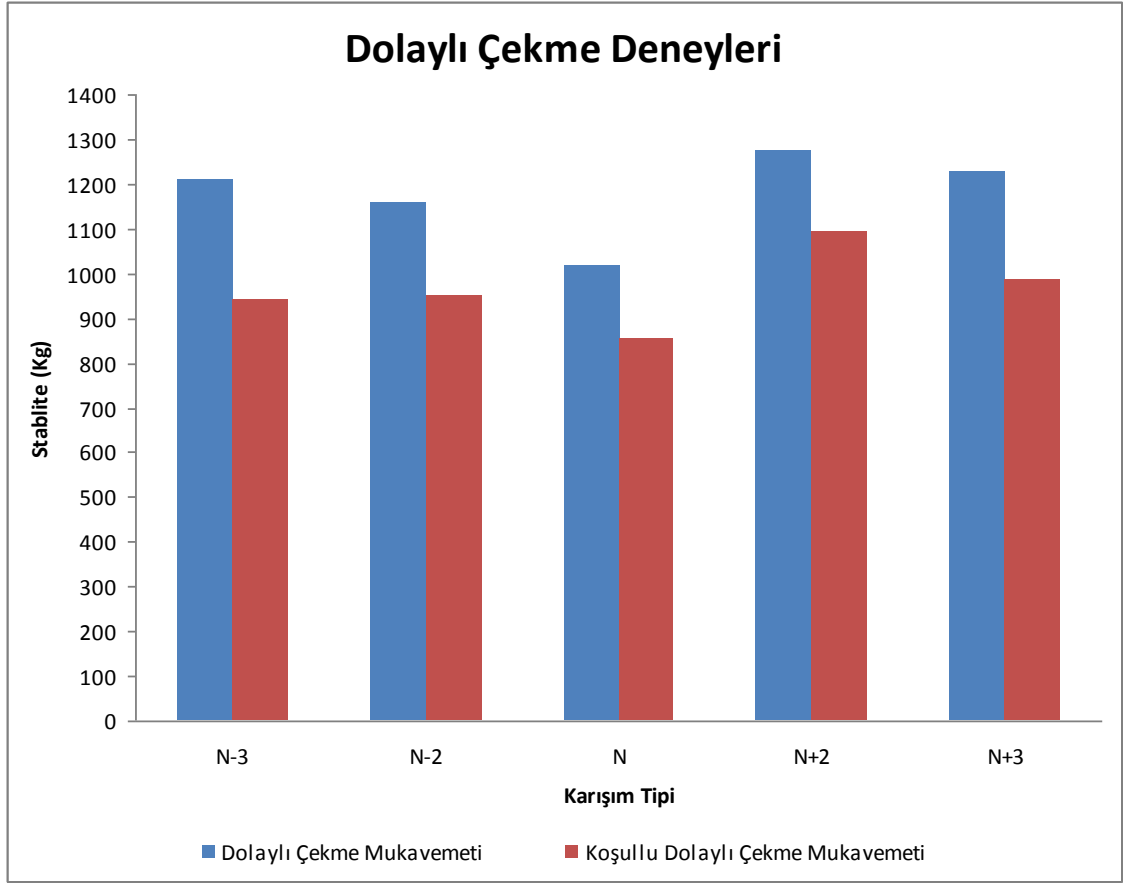
7.2.3 Koşullu Ve Koşulsuz Dolaylı Çekme Mukavemeti Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Şekil 7.5 Gradasyon farkına bağlı Dolaylı Çekme Mukavemeti değişimi



Grafikten (Şekil 7.5) de anlaşılacağı üzere Bitümlü Sıcak Karışımlarda Dolaylı ve Koşullu Dolaylı Çekme Mukavemeti deney sonuçlarına göre en iyi sonucu bitüm miktarı optimum, ince gradasyona sahip karışım vermektedir.

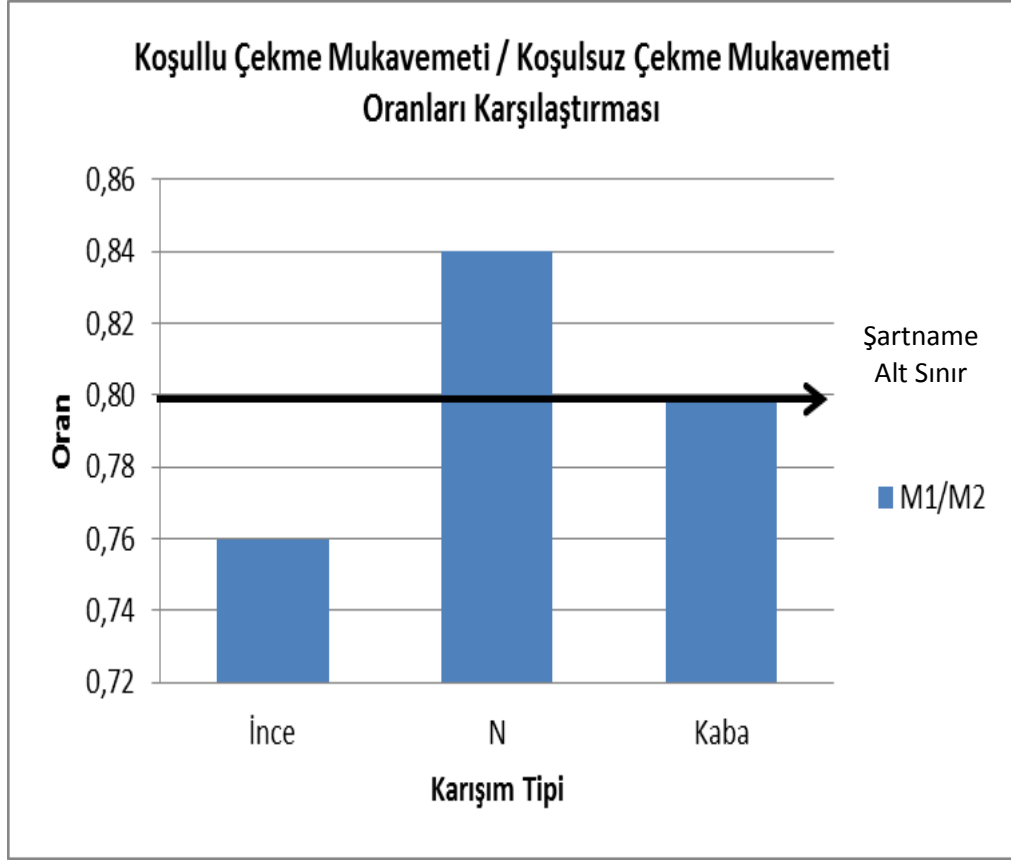
Şekil 7.6 Bağlayıcı miktarına bağlı Dolaylı Çekme Mukavemeti değişimi



Grafikten (Şekil 7.6) de anlaşılacağı üzere Bitümlü Sıcak Karışımlarda Dolaylı ve Koşullu Dolaylı Çekme Mukavemeti deney sonuçlarına göre en iyi sonucu bitüm miktarı oranı +% 0,2 normal gradasyona sahip karışım vermektedir.

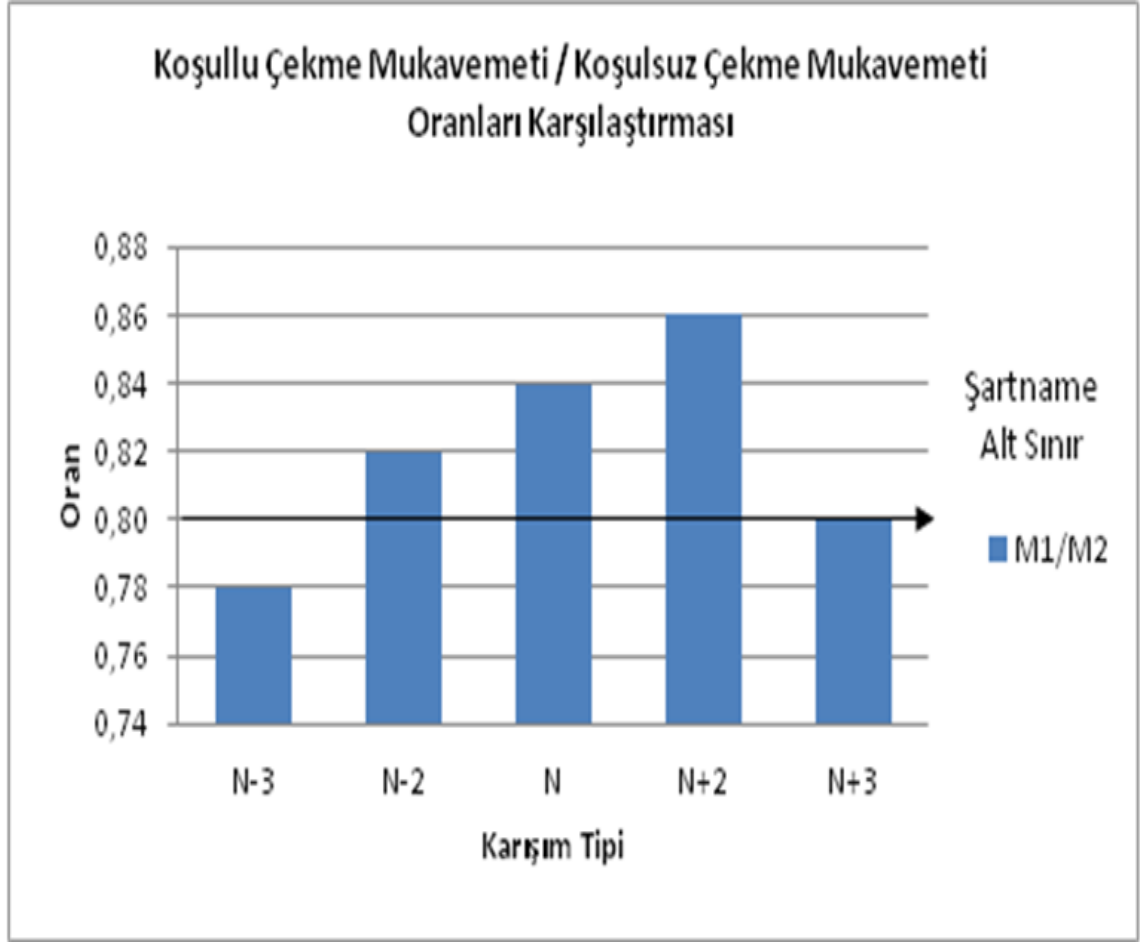
7.2.4 Dolaylı Gerilme Gücü Oranı Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Şekil 7.7 Gradasyon farkına bağlı Dolaylı Gerilme Gücü oranı değişimi



Koşullu Dolaylı Çekme Mukavemetinin Koşulsuz Dolaylı Çekme Mukavemetine oranına (Dolaylı gerilme gücü oranına) bakıldığında; bitüm oranı optimum ince gradasyonlu karışımın şartname sınırının altında kaldığı, bitüm oranı optimum kaba gradasyonlu karışımın ise şartname alt sınırında kaldığı, en iyi sonucu optimum bitüm ile normal gradasyonlu karışımın verdiği görülmektedir.

Şekil 7.8 Bağlayıcı miktarına bağlı dolaylı gerilme gücü oranı değişimi



Koşullu Dolaylı Çekme Mukavemetinin Koşulsuz Dolaylı Çekme Mukavemetine oranına bakıldığında; bitüm oranı alt sınır, normal gradasyon karışımların şartname sınırının altında kaldığı, bitüm oranı üst sınır, normal gradasyon karışımın ise şartname alt sınırında kaldığı, en iyi sonucu bitüm miktarı oranı +% 0,2 normal gradasyona sahip karışımın verdiği görülmektedir.

8. SONUÇ

Agrega gradasyonunun şartname sınır değerlerinin alt ve üst sınırlarına göre stabilite değeri sağlanmakta, gradasyonun incelmesi ile birlikte stabilite değerinde azalma olmaktadır. Ancak stabilitede azalma beklenirken artma olması konu ile ilgili daha detaylı çalışma yapılması gerektiğini göstermektedir.

Stabilite değeri bağlayıcı miktarı ile ters orantılı bir ilişki göstermekte, yani bitüm miktarının artması ile stabilite değeri azalmaktadır.

Agrega gradasyonunun ve bitüm miktarının şartname sınır değerlerinde değişmesi durumunda akma değeri şartname sınır değerleri arasında kalmaktadır.

04.11.2013 tarihinde değiştirilen Karayolları Teknik Şartnamesine göre bitüm muhtevasında Aşınma tabakası için izin verilen şartname sınır değerlerinin \pm yüzde 0,3'ten \pm yüzde 0,2'ye düşürülmesi uygun bir karar olarak görülmektedir.

KAYNAKÇA

Diğer Yayınlar

TS EN 1367-1 Hava Tesirlerine Karşı Dayanım Deneyi (Donma Deneyi)

TS EN 1367-2 Agregaların Parçalanma Direncinin Tayini

TS EN 1097-6 Agregaların Tane Yoğunluğu Ve Su Emme Oranı Deneyi

TS EN 1097-6 Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri Tayini

TS 3529 Beton Agregalarının Birim Ağırlıklarının Tespiti

TS 9582 EN 933-3 Agregaların Geometrik Özellikleri için Deneyler

TS EN 1426 Penetrasyon Deneyi

TS 120 EN 1427 Bitümler ve Bitümlü Bağlayıcılar - Yumuşama Noktası Tayini ve
Halka Bilye Metodu

TS 118 EN 1426 Bitümler ve Bitümlü Bağlayıcılar - İğne Batma Derinliği Tayini

TS 119 Bitümlü Maddelerin Düktilite Deneyi için Metot

TS EN 12607-1 Bitümlü Maddelerde Isıtma Etkisinin Tayini – Dönel ince Film Halinde
Isıtma Kaybı Metodu

TS EN ISO 2592 Parlama Yanma Noktası Tayini Deneyi

TS 1087 Bitümlü Maddelerde Özgül Ağırlık Tayini (Hidrometre, Piknometre ve
Su İçinde Tartma Metotları İle)

TS 1090 EN 12592 Bitümler Ve Bitümlü Bağlayıcılar - Çözünürlük Tayini

TS 117 Saybot-Furol Viskozitesi Deneyi

TS EN 15326 Bitüm Özgül Ağırlık Deneyi

KGM, Karayolları Teknik Şartnamesi, 2006

KGM, Karayolları Teknik Şartnamesi, 2013

BS 812 Yassılık İndeksi Deneyi

TS EN 12697-12 A Bitümlü numunelerin suya duyarlılığının tayini

TS EN 12697-23 Bitüm numunelerinin gerilme mukavemetinin dolaylı tayini

Kuloğlu, N., Yılmaz, M. Ve KÖK, B. V. 2008 Farklı Penetrasyon Derecelerine Sahip
Asfalt Çimentolarının Kalıcı Deformasyona Karşı Dayanımlarının Ve
İşlenebilirliklerinin İncelenmesi *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi
Dergisi* **13** (1)

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Zeynel DELEN

İkameti : İstanbul/Küçükçekmece

Doğum Yeri ve Yılı : Midyat - 1983

Yabancı Dili : İngilizce

İlköğretim : Ali İhsan Kalmaz İlköğretim Okulu (Mardin)

Ortaöğretim : Midyat Aziz Önen Lisesi (Mardin)

Lisans : Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği
Bölümü (Elazığ)

Çalışma Hayatı :

i. Delsan Asfaltlama - İnşaat

Görevi: Saha Mühendisi

(2005 Mayıs-2005 Ekim)

ii. İstanbul Büyükşehir Belediyesi / Yapı İşleri Müdürlüğü

Görevi: Kontrol Mühendisi

(2006 Ocak – 2010 Ocak)

iii. İstanbul Büyükşehir Belediyesi / Altyapı Hizmetleri Müdürlüğü

Görevi: Kontrol Amiri

(2010 Ocak - Halen)