

**T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANSTEZİ

**DİYARBAKIR YÖRESİNDE BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLARDA
KULLANILAN BAZALT, KALKER, DERE MALZEMELERİNİN
KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

Dilan ASLAN

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ŞANLIURFA
2019**

**T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANSTEZİ

**DİYARBAKIR YÖRESİNDE BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLARDA
KULLANILAN BAZALT, KALKER, DERE MALZEMELERİNİN
KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

Dilan ASLAN

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ŞANLIURFA
2019**

Prof. Dr.AliSARIIŐIK danıŐmanlıđında, Dilan ASLAN' ın hazırladığı "**Diyarbakır Yöresinde Bitümlü Sıcak Karışımlarda Kullanılan Bazalt, Kalker, Dere Malzemelerinin Karakteristik Özelliklerinin Karşılaştırılması**" konulu bu çalışma 01/02/2019tarihinde aŐađıdaki jüri tarafından oy birliğiile Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı' ında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

İmza

Danışman :Prof. Dr. Ali SARIIŐIK

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Zeynep ALGIN

Üye : Doç. Dr. Cahit GÜRER

Bu Tezin İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylıyorum.

Prof. Dr. İrfan ÖZBERK
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildiriŐlerin, çizelge, Şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	v
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
1.GİRİŞ	1
2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	6
2.1.Literatür Taraması	6
2.2.Esnek Yol Üstyapıları ve Kaplama Türleri	9
2.2.1.Sathi (yüzeysel) kaplamalar	9
2.2.2.Bitümlü karışım kaplamaları ve çeşitleri	12
2.2.2.1.Bitümlü soğuk karışımlar	12
2.2.2.2.Bitümlü sıcak karışımlar	13
2.3.Bitümlü Sıcak Karışımlarda Kullanılan Agregalar	19
2.3.1.Agregaların fiziksel özellikleri	19
2.3.1.1.Agregada rutubet durumu	19
2.3.1.2.Birim ağırlık	20
2.3.1.3.Özgül ağırlık	20
2.3.1.4.Granülometri	20
2.3.1.5.İncelik modülü	22
2.3.1.6.Danelerin yüzey dokusu ve şekli	22
2.3.2.Agregaların kökenlerine göre sınıflandırılması	23
2.3.2.1.Doğal agregalar	23
2.3.2.2.Yapay agregalar	25
2.3.3.Birim ağırlıklarına göre agregalar	25
2.3.3.1.Hafif agregalar	25
2.3.3.2.Ağır agregalar	26
2.3.3.3.Normal agregalar	26
2.3.4.Boyutlarına göre agregalar	26
2.3.4.1.İnce agregalar	26
2.3.4.2.Kaba agregalar	26
2.3.4.3.Tüvenan (karışık) agrega	26
2.3.5.Agrega kaynakları	27
2.3.5.1.Dere ocakları	27
2.3.5.2.Teras ocakları	27
2.3.5.3.Taş ocakları	27
2.4.Bitümlü Bağlayıcılar	28
2.4.1.Asfalt	30
2.4.1.1.Asfalt çimentosu	30
2.4.1.2.Sıvı asfaltlar	30
2.4.2.Katran	31
3.MATERYAL ve YÖNTEM	32
3.1.Bitümlü Sıcak Karışımlarda Kullanılacak Malzemeler	32
3.1.1.Agrega	32
3.1.2.Bitümlü bağlayıcı	33
3.2.Bitümlü Sıcak Karışımda Kullanılacak Olan Malzemelere Uygulanacak Deneyler	33
3.2.1.Agregada fiziksel özelliklerin tayini	34
3.2.1.1.Elek analizi deneyi	35
3.2.1.2.Los Angeles aşınma deneyi	36
3.2.1.3.Soyulma mukavemeti deneyi	38
3.2.1.4.Özgül ağırlık ve absorpsiyon deneyi	38
3.2.1.5.Metilen mavisi deneyi	41

3.2.1.6.Agrega kırılmışlık deney yüzdesi hesabı.....	42
3.2.2.Bitümlü bağlayıcılara uygulanan başlıca deneyler	43
3.2.2.1.Penetrasyon deneyi.....	43
3.2.2.2.Yumuşama noktası deneyi	44
3.2.2.3.Parlama noktası deneyi.....	45
3.2.2.4.Özgül Ağırlık Deneyi	46
3.3.Marshall Metodu ile Bitümlü Sıcak Karışım Dizayını.....	47
3.3.1.Marshall briket numunelerinin hazırlanması	47
3.3.2.Optimum bitüm yüzdesinin belirlenmesi için gerekli bağlantılar	49
3.3.2.1.Briket numunelerinin ve bağlayıcının fiziksel özelliklerinin saptanması	49
3.3.2.2.Agrega hacim özgül ağırlığı ve zahiri özgül ağırlığı	50
3.3.2.3.Agrega efektif özgül ağırlığı	51
3.3.2.4.Farklı bitüm miktarlarında karışımın maksimum özgül ağırlığı.....	52
3.3.2.5.Bitüm absorpsiyon hesabı	52
3.3.2.6.Kaplama karışımının efektif bitüm yüzdesi	52
3.3.2.7.Sıkıştırılmış kaplama karışımındaki agregalar arası boşluk (vma) yüzdesi	53
3.3.2.8.Sıkıştırılmış kaplama karışımındaki hava boşluğu ve asfaltla dolu boşluk yüzdesinin hesaplanması	53
3.3.3.Deney numunelerinin kırılması	54
3.3.4.Optimum bitüm yüzdesinin belirlenmesi.....	55
4.ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	58
4.1.Agrega Numunelerinin Karşılaştırılması	58
4.1.1.Elek analizine ilişkin sonuçlar	58
4.1.2.Özgül ağırlık ve su emmeye ilişkin sonuçlar	59
4.1.3.Los Angeles aşınma deney sonuçları	60
4.1.4.Metilen mavisi deney sonuçları	61
4.1.5.Malzemenin kırılmışlık yüzdesi	62
4.2.Marshall Briketlerinin Hazırlanması ve Marshall Stabilite Deneyi	63
4.2.1.Karışım gradasyonunun hesabı.....	63
4.2.2.Briket için agrega tartımları.....	65
4.2.3.Bitüm deney sonuçları	67
4.2.4.Marshall deney formu ve grafiklerin çizimi	68
4.3.Optimum Bitüm Yüzdesinin Belirlenmesi.....	73
5.SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	74
KAYNAKLAR	77
ÖZGEÇMİŞ	79
EKLER	80
EK 1	80
EK 2	81
EK 3	82

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DİYARBAKIR YÖRESİNDE BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLARDA KULLANILAN BAZALT, KALKER, DERE MALZEMELERİNİN KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Dilan ASLAN

**Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Prof. Dr. Ali SARIŞIK
Yıl: 2019, Sayfa: 82**

Bu tez çalışmasında Diyarbakır yöresinde bitümlü sıcak karışımlarda agrega malzemesi olarak kullanılan; bazalt, kalker ve dere malzemeleri araştırılmıştır. Öncelikle her bir malzeme türü arasında farklı agrega ocaklarından malzeme temin edilmesi ile kendi aralarında bir mukayese yapılmıştır. Ocaklardan temin edilen numunelerin standartlara uygunlukları laboratuvar deneyleri ile araştırılmıştır. Agrega numuneleri üzerine yapılan deney sonuçları dikkate alınarak karışım içerisinde kullanılacak agregalar tespit edilmiştir. Bu üç tip malzeme arasında standartları sağlayan agrega numuneleri ile bitümlü sıcak karışım hazırlanmıştır. Bu agrega numuneleri arasında dere agregasının bitümlü sıcak karışımlarda kullanılabilirliği araştırılmıştır. Hazırlanan karışım içerisinde dayanım ve dayanıklılığı en iyi şekilde etkileyen agrega numunesi tespit edilmiştir. Bu araştırmalar sonucunda bu üç tip agrega numunesinin bitümlü sıcak karışımlarda kullanılabilirlikleri tespit edilmiş olup en iyi şartname limitlerini sağlayan agrega numunesinin bazalt agregası olduğu tespit edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELEER: Bitümlü Sıcak Karışım, Bazalt, Kalker, Dere Agregası, Bitüm

ABSTRACT

MSc Thesis

COMPARISON OF CHARACTERISTIC PROPERTIES OF BASALTS, LIMESTONE AND STREAM MATERIALS USED IN BITUMINOUS HOT MIX IN DIYARBAKIRREGION

Dilan ASLAN

**Harran University
Graduate School of Naturel and Applied Sciences
Department of Civil Engineering**

**Supervisor: Prof. Dr. Ali SARIŞIK
Year: 2019, Page: 82**

In this study, basalt, limestone and rivel gravel materials that are used aggregate material in bituminous hot mixtures in Diyarbakır region were investigated. First of all, each material from different aggregate quarries are supplied then a comparision was made among these materials with one another. The conformity of the samples to standarts obtained from the quarry were investigated by laboratory tests. Considering the test results on aggregate samples, the aggregates to be used were determined. A bituminous hot mixture was prepared with aggregate samples providing the standarts among these three types of materials. Among these aggregate in bituminous hot mixtures was investigated. In the prepared mixture, aggregate sample which best affects the resistance and durability was observed. As a result of these investigations, the usability of these three types of aggregate samples in bituminous hot mixtures was determined and it was detected that basalt aggregate provides the best specifications limits.

ANAHTAR KELİMELER: Bituminous Hot Mixture, Basalt, Limestone, River Gravel, Bitumen

TEŞEKKÜR

Bu alıŐma sűresince bilgi ve tecrűbelerinden yararlandıđım Sayın Prof. Dr. Ali SARIŐIK'a, bu tez alıŐması boyunca asla pes etmeme izin vermeyen arkadaŐım ArŐ. Gűr. Rabia İZOL' a ve bana her konuda destek olan deđerli eŐim Fırat ÇAVDAR 'a sonsuz teŐekkűrlerimi sunarım.



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1. 1. Esnek üstyapı enkesiti ve bünyesindeki tabakalar	2
Şekil 1. 2. Yol üst yapı tabaka çeşitleri şematik gösterimi	2
Şekil 1. 3. Bitümlü sıcak karışım tabakaları	3
Şekil 2.1. Tek katlı sathi kaplama uygulaması	10
Şekil 2.2. Sathi kaplamalı esnek yol üstyapı en kesidi	10
Şekil 2.3. Bitümlü soğuk karışım uygulaması	13
Şekil 2.4. Kaplama pürüzlülüğü	18
Şekil 2.5. Agregalardaki farklı rutubet halleri	20
Şekil 2.6. Elek açıklığı	21
Şekil 2.7. Bitümlü bağlayıcı sınıflandırması	29
Şekil 3.1. Taş ocakları ve doğal agrega ocaklarını gösterir harita	33
Şekil 3.2. Elek analizinde kullanılan elek takımı	35
Şekil 3.3. Los Angeles aşınma deney cihazı	37
Şekil 3.4. Arşimet terazisi	39
Şekil 3.5. Metilen mavisi karıştırıcısı ve süzgeç kağıdı	42
Şekil 3.6. Penetrasyon deneyinin işleyişi	44
Şekil 3.7. Penetrasyon ölçüm cihazı	44
Şekil 3.8. Cleveland açık kap cihazı	45
Şekil 3.9. Piknometre tüpü	46
Şekil 3.10. Asfalt karıştırıcısı ve numune kalıpları	48
Şekil 3.11. Otomatik Marshall kompaktörü	49
Şekil 3.12. Su banyosu	54
Şekil 3.13. Marshall stabilite test cihazı	55
Şekil 3.14. Temsili Marshall karışım dizayn grafikleri	56
Şekil 4.1. B1 ocak numunesi gradasyon eğrisi	63
Şekil 4.2. K3 ocak numunesi gradasyon eğrisi	64
Şekil 4.3. D2 ocak numunesi gradasyon eğrisi	65
Şekil 4.4. B1, K3 ve D2 numunelerine ait D_p – bitüm % grafiği	69
Şekil 4.5. B1, K3 ve D2 numunelerine ait stabilite – bitüm % grafiği	69
Şekil 4.6. B1, K3 ve D2 numunelerine ait akma – bitüm % grafiği	70
Şekil 4.7. B1, K3 ve D2 numunelerine ait V_f – bitüm % grafiği	71
Şekil 4.8. B1, K3 ve D2 numunelerine ait V_h – bitüm % grafiği	71
Şekil 4.9. B1, K3 ve D2 numunelerine ait VMA – bitüm % grafiği	72

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 2.1. Düşük stabilite sebep ve etkileri	15
Çizelge 2.2. Düşük durabilite sebep ve etkileri	15
Çizelge 2.2. Devamı	16
Çizelge 2.3. Geçirgenliğin sebep ve etkileri.....	16
Çizelge 2.4. Düşük işlenebilirliğin sebep ve etkileri	17
Çizelge2.5. Zayıf yorulma direncinin sebep ve etkileri	17
Çizelge 2.5. Devamı	18
Çizelge 2.6. Düşük kayma direncinin sebep ve etkileri	18
Çizelge 2.7. Bitümün kimyasal bileşenleri	28
Çizelge 3.1. Aşınma deneyi numune sınıfları ve aşındırma yükleri.....	37
Çizelge 3.2.Marshall metodu ile binder tabakası dizayn kriterleri	57
Çizelge 4.1. Taşocağı numunelerine ait elek analizine ilişkin sonuçlar.....	58
Çizelge 4.1. Devamı	59
Çizelge 4.2. Dere agrega ocak numunelerine ait elek analizine ilişkin sonuçlar.....	59
Çizelge 4.3. Özgül ağırlık ve su emme deney sonuçları	60
Çizelge 4.4. Los Angeles aşınma deney sonuçları	61
Çizelge 4.5. Metilen mavisi deney sonuçları.....	61
Çizelge 4.6. Malzemenin kırılmışlık yüzdesi	62
Çizelge 4.7. B1 ocak malzemesi gradasyon hesabı	63
Çizelge4.8. K3 ocak malzemesi gradasyon hesabı.....	64
Çizelge 4.9. D2 ocak malzemesi gradasyon hesabı	65
Çizelge 4.10. B1 ocak malzemesi için agrega tartımları	66
Çizelge 4.11. K3 ocak malzemesi için agrega tartımları	66
Çizelge 4.12. D2ocakmalzemesi için agrega tartımları	67
Çizelge 4.13.Bitümlü bağlayıcı deney sonuçları	67
Çizelge 4.14. Optimum bitüm yüzdesinin hesap sonuçları	73
Çizelge 4.15. B1 Marshall dizaynçizelgesi	80
Çizelge 4.16. K3 Marshall dizayn çizelgesi	81
Çizelge 4.17. D2 Marshall dizayn çizelgesi	82
Çizelge 5.1. Optimum bitüme göre Marshall grafik okumaları.....	80

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

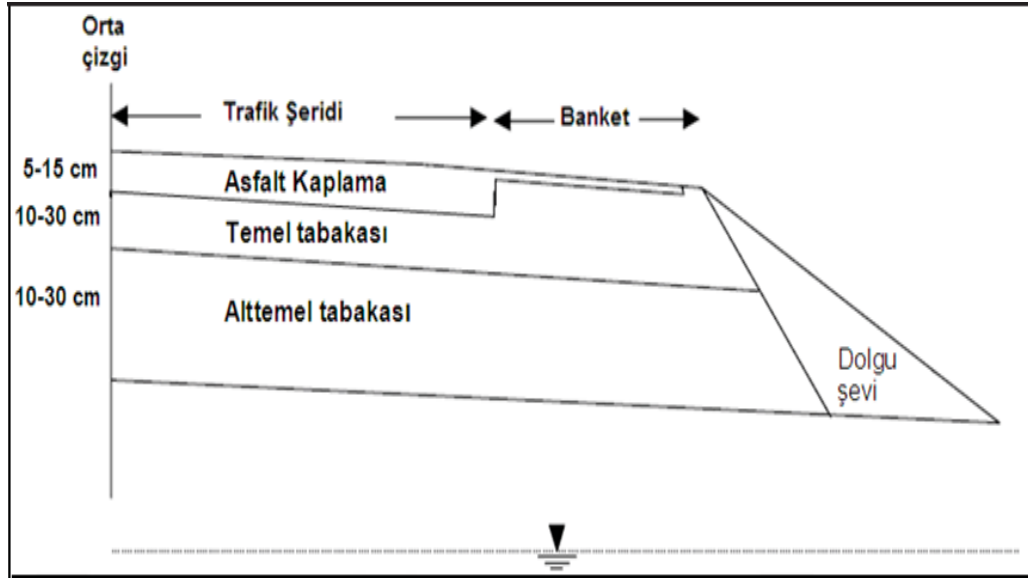
A.D.B	Asfaltla dolu boşluk oranı
D_p	Sıkıştırılmış karışım numunesinin hacim özgül ağırlığı
D_{port}	Karışım numunelerinin hacim özgül ağırlıkları ortalaması
D_t	Kaplama karışımının maksimum özgül ağırlığı
D_p	Sıkıştırılmış karışımın (briketin) hacim özgül ağırlığı
D_t	Karışımın maksimum teorik özgül ağırlığı
%F	Fillerin ağırlıkça yüzdesi
G_{sb}	Agrega karışımının hacim özgül ağırlığı
G_{kb}, G_{ib}	Agregaların hacim özgül ağırlıkları
G_{ka}, G_{ia}, G_{fa}	Agregaların zahiri özgül ağırlıkları
G_{ef}	Agrega efektif özgül ağırlığı
G_b	Bitüm özgül ağırlığı
G_{sa}	Agrega karışımının zahiri özgül ağırlığı
%İ	İnce agreganın ağırlıkça yüzdesi
%K	Kaba agreganın ağırlıkça yüzdesi
M_a	Karışım içerisindeki agrega miktarı
M_b	Karışım içerisindeki bağlayıcı miktarı
P_{ba}	Agreganın ağırlıkça yüzdesi olarak absorbe edilen bitüm
P_{be}	Agreganın ağırlıkça yüzdesi olarak efektif bitüm miktarı
VMA	Agregalar arası boşluk yüzdesi
V	Karışım numunesinin hacmi
V_h	Toplam hacmin yüzdesi olarak sıkıştırılmış karışımdaki hava boşluğu
V_f	Asfaltla dolu boşluk yüzdesi
W_a	Agreganın yüzdesi olarak bitüm miktarı
W_a	Agreganın yüzdesi olarak bitüm miktarı
W_a	Agrega içerisindeki bağlayıcı yüzdesi
W_b	Karışım içerisindeki bağlayıcı yüzdesi

1. GİRİŞ

Ulaştırma, bir ülkenin sosyo-ekonomik yapısının önemli yapı taşlarından biridir. Ulaşım; kara, deniz ve hava yollarıyla kurduğu ağ ile toplumsal, ekonomik ve kültürel iletişimi aktaran önemli bir unsur olmaktadır. Ülkelerin kalkınmışlık seviyesinin belirlenmesinde önemli bir etken olan ulaştırma; sanayi, ticaret, tarım ve turizm gibi en önemli iktisadi faaliyetlere hareket kazandırmaktadır.

Ülkemizdeki tüm ulaştırma modlarının önemli kısmını karayolu ulaşımı oluşturmaktadır. Uzunluk olarak; 67 bin 319 km karayolu ağına sahip Türkiye'nin; %59'unu sathi kaplamalı yollar, %34'ünü asfalt betonu yollar, %7'sini de diğer yollar oluşturmaktadır (URL-1). Türkiye'de mevcut karayollarının büyük bölümü sathi ve sıcak karışım (BSK) kaplamalar olarak inşa edilmiştir.

Yol inşaatları alt ve üst yapı olarak iki şekilde sınıflandırılır. Yolun taşıyıcı kısmını altyapı oluşturur. Yolun toprak işi bitikten sonra önceden tespit edilmiş en kesit ve kot şekline getirilen kısımdır. Drenaj tesisleri, sanat yapıları, menfez ve istinad duvarı altyapıya örnek olarak gösterilebilir. Üst yapı ise; trafik yüklerini taban zeminindeki taşıma gücünü geçmeyecek şekilde taşıyıp, bu yükü taban yüzeyi üzerine yaymak amacıyla alt yapı üstüne inşa edilen kısımdır (Şekil 1.1.). Yol üst yapısı; alt temel tabaka, temel tabaka ve asfalt kaplama tabakalarından oluşmakta olup ve bu tabakalar Şekil 1.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 1. 1. Esnek üstyapı enkesiti ve bünyesindeki tabakalar (Yılmaz ve ark., 2012)



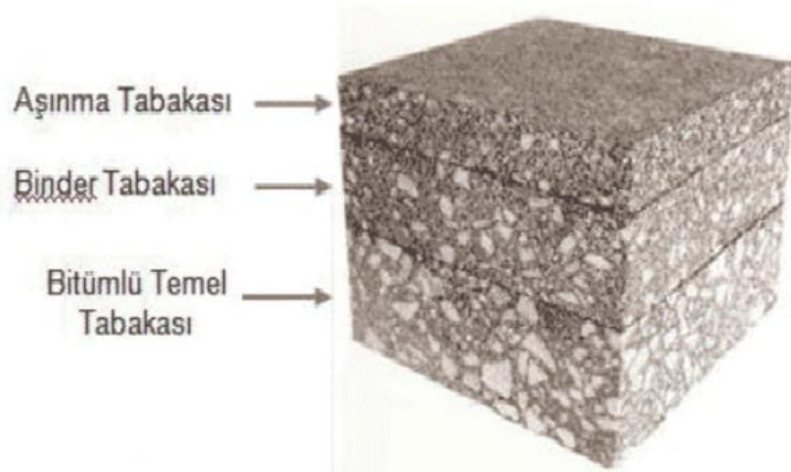
Şekil 1. 2. Yol üst yapı tabaka çeşitleri şematik gösterimi (Kuloğlu ve ark. , 2006)

Kaplama tabakaları sınıflandırmasında sert yüzeyli yolları karışım içerisinde kullanılan bağlayıcı cinslerine göre esnek ve rijit olarak iki kısma ayrılır. Rijit olan yol üstyapısında bağlayıcı olarak kullanılan malzeme olarak portlant çimento, esnek yol üstyapılarında da bağlayıcı malzeme olarak değişik kökenli (hidrokarbonlu) bitümlü bağlayıcılar kullanılmaktadır. Esnek üstyapı malzemesi olan bitümlü karışımlar, hızlı ve kolay inşaat imkânıyla şehir içi ve şehir dışı yollarda trafik akışını uzun süre aksatmaya neden olmadan, güvenli ve hızlı bir şekilde yolun trafiğe açılması yönünden tercih edilmektedir. Düşük trafik yoğunluğunda, esneklik

avantajından dolayı daha ince bir tabaka halinde uygulanabilmesi, uzun vadede bağlayıcı özelliğini kaybetmemesi, içerisinde yer alan bitüm ve agreganın kısmen geri dönüştürülebilir olması gibi nedenlerden dolayı da tercih edilen bir esnek üstyapı karışımıdır.

Esnek yol üstyapılarına bitümlü sıcak karışım da (BSK) denilmektedir. Karayolu yapımının en önemli kısmını teşkil eden bitümlü kaplama karışımlarının iki ana bileşeni vardır. Bunlar; agrega ve bitümlü bağlayıcılardır. Bitümlü sıcak karışım üretimi asfalt üretim plantinde yaklaşık 150-160 °C derecede ısıtılarak kurutulmuş agrega ile yine aynı derecede ısıtılmış bitümün karışım dizaynına uygun olarak harmanlanmasından elde edilir.

Yol esnek üstyapı kaplama malzemesinin trafik yüklerine doğrudan maruz kaldığı bilinmektedir. Kaplama malzemesinin şu işlevleri bulunmaktadır; yüzeyde biriken suların alt tabakalara geçişini önlemek, trafiğin aşındırıcı etkilerine karşı koymak, taşıyıcı tabakaya gelen kayma ve basınç gerilmelerini minimize etmek, güvenli ve konforlu bir sürüş sağlamak, yolda kalıcı hasarlar oluşmasını engellemek gibi işlevleri vardır. Bitümlü sıcak karışım kaplamaları Şekil 1.3.'de görüldüğü gibi, bitümlü temel, binder ve aşınma tabakalarından oluşmaktadır.



Şekil 1.3. Bitümlü sıcak karışım tabakaları (URL-2)

Esnek yol üstyapımında uygulanan bu bitümlü karışımlar, düşük ve yoğun trafikli yollarda karışımın sıcak ve soğuk olması şeklinde farklı karışımimkânları sunmaktadır. Son zamanlarda, Türkiye genelinde artan yol yapım çalışmalarında da görüldüğü gibi, esnek yol üstyapı kaplamalarında kullanılan bitümlü karışımlar, bugün ve gelecekte de yol yapımında önemini koruyacaktır. Yolun hizmet ömrünü, yolu oluşturan malzemelerin performansı, yolun bulunduğu bölgenin iklim şartları ve trafik hacmi gibi parametreler belirler. Ekonomik ömrü içerisinde yoldan ekonomik bir şekilde faydalanmanın veya başka bir deyişle yolun hizmet ömrünü uzatmanın birçok çözümü bulunmaktadır. Bunların bazıları, bitümlü sıcak karışımların temel malzemeleri olan agregaya ve bitümlü bağlayıcıların özenle seçilmesidir.

Bitümlü sıcak karışımın hacimce yaklaşık % 80-90'ı ve ağırlıkça %94-95'i agregalardan oluşur (Akbulut ve ark., 2006). Agregaya, yol üstyapı kaplama tabakasında yük taşıma kapasitesinden birincil derecede sorumlu yapı taşıdır. Kullanılacak agregaya bağlı olarak asfalt kaplamanın dayanım ve dayanıklılığa etkisi büyük önem gösterir. Agregaların temin edilmesinde ortaya çıkan problemler ve işçilikte ortaya çıkacak zorluklar dolayısıyla, büyük boyuttaki blok taşlardan yapılan yollar zamanla azalmış ve kırınmış taşlar yol yapımında öncelikli malzeme olarak kullanılmaya başlanmıştır. Yol yapımında kullanılan bu agregalar bölgedeki doğal agregaya kaynaklarından veya taş ocaklarından elde edilmektedir. Dolayısıyla gün geçtikçe yeni yapılan yol ağlarından dolayı yeni taş ocaklarına olan ihtiyaç giderek artmakta ve mevcut kaynakların giderek azalmasına neden olmaktadır. Diyarbakır yöresinde BSK içerisinde kullanılan agregaya çeşitliliği yönünden ilk tercih edilen malzeme, volkanik bir kayalık türü olan bazalttır.

Yukarıda belirtildiği gibi bitümlü sıcak karışımlarda kullanılan agregaya karışım içerisinde önemli bir bileşendir. Literatür taramasında BSK'da kullanılacak olan agregalardan daha çok kalker malzemesinin aşınmadaki performansına ve geri dönüşüm malzemelerinin (mermer tozları gibi) BSK'da kullanılmasına değinilmiştir. Diyarbakır yöresinde binder tabakasında kullanılan bazalt ve kalker malzemelerine alternatif oluşturulması bakımından nehir yataklarından elde edilen dere

malzemesinin de bitümlü sıcak karışımda ki dayanım ve dayanıklılığının araştırılması gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında bitümlü sıcak karışımın binder tabakasında agrega olarak kullanılan dere, kalker ve bazalt arasında bir karakteristik analiz yapılmak istenmiştir.



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Literatür Taraması

Kuloğlu (1998), bitümlü sıcak karışımlarda agrega gradasyonunun belirlenmesi ile ilgili yaptığı bir çalışmada, öncelikli olarak bitümlü bağlayıcı hesabı için, santrifüj kerosen eşdeğeri metodunu, Marshall metodunu ve ampirik formüllerden nasıl hesaplanacağını anlatmış ve hesaplamalarda kullanılacak ampirik formülleri tespit etmiştir. İlk olarak binder ve aşınma tabakaları şartname agrega gradasyon limitleri dikkate alınarak hazırlanan karışımlar için üç farklı ampirik formül ile bitümlü bağlayıcı miktarları hesaplamıştır. İkinci olarak Amerikan elek serisinden bazı elek aralıklarından geçen agrega yüzdeleri için iki farklı ampirik formül ile bitümlü bağlayıcı miktarlarını tespit etmiştir. Son olarak da Marshall medotu ve üç farklı ampirik formül ile hesaplanan bitümlü bağlayıcı miktarlarını karşılaştırıp bu formüllerden değer olarak Marshall metoduna en yakın değeri veren formülü tespit etmiştir. Bu ampirik formül ile hesaplanan binder ve aşınma tabakaları agrega gradasyonları arasında en az bitümlü bağlayıcı gerektiren, binder tabakası için şartnamede belirtilen Tip 3'ün, aşınma tabakasında ise Tip 2'nin alt limitinin kullanılması halinde bitümlü sıcak karışımın daha az maliyetli olacağı sonucuna varmıştır.

Zarif ve arkadaşları (2003), İstanbul yöresindeki kireçtaşlarının agrega kullanılabilirlikleri yönünden araştırılmasını yaptıkları çalışmada, kireçtaşının dokusal ve bileşim olarak farklılıkları üzerinde durmuş ve bu değişik yapıya sahip kireçtaşlarının agrega numunesi olarak kullanılabilirliklerini araştırmışlardır. Analiz edilen kireçtaşları kimyasal ve petrografik yapılarının yanı sıra, incelenen agregaların kaliteleri ve özelliklerinden de standartlarda belirtilen şartnameler içinde bulunmakta veya bu şartname değerlere çok yakın sonuçlar verdiğini ve bu nedenlerden dolayı bu kireçtaşlarının birçok alanda kullanılabilirliği sonucuna varmışlardır.

Korkanç ve Tuğrul (2003) yaptıkları çalışmada, Niğde yöresinden temin edilen volkanik kayaç olan bazaltların agrega kaynağı olarak kullanılmasıyla ilgili bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada bölgede bulunan Melendiz volkanitleri, İğredağ bazaltları ile Karataş volkanitleri arasında gözlenen bazaltik kayaçlar seçilmiştir. Temin edilen bazaltların mekanik, petrografik, fiziksel ve kimyasal özelliklerinin yanında, agrega malzemesi olarak kullanım şartları araştırılmıştır. Yaptıkları araştırmalar sonucunda, Melendiz volkanitleri ile Karataş volkanitlerinin az mikro çatlaklı, düşük poroziteli, sert ve yüksek dayanımlı kısımlarının birçok alanda agrega numunesi olarak kullanımlarında sakınca görülmediğinin sonucuna varmışlardır.

Yılmaz ve Çavuşoğlu (2004) yaptıkları çalışmada, Harşit çayından elde edilen ve kuşkaşısı konkasöründe kırılan dere malzemesinin agrega olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Tesiste üretilen üç tip agrega üzerine elek analizi, aşınma dayanımı, özgül ağırlık, dona dayanıklılık, su emme, yassılık indeksi deneyleri yapılarak şartname uygunluklarını incelemişlerdir. Bu deneyler sonucunda şartname aralıkları deney sonuçları ile karşılaştırıldığında dere agregasının kullanılabilirliği sonucuna varmışlardır.

Alataş ve arkadaşları (2006) yaptıkları çalışmada, yol esnek üst yapı tabakalarından bitümlü sıcak karışımlarını içerisinde bulunan agrega türünün kaplamanın fiziksel özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Bu çalışma için Elazığ ilinden temin ettikleri bazalt, kalker, incesi bazalt kabası kalker ve incesi kalker kabası bazalt olan numunelerden oluşan 4 farklı agrega grubu oluşturmuşlardır. Oluşturdukları bu agregalarla tip II gradasyon limitlerine göre aşınma tabakası için Marshall dizayn yöntemiyle briketler hazırlamışlardır. Bu briketler üzerine Marshall stabilite deneyi ve indirekt çekme deneyi yaparak karışım optimum bitümlü bağlayıcı oranına agrega türünün etkisini incelemişlerdir. Bu makalede varmış oldukları sonuç, sadece kalker ile hazırlanan karışımın optimum bitüm oranının düşük çıkmasından kaynaklı kalker ile hazırlanan karışımın ekonomik açıdan daha uygun olduğu, sadece bazalt ile hazırlanan karışımın ise dayanım yönünden en iyi sonucu verdiğini yaptıkları çalışma ile göstermişlerdir.

Gürer ve arkadaşları (2007) yaptıkları çalışmada, Afyonkarahisar bölgesinde üretilen bitümlü sıcak karışım kaplamalarından aşınma tabakası ve sathi kaplamalarda agrega olarak kullanılan kireçtaşların(kalker) ve volkanik taş (andezit) üzerine cilalanma, yapışma ve soyulma deneyleri yapılarak elde edilen sonuçları karşılaştırmışlardır. Yaptıkları karşılaştırma sonucunda yapışma ve soyulma deneylerinde kireçtaşlarının daha iyi sonuçlar verdiğini tespit etmişlerdir. Ancak cilalanma deneyi ile bulunan kayma direncinde ise volkanik kökenli olan andezit taşının kireçtaşlarından daha iyi sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir. Aşınma tabakalarında cilalanma direncinin yüksek olmasının daha güvenli sürüş konforu, dayanıklı ve emniyetli yollar için önemine yaptıkları çalışma ile değinmişlerdir.

Kula (2008) yapmış olduğu tez çalışmasında, Edirne yöresinden temin ettiği dere agregaları ve taş ocağı agregalarının bitümlü sıcak karışım ve beton malzemesi olarak kullanılabilirliklerini araştırmıştır. Farklı sekiz ocaktan temin edilen dere ve taşocağı agregaları deney sonuçları ile beton ve bitümlü sıcak karışımda kullanılabilir en uygun malzemeyi tespit etmiştir. Bunun yanı sıra bütün ocak numunelerinin fiziki ve mekanik özelliklerinin tespitini de yapmış bulunmaktadır.

Gezer (2009) yapmış olduğu tez çalışmasında Mersin ili civarından elde ettiği kireçtaşının bitümlü sıcak karışım agregası ve beton agregası olarak kullanılabilirliğini araştırmıştır. Bu tez çalışmasında beton ve agrega ile ilgili çeşitli bilgiler vermiştir. Kireçtaşı numuneleri üzerine mekanik ve fiziksel deneyler uygulamıştır. Bu deneylerin şartname limitlerinin sağlanmasıyla bitümlü sıcak karışım ve beton üretimi yaparak kimyasal ve petrografik analizlerde bulunmuştur. Bitümlü sıcak karışımın her bir tabakası için ayrı ayrı Marshall dizayn yöntemini uygulamıştır. Yaptığı deneyler sonucunda agrega malzemesi olarak kullanılan kireçtaşının beton üretimine uygunluğunu tespit etmiştir. Bu kireçtaşı ile üretilen üç asfalt tabakası için optimum bitüm değerleri tespit edilmiş ve optimum bitüm değerleri kullanılarak yapılan Marshall dizayn grafiklerinden okunan değerlerin standartlar içinde kaldığını analiz etmiştir.

Uz ve Gökalp (2017) yaptıkları çalışmada, cüruflardan ve doğal agregalardan oluşan farklı tane boyutuna ve gradasyona sahip agregalar ile hazırlanan yüzeysel kaplamaların kayma mukavemeti performansını araştırmışlardır. Bu çalışma doğrultusunda öncelikli olarak agregaların mekanik, fiziksel ve kimyasal özelliklerini TS EN standartlarını dikkate alarak belirlemişlerdir. Harç tipi kaplamaları üç farklı gradasyona sahip agrega ile hazırlarken, sathi kaplamalarının belirli aralıklarda ve çeşitli tane boyutuyla hazırlanmışlardır. Hazırlanmış oldukları yüzeysel kaplamalar üzerine uyguladıkları kayma direncini karşılaştırdıklarında çeşitli boyut ve tane aralığına sahip cüruf ile elde edilmiş numunelerin, doğal agrega ocak malzemeleri ile üretilen numunelerden yüksek performans gösterdiğini vurgulamışlardır.

2.2. Esnek Yol Üstyapıları ve Kaplama Türleri

Dünyada ve ülkemizde en yaygın olarak kullanılan ulaşım sistemini karayolları oluşturmaktadır. Ülkemizin karayolları ağının tamamına yakını esnek üstyapı kaplamalı yollardan oluşturmaktadır. Trafik hacmi ve dingil ağırlıkları göz önüne alınarak oluşturulan yol projelerinin üstyapı performansı ve kaplama ömrü açısından farklı karışım olanakları sağlayan esnek yol üstyapı kaplamaları genel anlamda iki sınıfa ayrılmaktadırlar. Bunlardan ilki olan sathi (yüzeysel) kaplamalı yollar, toplamı 67 319 km olan karayolu ağının %59'unu oluşturur. İkinci olarak bitümlü karışım kaplamalı yollar karayolları ağının %34'ünü oluşturmaktadır (URL-1).

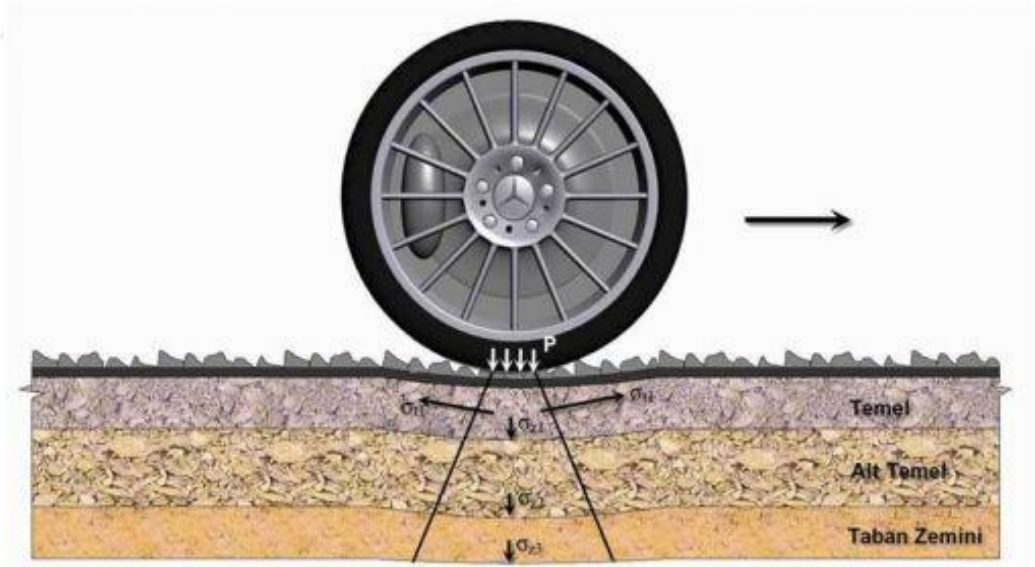
2.2.1. Sathi (yüzeysel) kaplamalar

Trafik yoğunluğunun ve dingil yükünün az olduğu düşük standartlı şehirlerarası yollarda, köy yollarında, altyapısı henüz bitmemiş şehir içi yollarında veya onarım amaçlı yeniden yapılan yollarda kullanılan ekonomik bir kaplama türüdür. İnce kaplamalar olan Sathi kaplamalar çoğunlukla 25 mm kalınlığına sahiptirler ve Şekil 2.1.'de görüldüğü üzere hazır bir temel tabakası üstüne öncelikli olarak bitümlü bağlayıcı ardından agrega serimi en son olarak silindiraj yapılarak inşa edilir.



Şekil 2.1. Tek katlı sathi kaplama uygulaması

Sathi kaplamalar, temel ve alt temel tabakasına oturan yol üzerinde yeterlisürtünme ve düzgün yuvarlanma oluşturan, yol üzerindeki suların alt tabakaya erişimini önleyen kaplama çeşididir (Şekil 2.2.).



Şekil 2.2. Sathi kaplamalı esnek yol üstü yapısı en kesidi (<http://www.yolustuyapimuh.com>)

Sathi kaplamalı yolların avantajları;

- Yüzey sularının, granolometrisi belirli temel tabakalarına sızmasını önleyerek temel tabakasının stabilitesini (bütünlüğünü) korumak,
- Yüzeydeki boşlukları doldurmak, kaplamada ki gevşek agregataneleri arasında bağ kurmak,
- Yıpranmış ve aşınmış yol yüzeylerini yenilemek,
- Ertelenmiş veyahut altyapı problemlerinden kaynaklı kaplama yapımları veya aşamalı yapım durumlarında geçici kaplama görevi görmek,
- Düşük hacimli yollarda toz kontrolü sağlamak,
- Kayma direnci yüksek yüzeyler elde etmek.

Sathi kaplamalı yolların dezavantajları;

- Yüzeyde oluşan pürüzlülükten kaynaklı sürüş konforu daha azdır,
- Sürtünme direncinin yüksek olmasından dolayı, taşıt bakım giderleri fazladır,
- Gevşek veya zaman içerisinde gevşeyen agregaların kazaya sebebiyet vermesi,
- Donma ve çözülmeye karşı dirençleri düşük olduğundan çabuk deforme olurlar,
- Yukarıdaki sebeplerden ötürü bakım ve onarım ihtiyacı süreklilik gerektirmektedir.

Sathi kaplamalar yapımı bakımından genellikle iki gruba ayrılırlar. Tek katlı sathi kaplama yapımı; Bölgenin şartlarına uygun asfalt türevi malzemenin temel malzeme üzerine püskürtülmesinden sonra hemen aynı ebattaki tek kat agregat abakasının serilip sıkıştırılmasıyla oluşur. Tek katlı sathi kaplamanın kalınlığı kaplamada kullanılacak olan en büyük boyuttaki agreganın dane büyüklüğüne bağlıdır. Çok katlı sathi kaplama yapımı; art arda iki veya daha çok bitümlü bağlayıcı ve agregat seriminden oluşmakta olup, tek katlı sathi kaplamadan daha dayanıklıdır. Bu tabakalar için örtme agregasının nominal boyutu, daha önce serilen nominal agregat boyutunun yarısından büyük olmamalıdır. Bunun sebebi ilk tabaka oluşacak boşlukların doldurulmasıdır.

2.2.2. Bitümlü karışım kaplamaları ve çeşitleri

Bitümlü karışımlar, belirli bir gradasyona sahip agrega ile bitümlü bağlayıcı malzemenin belli oranlarda bir asfalt plentinde veya farklı bir karışım yöntemiyle elde edilir. Bitümlü karışım kaplamanın yüksek maliyetinden ötürü yapımından sonra istenilen sürede ve belirli şartlarda işlevselliğini sürdürebilmesi için malzeme seçiminin uygunluğuyla beraber karışımda kullanılacak malzeme oranlarının da analizinin iyi yapılması gerekmektedir. Bitümlü sıcak karışımın mekanik ve fiziki özellikleri sağlaması beklenir.

Bitümlü karışımlar, sıcak ve soğuk karışımlar olmak üzere iki kısma ayrılır. Bağlayıcı tipine ve agreganın ısıtılıp ısıtılmama durumuna bağlıdır. Soğuk karışımlarda bitümlü bağlayıcı olarak, emülsiyon asfaltı veya katbek asfaltı kullanılır. Sıcak karışımlarda ise 140-160 °C sıcaklığına çıkarılmış bitümlü bağlayıcı kullanılır.

İmalat türlerinden Türkiye’de en çok kullanılan metodlar; agrega ve bitümün sıcak olarak karıştırılması, nakledilmesi ve sıcak olarak serilerek sıkıştırılma metodlarıdır.

2.2.2.1. Bitümlü soğuk karışımlar

Katbek asfaltın veya asfalt emülsiyonlarının, agrega ile soğuk halde veya agrega yüzeyindeki nemin kurmasına yetecek kadar sıcaklıkta bir asfalt plentinde veyahut farklı karıştırma yöntemleri ile elde edilir. Soğuk karışımlar genellikle trafik yükü az olan ikinci sınıf yollarda ve kış şartlarından kaynaklı deforme olan yollarda bakım amacıyla da kullanılır.



Şekil 2.3. Bitümlü soğuk karışım uygulaması

2.2.2.2. Bitümlü sıcak karışımlar

Agreganın kurutulması, asfalt ile iyi bir şekilde karıştırılabilmesi, islenebilmesi ve bitümlü bağlayıcının uygun akıcılığa getirilmesi amacıyla karıştırılmadan önce her iki malzemenin de ısıtılması gerektiğinden, bu tür karışımlara sıcak karışım denilmektedir. Bitümlü sıcak karışım, bitüm ve agreganın bir tesiste harmanlanmasıyla elde edilen karışımlara denir. Sıcak karışım kaplamalarının trafiğin orta ve daha yoğun olduğu yollarda dingil yüklerini taşımak, olumsuz iklim koşullarından üstyapıdaki diğer tabakaları korumak gibi çeşitli amaçlar için kullanılır. Bu tip kaplamalar standartı yüksek yollarda kullanılmaktadır. Bitümlü sıcak karışımlar yapımı ve uygulama yöntemleri açısından, sathi kaplama tabakalarına göre çok daha maliyetlidirler.

Bitümlü sıcak kaplamaların istenilen belirli şartları sağlaması ve fiziksel özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu nedenle bitümlü sıcak karışım dizayn sistemi, uzun yıllar boyunca trafik ve çevre etkilerine dayanacak özellik ve karakteristiklerde karışım üretmek için, bitümlü bağlayıcı ve agreganın uygun şekilde oranlanmasını kapsar. Ayrıca iyi bir laboratuvar tekniğine sahip olmak ve karışım dizayn deneyleri ile karayolları teknik şartname talepleri arasında ilişkiyi kurmak gerekir.

Karışım dizaynı Marshall metodu, Hweem yöntemi ve superpave yöntemi kullanılarak laboratuvar da hazırlanır. Dünyada ve ülkemizde en yaygın olarak kullanılan yöntem Marshall metodudur.

Bitümlü sıcak karışım kaplama tabakaları, yolun dingil yüklerinden kaynaklı taşıma kapasitesi hesaplarından üç tabaka halinde tasarlanabilir. Bunlar; bitümlü temel, binder ve aşınma tabakalarıdır. Bitümlü temellerin, trafik yükleri altında eğilmeden kaynaklanan yorulma çatlaklarına karşı dayanımı yüksek olmalıdır (Ahmedzade ve ark., 2016). Orta tabaka olan binder tabakasının, stabilitesinin ve durabilitesinin yüksek olması gerekir. Bu tabakanın stabilitesi, agregaların etkileşiminin sağlanması ve yüksek sıcaklığa dayanıklı bitümlü bağlayıcının kullanılmasıyla sağlanır. Agregaların yüzeyinin pürüzlü olmasından dolayı ortaya çıkan sürtünme çakıl yada kırmataşın kullanımıyla elde edilebilir. Konfor tabakası olarak bilinen aşınma tabakası ise; tekerlek izi oturmalarına, yüzeysel çatlaklara, güvenli sürtünmeye dayanıklı olmalı ve gürültünün en altına indirilmesini sağlayacak biçimde tasarlanıp uygulanmalıdır. Binder tabakasının kalınlığı trafik yoğunluğuna, çevresel etkenlere ve ekonomik şartlara bağlı olarak değişebilir.

Bitümlü sıcak karışımların (BSK) uygulandıkları bölgenin koşullarına bağlı olarak, bitümlü bağlayıcı ile agregaların karışımının yola tatbik edildikten sonra istenilen verimin alınabilmesi ve hesaplanan hizmet süresini sağlayabilmesi için bazı standartları sağlaması gerekmektedir. Bu şartlar kaplama ile ilgili teknik şartnamelerde verilmiştir. Ayrıca bir karışımın esnek yol kaplama malzemesi olarak kullanılabilmesi için karışımdan beklenen başlıca fiziksel ve mekanik özellikler şunlardır:

Stabilite: Taşıt trafiğinden kaynaklı sürekli ağır yükler, statik yüklerinin uzun süreli olması, hızlanma veya yavaşlanma sırasında tekerleğin oluşturduğu etkilerle oluşan çekme ve basınç kuvvetine karşı bitümlü sıcak kaplamanın direncidir. Bitümlü sıcak karışımdaki bitümlü bağlayıcı yüzdesinin veya ince malzeme yüzdesinin fazla olması ya da agregaların yüzeyinin pürüzsüzlüğü stabilite yetersizliğine neden olabilir. Bu sebeplerden dolayı yolda kasma, tekerlek izinde oturma ve yolda

çökmelere neden olur. Yolun trafik yüklerini karşılayabilmesi Stabilitenin yüksek olmasına bağlıdır. Fakat, bu durum rijitliğin artmasına sebep olmaktadır. Bu da sıcaklığın yükselmesiyle bozulma olasılığını düşürürken, sıcaklığın düşük olduğu durumlarda ise yolda çatlama oluşumunu artırabilmektedir. Buradan anlaşıldığı üzere düşük stabilitede olduğu gibi yüksek stabilitenin de zararlı etkilerinin olduğu açıkça görülebilmektedir. Stabilitelaboratuvar ortamında Marshall stabilite deneyi ile belirlenmekte ve bunun belirli bir optimum da olması arzu edilir. Bitümlü sıcak karışımın da oldukça önemli olan stabilite karışımın yoğunluğuna, agregagranülometrisine, bitüm bağlayıcı-agrega arasındaki aderansa, karışımdaki bitümlü bağlayıcı miktarıyla beraber agregalar arası içsel sürtünmeye bağlıdır. Düşük stabiliteye neden olan etkenler ve etkileri Çizelge 2.1.'de verilmiştir (Önal ve ark., 1993).

Çizelge 2.1. Düşük stabilite sebep ve etkileri (Önal ve ark., 1993)

Düşük Stabilitel	
Sebepl	Etkil
Yüksek asfalt %'si	Oluklaşma, tekerlek izinde oturma ve kuma
Karışımda fazla kum %'si	Sıkıştırma sırasında ve inşaat sonrasında yumuşaklık, sıkıştırma
Yuvarlak agregal, kırılmamış veya az kırılmış agregal yüzeyi	Tekerlek izinde oturma

Durabilite: Durabilite, çevre şartlarının ve trafiğin yolu aşındırma etkisine gösterdiği dirençtir. Başka bir deyişle karışımdaki bitümlü bağlayıcının bazı özelliklerinin değişmesine, agregal danelerinin kırılmasına ve bitümlü bağlayıcının agregal yüzeyinden soyulmasına karşı gösterdiği dirençtir.

Çizelge 2.2. Düşük durabilite sebep ve etkileri(Önal ve ark., 1993)

Düşük Durabilite	
Sebepl	Etkil
Düşük asfalt %'si	Kuru bir görünüş, agregaların sökülmesi

Çizelge 2.2. (devam)

Yetersiz sıkışma ve dizayn hatası nedeniyle yüksek boşluk %'si	Kırılma ve ayrışmaya neden olan asfaltın erken yaşlanması
Soyulmaya karşı hassas agregaların kullanılması	Asfaltın agregadan soyulması ve agregaların sökülmesi

Çizelge 2.2.'de görüldüğü üzere karışımdaki bitüm yüzdesi arttıkça durabilite artmaktadır. Çünkü agregaları saran bitümlü bağlayıcı kalınlığı ne kadar yüksek olursa, karışımın yaşlanmaya karşı direnci de o kadar artar. Böylece kaplamanın orijinal halde kalma süresi uzamaktadır. Karışımdaki bitümlü bağlayıcının miktarının artırılması sonucunda, karışımdaki hava boşlukları azalacak kaplamanın içine su ve hava girişi zorlaşacaktır.

Geçirimsizlik: Asfalt tabakasının içine, hava ve su girişine karşı gösterdiği dirence geçirimsizlik denir. Karışımın içerisindeki hava boşluklarının oranı ile ilişkilidir. Geçirimsizlik fazlaştıkça, soyulma direnci düşmekte, suyun ve havanın etki etmesiyle bitümlü bağlayıcının yaşlanması hızlanmakta, donma ve çözülme tekrarı ile agregalar da parçalanma artmaktadır. Karışımları geçirimli yapan sebepler ve etkileri Çizelge 2.3.'de verilmiştir.

Çizelge 2.3. Geçirgenliğin sebep ve etkileri (Önal ve ark., 1993)

Geçirimsizlik	
Sebep	Etki
Düşük asfalt %'si	Sökülme
Karışımda yüksek hava boşluğu %'si	Su ve hava kaplamaya kolayca girerek oksidasyona ve agregaların parçalanmasına neden olur
Yetersiz sıkıştırma	Kaplamaya su girer ve dayanım azalır

İşlenebilirlik: İşlenebilirlik, hazırlanan bitümlü sıcak karışımın istenilen kıvamda, kolayca karıştırılabilmesi ve sıkıştırılabilmesi olarak tanımlanır. İşlenebilirlik agregaların dağılımına, bitümlü bağlayıcı oranına, maksimum dane boyutuna, agregaların yüzeyinin ve şeklinin dokusuna bağlıdır. İşlenebilirliği çok iyi

olan karışımlar yumuşak karışımlardır ve bunların ağır dingil yükleri altındadeforme olmaları daha kolaydır. Düşük işlenebilirliğin sebep ve etkileri Çizelge 2.4.'de verilmiştir.

Çizelge 2.4. Düşük işlenebilirliğin sebep ve etkileri (Önal ve ark., 1993)

Düşük İşlenebilirlik	
Sebep	Etki
Çok büyük dane boyutu	Pürüzlü bir yüzey, serim zorluğu
Çok fazla kaba agregası	Sıkıştırma zorluğu
Çok düşük karışım sıcaklığı	Kaplanmamış agregası, düşük durabilite,pürüzlü bir yüzey,sıkıştırma zorluğu
Yüksek filler % 'si	Karışım çok kuru görünür, durabil olmaz ve işlenmesi çok zor olur
Düşük filler % 'si	Yumuşak karışım, yüksek geçirgenlik

Fleksibilite (esneklik): Bitümlü sıcak karışımların, temel, alt temel ve tabanından gelen geçici oturma ve hareketlere karşı, çatlamaya neden olmadan uyum gösterebilmesidir. Bitüm yüzdesi ve gradasyon esnekliği etkileyen faktörlerdir (Orhan, 2012). İdeal bitümlü sıcak karışımı dizayn edebilmek için sıcak havalarda kıvamını koruyabilecek, soğuk havalarda ise kırılğan olmayacak ve yorulmaya karşı dirençli bir bağlayıcıya gerek vardır.

Yorulmaya karşı direnç: Esnek üstyapıyı oluşturan kaplamanın trafik yükleri altında oluşan tekrarlanan eğilmeye karşı direncidir.Rijitlik, gradasyon ve yoğunluk, asfalt penetrasyonu, asfalt miktarı, kaplama ve asfalt tabaka kalınlığı, eğilme gerilmesi arttıkça yorulma mukavemeti artar (Tunç, 2004). Çizelge 2.5.'de zayıf yorulma direncinin sebep ve etkileri verilmiştir.

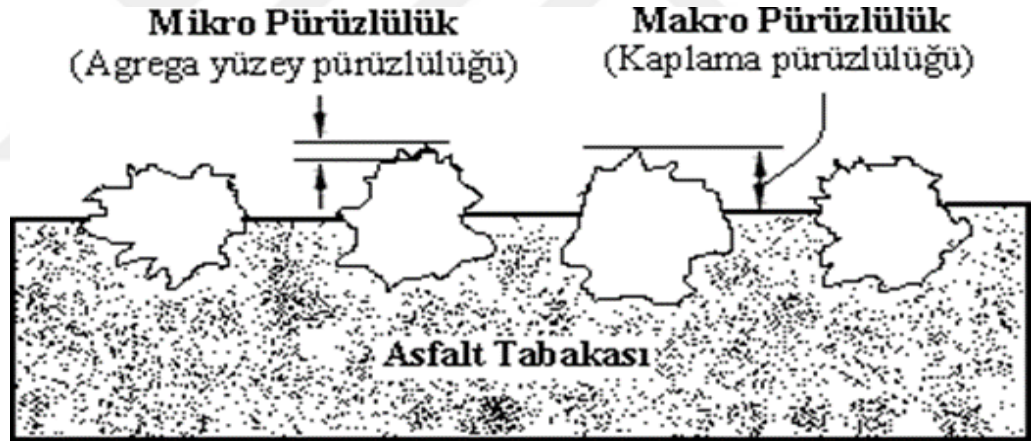
Çizelge 2.5. Zayıf yorulma direncinin sebep ve etkileri (Önal ve ark., 1993)

Zayıf Yorulma Direnci	
Sebep	Etki
Düşük asfalt %'si	Yorulma çatlağı

Çizelge 2.5. (devam)

Yüksek dizayn boşluğu	Asfaltın çok erken yaşlanmasını takiben yorulma çatlakları
Yetersiz sıkıştırma	Asfaltın çok erken yaşlanmasını takiben yorulma çatlakları
Yetersiz üstyapı kalınlığı	Aşırı eğilmeyi takiben yorulma çatlakları

Kaymaya karşı direnç: Kayma direnci üstyapı yüzeyinde hareket eden araçların lastiklerine karşı asfalt kaplamanın sürtünme ile göstermiş olduğu dirençtir. Oluşan sürtünme kuvveti araçların emniyetli olarak durmasının yanı sıra kurlarda araçların kaymasını önlemekte de büyük etkindir. Asfalt kaplamaların kayma direnci Şekil 2.4.'te görüldüğü gibi makro ve mikro pürüzlülüğüne bağlıdır. Mikro pürüzlülük agreganın yüzey yapısına bağlı iken makro pürüzlülük asfalt karışımında kullanılan agreganın nominal boyutu ile ilgilidir (Tunç, 2004).



Şekil 2.4. Kaplama pürüzlülüğü (Torun, 2015)

Düşük kayma direncinin sebepleri ve etkileri Çizelge 2.6.'da verilmiştir.

Çizelge 2.6. Düşük kayma direncinin sebep ve etkileri (Önal ve ark., 1993)

Düşük Kayma Direnci	
Sebebi	Etkisi
Fazla asfalt %'si	Kusma, düşük kayma direnci
Agrega gradasyonunun kötü olması	Çok düzgün yüzeyli kaplama, suyun yüzeyden drene olamaması
Agrega cilalanma değerinin düşük olması	Düşük kayma direnci

2.3. Bitümlü Sıcak Karışımlarda Kullanılan Agregalar

Farklı büyüklükteki kum, çakıl, kırmataş, cüruf gibi daneli malzemelerden oluşan agrega yol inşasında ve beton üretiminde kullanılır.

Kaplamanın hizmet ömründe agreganın ve bitümlü bağlayıcı karışımlarının özellikleri, performans ve dayanımı direkt olarak etkilemektedir. Agregaların sahip olduğu bazı fiziksel ve mekanik özellikler istenilen görevleri yerine getirebilmeleri için gereklidir.

2.3.1. Agregaların fiziksel özellikleri

2.3.1.1. Agregada rutubet durumu

Mukavemetin yüksek bir değerde olması kaba agregaların porozitesinin az olmasından kaynaklanır. Aksi durumda ise, agreganın çevrenin zararlı etkilerine ve donmaya dayanıklılığını azaltır. Agregaların % 12'den az su emmesi normal kabul edilir. Boşluklu malzemelerin donmaya karşı dayanıklı olması için donma derecelerinin % 80 den küçük olması gereklidir (Güner, 1999).

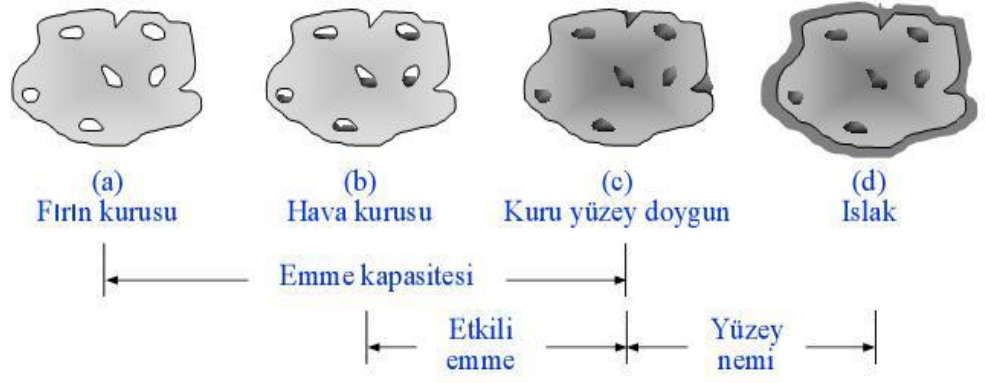
Agregalardaki rutubet durumları aşağıda belirtildiği gibidir (Şekil 2.5.).

Etüv kurusu:Agrega tanelerinin etüvde 110-120 °C ısıtılmasıyla tanelerde su bulunmama durumudur.

Hava kurusu:Oda sıcaklığında bırakılan agrega yüzeyinin belirli derinliğindeki boşlukların rutubetsiz, iç kısmının da rutubetli olması durumudur.

Yüzey kurusu:İç boşlukları su ile dolu olan agregaların yüzeylerinin kuru olma durumudur.

Islak:Yüzey ve tüm boşlukları su ile kaplı olan durumdur.



Şekil 2.5. Agregalardaki farklı rutubet halleri (Uçar, 2008)

2.3.1.2. Birim ağırlık

Yığın halinde bulunan agreganın taneleri arasındaki boşluklarının da hesaba katıldığı durumdaki hacminin ağırlığıdır. Agregaların birim ağırlıkları, agreganın dane dağılımına, yerleştirilme şekline, su muhtevasına, yuvarlak veya köşeli şekle sahip olması gibi belirli faktörlere bağlıdır.

2.3.1.3. Özgül ağırlık

Birim hacime karşılık gelen ağırlıklardır. Bu ağırlık normal agregalar için 2,2 – 2,8t/m³ değerleri arasındadır. Özgül ağırlıklar karışım hesabı için gerekli olup oluştuğu kayanın kökenine bağlıdır.

2.3.1.4. Granülometri

Granülometri eğrisi belirli boyutlardaki agrega tanelerin dağılımını gösteren eğridir. Granülometri eğrisi elek analizi deneyi ile elde edilir. Asfalt üretiminde kullanılacak karışımın granülometrisi “ideal bölgeler” içinde kalmalıdır. Agrega granülometri çizgisi %100 değerine yakın ise karışım ince gradasyonlu olduğu, %0 değerine yakın olması durumunda ise agrega gradasyonu iri tanelidir. İki elek aralığında kalan malzemenin yüzdesi, art arda gelen iki elek numarasına denk gelen % değerlerinin farkıdır.

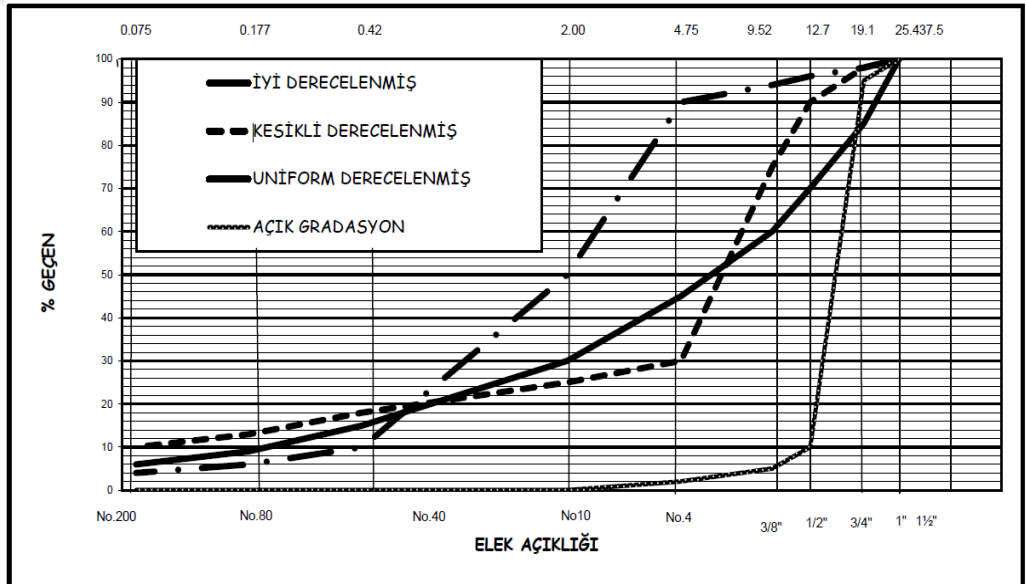
Agregalar gradasyonlarına göre Şekil 2.6.'daki gibi isimlendirilir (Orhan, 2012).

Yoğun (iyi) gradasyonlu agregat: Bitümlü karışımlarda kullanıldığında düşük boşluk ve yüksek stabilite veren, kabadan fillere her boyuttan yeterli dane içeren agregalardır.

Kesikli gradasyonlu agregat: Gradasyonunda ara boyut agregaya hiç ya da çok az içeren agregat karışımlarıdır.

Açık gradasyonlu agregat: Filler ya da ince boyutta dane içermeyen ya da çok az içeren agregat karışımlarıdır .

Tek boyutlu (üniform) agregat: Daneciklerin çoğu yaklaşık aynı boyutta olan agregat karışımlarıdır.



Şekil 2.6. Elek açıklığı (Orhan, 2012)

Malzemenin gradasyonunun kesikli olduğu durumlarda belirli elek aralıklarında fazla, az veya hiç olmayabilir. Bundan dolayı karışımlarda pürüzlü bir yüzeyeneden olurlar.

İyi gradasyonlu karışımlarda ise agrega gradasyonu düşük boşluk olup süreklilik gösterir. Bu sebepten ötürü karışım yüzey pürüzlülüğü azdır.

2.3.1.5. İncelik modülü

İncelik modülü, elek sayısı ile alakalı olup bir agreganın granülometrisini sayısal olarak ifade eden bir büyüklüktür. Her bir elekten geçen yüzdeliğin bulunup 100 den çıkarılıp kümülatif bir şekilde toplamının alınıp 100'e bölünmesi ile hesaplanır. Agrega tanelerinin küçülmesiyle incelik modülü azalırken, tanelerin büyümesiyle incelik modülü artmaktadır.

2.3.1.6. Danelerin yüzey dokusu ve şekli

Agreganın yüzey yapısı sürtünmeye karşı olan direnci etkileyen en önemli faktördür. Bu karakteristik karışımın tekerlek izinde oturmaya karşı dayanımın da önemli bir etkisi vardır. Agreganın yüzey yapısı daha pürüzlü ise karışımın tekerlek izinde oturmaya karşı dayanıklılığı daha iyi olacaktır. Ancak yapım esnasında pürüzlü agrega içeren bitümlü sıcak karışım da istenilen yoğunluğa erişmek için pürüzsüz yüzeyli agrega içeren bitümlü sıcak karışıma göre daha fazla sıkıştırma yapmak gereklidir. Agreganın şeklide karışımın tekerlek izinde oturmaya karşı dayanımına etki eder, köşeli agrega yuvarlak yüzeyli agregaya göre daha iyi dayanım sağlar. Köşeli agregalarda tekerlek izine karşı dayanım artmakta, kırılmış yüzeylerde pürüzlü bir doku oluşmakta ve bazı durumlarda agrega kenetlenmesi sağlanmaktadır. Pürüzlü yüzey dokusu gibi daha köşeli agregalarla hazırlanan bitümlü sıcak karışımlarda da istenilen yoğunluğa erişmek için daha fazla sıkıştırma yapmak gerekir.

Agrega şekli ile alakalı diğer bir ölçüt agregada danesinin en büyük boyutunun en küçük boyutuna oranıdır. Oranın beşten büyük olması durumunda dane uzun ve yassıdır. Bu daneler aktarma ve karıştırma esnasında kırılmaya yatkın olduğundan agregada yapısını değiştirmektedir. Bu durumdaki danelerin karışımdaki oranında bir sınırlandırma getirilerek yapım esnasında olması muhtemel agregada kırılmaları böylelikle engellenir.

2.3.2. Agregaların kökenlerine göre sınıflandırılması

Agregayı doğru kullanabilmek ve tanımlayabilmek için sınıflandırmaya gerek duyulur. Belirli bir sınıf içerisinde kalan her agregada türü bitümlü sıcak karışımlarda kullanılamaz. Agregaların BSK'da kullanılabilmesinin kararı için agregalar deneysel olarak test edilmeli ve standartlara uygunluğu araştırılmalıdır. Yol agregaları kaynaklarına göre doğal ve yapay agregalar olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır.

2.3.2.1. Doğal agregalar

Doğal agregalar kayalardan oluşmuş olup bu kayaların değişik türleri mevcuttur. Ancak Mineral tane ve kristallerinin değişik türlerde birleşmesiyle oluşmuşlardır.

Doğal kayalar kaynaklarına göre magmatik (püskürük), tortul (sedimenter) ve metamorfik (başkalaşmış) olarak üçe ayrılırlar. Bu gruplardan herhangi birine ait kaya, kitle yada parçalanmış (çakıl) halde bulunabilir (İlıcılı ve ark., 2001).

Doğal agregada türleri yol üstyapısında aşağıda belirtilen kaya çeşitlerinin ya doğa olayları ile parçalanması ve taşınmasıyla ortaya çıkan kum ve çakıl ya da dere ocakları, taş ocakları ve teras ocaklarından elde edilerek konkasörler yardımıyla arzu edilen ebatlarda küçültülebilen kırmataş olarak kullanılır.

Doğal agregada türleri;

Magmatik kayalar; yeryüzü derinliğinden yüzeye çıkmış olan magmanın soğuyarak kristalleşmesiyle oluşur. Magmanın değişik derinliklerdeki soğuma hızının farklı olmasından dolayı, kristalleşmeye başlayan minerallerle henüz sıvıhalde olan magma arasında ve yeni oluşmuş bir mineralle önceden oluşmuş mineraller arasında reaksiyonlar oluşur. Bütün bu karışık olayların sonucunda pek çok magmatik taş cinsi ortaya çıkar (İlıcılı ve ark., 2001).

Magmatik taşlar çoğunlukla sıkı bünyeli, sert ve sağlam taşlardır. Yontulmaları güçtür. Granit, gabbro, bazalt gibi taşlar bu gruba girerler.

Yol agregalarının kaba dokulu ve ince dokulu olması tercih edilmez. Çünkü Kaba dokulu agregalar gevrek yapıya olduklarından silindir altında kırılmaktadır. İnce dokulu agregalar ise kaba ve keskin köşeli parçalar olduğu için agrega yapımı sırasında problemler oluşturabilmektedir. Orta büyüklükteki agregaların dokusuna ait pek çok magmatik kaya ise iç içe giren kristallerden dolayı verimli bir yol malzemesi olarak kullanılabilir.

Tortul kayalar; Değişik kayaların parçalanması, aşınması ve dağılan parçaların katı ya da eriyik halde rüzgar ve su gibi etkilerle sürüklenmesi, deniz ya da göl dibi gibi sedimentasyon havzalarında tortullaşması ve daha sonra bunların katılaşmasıyla oluşan taşlara denir (İlıcılı ve ark., 2001). Tortul taşlar, farklı ve güzel görüntüsüyle işlenebilirliklerinin kolay olması sebebiyle çok tercih edilen bir yapı malzemesi çeşididir. Bu kayalara; kireçtaşı, çakmaktaşı, silistaşı, dolomit vb. taşlar örnek gösterilebilir.

Metamorfik kayalar; Magmatik ya da tortul kayaların yüksek ısı, yüksek basınç, su buharı ve türlü birleşimdeki gazların etkisi ya da mekanik olarak şekil değiştirmeyeyle değişik bir yapı-doku ve mineralojik bileşim kazanması sonucunda Metamorfik kayalar oluşur. Metamorfizma sonucunda taşın mineralleri kristal şeklini değiştirir ya da eski minerallerin yerine yeni mineraller oluşur. Kalkerin mermere dönüşmesi bu olaya örnek gösterilebilir (İlıcılı ve ark., 2001).

2.3.2.2. Yapay agregalar

Endüstriyel işlemlerden geçerek oluşan yapay agregalar klinkler, çimentolar ve cürufur.

Cüruf; Cüruf karayolları üstyapısının bazı tabakalarında çelik ve yüksek fırın cürufu olarak kullanılır. Demir-çelik üretim tesislerinde atıl malzeme olarak yüksek ısılı fırınlardan elde edilir.

Klinkler; Bir yüksek ısılı fırın atığı olan klinker, eriyen külün topak haline gelmesinden oluşur. Yapısında kil ve kalker malzemesini birlikte bulundurduğundan şartnamelerde yer alan standartlara uygunluğu bakılarak hazırlanan klinkler yol üstyapısında kullanılabilir.

Çimento; Betonda bağlayıcı özelliği önemli olan çimentonun bu özelliği yol üst yapısında agrega bileşimde mineral filler olarak kullanılıp bağlayıcılık özelliğinin bir ehemmiyeti yoktur. Granülometri eğrisinin uygun olması durumunda ve bitümlü bağlayıcı ile etkileşime girmemesinden ötürü mineral filler olarak kullanılması uygun olabilir.

2.3.3. Birim ağırlıklarına göre agregalar

2.3.3.1. Hafif agregalar

Hafif beton eldesi için kullanılan hafif agregaların birim ağırlığı $2,4 \text{ t/m}^3$ 'ten küçüktür.Boşluklu yapıya sahip olup su muhtevası ve boşluk yüzdeleri yüksektir. Doğadandirekt olarak veya dolaylı olarak elde edilebilirler. Bu agregalara sünger taşı, (Pomza vd.), yüksek fırın cürufu, volkan tüfleri ve genişleştirilmiş kil, şist vd. örnekler verilebilir.

2.3.3.2. Ağır agregalar

Birim ağırlığı 2,8 ton/m³'ten büyük olan agregalara ağır agregalar denir Doğal agrega çeşitlerinden; barit, manyetit, hematit, limonit örnek olarak verilebilir. Bu agregaların kullanım alanlarına örnek olarak, nükleer santral tesisleri, hastahane de bulunan röntgen cihazının bulunduğu yerlerde geçirimsizliği düşük, kompozitesi yüksek beton yapımlarında kullanılmaktadır.

2.3.3.3. Normal agregalar

Pratikte çok tercih edilen normal agregaların birim ağırlığı 2,4 ila 2,8 t/m³ aralığında değişmektedir.

2.3.4. Boyutlarına göre agregalar

2.3.4.1. İnce agregalar

İnce agregalar; 4 mm göz açıklıklı elekten geçen doğal, kırmaveya bunların karışımından elde edilir.

2.3.4.2. Kaba agregalar

Kaba Agregalar; 4 mm göz açıklıklı elek üstünde kalan Çakıl, kırma taş veya bunların karışımından elde edilir.

2.3.4.3. Tüvenan (karışık) agrega

Doğal agrega ocaklarından direk elde edilen elenmemiş iri agrega ve ince agrega karışımı tüvenan agrega olarak tanımlanmaktadır.Zorunlu durumlar dışında standart ve şartnamelerde bu malzemenin kullanılmaması istenmektedir.

2.3.5. Agregaya kaynakları

2.3.5.1. Dere ocakları

Akarsu yatağı agregalarının en önemli özelliği tanelerin yuvarlak veya yassı olmalarıdır. Danelerin köşeli yapıya sahip olmaması, agregalar arasında oluşan sürtünmeyi düşürerek bitümlü sıcak karışımın tabakalarının stabilitesinde istenmeyen problemler oluşturacaktır. Dere malzemelerine, bir doğal agrega olan kum ve çakılı örnek olarak verebiliriz.

Akarsu yataklarındaki agrega ocaklarının olumlu yönleri;

- Doğal yıkanma sonucunda, bağlayıcı kilden arınmış haldedirler,
- Akıntı nedeniyle agrega ufalanmaktadır. Bundan dolayı; istenilen granülometri elde edilmektedir,
- Sürüklenme aşamasında ortaya çıkan aşınma durumları güçlü olmayan parçaların ufalanmasını ve bir kısmının elenmesini sağlar.

2.3.5.2. Teras ocakları

Göllerin ve akarsuların eski havzalarında bitiktirdikleri malzemelere teras ocakları denilmektedir. Dere teras ocaklarından temin edilen agregaların bitümlü sıcak karışımlarda kullanılabilmesi için, konkasörlerde uygun boyutlara kadar kırılıp elenip ve yıkanmış olması gerekir.

2.3.5.3. Taş ocakları

Kalker ve bazalt bitümlü sıcak karışımlarda en çok tercih edilen taş ocaklarından temin edilir. Bu ocakların çakıl ve kum ocaklarından elde edilen agregalara göre avantajları daha fazladır. Bunlar;

- Homojen olan malzeme yapısına sahip olmaları,

- Kırılarak kullanıldığından dolayı tüm yüzeylerin köşeli olması,
- Yeterli miktarda taş rezervlerinin bulunması,

İşleme uğramış agregalar elenen ve kırılan tabii çakıl ya da taşları kapsamaktadır. Doğal çakılların kırılma sebepleri bitümlü sıcak karışımlarda kullanılabilirliklerini istenilen hale getirmektir. Bu kırma işlemi ile tanelerin yüzey şekli değişmekte yuvarlak şekilli taneler köşeli olmakta ayrıca tane boyu dağılımı ıslah edilerek malzeme kalitesi artmaktadır. Büyük kaya ve taşların kırılarak ortaya çıkan kırma taşlarda bütün agrega tane yüzeyleri kırılmış haldedir.

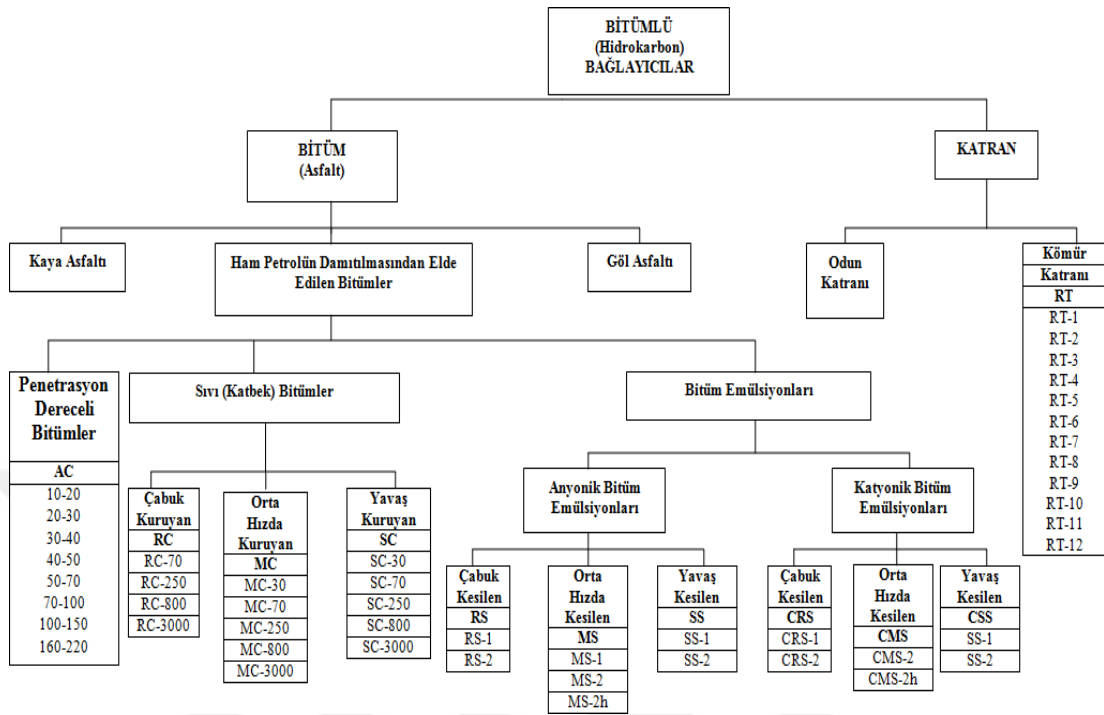
2.4. Bitümlü Bağlayıcılar

Bitüm, “doğal kökenli hidrokarbonların bir karışımı veya pirojenik kökenli hidrokarbonların bir karışımı veya bunların her ikisinin bir kombinasyonu olup çok defa bunların gazı sıvı, yarı katı ve katı olabilen, metal-dışı türevleri ile bir arada bulunan, yapıştırıcı özellikleri olan ve karbon disülfürde tamamen çözünen madde olarak tanımlanır (Orhan, 2012). Çizelge 2.7.’ de bitüm bileşenleri belirtilmiştir.

Çizelge 2.7. Bitümün kimyasal bileşenleri (URL-3)

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

Kısaca bahsetmek gerekirse bitüm, bitümlü karışımların oluşturulmasında kullanılmak için kalite ve kıvamlilik açısından hazırlanması özel olan yumuşatılma işlemi yapılmış yada yapılmamış bir bitümlü bağlayıcı olarak ifade edilebilir. Yol üst yapısında kullanılan bitümlü bağlayıcıların sınıflandırılması Şekil 2.7.’de gösterilmiştir. Petrol kökenli bitümlü malzemeler asfalt, kömür kökenli olan bitümlü malzemeler katran ismini alır.



Şekil 2.7. Bitümlü bağlayıcı sınıflandırması (Orhan,2012)

Bitümlü karışımlarda bağlayıcının miktarı en önemli değişkendir. Karışımda bitümlü bağlayıcı miktarı düşük ise, karışım stabilite özelliğini kaybedip dingil yükleri altında deformasyona uğrar. Bitümlü bağlayıcı gerekenden fazla ise, yağışlı havalarda yağlı ve kaygan bir yüzey oluşur. Yüzeyde oluşan bu yağlı bölgelere kaplamanın terlemesi denir. yeterli miktarda bitümlü bağlayıcı bulunmayan karışımlarda kaplama içindeki agrega daneleri kaplamadan koparak ayrılıp yüzeyde bir takım delikler oluşmasına sebep olur. Bu duruma kaplamanın sökülmesi adı verilir. Kısaca fazla bitümlü bağlayıcı içeren karışımlar agrega sökülmesine, yorulmaya, soyulmaya ve çatlamaya karşı dayanıklı, düşük bitümlü bağlayıcı içeren karışımlarda kasmaya dayanıklıdır.

Bitümlü bağlayıcıların en önemli özelliği kıvamıdır. Sıcaklık değişikliklerine bağımlı olarak bitümlü bağlayıcı; elastik, gevrek, elasto-plastik, viskoz ve visko-elastik olarak farklı durumlarda bulunabilir. Bölgeler arası iklim farklılıkları da dikkate alınarak yapım ve trafik şartlarına en uygun olacak şekilde bağlayıcının

seçilmesi gerekmektedir. Bitüm bağlayıcı ile agrega arasındaki bağda çok önemlidir. Agrega türünün bitüm adezyonu üzerinde önemli bir etkisi vardır.

2.4.1. Asphalt

Rengi koyu kahverengi ve siyah arasında değişen, bir güçlü bağlayıcı olan kıvamlılık açısından sıvı, yarı katı ya da katı olarak bulunabilen, doğal olarak bulunan veya arıtılmış ham petrol ile elde edilen ve hidrokarbon çeşitlerinden oluşan maddedir.

2.4.1.1. Asphalt çimentosu

Petrol kökenli olan asphalt çimentoları esnek yol üstyapılarından bitümlü sıcak karışımlarda kullanılır ve AC ile simgelenir. Asphalt çimentosunun akıcı hale getirilip kullanılması için ısıtılması gerekmektedir. Asphalt çimentoları, penetrasyon derecelerine göre sınıflandırılırlar. Bu sınıflandırma kıvamlılığı gösterir. Penetrasyon derecesinin yükselmesiyle bitümlü bağlayıcı yumuşamakta, bundan dolayı bağlayıcılık gücü azalmaktadır. Bitümlü bağlayıcının en sert olduğu aralık 10-20'dir. Bitümlü bağlayıcının en yumuşak olduğu aralık 200-300'dür Asphalt çimentosu, katbek asfaltların ve asphalt emülsiyonlarının hammaddesidir.

2.4.1.2. Sıvı asfaltlar

Sıvı asfaltlar özellikle yüzeysel kaplamalı yollarda astar ve yapıştırma tabakalarında püskürtme yapılarak kullanılan, uygun katkı maddeleri ile sıvılaştırılan asfaltlardır. Sıvı asfaltlar;

- Katbek asfaltlar
- Asphalt emülsiyonları olmak üzere iki türdür.

Katbek asfaltlar katı halde olan asfaltın ısıtılmasından sonra benzin, gazyağı veya madeni yağ gibi çözücülerin katılması ile elde edilen asfaltlardır. Geri kesilme

(kür) sürelerine göre çabuk kür olanlar RC sınıfı, orta hızda kür olanlar MC sınıfı ve yavaş kür olanlar SC sınıfı olmak üzere 3 tiptir (Keçeciler ve ark., 1990).

Asfalt emülsiyonları asfaltın, çok küçük parçacıklara ayrıştırılarak suda dağıtılması sonucu elde edilirler. Asfalt emülsiyonları, penetrasyon makadamlı kaplamalarda sathi kaplamalarda, zemin stabilizasyonunda astar uygulamalarında kullanılırlar.

2.4.2. Katran

Bir kömür ürünü olan katran ve zift petrolün yaygınlaşmasından önce en çok kullanılan bitümlü malzemeydi.Katran, odun ve kömürün bir sistemde damıtılmasıyla oluşur.

Görünüş ve bazı özellikler açısından benzerlik gösteren asfaltlar ve katranlarda, yapı malzemesi olarak farklılıklar bulunmaktadır. Asfaltlar aynı penetrasyon derecesine ya da aynı viskoziteye sahip olan katranlara göre daha dayanıklıdır. Katran çeşitleri asfalt çeşitlerine oranla kimyasal reaksiyonlara daha dayanıklıdır. Fakat duyarlılığı sıcaklık değişimlerinde daha fazla olduğundan kaynaklı şekil değişimi de fazla olmaktadır. Katranlar asfalta oranla ıslak agregaya daha iyi kenetlenirler. Katranlar soyulmaya karşı daha dirençlidirler.

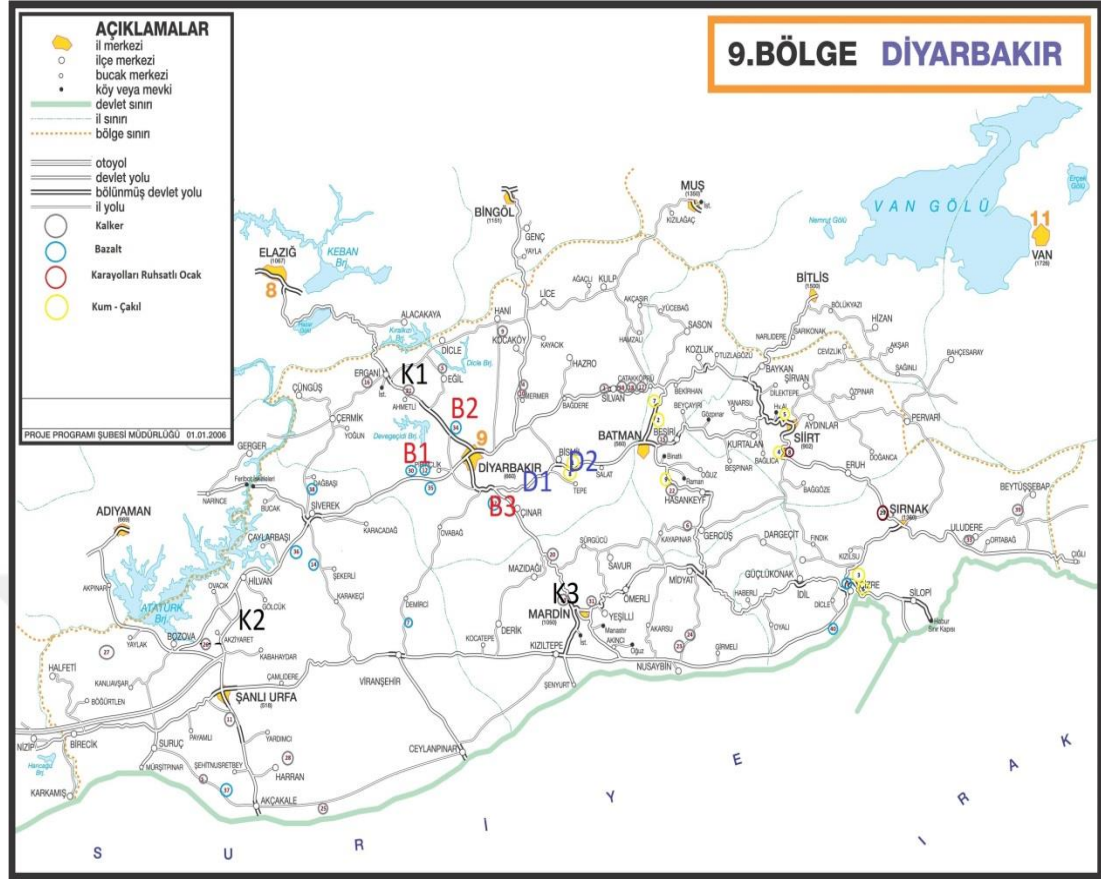
3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Bitümlü Sıcak Karışımlarda Kullanılacak Malzemeler

Bitümlü sıcak karışım, bitüm ve agreganın bir tesiste harmanlanmasıyla elde edilen karışımlara denir. Bu çalışmada, materyal olarak Diyarbakır yöresinde bitümlü sıcak karışımlarda kullanılan bazalt, kalker ve dere agregaları ile Batman rafinerinden temin edilen bitümlü bağlayıcı kullanılmıştır.

3.1.1. Agregalar

Bitümlü sıcak karışımlarda kullanılan agregalar ocaklardan veya dere yataklarından temin edilen işlem görmemiş malzemelerin konkasörler yardımı ile kırılıp elenerek belirli boyutlara getirilerek kullanılabilirler. Bu çalışmaya konu olan bazalt, kalker ve dere agregaları standartların ön gördüğü granülometrik boyutlara getirildikten sonra farklı ocaklardan toplam da 8 adet numune temin edilmiştir. Bu numunelerden bazalt için Şanlıurfa yol güzergahı üzerinde bulunan ve numune temin edilen ocağa B1 ocağı, Elazığ yol güzergahı üzerinde bulunan ve numune temin edilen ocağa B2 ocağı, Mardin yol güzergahı üzerinde bulunan ve numune temin edilen ocağa B3 ocağı denilecektir. Kalker için Elazığ yol güzergahı üzerinde bulunan ve malzeme temin edilen ocağa K1 ocağı, Şanlıurfa yol güzergahı üzerinde bulunan ve numune temin edilen ocağa K2 ocağı, Mardin yol güzergahı üzerinde bulunan ve numune temin edilen ocağa K3 ocağı denilecektir. Dere malzemesi için ise Mardin yol güzergahı üzerinde bulunan ve numune temin edilen ocağa D1 ocağı, Batman yol güzergahı üzerinde bulunan ve malzeme temin edilen ocağa D2 ocağı denilecektir. Bu ocakların bulunduğu konumlar Şekil 3.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Taş ocakları ve doğal agrega ocaklarını gösterir harita (Karayolları Diyarbakir bölge müdürlüğü)

3.1.2. Bitümlü bağlayıcı

Çalışmada kullanılan bitümlü bağlayıcı malzeme Batman rafinerisinde üretilmiş bağlayıcıdır. Söz konusu bitümlü bağlayıcı 50-70 penetrasyonludur. Bitümlü bağlayıcıya ait deneyler alt başlıklarda anlatılarak yapılmıştır.

3.2. Bitümlü Sıcak Karışımda Kullanılacak Olan Malzemelere Uygulanacak Deneyler

Esnek yol üstyapılarında kullanılan malzemeler, agrega ve bitümlü bağlayıcılar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Aşağı da bu malzemeler üzerine uygulanacak deneyler detaylı olarak anlatacağız.

3.2.1. Agregada fiziksel özelliklerin tayini

Bitümlü sıcak karışımlarda kullanılan agregaların, kökenine bakılmaksızın bütün kaplama tipleri için şartname de yer alan fiziksel özelliklere sahip olması gerekir. Bir agregaya istenilen bu fiziksel özellikleri sağladıktan sonra bitümlü sıcak karışımlarda kullanılabilir.

Bitümlü sıcak karışımda kullanılan agrega boyutlarına göre üç grupta incelenir (Ilıcalı ve ark., 2001);

- Kaba Agregalar: No.4 (4,75 mm.) elek üstünde kalan malzeme
- İnce Agregalar: No.4 (4,75 mm.) elekten geçen malzeme
- Filler: No.200 (0,075 mm.) elekten geçen malzeme

Bu üç tip malzeme; bitümlü karışımın her bir özelliğini kontrol etmek amacıyla kullanılır. Bitümlü sıcak karışımda yer alan kaba agreganın miktarı agreganın yarısı kadar artırılırsa, iki agregadan oluşan karışımın dayanımında büyük bir artış gösteren yapı oluşturur. İnce agrega ise kaba agreganın oluşturmuş olduğu yapının boşluk kısımlarını doldurup, karışımın yoğun bir yapıya sahip olmasını sağlar.

Agregaların esnek yol üstü yapısında kullanılabilmesi için bazı değerlerin bilinmesi gerekir. Bunlar; aşınma ve donma dirençleri, su emme, özgül ağırlık, soyulma mukavemeti, elek analizleri ve agrega yüzey yapısının, sürtünmeyle oluşan cilalanmaya olan direncinin bilinmesidir. Fakat bu deneylerin hepsinin yapılmasının mümkün olmadığı durumlarda bunların üstü yapı tabakalarının tamamında bilinmesine gerek yoktur.

Güvenilir bir agrega değerlendirilmesi için, agregaların ocaklardan özverili bir şekilde alınan temsili numune olması gerekmektedir.

3.2.1.1. Elek analizi deneyi

Bitümlü kaplama da kullanılan agreganın tane boyutunun dağılımını tespit etmek amacıyla TS EN 933-1'e uygun kare delikli eleklerin kullanılması gerekmektedir. Bu elekler Şekil 3.2.'de gösterildiği gibidir.



Şekil 3.2. Elek analizinde kullanılan elek takımı

Elek analizinde numune miktarı, kullanılan agreganın maksimum dane boyutuna göre belirlenmektedir. Deney numunesi (numune içerisindeki rutubeti bitirebilmek için) bölgeç yada dörtleme adı verilen bir medot ile alınıp 110 °C bir sıcaklık ile etüv veya hava ortamında kurutulur. İnce agrega (No. 4 elek altında kalan malzeme) elek analizi yıkamalı olarak yapılacağından alınan numune No.200 elekten yıkanır ve 110 °C'deki etüvde kurutulmaktadır. Numunenin tamamının geçtiği elekten başlanarak alt eleklerden de elenir. Her bir elek üstünde kalan

numunelerkümülatif olarak tartılıp bu tartım sonuçları mevcut formlara işlenir. Numune ağırlığı baz alınarak her bir elek üstünde kalan miktarın yüzdesi ve sonrasında ise geçen miktarın yüzdesi hesaplanır.

Elek analizi sonucu bulunan gradasyonun şartnameye uygunluğunun kontrolünden sonra agrega malzemesinin sınıflandırılmasında ve karışım oranlarının hesabında kullanılır.

3.2.1.2. Los Angeles aşınma deneyi

TS EN 1097-2 standartına uygun olarak yapılan bu deney agreganın aşınmaya ve darbelenmeye karşı gradasyonundaki bozulmasını ölçer. Çizelge 3.1.' de belirtilen miktarlar göz önüne alınarak hazırlanan deneyi yapılacak numune ve aşındırıcı bilyeler Şekil 3.3.'da görüntüsü verilen Los Angeles aşındırma makinasına konur. Makinanın ağzı sıkı olacak şekilde kapatılmalıdır. Makine 30 devir/dakika ila 33 devir/dakika aralığında sabit hızda A, B, C ve D agrega granülometri sınıfları için 500 devir döndürülür E, F ve G agrega granülometri sınıfları için ise 1000 devir döndürülür. Aşınma ve çarpma etkileri, çelik kürelerin aşınma cihazının içine konulmasıyla oluşturulur. Silindir döndükçe, raflar numuneyi ve bilyaları toplar ve belli bir yüksekliğe gelince çarpma ve ezme etkisine sebep olacak şekilde numune ve bilyaları silindirin karşı yüzeyine düşürür. Daha sonra bunlar içinde yuvarlanarak yeniden raf tarafından toplanana kadar aşınır. Aşınma makinası istenilen devri tamamladıktan sonra agrega No.12 (1.70 mm) elek ile elenir. Eleğin üzerinde kalan kısım tartılır. Numunenin ilk ağırlığı cinsinden bulunan denklem (3.1)' de ifade edilen yüzde, malzemenin aşınma kaybı yüzdesidir.

$$\text{Aşınma kaybı (\%)} = \frac{A - B}{A} * 100 \quad (3.1)$$

Çizelge 3.1. Aşınma deneyi numune sınıfları ve aşındırma yükleri (İlçalı ve ark., 2001)

Geçtiği Elek mm	Kaldığı Elek mm	Granülometri sınıfları ve aşınma deneyi için gerekli numune miktarları(gr)						
		A	B	C	D	E	F	G
75	63					2500		
63	50					2500		
50	37.5					5000	5000	
37.5	25	1250					5000	5000
25	19	1250						5000
19	12.5	1250	2500					
12.5	9.5	1250	2500					
9.5	6.3			2500				
6.3	5.75			2500				
4.75	2.36				5000			
Toplam tolerans		5000 +,- 10	5000 +,- 10	5000 +,- 10	5000 +,- 10	10000 +,-100	10000 +,-75	10000 +,-50
Kullanılan bilya sayısı		12	11	8	6	12	12	12
Yükleme ağırlığı(gr)		5000 +,- 25	4584 +,- 25	3330 +,- 20	2500 +,- 15	5000 +,- 25	5000 +,- 25	5000 +,- 25



Şekil 3.3. Los Angeles aşınma deney cihazı

3.2.1.3. Soyulma mukavemeti deneyi

Trafik ve suyun eşzamanlı etkimesiyle karışım içerisindeki bitümün agrega tanelerinden ayrışmasına soyulma denilmektedir. Bu deney de, su, sıcaklık ve trafiğin tesiriyle agrega ve bitümlü bağlayıcı arasındaki aderansın azalması belirlenmektedir. Soyulma mukavemetini belirlemede, kullanılacak agreganın tipi (bazalt, kalker, dere gibi) ve bitümlü bağlayıcı cinsi etkilemektedir. Agregalar da soyulma mukavemetinin belirli bir değerin altında olduğu durumlarda deneylerle tespit edilen oranlarda bitümlü bağlayıcıya katkı maddesinin katılmasıyla asfaltın agregaya daha iyi yapışması sağlanır. Bu sayede soyulma mukavemeti artırılır.

Soyulmaya karşı mukavemeti artırabilmek için agreganın yüzey pürüzlülüğü ve tüm yüzey kırılmışlığı da çok önemlidir. Ayrıca kullanılan bitümün viskozitesi de soyulmayı etkiler. Bu deney daha çok sathi kaplamalarda kullanılacak agregalar üzerinde TS EN 12697-11 standartına uygun olarak yapılır.

3.2.1.4. Özgül ağırlık ve absorpsiyon deneyi

Belli hacimde bulunan deney numunesinin ağırlığının aynı hacme sahip 4 °C’de bulunan su miktarı ağırlığına oranlamasıyla özgül ağırlık elde edilir. Bu deneyle bitümlü sıcak karışımındaki boşluğun yüzdesi hesaplanır. Agregada ki hacim-ağırlık ilişkileri belirlenir. Bu deney TS EN 1097-6 standartı dikkate alınarak yapılır. Özgül ağırlık deneyleri elenmiş agregalar üzerinde ince ve kaba agregalar üzerinde ayrı ayrı yapılır.

Özgül ağırlık tanımları;

Hacim özgül ağırlık; Belirli bir sıcaklıkta, agrega tanelerinin geçirimli ve geçirimsiz boşluklarını içeren hacminin kütesinin, aynı sıcaklıktaki ve aynı hacimdeki su kütesine bölünmesidir.

Zahiri özgül ağırlık; Beli bir sıcaklığa sahip, agregata tanelerinin geçirimsiz boşluklarının hacminin kütesinin, aynı sıcaklık ve aynı hacme sahip suyun kütesine bölünmesidir.

Absorbsiyon; Agregata tanelerinin boşluklarına nüfuz eden suya bağlı kalınarak agregata ağırlığının artması, agregada ki kuru ağırlığının yüzde olarak ifade edilmesidir.

Kaba agregata su emme ve özgül ağırlığının hesabı; TS EN 1097-6 standardı kullanılarak iri agregata su emme ve özgül ağırlığı hesaplanır. Deney numunesi 4.75 mm (No.4) elek üstünde kalan malzeme karışım gradasyonunu temsil edecek şekilde en az 2 kg numune hazırlanır. Hazırlanmış numune yıkanarak bir tepsiye konur. Suyun içinde 24 saat bekletilir. Numune sudan çıkartıldıktan sonra doymuş kuru yüzey haline getirilir (emici özelliği olan bir bez ile) ve tartılır (B). Doymuş kuru yüzey halini alan numune Şekil 3.4.'de görülen Arşimet terazisine bırakılıp tartılır (C). Numune tel sepetten bir tepsinin içine bırakılarak 110 oC 'de bulunan etüvde sabit ağırlığa erişinceye dek kurutulmaktadır. Etüvden çıkarılan malzeme oda sıcaklığında 1-3 saat arası soğumaya bırakıldıktan sonra tartılır (A). Tartım işleminden sonra denklem (3.2) ve (3.3) yardımıyla sırasıyla kaba agregata hacim özgül ağırlık ve kaba agregata zahiri özgül ağırlık, denklem (3.4) yardımıyla ise su emme değeri hesaplanır.



Şekil 3.4. Arşimet terazisi

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

$$Kaba\ agreg\ zahiri\ \ddot{ozg}\ul\ ağırlık = \frac{A}{A-C} \quad (3.3)$$

$$Kaba\ agreg\ su\ absorbsiyonu\ (\%) = \frac{B-A}{A} * 100 \quad (3.4)$$

İnce agreg\ su emme ve \ddot{ozg}\ul\ ağırlığının hesabı;TS EN 1097-6 standartının kullanılmasıyla ince agreganın\ddot{ozg}\ul\ ağırlığı ve su emme hesaplanır. Deney numunesi No.4 elek ile No.200 elek arasında kalan malzemed\ karışım gradasyonunu temsil edecek şekilde en az 1 kg numune hazırlanır. Hazırlanan numune No.200 elekten yıkanarak tepsiye alınır ve üstü suyla kaplanarak 24 saat bekletilir. Suyun süzülmesi ince malzemede kayıp getirmeyecek şekilde yapılır. Malzemeyi doygun kuru yüzey haline getirmek amacıyla, sıcak hava etki etirilerek devamlı karıştırılıp kurutulma işlemi yapılır. Bu işlem malzemenin karıştırılırken serbest dökülebilir olmasına kadar devam edilir. Malzemenin serbest dökülebilirliğini belirlemek için Abraham hunisi kullanılabilir. Deneyin yapılışı için piknometre ağırlığı (A) ve piknometrenin su ile dolu ağırlığının (B) tartılıp not edilmesi gerekir. Doygun kuru yüzey haline getirilmiş numunenin 500 gr boş piknometrenin içine konur ve tartılır (C). Bu işlemden sonra piknometre damıtılmış su ile yarısına kadar doldurulup 24 saat bekletildikten sonra, piknometrenin 20-35 dakika vakumlanarak havası alınır. İşaret çizgisine kadar su ilave edilen piknometre 25 °C' ye ayarlı su banyosuna yerleştirilip ve piknometre içindeki suyun ve malzemenin sıcaklığı 25 °C' ye ulaştıktan sonra su banyosu içerisinden çıkarılarak su seviyesinin işaret çizgisinde olup olmadığı kontrol edilir. Hemen piknometre kurutulup tartılma işlemi gerçekleştirilir (D). Piknometre de yer alan ince agreg\ bir kaba boşaltılarak 110 °C 'deki etüvde sabit ağırlığa ulaşınca kadar kurutulmaktadır. Etüvden çıkarılıp oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra tartılır (E).İnce agreg\ hacim \ddot{ozg}\ul\ ağırlık, zahiri \ddot{ozg}\ul\ ağırlık ve absorbsiyon deneyleri iki numune üzerinde (3.5), (3.6) ve (3.7) formüllerine göre hesaplanır.

$$İnce\ agreg\ hacim\ \ddot{ozg}\ul\ ağırlık = \frac{E}{B+C-A-D} \quad (3.5)$$

$$\text{İnce agrega zahiri özgül ağırlık} = \frac{E}{B + E - D} \quad (3.6)$$

$$\text{İnce agrega su absorpsiyonu (\%)} = \frac{C-A-E}{E} * 100 \quad (3.7)$$

Mineral filler zahiri özgül ağırlığının hesabı; Mineral filler zahiri özgül ağırlığı TS EN 1097-6 deney standartına göre hesaplanır. Deney numunesi No.200 elek altında kalan malzeme olacaktır. Özgül ağırlık şişesi ve kapağı tartılır (A). Şişe ağzına kadar damıtık su ile doldurulur ve 25 °C' lik sıcaklıkta en az 60 dakika tutulur. Daha sonra şişenin kapağı kapatılır ve su banyosuna bırakılır. Su banyosundan çıkarılan şişe kurutulup tartılır (B). Etüvde 110 °C 'de kurutulmuş filler 4 saat bekletilip soğutulduktan sonra bir huni yardımıyla boş şişenin üçte birini dolduracak kadar malzeme ile doldurularak tartımı yapılır (C). Bu işlemden sonra şişenin yarısı su doldurulup havası bir vakum yardımıyla alınır. Hiçbir hava kabarcığı kalmamasına önem gösterilir. Şişeyi tamamen suyla doldurarak 25 °C'ye sahip su banyosu içerisinde en az 60 dakika olacak şekilde bekletilir. Su banyosu içerisinde çıkarılan şişe yüzeyi kurutulup kapağı takıldıktan sonra tartılır(D). Mineral filler özgül ağırlık hesabı (3.8)' de belirtilen formül ile bulunur.

$$\text{Fillerin zahiri özgül ağırlık} = \frac{C-A}{(B-A)-(D-C)} \quad (3.8)$$

3.2.1.5. Metilen mavisi deneyi

Bu deney ile agrega da bulunan zararlı kil mineralleri hakkında veri elde edilmesini sağlar. Bu deney TS EN 933-9+A1standartlarına uygun olacak şekilde yapılır. Agrega numunesi 0-2 mm aralığında en az 200 g olacak şekilde (110 ±5) °C'de sabit sıcaklığa kadar kurutulur ve soğumaya bırakılır. Deney numunesi kurutulduktan sonra tartılır M1 olarak kaydedilir. Daha sonra Şekil 3.5.'de görülen karıştırıcıyla,saf su kullanılarak karışım hazırlanmaktadır. Saf su ile hazırlanan

karışıma metilen mavisi boyası 5 ml'lik çözelti olacak şekilde eklenir. Her çözelti ilavesi yapıldıktan sonra süzgeç kağıdı üzerine bir leke deneyi yapılır ve bu sayede serbest boyanın varlığı tespit edilir. Metilen mavisi deneyinden elde edilen sonuç denklem 3.9' daki gibi hesaplanır.



Şekil 3.5. Metilen mavisi karıştırıcısı ve süzgeç kağıdı

$$\text{Metilen Mavisi Değeri} = \frac{V}{M} * 10 \quad (3.9)$$

V: Toplam ilave edilen metilen mavisi çözelti miktarı (ml)

M:0-2 mm aralığında kurutulan deney numunesi ağırlığı (gr)

Bu deneyin yapılış amacı karışım içerisinde ki ince agreganın kirlilik oranından kaynaklı oluşabilecek; bitümlü bağlayıcı miktarının karışım içerisinde emiliminin yaratacağı etkileri önlemektir.

3.2.1.6. Agreganın kırılmalık deney yüzdesi hesabı

Bu deney No4 elek üstü malzemeye uygulanır. Kaba agreganın numunesindeki ezilmiş ve kırık yüzeyle tanelerin yüzdesinin hesabı için yapılır. Bu standard (TS EN 933-5), çakıl veya çakıl barındıran karışık agregaya uygulanır. Deney numunelerinin

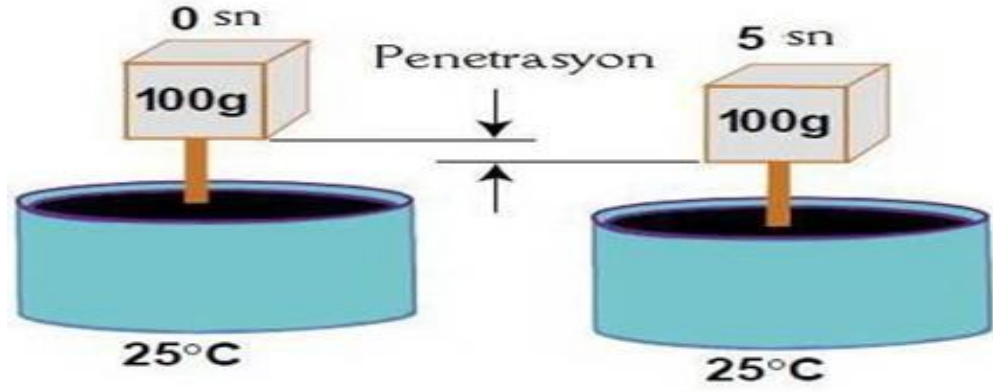
en az 3 yüzeyi kırılmış olmalıdır. Oran hesabı; kırılmış yüzeyli agregaların(gr) deney numunesi için alınan agregalara (gr) bölünüp yüz ile çarpılması ile bulunur.

3.2.2. Bitümlü bağlayıcılara uygulanan başlıca deneyler

Bitümlü sıcak karışımlarda kullanılacak olan bitümün özelliklerinin belirlenmesi, asfalt kaplama dizayn etmenin temelini oluşturan önemli unsurlardan bir tanesidir. Agregalarda olduğu gibi bitüme de uygulanacak deney sayısı oldukça fazladır. Ancak kullanılacak olan bitüm Türkiye petrol rafinelerinden temin edildiğinden teyit amaçlı başlıca deneyler yalnız yapılmaktadır.

3.2.2.1. Penetrasyon deneyi

Bitümlü bağlayıcıların kıvamliliğini belirlemede yardımcı olur. Bu deney TSEN 1426 standartına göre yapılır. Alınan numune öncelikle yumuşama noktasını aşmayacak şekilde, hava boşluklarını minimize etmek için ısıtılır. Isıtılan malzemenin kabına konur. Oda sıcaklığında soğumaya bırakılan numuneler soğuduktan sonra sabit sıcaklıktaki su banyosuna konulup 1-1.5 saat bekletilmeye bırakılır. Penetrasyon iğnesi, ucu numune yüzeyindeki yansıması ile temas edinceye kadar fakat numuneye batmayacak şekilde yavaşça aşağı doğru indirilir. İğnenin sıfır noktası kaydedilir ve belirlenen süre içerisinde iğne tutucusu seri bir şekilde serbest bırakılır. Üç ayrı iğne ile en az 10 mm mesafe olacak şekilde numune kabının kenar kısımlarından ve bir biri arasında ki mesafe yakınlığı 10 mm'den az olacak şekilde en az üç noktadan ölçüm yapılır. Ölçümlerden elde edilen değerlerin aritmetik ortalamasının, en yakın tam sayı değerine yuvarlatılmasıyla hesap elde edilir. Şekil 3.6.'da deneyin işleyişi gösterilmektedir.



Şekil 3.6. Penetrasyon deneyinin işleyişi (Torun, 2015)

Penetrasyon belirli bir sürede ve belli bir yük altında standart bir iğnenin düşey olarak asfalt numunesine 0.1 mm cinsinden batma derinliği değeridir. Şekil 3.7.’de penetrasyon ölçüm cihazı gösterilmektedir.



Şekil 3.7. Penetrasyon ölçüm cihazı(Torun, 2015)

3.2.2.2. Yumuşama noktası deneyi

Su banyosu içine konulmuş ve üstünde bir bilye yer alan TS EN 1427 standart’ a uyan bir kalıpta ki belli hızla ısınan bitümlü bağlayıcının yumuşayıp tabana değdiği andaki termometre sıcaklığına yumuşama noktası sıcaklığı denir.

Yüksek yumuşama noktasına sahip bitümlü bağlayıcıların viskozite değeri yüksek olmasından dolayı bitümlü sıcak karışımların yapım aşamasında ki sıcaklıkları da yüksektir.

3.2.2.3. Parlama noktası deneyi

Alev ile geçici temasta bulunan bir maddenin buharı temas anında parlar fakat yanmaya devam etmez parlamaya başladığı anda ki düşük sıcaklığa parlama noktası denir. Parlama noktası deneyi TS EN ISO 2592 standartı dikkate alınarak yapılır. Deney numunesi ısıtılarak uygun bir akıcılığa getirilir. Kabin yüzey kısmında hava kabarcıklarının görünmemesi sağlanarak işaretli çizgiye kadar doldurulur. Parlama noktasına yaklaşılana andan itibaren termometre her 3 °C artığında numune üzerinden deney alevciği bir kere geçirilir. Bu işlem bir saniyede gerçekleşmelidir. Numune yüzeyinde herhangi bir noktada, parlamanın olduğu zaman termometreye bakılıp, görünen sıcaklık parlama noktası olarak kayıt altına alınır. Şekil 3.8.'de Cleveland açık kap cihazı gösterilmektedir.



Şekil 3.8. Cleveland açık kap cihazı

Bitümlü malzemenin parlama noktasının biliniyor olması, imalat uygulamaları sırasında ısıtılan malzemede oluşabilecek tutuşma ve yangın durumlarının bertaraf edilmesi açısından oldukça önem arz etmektedir.

3.2.2.4. Özgül Ağırlık Deneyi

25 °C’de bitüm numunesinin ağırlığının aynı sıcaklık ve hacimde bulunan su ağırlığına bölünmesiyle elde edilen değer özgül ağırlık olarak ifade edilir. Bitümlü malzemeler özelliklerine göre farklı yöntemlerle özgül ağırlıkları bulunabilir. Hidrometre yöntemi ve piknometre yöntemi olmak üzere ikiye ayrılır. TS EN 15326+A1 standardı dikkate alınarak piknometre yöntemi uygulanmıştır. Şekil 3.9.’da piknometre tüpü gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Piknometre tüpü

Piknometre yöntemiyle özgül ağırlık hesabı;

- Piknometre terazide tartılır ve bu tartım kaydedilir (A).
- Daha sonra 25 °C’de bulunan damıtılmış su ile piknometre doldurulur ve kapağı sıkıca kapatılır. Su ile dolu piknometre tekrar tartılır ve kaydedilir (B).
- Eğer deneyde kullanılacak bitüm yeterli akıcılığa sahip değilse bir miktar ısıtılarak yeterli akıcılığa getirilir. Piknometre de aynı şekilde etüvde ısıtılır ve yarısına kadar bu numuneyle doldurulur.
- Piknometre içindeki numune ile birlikte oda sıcaklığında soğutularak kapakla birlikte tartılma işlemi gerçekleştirilir (C).
- Tartılan piknometrenin içerisindeki bitümlü maddenin üzeri damıtılmış suyla doldurularak sıkı bir şekilde kapatılır. Sıcaklığı 25 °C’de olansu banyosuna tamamen batırılır. Piknometre bu durumda 30 dakika tutulduktan

sonra dışı iyice kurulanır ve tartılır (D). Daha sonra elde edilen değerler denklem (3.10)' a yerleştirilerek özgül ağırlık hesaplanır.

$$\text{Bitümün özgül ağırlığı} = \frac{C-A}{(B-A)-(D-C)} \quad (3.10)$$

3.3. Marshall Metodu ile Bitümlü Sıcak Karışım Dizaynı

Birçok ülkede olduğu gibi ülkemizde de Bitümlü sıcak karışım dizaynı için Marshall dizaynmetodu kullanılmaktadır. Metod, Marshall Stabilite deney aleti yardımıyla, aynı agrega karışımına farklı oranlarda bitümlü bağlayıcı karıştırarak hazırlanan briket yan yüzlerine yükleme yapılarak plastik akmaya karşı dayanım ölçümünü kapsamaktadır.

Marshall Stabilite deneyi asfalt tabakaları için maksimum dane boyutu 25 mm ya da bu değerin altında olan agregalar ile penetrasyonu belirli bitümlü bağlayıcılar kullanılarak hazırlanan bitümlü sıcak karışım kaplama tiplerine uygulanmaktadır.

Asfalt kaplamanın karışım dizaynının hedefleri şu şekilde sıralanabilir:

- Dayanıklı bir kaplama türü oluşturmak için bağlayıcı oranını belirlemek,
- Dingil ağırlıkları altında deformasyon oluşturmayacak gerekli dayanımı sağlamak,
- Sıkışması bitmiş tabakanın, dingil ağırlıklarından dolayı çok az ölçüde sıkışabilmesi için; kaplama 'nın stabilitesine, akma değerine etkimeyecek şekilde rutubet ve fazla hava barındırmayacak oranda boşluğu sağlamak,
- Ayrışma olmadan uygun dökümü sağlayacak bir işlenebilirliğe sahip sıcak karışım oluşturmak.

3.3.1. Marshall briket numunelerinin hazırlanması

Marshall dizayn standartına göre briket numuneleri hazırlanır. Gradasyon limitlerine göre önceden hazırlanan agrega karışımları, farklı bitüm oranlarında her briket için 3 er numune olmak kaydı ile agrega karışımları ve AC 170 ± 20 °C'ye kadar ısıtılmış halde hazırlanır. Hazırlanan numuneler Şekil 3.10. (a)'da gösterilen mekanik asfalt karıştırıcısı yardımı ile agrega ve AC karıştırılır. Numuneler Şekil 3.10. (b)'de görülen önceden etüvde ısıtılmış briket numune kalıplarına homojen bir şekilde bırakılır.



(a). Mekanik asfalt karıştırıcısı

(b)Briket numune kalıpları

Şekil 3.10. Asfalt karıştırıcısı ve numune kalıpları

Hazırlanan briket numune kalıplarıŞekil 3.11.'de gösterilen otomatik marshall kompaktörüne yerleştirilir ve her iki yüzeyine 75 darbe vurularak sıkıştırılır. Sıkıştırılan numuneler 24 saat oda sıcaklığında bekletilir.



Şekil 3.11. Otomatik Marshall kompaktörü

3.3.2. Optimum bitüm yüzdesinin belirlenmesi için gerekli bağlantılar

3.3.2.1. Briketnumunelerinin ve bağlayıcının fiziksel özelliklerinin saptanması

Kalıptan çıkarılan numuneler tartılır (A) ve oda sıcaklığında suyun içerisine bırakılarak 5 dakika beklenir. Numuneler sudan çıkarıldıktan sonra yüzeyde su kalmayacak şekilde kurulanır ve tartılarak doymun kuru yüzey ağırlığı alınır (B). Daha sonra numunelerin sudaki ağırlıkları alınır (C). Bu ağırlıklar numunelerin özgül ağırlığının, boşluk oranının ve bitümle dolu boşluk oranının tespitinde kullanılmaktadır. Bu amaçla kullanılan formüller (3.11), (3.12), (3.13), (3.14) ve (3.15)' de verilmiştir.

$$V = B - C \quad (3.11)$$

V: Briket numunesinin hacmi

B: Briket numunesinin doymun kuru yüzey ağırlığı

C: Briket numunesinin sudaki ağırlığı

$$D_p = \frac{A}{V} \quad (3.12)$$

A: Briket numunesinin havadaki ağırlığı

D_p: Sıkıştırılmış briket numunesinin hacim özgül ağırlığı

$$D_{port} = \frac{D_{p1} + D_{p2} + D_{p3}}{3} \quad (3.13)$$

D_{port}: Briket numunelerinin hacim özgül ağırlıklarının ortalaması

$$W_a = \frac{M_b}{M_a} * 100 \quad (3.14)$$

W_a: Agregadaki bitümlü bağlayıcı yüzdesi

M_a: Briket numunesindeki agrega miktarı

M_b: Briket numunesindeki bitümlü bağlayıcı miktarı

$$W_b = \frac{M_b}{M_b + M_a} * 100 \quad (3.15)$$

W_b: Karışımdaki bitümlü bağlayıcı yüzdesi

3.3.2.2. Agreganın hacim özgül ağırlığı ve zahiri özgül ağırlığı

Bu deney TS EN 1097-6 standartları ile hesaplanmış agrega özgül ağırlıklarının bulunmasıyla karışım içerisinde kullanılan agregaların, her bir agreganın farklı özgül ağırlıklara sahip ince agrega, kaba agrega, ve mineral fillerden oluştuğu için, toplam agreganın hacim ve zahiri özgül ağırlığı (3.16) yardımıyla hesaplanır.

$$G_{sb} = \frac{\%K + \%İ + \%F}{\left(\frac{\%K}{G_{kb}}\right) + \left(\frac{\%İ}{G_{ib}}\right) + \left(\frac{\%F}{G_{fa}}\right)} \quad \text{veya} \quad G_{sa} = \frac{\%K + \%İ + \%F}{\left(\frac{\%K}{G_{ka}}\right) + \left(\frac{\%İ}{G_{ia}}\right) + \left(\frac{\%F}{G_{fa}}\right)} \quad (3.16)$$

G_{sb}: Agreganın hacim özgül ağırlığı

G_{sa} : Agreganın zahiri özgül ağırlığı

%K, %İ, %F: Karışım içerisindeki agrega ağırlıkça yüzdeleri

G_{kb} , G_{ib} : Agregaların hacim özgül ağırlıkları

G_{ka} , G_{ia} , G_{fa} : Agregaların zahiri özgül ağırlıkları

Agreganın hacim özgül ağırlığı hesaplanırken, zahiri özgül ağırlığın filler için kullanılması .ok bir hataya neden olmaz. Var olan imkanlarla hacim özgül ağırlığı filler için doğru tespit edilemez.

3.3.2.3. Agreganın efektif özgül ağırlığı

Agreganın belli sıcaklıkta, bitümlü bağlayıcı geçirimsiz boşlukları dışında, geçirimsiz ve geçirimsiz boşluklarını hesaba katılarak karışım birim hacminin havadaki ağırlığının, yine aynı hacim ve sıcaklıktaki havası alınmış destile suyun ağırlığına oranıdır. Agreganın efektif özgül ağırlık denklemi (3.17) ve (3.18) de ifade edildiği gibi iki şekilde belirlenir;

Birincisi; Agreganın özgül ağırlıklarının ortalaması ile hesaplanır.

$$G_{ef} = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2} \quad (3.17)$$

G_{ef} : Agreganın efektif özgül ağırlığı

İkincisi; Bitümlü karışımın en büyük teorik özgül ağırlık deneyi ile hesaplanır.

$$G_{ef} = \frac{100}{\frac{100 + W_a}{D_t} - \frac{W_a}{G_b}} \quad (3.18)$$

D_t = Karışımın en büyük teorik özgül ağırlığı

W_a = Agreganın yüzdesi olarak bitüm miktarı

G_b = Bitümün özgül ağırlığı

Agreganın emdiği bitümlü bağlayıcı hacmi, emilen su miktarının hacminden daha düşüktür. Bundan yolla çıkararak agreganın efektif özgül ağırlık değeri, zahiri özgül ağırlık - hacim özgül ağırlıkları aralığında olması gerekmektedir.

3.3.2.4. Farklı bitüm miktarlarında karışımın maksimum özgül ağırlığı

Her bir bitümlü bağlayıcı yüzdesi için hava boşluğu hesabı yapılırken, değişken bitümlü bağlayıcı yüzdelerinde bulunan büyük özgül ağırlığa gereksinim duyulmaktadır. Değişen bitüm miktarı bitüm absorpsiyonunu büyük ölçüde değiştirdiğinden dolayı her bitüm miktarı için maksimum özgül ağırlığın hesabı denklem (3.19) ile ayrı ayrı hesaplanabilmektedir.

$$Dt = \frac{100+Wa}{\frac{100}{Gef} + \frac{Wa}{Gb}} \quad (3.19)$$

3.3.2.5. Bitüm absorpsiyon hesabı

Karışım içerisindeki agrega tarafından absorbe edilen bitüm miktarının hesabı (3.20) ile hesaplanır.

$$Pba = 100 * Gb * \frac{Gef - Gsb}{Gef * Gsb} \quad (3.20)$$

P_{ba} : Agreganın ağırlıkça yüzdesi olarak emilen bitümlü bağlayıcı

3.3.2.6. Kaplama karışımının efektif bitüm yüzdesi

Toplam bitüm miktarının karışımdaki agregaların dış yüzeyini kaplayan kısmıdır. Sıcak karışımın performansını etkileyecek bağlayıcı miktarıdır. Denklem (3.21) ile hesabı yapılır.

$$Pbe = Wa - Pba \quad (3.21)$$

P_{be} : Agreganın ağırlıkça yüzdesi olarak efektif bitüm miktarı

3.3.2.7. Sıkıştırılmış kaplama karışımındaki agregalar arası boşluk (vma) yüzdesi

Agregalar arası boşluk yüzdesi, efektif bitüm miktarını ve hava boşluğunu içeren, sıkıştırılmış kaplama karışımının agregalar daneleri arasındaki boşluk olarak tanımlanır ve toplam hacmin yüzdesi olarak (3.22) ile hesaplanır (Önal, 1993).

$$VMA = 100 - \frac{D_p}{G_{sb}} * \frac{100}{100+W_a} * 100 \quad (3.22)$$

D_p : Sıkıştırılmış karışımın hacim özgül ağırlığı

G_{sb} : Agreganın hacim özgül ağırlığı

W_a : Agreganın yüzdesi olarak bitümlü bağlayıcı miktarı

VMA: Agregalar arası boşluk yüzdesi

3.3.2.8. Sıkıştırılmış kaplama karışımındaki hava boşluğu ve asfaltla dolu boşluk yüzdesinin hesaplanması

Sıkıştırılmış kaplama karışımı içerisindeki hava boşluğu V_h , kaplanmış agregalar daneleri arasındaki küçük hava boşluklarından ibarettir (Önal, 1993). Hava boşluğu (V_h) ve Asfaltla dolu boşluk yüzdesinin hesabı (V_f) denklemler (3.23) ve denklemler (3.24) ile yapılır.

$$V_h = \frac{D_t - D_p}{D_t} * 100 \quad (3.23)$$

V_h : Toplam hacmin yüzdesi olarak sıkıştırılmış karışımındaki hava boşluğu

D_t : Kaplama karışımının maksimum özgül ağırlığı

D_p : Sıkıştırılmış karışımın (briketin) hacim özgül ağırlığı

$$V_f = \frac{VMA - V_h}{VMA} * 100 \quad (3.24)$$

V_f : Asfaltla dolu boşluk yüzdesi

3.3.3. Deney numunelerinin kırılması

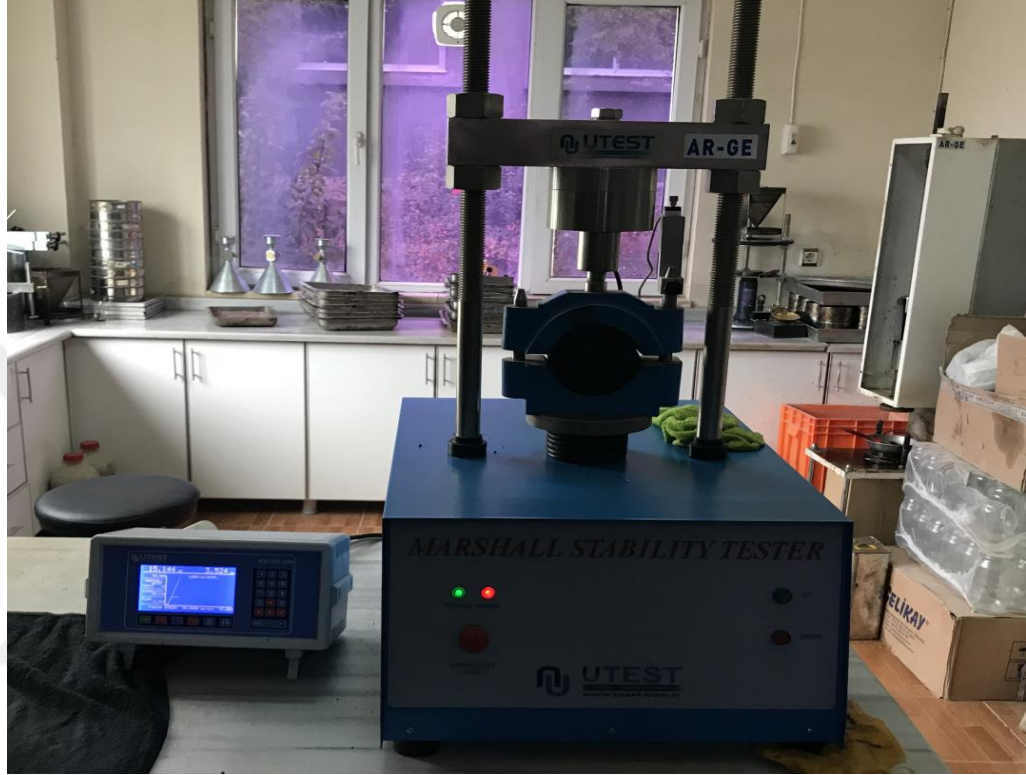
En az bir gece oda sıcaklığında bekletilen sıkıştırılmış numuneler çıkarma krikosu ile bulunduğu kalıptan çıkarılır. 3 farklı noktadan kumpas ile yükseklikleri ölçülür ve havadaki ağırlığı tartılır. 63.5 mm'den farklı yüksekliğe sahip olan numuneler Marshall stabilite düzeltme katsayıları ile düzeltme faktörü olarak yüke uygulanır. Briket numunelerinin stabilite ve akma deneyleri yapılmadan önce derecesi 60 ± 1 °C'lik subanyosunda 35-45 dakikalar arası beklemeye alınır. Şekil 3.12.'de deney numunelerinin içinde bekletileceği su banyosu görülmektedir.



Şekil 3.12. Su banyosu

Sudan çıkan numuneler çelik halkaya konularak akma ölçer ile sıfırlanır. Dakikada 50.8 mm lik (2 inç) hız yüklenir. Bu işlem Maksimum yüke erişinceye kadar devam eder. En büyükyük not edilir. Akmaölçer boşaltılarak akma değerinin ölçümü yapılır. Su banyosundan çıkartılan deney numunelerinin en büyük yük bulunmasına kadar geçen zaman en fazla 30 saniye olmalıdır. Yapılan bu deneyde üsteki segman sabittir. Basıncın artması ile stabilometrede ki değer artış göstererek en büyük değerine ulaşır, numune kırılır ve değer düşüğe geçer bu esnada ki stabilometrede okunan en büyük değer ile bitümlü sıcak karışımın stabilitesi belirlenir. Cihazdan Marshall Stabilite ve Akma değerleri okunur. 'Marshall

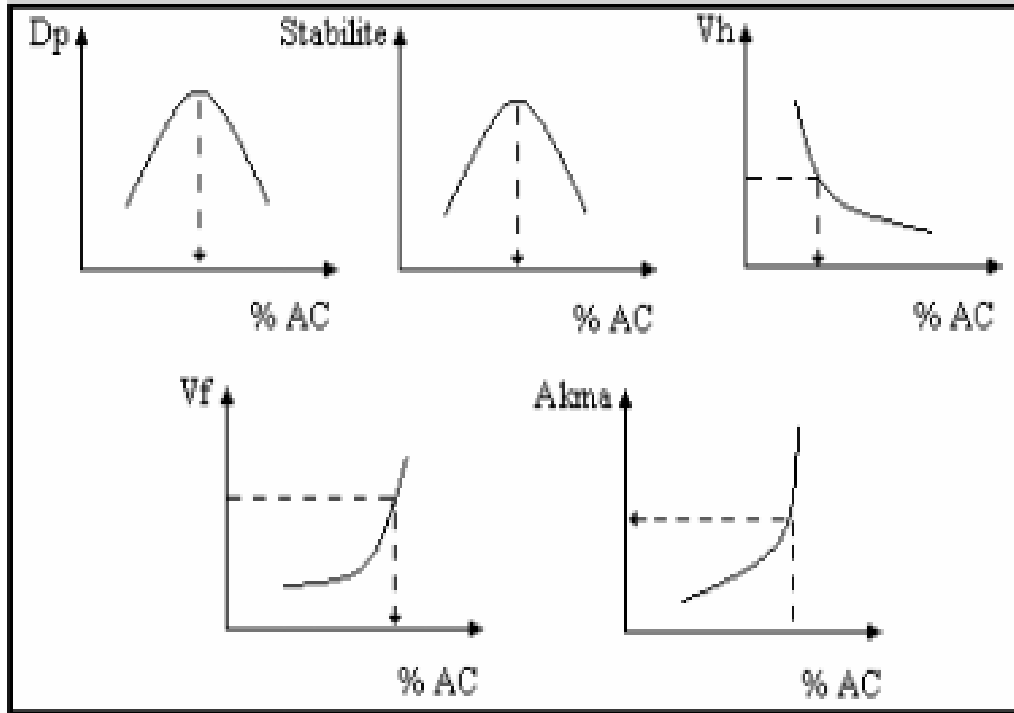
Stabilitesi' ile ifade edilen değer numunenin kırılmasına neden olan ve birimi kilogram olan toplamda ki yük miktarıdır. Akma değeri numunenin kırıldığı anda ki hareket miktarıdır. Şekil 3.13.'de Marshall stabilite deney cihazı ve deneye tabi tutulmuş numune gösterilmektedir.



Şekil 3.13. Marshall stabilite test cihazı

3.3.4. Optimum bitüm yüzdesinin belirlenmesi

En ideal bitüm yüzdesini belirlemek için farklı bitüm oranlarında hazırlanan briketlere ait akma, stabilite, D_p , V_f , V_h , grafikleri çizilir (Şekil 3.14.).



Şekil 3.14. Temsili Marshall karışım dizayn grafikleri

Daha sonra pratik özgül ağırlık (D_p) ve stabilite grafiklerinden maksimum değere karşılık gelen bitüm oranları, şartnameye göre tasarımı yapılan tabakaya uygun olarak belirtilen kriterlere göre asfaltla dolu boşluğun (V_f) %70'e karşılık gelen, boşluk oranının (V_h) %4'e denk gelen bitüm oranları grafiklerden tespit edilerek elde edilen bu değerlerin aritmetik ortalama değerleri alınıp optimum bitüm oranı denklem (3.25)' deki gibi tayin edilir.

$$\text{Optimum Bitüm} = \frac{\text{Bitüm \% } (D_p + V_f + V_h + \text{Stabilite})}{4} \quad (3.25)$$

Optimum bitüm yüzdeleri bulunduktan sonra kontrol amaçlı optimum bitüme denk gelen akma ve % VMA'ların şartname limitlerini sağlayıp sağlamadığına bakılır. Bunun sonucunda belirlenen bağlayıcı yüzdesine göre hazırlanan bir bitümlü sıcak karışım şartnamelerde aranan standartları sağlayacaktır Çizelge 3.2.'de Marshall metodu ile binder tabakası için dizayn kriterleri görülmektedir.

Çizelge 3.2.Marshall metodu ile binder tabakası dizayn kriterleri (Karayolları teknik şartnamesi, 2013)

Özellikler	Binder Tabakası	
	Min.	Maks.
Briketlere Uygulanacak Darbe Sayısı	75	-
Marshall Stabilite(kg)	750	-
Boşluk (%) V_h	4	6
Asfaltla Dolu Boşluk (%) V_f	60	75
Akma (mm)	2	4
Filler/Bitüm Oranı	-	1,4
Asfalt çimentosu ağırlıkça %	3,5	6.5
Agregalar Arası Boşluk (VMA), (%)	13	15

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Agrega Numunelerinin Karşılaştırılması

Bu tez çalışmasında bazalt, kalker ve dere agregaları kullanılarak B tipi binder karışımı marshall dizayn yöntemiyle Marshall stabilite deneyi yapılmadan önce, her bir agrega numunesi için farklı ocaklardan 3 'er numune alınır. Ocaklardan alınacak numuneler kendi içinde 4 tip malzeme bulunmaktadır. Bu agregalar numunelerinin elek analizleri, özgül ağırlıkları, su emme değerleri, Los Angeles aşınmaları, agrega kırılmışlık yüzeydeleri ve metilen mavisi deneyleri yapılmıştır. Fiziksel ve mekanik özelliklerin tespiti için yapılan bu deneyler sonucunda her bir malzeme grubunda şartname limitlerini en iyi şekilde karşılayan numune için dizayn dökülmüştür.

4.1.1. Elek analizine ilişkin sonuçlar

Agrega ocaklarından temin edilen 25 kg lık agrega numuneleri laboratuvara getirildikten sonra deney numunesine yetecek oranlarda her bir malzeme için kaba agreganın kuru elek analizi ince agreganın yıkanmış elek analizi sonuçları Çizelge 4.1.-4.2.'de verildiği gibidir. Çizelge 4.1.'de belirtilen taş ocağı agregaları ve Çizelge 4.2.'de dere ocağı agregaları için elek analizi sonuçları incelendiğinde elek analizi deneyine tabi tutulan bütün numunelerin şartname gradasyonlarını sağladığı görülmektedir.

Çizelge 4.1. Taşocağı numunelerine ait elek analizine ilişkin sonuçlar

Elek no:	Kalker			Bazalt			Şartn. Lim.	
	K1	K2	K3	B1	B2	B3	Alt sınır	Üst sınır
	Elekte geçen (%)	Elekte geçen (%)	Elekte geçen (%)	Elekte geçen (%)	Elekte geçen (%)	Elekte geçen (%)	Elekte geçen (%)	Elekte geçen (%)
1''	100	100	100	100	100	100	100	100
3/4''	90.7	90.6	89	91.8	92.3	90.5	80	100
1/2''	69	69	69.8	68.7	70.3	71.9	58	80
3/8''	58	61	62.4	57.4	60.2	57.3	48	70
No4	46	45	43.7	40.1	41.5	35.9	30	52
No10	29.6	28.9	31.9	29.7	26.3	23.6	20	40
No40	11.9	13.2	14.5	15.3	13.7	11.5	8	22

Çizelge 4.1.(devam)

No80	8.3	8.3	9.3	10.7	9.3	7.8	5	14
No200	5.5	5.3	4	7.5	5.3	5	2	7

Çizelge 4.2.Dere agrega ocak numunelerine ait elek analizine ilişkin sonuçlar

Elek no:	Dere			
	D1	D2	Alt sınır	Üst sınır
	Elekte geçen (%)	Elekte geçen (%)	Elekte geçen (%)	Elekte geçen (%)
1''	100	100	100	100
3/4''	92	90,7	80	100
1/2''	69	70,2	58	80
3/8''	56,8	61,1	48	70
No4	47,4	43,7	30	52
No10	30,3	26,5	20	40
No40	12,2	11,2	8	22
No80	7,1	7,7	5	14
No200	4,7	5,0	2	7

4.1.2. Özgül ağırlık ve su emmeye ilişkin sonuçlar

Elek analizi yapılan deney numuneleri üzerine kaba agrega ve ince agrega için TS EN 1097-6 standartına göre yapılsu emme ve özgül ağırlık deney sonucunda elde edilen değerlerÇizelge 4.3.'de detaylı bir şekilde belirtilmiştir. Çizelge 4.3.incelendiğinde K1 ocağından temin edilen kalker numunelerin hem kaba agregasının hem de ince agregasının su emme değeri şartname limitlerini sağlamadığı görülmektedir. K2 ocağından temin edilen kalker numunelerinin kaba ve ince agregalarının su emme değerinin şartname limitlerinin sınırında olduğu görülmektedir. K3 ocağından temin edilen kalker numunesinin hem kaba agregasının hem de ince agregasının şartname limitlerini sağladığı görülmektedir. Bazalt ocaklarından temin edilen numunelerden B1 ocağı numunesinin hem kaba agregasının hem de ince agregasının şartname limitlerinin sağladığı görülmektedir. B2 ocak numunesinin ince agregasının şartname limiti sınırında olduğu gözlemlenmiştir. B3 ocağı numunesinden kaba ve ince agreganın da şartname sınır değerlerine yakın olduğu görülmüştür. Dere ocağı numunelerinin suya yatkınlıkları bilinmektedir. Bundan dolayıdır ki D1 ve D2 ocak numunelerinin hem kaba agregaları hem de ince agregaları şartname limitlerinin oldukça altındadır.

Çizelge 4.3. Özgül ağırlık ve su emme deney sonuçları

Agrega Türü			Etüv kuru Ağırlığı (gr)	Doygun Kuru YüzeY Hav adaki Ağırlığı (gr)	Doygun Kuru YüzeY SudakiAğırlığı (gr)	Hacim Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	Zahiri Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	Su Emme (%)	Su Emme İçin Şartname Limitleri	
			A	B	C	D	E	F	Kaba malz	İnce malz
Kalker	K1	Kaba	2825.6	2901.9	1781.5	2.521	2.706	2.7	2.5	2.5
		İnce	492.5	508.26	312.4	2.515	2.735	3.2		
	K2	Kaba	2354.6	2401.7	1545.6	2.75	2.911	2		
		İnce	100	102.55	65.6	2.706	2.903	2.55		
	K3	Kaba	2939.9	2958.7	1862.1	2.681	2.728	0.64		
		İnce	100	102.1	67.4	2.881	3.067	2.11		
Bazalt	B1	Kaba	1136	1151.6	738.5	2.750	2.858	1.4		
		İnce	637.2	647.7	406.6	2.643	2.784	1.7		
	B2	Kaba	1657.1	1687.6	1071	2.687	2.827	1.84		
		İnce	100	102.5	67.1	2.824	3.040	2.5		
	B3	Kaba	2968.3	3030.63	1933.5	2.706	2.868	2.1		
		İnce	196	200.61	129.7	2.768	2.953	2.3		
Dere	D1	Kaba	3072	3094.1	1947.1	2.678	2.731	0.72		
		İnce	100	100.9	62.9	2.632	2.694	0.88		
	D2	Kaba	2495.1	2515.6	1595.4	2.713	2.771	0.78		
		İnce	100	100.8	63	2.646	2.704	0.82		

4.1.3. Los Angeles aşınma deney sonuçları

Karışım da agreg a malzeme olarak kullanılacak bazalt, kalker ve dere numuneleri üzerine TS EN 1097-2 standartına uygun olarak deney numuneleri hazırlanır ve aynı şekilde TS EN 1097-2 standartına uygun şekilde Los Angeles aşınma deneyi yapılır. Ocaklardan temin edilen malzemelere ait Los Angeles aşınma deney sonuçları Çizelge 4.4.'de gösterilmiştir. Çizelge 4.4.'de görüldüğü gibi kalker ocaklarından temin edilen K1 ocak malzemesinin şartname limitini aştığı görülmüş, K2 ocağından temin edilen kalker malzemesinin aşınma değeri sınıra çok yakın çıkmıştır. Bazalt ocaklarından temin edilen malzemelerden B2 ocak malzemesinin de aşınma değerinin sınır değere çok yakın olduğu görülmüştür. Çizelge 4.4.'de aşınma değeri en iyi çıkan D2, D1 ve B1 ocak malzemeleridir.

Çizelge 4.4. Los Angeles aşınma deney sonuçları

Agrega Türü		Deney Numunesinin Ağırlığı (gr)	500 Sonunda No.12 Elek Üstünde Kalan(gr)	Los Angeles Aşınma Katsayısı (%)	Şartname Limitleri üst limit (%)
Kalker	K1	5000	3385	32.3	30
	K2	5000	3565	28.7	
	K3	5000	3620	27.6	
Bazalt	B1	5000	3933	21.3	
	B2	5000	3540	29.2	
	B3	5000	3625	27.5	
Dere	D1	5000	3970	20.6	
	D2	5000	4045	19.1	

4.1.4. Metilen mavisi deney sonuçları

Bu deney kalker, dere ve bazalt malzemelerinin ince agrega numuneleri üzerine yapılır. TS EN 933-9+A1 Standartına uygun şekilde yapılan deneye göre sonuçlar Çizelge4.5.'de belirtilmiştir. Çizelge 4.5.'de belirtilen şartname limitlerinin bütün ocak taşlarında aynı olmamasının sebebi magmatik kayalar içinde bulunan silisten kaynaklı bazalt taşının şartname limiti daha yüksektir. Çizelge 4.5.'e göre B2 bazalt ocak malzemesinin ve K1 kalker ocak malzemesinin şartname sınır değerlerine yakın olduğu yani malzemenin kirli olduğu anlaşılmaktadır. Dere ocağı malzemelerinin dere yataklarından temin edilmesinden dolayı taş ocağı taşlarına nispeten daha temiz oldukları bilinmektedir.

Çizelge 4.5. Metilen mavisi deney sonuçları

Agrega Türü		Deney Numunesinin Ağırlığı (gr)	Metilen çözültüsü (gr)	Metilen mavisi%	Şartname üst limiti (%)
Kalker	K1	200	30	1.5	1.5
	K2	200	25	1.25	
	K3	200	25	1.25	
Bazalt	B1	200	25	1.25	3
	B2	200	50	2.5	
	B3	200	40	2	
Dere	D1	200	15	0.75	1.5
	D2	200	15	0.75	

4.1.5. Malzemenin kırılmışlık yüzdesi

Taş ocakları ve dere ocaklarından temin edilen agregaların yüzey kırılmışlıkları karışım içerisindeki bitümlü bağlayıcı ile aderansını büyük ölçüde etkilediğinden oldukça önemlidir. Deney numunelerinin en az üç yüzeyinin kırılmış olması gerekir. TS EN 933-5 Standartına göre yapılan deney sonuçları Çizelge 4.6.'da verilmiştir. Taş ocağı numuneleri olan K1, K2 ve K3 kalker ocaklarından alınan numunelerin kırılmışlığı Çizelge 4.6.'da da gösterildiği üzere yüzde yüzü sağladığı ve B1, B2 ve B3 bazalt ocağı numunelerinin de kırılmışlığı yüzde yüzü sağladığı görülmüştür. Çizelge 4.6.'da bir tek dere ocağı numunelerinde D1 ocak numunesinin şartname limitleri altında kaldığı, D2 ocak numunesinin de şartname limitlerinin sağladığı görülmüştür. Dere ocak malzemelerinin böyle olmasının sebebi dere yataklarında malzemelerin sürekli taşınmaktan kaynaklı yüzeylerinin yuvarlak ve yassı olmasıdır. Buda içsel sürtünmeye olumsuz etki oluşturur.

Çizelge 4.6. Malzemenin kırılmışlık yüzdesi

Agrega Türü		Deney Numunesinin Miktarı gr	Kırılmışlık Miktarı gr	Kırılmışlık Yüzdesi %	Şartname alt limiti (%)
Kalker	K1	1250	1250	100	95
	K2	1250	1250	100	
	K3	1250	1250	100	
Bazalt	B1	1250	1250	100	
	B2	1250	1250	100	
	B3	1250	1250	100	
Dere	D1	1250	1137.5	91	
	D2	1250	1225	98	

Yukarıda belirtilen elek analizi deneyi, su emme ve özgül ağırlık deneyi, Los Angeles aşınma deneyi, metilen mavisi deneyi ve kırılmışlık yüzdelere bakılarak Marshall dizaynının da kullanılacak agregaların tespiti yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre kalker malzeme türü için K3 ocak malzemesi, bazalt malzeme türü için B1 ocak malzemesi ve dere malzeme türü içinde D2 ocak malzemeleri agrega fiziksel deney şartlarını sağladığından Marshall dizaynı metodu ile bitümlü sıcak karışım briketleri hazırlanmıştır.

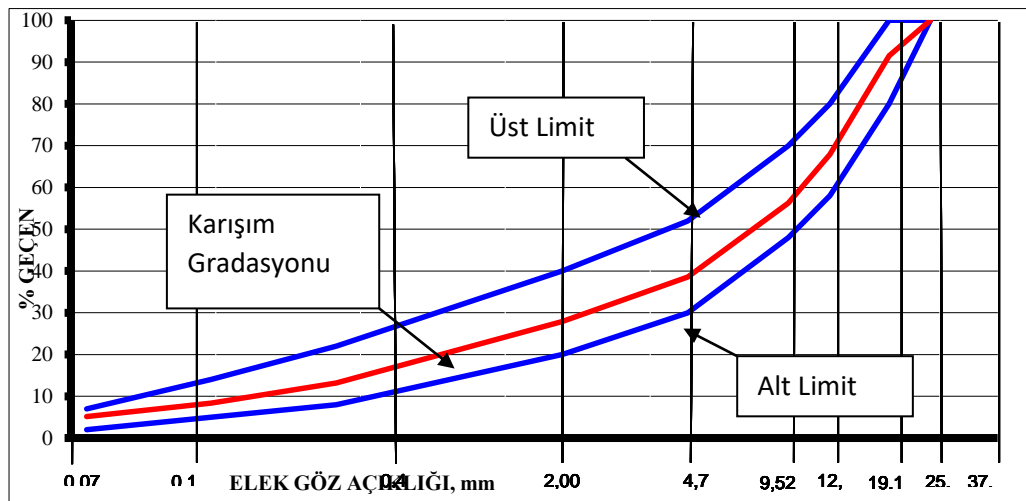
4.2. Marshall Briketlerinin Hazırlanması ve Marshall Stabilite Deneyi

4.2.1. Karışım gradasyonunun hesabı

Elek analizi sonucunda dere bazalt ve kalker için grafik çizilir ve şartname limit aralığına girecek şekilde malzeme yüzdeleri deneme yanılma yöntemiyle belirlenir. Çizelge 4.7., Çizelge 4.8. ve Çizelge 4.9.'da belirlenen yüzdelerle göre her bir malzeme türü için hesap yapıldıktan sonra dere, bazalt ve kalker için karışım gradasyon limitleri bulunmuştur.

Çizelge 4.7. B1 ocak malzemesi gradasyon hesabı

ELEK	1		2		3		4		Karışım Gradasyonu %	Şartname Gradasyonu		
	1''-3/4''		3/4''-1/2''		1/2''-No4		No4-0			100	80	100
	%14		%27		%19		%40					
1''	100	14	100	27	100	19	100	40	100	100	100	
3/4''	41.1	5.74	100	27	100	19	100	40	91.5	80	100	
1/2''	0.7	0.1	35.7	9.6	100	19	100	40	67.9	58	80	
3/8''	0.2	0.03	1.9	0.5	88.5	16.8	100	40	56.3	48	70	
No4	0	0	0.5	0.14	1.2	0.23	99.3	39.7	38.5	30	52	
No10	0	0	0	0	1	0.2	73.7	29.5	27.9	20	40	
No40	0	0	0	0	0	0	38.3	15.3	13.1	8	22	
No80	0	0	0	0	0	0	26.7	10.7	8.4	5	14	
No200	0	0	0	0	0	0	18.8	7.5	5.1	2	7	

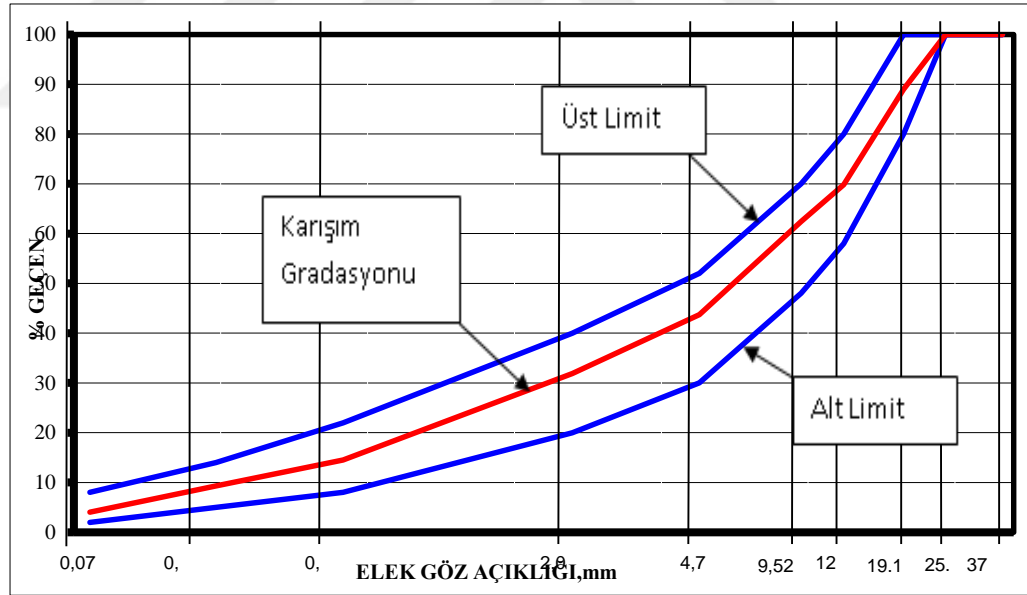


Şekil 4.1. B1 ocak numunesi gradasyon eğrisi

B1 ocak gradasyonuna (Şekil 4.1.) göre bu karışım % 61.5 kaba agrega, % 33.4 ince agrega, % 5.1 'de filler malzeme' den oluşmuştur.

Çizelge 4.8. K3 ocak malzemesi gradasyon hesabı

ELEK	1		2		3		4		Karışım Gradasyonu	Şartname Gradasyonu	
	1''-3/4''		3/4''-1/2''		1/2''-No4		No4-0				
	22	15	14	49							
1''	100	22	100	15	100	14	100	49	100	100	100
3/4''	50	11	100	15	100	14	100	49	89	80	100
1/2''	12	2.64	27.6	4.14	100	14	100	49	69.8	58	80
3/8''	0.2	0.04	0.2	0.03	95	13.3	100	49	62.4	48	70
No4	0	0	0	0	25	3.5	82.1	40.2	43.7	30	52
No10	0	0	0	0	2.7	0.38	64.3	31.5	31.9	20	40
No40	0	0	0	0	1.6	0.22	29.2	14.3	14.5	8	22
No80	0	0	0	0	0	0	19	9.31	9.3	5	14
No200	0	0	0	0	0	0	8.2	4.02	4.0	2	7

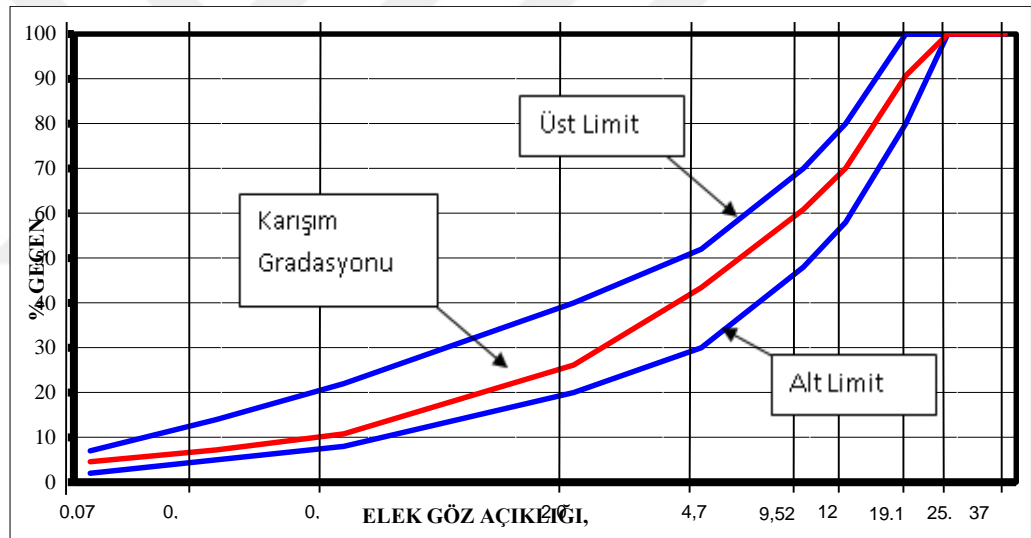


Şekil 4.2. K3 ocak numunesi gradasyon eğrisi

K3 ocak gradasyonuna göre (Şekil 4.2.) bu karışım % 56.3 kaba agrega, % 39.7 ince agrega, % 4.0' de filler malzeme' den oluşmuştur.

Çizelge4.9. D2 ocak malzemesi gradasyon hesabı

ELEK	1		2		3		4		Karışım Gradasyonu	Şartname Gradasyonu	
	1''-3/4''		3/4''-1/2''		1/2''-No4		No4-0			100	100
	%15		%20		%20		%45				
1''	100	15	100	20	100	20	100	45	100	100	100
3/4''	38.1	5.7	100	20	100	20	100	45	90.7	80	100
1/2''	0.9	0.14	25.2	5.04	100	20	100	45	70	58	80
3/8''	0	0	0.9	0.2	79.4	15.9	100	45	60.9	48	70
No4	0	0	0	0	1.8	0.4	96.3	43.3	43.4	30	52
No10	0	0	0	0	1	0.4	58.5	26.3	26.2	20	40
No40	0	0	0	0	0.6	0.12	24.7	11.1	10.8	8	22
No80	0	0	0	0	0	0	17	7.6	7.2	5	14
No200	0	0	0	0	0	0	11.2	5	4.6	2	7



Şekil4.3. D2 ocak numunesi gradasyon eğrisi

D2 ocak gradasyonuna göre (Şekil 4.3.) bu karışım % 56.6 kaba agrega, % 38.8 ince agrega, % 4.6 'de filler malzeme' den oluşmuştur.

4.2.2. Briket için agrega tartımları

Karışım gradasyon hesabı yapılan kalker dere ve bazalt agregaları, 1150 gr briket numunesi hazırlanacak şekilde Çizelge 4.10., Çizelge 4.11. ve Çizelge

4.12.'degösterildiği üzere her bir elek aralığındaki malzemenin tespiti yapılıp karışım içerisinde kullanılacak agrega miktarı bulunmuştur.

Çizelge 4.10. B1 ocak malzemesi için agrega tartımları

Elek no	Gradasyon Karışım%	Her elekte kalan %	Toplam agrega miktarı gr	Kullanılacak agrega miktarları gr
1''	100	8.5	1150	97.75
3/4 ''	91.5		1150	271.4
1/2''	67.9	23.6	1150	120.75
3/8''	57.4	10.5		
No4	38.5	18.9	1150	217.35
No10	27.9	38.5	1150	442.75
No40	13.1			
No80	8.4			
No200	5.1			
TOPLAM				

Çizelge 4.11. K3ocak malzemesi için agrega tartımları

Elek no	Gradasyon Karışım%	Her elekte kalan %	Toplam agrega miktarı gr	Kullanılacak agrega miktarları gr
1''	100	11	1150	126.5
3/4 ''	89	19.2	1150	220.8
1/2''	69.8			
3/8''	62.4	7.4	1150	85.1
No4	43.7	18.7	1150	215.1
No10	31.9	43.7	1150	502.6
No40	14.5			
No80	9.3			
No200	4			
TOPLAM				1150

Çizelge 4.12. D2ocakmalzemesi için agrega tartımları

Elek no	Gradasyon Karışım%	Her elekte kalan %	Toplam agrega miktarı gr	Kullanılacak agrega miktarları gr
1''	100	9.3	1150	106.95
3/4 ''	90.7	20.7	1150	238.05
1/2''	70	9.1	1150	104.65
3/8''	60.9	17.5	1150	201.25
No4	43.4	43.4	1150	499.1
No10	26.2			
No40	10.8			
No80	7.2			
No200	4.6			
TOPLAM				1150

4.2.3. Bitüm deney sonuçları

Marshall dizayn metodu ile hazırlanan briketlerde kullanılan bitümlü bağlayıcı batman tüpraş rafineriden temin edilmiş olup penetrasyon değeri 50/70 'tir. Aşağıda ki tabloda bitümlü bağlayıcıya uygulanan deneylerden alınan sonuçlar ve standartları yazılmıştır.

Çizelge 4.13.Bitümlü bağlayıcı deney sonuçları

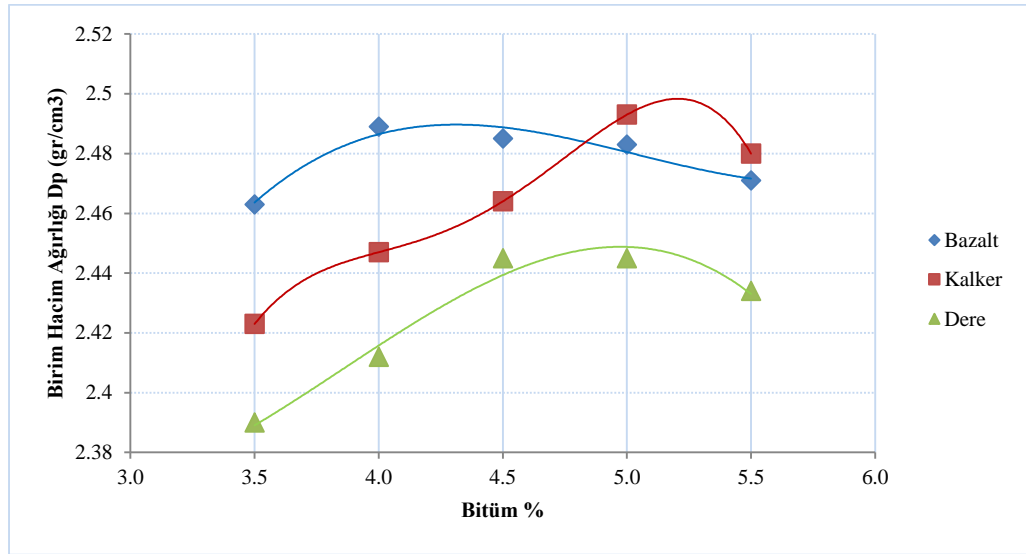
Özellikler	Değerler	Kullanılan Standart
	Batman Rafinerisi Bitümü	
Penetrasyon (°C) 0.1 mm	60	TS EN 1426
Özgül ağırlık (gr/cm ³)	1.030	TS EN 15326+A1
Yumuşama Noktası (°C)	52	TS EN 1427
Parlama Noktası (°C)	252	TS EN ISO 2592

4.2.4.Marshall deney formu ve grafiklerin çizimi

Hazırlanan agregaya karışımlarına değişik bitüm oranlarında (% 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5) bitümlü bağlayıcı ekleyip, her bitüm yüzdesi için üçer adet briket hazırlanıp toplam 45 adet briket numunesi dökülmüştür. Bu üç tip malzeme ile hazırlanan briketlerin en ideal bitüm yüzdesi hesabı için gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Otomatik Marshall kompaktörü ile numune yüzüne değişik darbelerde sıkıştırma yapılmıştır. Bu işlem, aynı numunenin ters çevrilmesiyle tekrarlanıp Marshall numune briketleri hazırlanmıştır. Briketler üzerinde yapılan hesaplamalar sonucunda hacim özgül ağırlık (D_p), Hava boşluk (V_h), agregalar arası boşluk ($V.M.A$) ve asfalt dolu boşluk oranları (V_f) B1 ocak malzemesi için Çizelge 4.15.'e, K3 ocak malzemesi için Çizelge 4.16.'e, D2 ocak malzemesi için ise Çizelge 4.17.'de işlenmiştir.

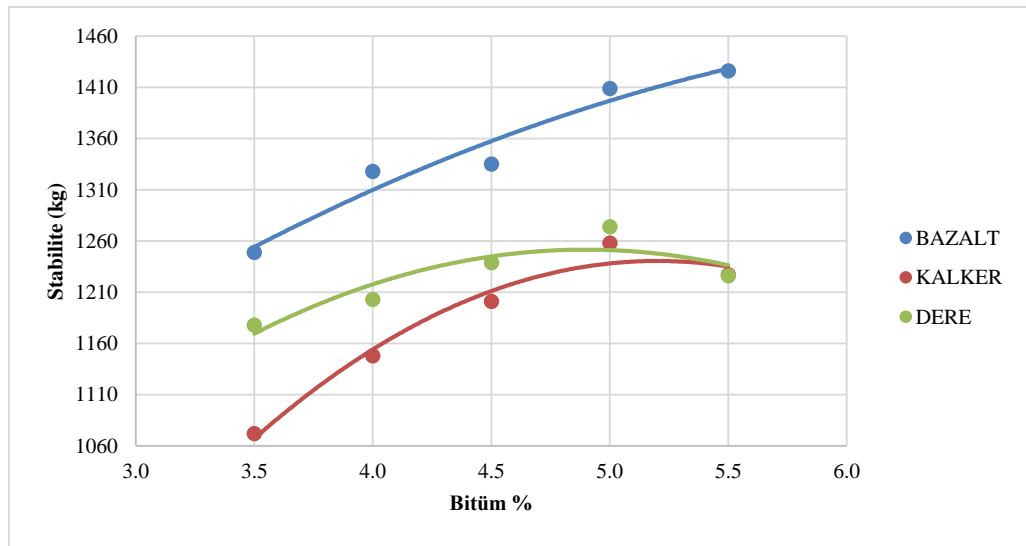
Briket numuneleri daha sonra Marshall stabilite deney cihazına bırakılıp akma ve stabilite değerleri okunduktan sonra Çizelge 4.15., Çizelge 4.16. ve Çizelge 4.17.'ye işlenmiştir. Bu çizelgeler ek olarak gösterilmiştir.

Marshall metodu ile yapılan deneyler sonucunda Şekil 4.4., Şekil 4.5. ve Şekil 4.6.' da Stabilite – Bitüm %, Pratik Özgül Ağırlık – Bitüm %, Boşluk -Bitüm %, Asfaltla Dolu Boşluk – Bitüm % , Akma- Bitüm%, agregalar arası boşluk oranı-bitüm% grafikleri verilmiştir.



Şekil4.4.B1, K3 ve D2numunelerine ait D_p – bitüm % grafiği

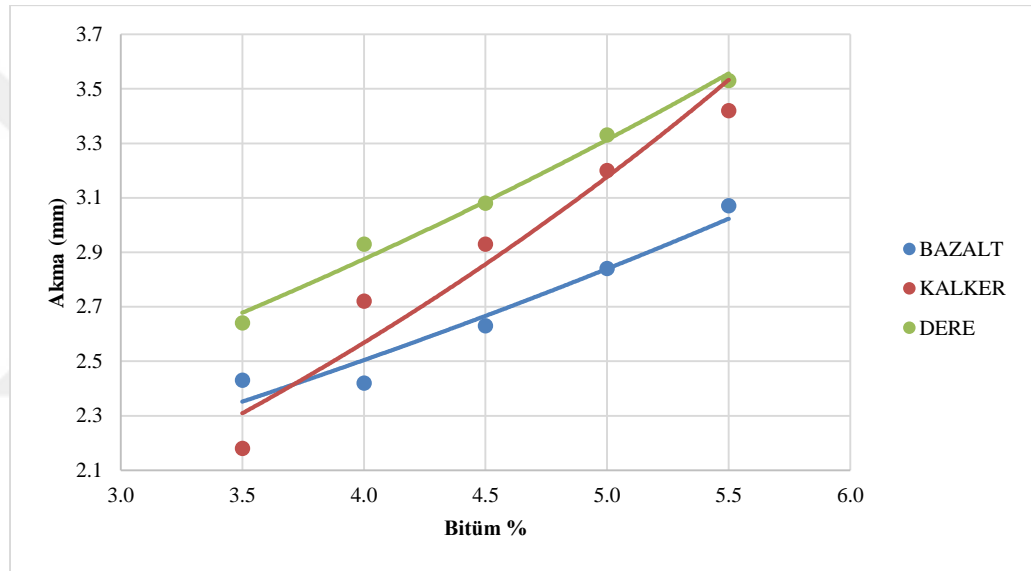
Birim hacim ağırlık-%bitüm grafiğinin de (Şekil4.4.) artış gösteren bitümlü bağlayıcı miktarı ile hazırlanan briket numunelerinin yoğunluğu artmaktadır. Sıcak karışımların yoğunluğu artış gösterdikçe stabilite ve durabilite gibi fiziksel özelliklerde de artış gözükmektedir.



Şekil4.5.B1, K3 ve D2numunelerine ait stabilite – bitüm % grafiği

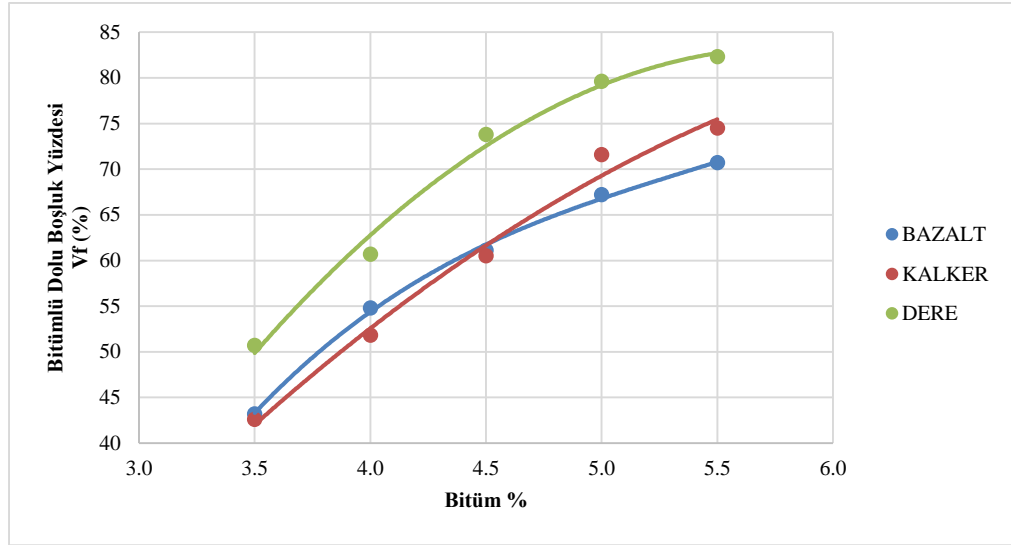
Marshall stabilite grafiklerinde de incelendiği gibi asfalt tabakalarının en çok maruz kaldığı kuvvet, araçlardan yola aktarılan devamlı dinamik yükler, uzun süreli olan statik yükler ile ani yavaşlayan ve hızlanan araçların tekerlek etkisi ile ortaya

çıkan sürtünmeden kaynaklı basınç, çekme ve kesme kuvvetidir. Sökülme etkileri karşısında kaplamanın davranışını etkileyen en önemli özelliklerden biri kaplamanın stabilite özelliğidir. Stabilitate-%bitüm (Şekil4.5.) grafiği incelendiğinde artış gösteren bitümlü bağlayıcı miktarı ile beraber stabilitenin artış gösterdiği ve en yüksek noktaya ulaşınca azalış gösterdiği görülmektedir. Bu azalış, artış gösteren bitümlü bağlayıcı miktarının en yükseğe geldikten sonra agregalar arasındaki kayganlığı artırır ve dayanımı azalttığı görülür. Ayrıca karışımda stabilitenin sağlanması, sıkıştırma anındaki sıcaklığa, yeteri sıkışmanın sağlanmasına, optimum bitüm oranı vb. birçok etkene bağlıdır.



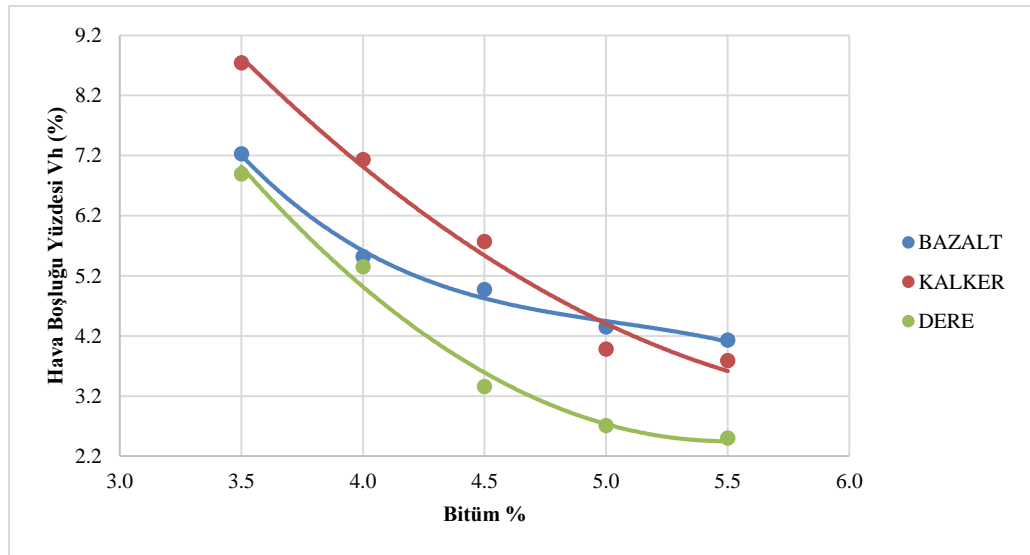
Şekil4.6.B1, K3 ve D2 numunelerine ait akma – bitüm % grafiği

Akma-%bitüm grafiği (Şekil4.6.) incelendiğinde artış gösteren bitüm yüzdesi ile akma değerinde bir artış olduğu görülmektedir. Artan bitüm miktarı ile akma değerinin en yüksek noktaya ulaşmasıyla agrega ile bitüm arasında kaygan bir ortam oluşur bu durum mukavemetin düşmesine neden olur. Bu sebeplerden ötürü optimum bitüm oranının da ki akma değerinin şartname limitleri arasında kalması çok önemlidir.



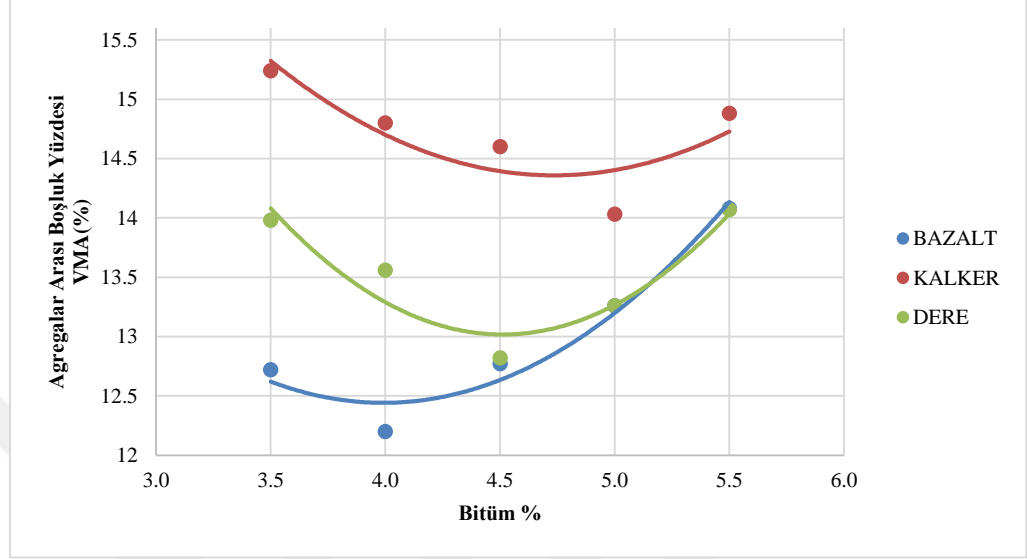
Şekil4.7.B1, K3 ve D2numunelerine ait V_f - bitüm % grafiği

Bitümlü dolu boşluk-%bitüm grafiği (Şekil4.7.) incelendiğinde artış gösteren bitüm miktarı ile Asfaltla dolu boşluk oranının artış gösterdiği görülmektedir. Asfaltla dolu boşluk oranı bitümlü sıcak karışımın plastisite, durabilite ve trafik yükü altında oluşan sürtünme katsayısı gibi parametrelerin kontrol edilmesinde önemli bir etkindir. Bitüm miktarının artmasıyla boşluklar dolmaktadır. Bununla beraber boşluk yüzdesinde bir azalış görülmektedir.



Şekil4.8.B1, K3 ve D2numunelerine ait V_h - bitüm % grafiği

Hava boşluk yüzdesi-%bitüm grafiğine (Şekil4.8.) bakıldığında bitüm de ki artışla beraber boşluk oranının düştüğü görülmektedir.Yol yapımında boşluk akmalara, çatlamalara ve su girişine sebep olmaktadır.



Şekil4.9.B1, K3 ve D2numunelerine ait VMA– bitüm % grafiği

Agregalar arası boşluk yüzdesi - % bitüm grafiğine (Şekil4.9.) bakıldığında Bitümün agregalar arası boşluğu tamamen doldurduğu anda bitüm miktarının artmasına rağmen boşluk yüzdesinin azalmadığı görülmüştür. Bu sebeplerden ötürü optimum bitüm oranının da ki agregalar arası boşluk yüzdesi değerinin şartname limitleri arasında kalması çok önemlidir.

4.3. Optimum Bitüm Yüzdesinin Belirlenmesi

Optimum bitüm miktarı; maksimum stabilite, maksimum pratik özgül ağırlığa denk gelen bitüm miktarları ve %4 boşluk oranına denk gelen bitüm oranı ile %70 asfaltla dolu boşluk oranına denk gelen bitüm oranlarının aritmetik ortalaması ile Çizelge 4.14.' de görüldüğü gibi optimum bitüm yüzdeleri hesaplanmıştır. K3 ocak numunesi ile hazırlanan karışımın optimum bitüm yüzdesi 5.15, B1 ocak numunesi ile hazırlanan karışımın optimum bitüm yüzdesi 5.2 ve D2 ocak numunesi ile hazırlanan karışım numunesinin optimum bitüm yüzdesi 4.65 olarak hesaplanmıştır. Bulunan değerler standart sınırları içerisinde kalmaktadır.

Çizelge 4.14. Optimum bitüm yüzdesinin hesap sonuçları

Ortalamaya Dahil Olacak Grafikler	Elde Edilen Değerler (%) Bazalt	Elde Edilen Değerler (%) Kalker	Elde Edilen Değerler (%) Dere
Maksimum Stabilite	5.5	5.1	5
Maksimum D _p	4.3	5.2	4.9
% 4 V _h	5.5	5.2	4.3
% 70 V _f	5.4	5.1	4.4
Optimum Bitüm	5.2	5.15	4.65

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında Diyarbakır bölgesinde bitümlü sıcak karışımlarda kullanılanve karışım yapı taşlarından olan bazalt, kalker, dere malzemeleri için öncelikli olarak her bir malzeme türü arasında agrega yeterlilik deneyleri yapılmıştır.Mekanik ve fiziksel özelliklerin tespiti için yapılan deneyler tablolar haline getirilip aralarında bir karşılaştırma yapılmıştır.

Taşocakları ve dere ocaklarından alınan numunelerin granülometri, birim hacim ağırlık, özgül ağırlık, su emme, çamurlu madde miktarı ve aşınma kaybı ve malzeme kırılmışlık değerleri yapılan deneylerle bulunmuştur. Elek analizi deneyinde bütün numunelerin şartname limitlerini sağladığı tespit edilmiştir. Özgül ağırlık ve su emme deneyinde K1 numunesinin su emme değerinin şartname limitini sağlamadığı K2, B2 ve B3 numunelerinin su emme değerlerinin sınır değere çok yakın olduğu görülmüştür. Dere ocaklarından temin edilen D1 ve D2 numunelerinsu emme değerinin şartname limitlerini sağladığı hesaplanmıştır. Los Angeles aşınma deneyi sonuçların göre K1 numunesinin sınır değeri aştığı ve K2, B2 numunelerinin sınır değere çok yakın olduğu görülmüştür.Metilen mavisi deney sonuçlarına göre; B2 ve K1 numunelerinin sınır değere yakın olduğu yani malzemenin kirli olduğu tespit edilmiştir. Kırılmışlık yüzdesi deneyinde D1 numunesinin sınır değeri aştığı D2 numunesinin sınır değere yakın olduğu tespit edilmiştir.

Elek analizi deneyi, özgül ağırlık ve su emme deneyi, Los Angeles aşınma deneyi, metilen mavisi deneyi ve kırılmışlık yüzdelere bakılarak Marshall dizaynında kullanılacak agregaların tespiti yapılmıştır. K 1 agregasının su emme değeri, aşınma değerini ve metilen mavisi sınır değerlerini sağlamadığından karışıma uygun olmadığı tespit edilmiştir. K2 ve B2 numunesinin su emme değeri ve aşınma sınır değerlerine yakın olması karışımda stabiliteyi etkileyeceğinden, ayrıca B2 numunesinin metilen mavisi değeri sınır değere çok yakın olmasından dolayı karışımda kullanılmamıştır. B3 numunesinin su emme değerinin sınır değere yakın

olmasından karışımda kullanılmamıştır. D1 numunesinin kırılmış'lık yüzdesi sınır değerinin altında kaldığından dolayı karışımda kullanılmamıştır. Bu çalışmada bitümlü sıcak asfalt üretiminde kalker malzeme türü için K3 ocak malzemesi, bazalt malzeme türü için B1 ocak malzemesi ve dere malzeme türü içinde D2 ocak malzemeleri agrega fiziksel deney şartlarını sağladığından Marshall dizayn metodu ile bitümlü sıcak karışım briketleri hazırlanmıştır. B1, K3 ve D1 numuneleriyle hazırlanan briketlerin optimum bitüm oranları sırasıyla %5.2, %5.15, %4.65 olduğu görülmüştür.

B1, K3 ve D2 ocak malzemeleri ile hazırlanan karışım Marshall grafiklerinden optimum bitüme karşılık gelen stabilite, boşluk%, A.D.B, agregalar arası boşluk ve akma değerleri Çizelge 5.1.'de verilmiştir. Farklı ocaklardan temin edilen üç ocak malzemesi ile hazırlanan karışımların optimum bitüm oranına karşılık gelen asfaltla dolu boşluk oranı şartname sınırları içerisinde kalmaktadır. Bitümlü sıcak karışımlara diğer bir etken hava boşluk oranıdır. Karışım içerisinde hava boşluğunun artması malzemenin geçirimli bir yapıda olmasına ve stabilitesinin düşmesine neden olur. Düşük hava boşluk oranı sıcak mevsimlerde yol yüzeyinde bitümlü bağlayıcının kusmasına neden olarak yol yüzeyinin kaygan hal almasına sebep olur. Ayrıca düşük hava boşluk oranında ağır trafikli yollarda karışımın plastik bozulmalara uğramasını arttıracaktır. Bu nedenlerden ötürü boşluk yüzdesinin şartname limitleri aralığında kalması karışım için önemlidir. Optimum bitüme karşılık gelen akma değeri karışımın plastikliği ve gevrekliği ile ilgili önemli bilgiler verir. Üç malzeme içinde akma değerleri şartname limitleri arasında kalmıştır. Bu karşılaştırma sonucu bu üç malzemenin de karışım için uygunluğu gözlemlenmiştir.

Bu değerlerin tüm numunelerde ekonomik kullanım sınırları içerisinde kaldığı görülmüştür. Marshall Stabilite deneyine göre stabilite değerleri B1>D2>K3 şeklinde elde edilmiştir. Genelde yüksek stabilite ağır trafik yükleri altında istenen bir durum olmasına rağmen, çok yüksek stabilite ve düşük akma değeri karışımın rijit davranış sergileyeceğinin bir göstergesidir.

Çizelge5.1. Optimum bitüme göre Marshall grafik okumaları

Özellikler	Elde Edilen Değerler (%) Bazalt	Elde Edilen Değerler (%) Kalker	Elde Edilen Değerler (%) Dere	Şartname limitleri min.	Şartname limitleri maks.
Marshall Stabilite	1405	1235	1245	750	-
Boşluk (%) V_h	4.10	4.08	3.28	4	6
Asfaltla Dolu Boşluk	68	70	73	60	75
Agregalar arası	13.5	14.45	13.02	13	15
Akma (mm)	2.88	3.22	3.10	2	4
Bitüm Ağırlıkça %	5.2	5.15	4.65	3.5	6.5

Bu çalışmada Diyarbakır yöresi dere ve taş ocaklarından temin edilen kalker, bazalt ve dere agregaları ile yapılan asfalt binder tabakasının kullanımının TS EN standartları dikkate alınarak yapılan deneylerle uygun olduğu görülmüştür. Ancak K3 ocak numunesinin aşınma değerinin B1 ve D2 ocak numunelerine göre daha yüksek çıkmasında kaynaklı oluşabilecek bozulmaları önlemek amacıyla ağır trafikli yollarda kullanımı daha kapsamlı bir şekilde araştırılmalıdır. D2 ocak malzemesinin kırılma yüzdesinin ve boşluk yüzdesinin K3 ve B1 ocak numunelerine göre daha düşük çıkmasından kaynaklı yolda oluşacak soyulmaları önlemek amacıyla bu deney numunesi kullanımından önce soyulma mukavemeti deneyinin daha kapsamlı bir şekilde yapılması gerekmektedir. Üç ocak malzemesinden temin edilen numuneler içerisinde karışıma en uygun numunenin bazalt ocağından alınan B1 ocak numunesi TS EN standartlarına uygun yapılan deneylerle gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR

- AKBULUT, H., ve GÜRER, C., 2006. Atık Mermerlerin Asfalt Kaplamalarda Agrega Olarak Değerlendirilmesi. İMO Teknik Dergi, 261: 3943-3960.
- ALATAŞ, T., AHMEDZADE, P. ve DOĞAN, Y., 2006.Bitümlü Sıcak Karışımlarda Kullanılan Agrega Cinsinin Kaplamanın Fiziksel Özelliklerine Etkisi.Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Der., 18 (1):81-89.
- AHMEDZADE, P., ve YILMAZ, M., 2016. Uzun Ömürlü Esnek Üstyapıların Tasarımı. Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü: 354-363
- GÜNER, M.S., 1999.Malzeme Bilimi Yapı Malzemesi ve Beton Teknolojisi. Aktif Yayınevi, İstanbul. 65s.
- GÜRER, C., AKBULUT, H. ve ÇETİN, S., 2007. Afyonkarahisar Şehir İçi Kaplamalarında kullanılan Agregaların Kayma Direnci Özelliklerinin Araştırılması. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 13 (2): 129-134.
- GEZER, B., B., 2009.Mersin İli Çelebili Köyü İçmeler Mevkiinde Yüzeyleyen Kireçtaşlarının Beton ve Asfalt Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 110s.
- ILICALI M., TAYFUR S., EREN K., SÖNMEZ İ., ÖZEN H., 2001. Asfalt Uygulamaları. İsfalt, İstanbul. 28s.
- KEÇECİLER, A.F., GÜMRÜKÇÜOĞLU, A., AKKOL, G. ve GÖKÇE, A.F, 1990. Bitümlü Malzemeler Laboratuvar El Kitabı. Karayolları Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara, 10s.-15s.
- KULOĞLU, N., (1998). Agrega Gradasyonunun Asfalt Muhtevasına Etkisi. 4. Ulaştırma Kongresi, Denizli, 271-280.
- KORKANÇ, M., ve TUĞRUL, A., 2003. Niğde Yöresi Bazaltlarının Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği. III Ulusal Kırmataş Sempozyumu, 3-4 Aralık, Cilt I, İstanbul, s.99-106.
- KULOĞLU, N., KÖK, B., V., ve DURMAZ, B., 2006. Beton Asfaltın Farklı Türden Temeller Üzerindeki Serbest Basınç Mukavemet Değerinin Değişimi.Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Der., 18 (1): 91-97.
- KULA, M., 2008.Edirne Yöresindeki Bazı Agrega ve Taşocakları Malzemelerinin Beton ve Beton-Asfalt Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ, 78s.
- ORHAN, F., 2012. Bitümlü Karışımlar Laboratuvarı Çalışmaları. KGM Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara, 6s.-22s.
- ÖNAL, M.A. ve KAHRAMANGİL, M., 1993. Bitümlü Karışımlar Laboratuvar El Kitabı. Karayolları Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara, 26s.-27s.
- TUNÇ, A., Esnek Kaplama Malzemeleri El Kitabı. Asil Yayın Dağıtım, Ankara, (2004).

- UÇAR, H., 2008. Kırmataşların Beton Agregasında ve Hazır Beton Tesislerinde Kullanılma Kriterleri Örnek Uygulama: Sağlıklı Köyü Kalker Ocağı. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 96s.
- UZ, V., E. ve GÖKALP, İ., 2017. Farklı Tür Agregalarla Üretilen Yüzeysel Kaplamaların Kayma Direnci Performanslarının İncelenmesi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 32 (1):109-120.
- YILMAZ, A., O., ÇAVUŞOĞLU, İ., 2004. Harşit Çayı(Giresun-Tirebolu) Kırılmış Dere Malzemesinin Agrega Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi. Kayamek 2004 VII. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu, 21-22 Ekim, Cilt I, Sivas, s.349-355.
- YILMAZ, A., SALTAN, M., ve AKILLI, A., 2012. Göller Yöresinde İşletilen Kireçtaşı Agregalarının Yol İnşaatı Malzemesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 18 (3): 199-207.
- ZARİF, İ. H., TUĞRUL, A., DURSUN, G., (2003). İstanbul'daki Kireçtaşlarının Agrega Kalitesi Yönünden Değerlendirilmesi. İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yerbilimleri Dergisi, 16 (2): 61-70.
- Türk Standartları Enstitüsü 2018.
- URL-1, <http://www.kgm.gov.tr>. Erişim Tarihi: 08.08.2018
- URL-2, <http://www.asmud.org.tr> Erişim Tarihi: 12.08.2018
- URL-3, <http://kisi.deu.edu.tr>Erişim Tarihi: 10.09.2018
- URL-4, <http://www.yolustyapimuh.com> Erişim Tarihi: 12.09.2018

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Dilan ASLAN
Uyruğu :Türkiye Cumhuriyeti
Doğum Yeri ve Tarihi :Diyarbakır/BAĞLAR 1990
Telefon :05452131121
e mail :dilanaslan2121@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı,	İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Atatürk Lisesi, Merkez, Diyarbakır		2009
Üniversite	: Harran Üniv., Mühendislik Fak., Şanlıurfa		2014
Yüksek Lisans	: Harran Üniv., Fen Bilimleri Enstitüsü		2018
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı			

İŞ DENEYİMLERİ :

Yıl	Kurum	Görevi
2014-2015	Dışkale Yapı Denetim	Büro Mühendisi
2015-2017	DBB Yol Yapım Daire Bşk.	Kontrol Mühendisi
2017-2018	Eskikale İnş.	Arazi Mühendisi

UZMANLIK ALANI :

YABANCI DİLLER:İngilizce (Orta Seviye)

YAYINLAR :

Dergi Adı: Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi
Makale Başlığı:Diyarbakır Yöresinde Bitümlü Sıcak Karışımlarda Kullanılan Bazalt, Kalker, Dere Malzemelerinin Karakteristik Özelliklerinin Karşılaştırılması
Kabul Tarihi:30/12/2018

EKLER

EK1

Çizelge 4.15. B1 Marshall dizaynçizelgesi

Briket No	Bitüm			Briket Yüksekliği				Havadaki Ağırlık (g)	Sudaki Ağırlık (g)	Doy. Yüz.K Ağırlık (g)	Hacim (cm ³)	Hac.Özg. Ağ.(g/cm ³)	Mak.Teo.Öz g. Ağ.(g/cm ³)	Boşluk %	V.M.A. %	Asf.Dolu Boşluk %	Akma (mm)	Stabilite (kg)	Düzeltilme Faktörü	Düzeltilme Stabilite
	Wa (%)	(gr)	Sic. (°C)	1	2	3	Ort	A	C	B	V	Dp	Dr	Vh		Vr				
1	3.50	40.3	135	61.9	62.1	62.3	62.1	1153.6	704.6	1172.7	468.1	2.464	2.655	7.23	12.72	43.2	2.4	1200	1.040	1248
2	3.50	40.3	135	62.3	62.4	62.5	62.4	1154.2	705.1	1174	468.9	2.462					2.6	1210	1.030	1246
3	3.50	40.3	135	62.3	62.5	62.4	62.4	1153.9	704.5	1173.1	468.6	2.462					2.3	1215	1.030	1251
ORTALAMALAR												2.463				2.43			1249	
4	4	46	135	60	60	60.1	60	1144	686	1150.5	464.5	2.463	2.635	6.17	12.81	51.8	2.43	1280	1.097	1404
5	4	46	135	63	63	63.1	63	1186	713	1193.8	480.8	2.467					2.40	1260	1.013	1276
6	4	46	135	62	62	62.1	62	1185.9	713.6	1190.5	476.9	2.487					2.44	1255	1.038	1303
ORTALAMALAR												2.472				2.42			1328	
7	4.5	51.8	135	62	62	62.1	62	1187.9	714	1192.6	578.6	2.482	2.615	5.79	13.52	57.2	2.64	1250	1.038	1298
8	4.5	51.8	135	61.5	61.2	61.7	61.5	1190.4	714.6	1195.7	481.1	2.474					2.62	1245	1.053	1311
9	4.5	51.8	135	59	59.2	58.9	59	1149.6	681.3	1153.5	472.2	2.435					2.62	1235	1.130	1396
ORTALAMALAR												2.464				2.63			1335	
10	5	57.5	135	60	60.1	60	60	1184.2	708	1184.4	476.4	2.486	2.596	4.35	13.26	67.2	2.84	1322	1.097	1450
11	5	57.5	135	61.5	61.3	61.6	61.5	1201.8	718.3	1202.2	483.9	2.484					2.82	1290	1.053	1358
12	5	57.5	135	61	61.2	60.9	61	1196.6	715.2	1197.7	482.5	2.480					2.85	1330	1.067	1419
ORTALAMALAR												2.483				2.84			1409	
13	5.5	63.3	135	60.5	60.7	60.3	60.5	1203.3	717.3	1204.5	482.2	2.470	2.577	4.13	14.08	70.7	3.1	1280	1.082	1385
14	5.5	63.3	135	60.5	60.6	60.4	60.5	1203.3	714.4	1203.7	486.3	2.474					3.05	1300	1.082	1407
15	5.5	63.3	135	59	59.1	59	59	1202.4	716	1203	487	2.469					3.07	1316	1.130	1487
ORTALAMALAR												2.471				3.07			1426	

EK 2

Çizelge 4.16. K3 Marshall dizaynçizelgesi

Briket No	Bitüm			Briket Yüksekliği				Havadaki Ağırlık (g)	Sudaki Ağırlık (g)	Doy. Yüz. K Ağırlık (g)	Hacim (cm ³)	Hac. Özg. Ağ. (g/cm ³)	Mak. Teo. Özg. Ağ. (g/cm ³)	Boşluk %	V.M.A. %	Asf. Dolu Boşluk %	Akma (mm)	Stabilite (kg)	Düzeltilme Faktörü	Düzeltil. Stabilite				
	Wa (%)	(gr)	Sic. (°C)	1	2	3	Ort	A	C	B	V	Dp	Dr	Vh		Vf								
1	3.5	40.6	135	64.2	64.1	64.1	64.1	1178.1	701.2	1188.2	487	2.419	2.655	8.74	15.24	42.6	2.15	1085	0.984	1067				
2	3.5	40.6	135	64	64.1	64	64	1176.2	699.8	1186.4	486.6	2.417									2.20	1087	0.986	1072
3	3.5	40.6	135	64	64.2	64.1	64.1	1173.2	700.1	1182.5	482.4	2.432									2.18	1092	0.985	1075
ORTALAMALAR												2.423				2.18					1072			
4	4	46.4	135	63.6	63.8	63.7	63.7	1178.8	705.2	1186.9	481.7	2.447	2.635	7.13	14.80	51.8	2.64	1145	0.994	1138				
5	4	46.4	135	63.7	63.6	63.6	63.6	1179.2	706.1	1187.5	481.4	2.450									2.75	1152	0.996	1147
6	4	46.4	135	63.5	63.5	63.6	63.5	1175.2	704.8	1185.6	480.8	2.444									2.78	1160	0.998	1158
ORTALAMALAR												2.447				2.72					1148			
7	4.5	52.2	135	63.5	63.4	63.4	63.4	1182.9	709.5	1189.3	479.8	2.465	2.615	5.77	14.60	60.5	2.98	1197	1.001	1198				
8	4.5	52.2	135	63.4	63.3	63.3	63.3	1186.2	711.2	1192.6	481.4	2.464									2.85	1201	1.003	1205
9	4.5	52.2	135	63.2	63.3	63.3	63.3	1185.2	710.9	1191.9	481	2.464									2.95	1195	1.005	1201
ORTALAMALAR												2.464				2.93					1201			
10	5	58	135	63	63.1	63	63	1194.2	719.5	1198.8	479.3	2.492	2.596	3.98	14.03	71.6	3.22	1245	1.011	1258				
11	5	58	135	61.1	63.2	63.1	63.1	1197.2	721.3	1201.3	480	2.494									3.17	1238	1.008	1248
12	5	58	135	63.1	62.9	63	63	1195.6	720.1	1199.7	479.6	2.493									3.20	1253	1.012	1268
ORTALAMALAR												2.493				3.20					1258			
13	5.5	63.8	135	62.9	63	63.1	63	1199.2	717.5	1202.4	484.9	2.473	2.578	3.79	14.88	74.5	3.45	1210	1.012	1224				
14	5.5	63.8	135	62.7	62.7	62.8	63.7	1196.1	718.6	1199.5	480.9	2.487									3.43	1216	1.019	1239
15	5.5	63.8	135	63	62.9	62.8	62.9	1201.1	719.5	1203.5	484	2.480									3.38	1021	1.014	1218
ORTALAMALAR												2.480				3.42					1227			

EK 3

Çizelge 4.17.D2 Marshall dizaynçizelgesi

Briket No	Bitüm			Briket Yüksekliği				Havadaki Ağırlık (g)	Sudaki Ağırlık (g)	Doy. Yüz. K Ağırlık (g)	Hacim (cm ³)	Hac.Özg. Ağ. (g/cm ³)	Mak.Teo.Öz g. Ağ. (g/cm ³)	Boşluk %	V.M.A . %	Asf.Dolu Boşluk %	Akm a (mm)	Stabi lite (kg)	Düzel tme Faktör ü	Düzeltil. Stabilit e				
	Wa(%)	(gr)	Sic. (°C)	1	2	3	Ort	A	C	B	V	Dp	D _r	V _h		V _f								
1	3.5	40.6	135	63.3	63.2	63.5	63.3	1187.5	698	1194.5	496.5	2.392	2.567	6.89	13.98	50.7	2.64	1174	1.003	1178				
2	3.5	40.6	135	63.4	63.4	63.3	63.4	1188.1	697.4	1195.5	498.1	2.385									2.64	1174	1.002	1177
3	3.5	40.6	135	63.2	63.3	63.2	63.2	1186.7	698.2	1194.1	495.9	2.393												
ORTALAMALAR												2.390				2.64			1178					
4	4	46.4	135	62.4	62.5	62.6	62.5	1188	700.5	1193.5	493	2.410	2.548	5.35	13.59	60.7	2.95	1180	1.025	1209				
5	4	46.4	135	63	63.1	63.2	63.1	1187.6	700.5	1193.1	492.6	2.411									2.94	1185	1.009	1196
6	4	46.4	135	62.8	62.9	62.9	62.9	1187.7	701.8	1193.4	491.6	2.416												
ORTALAMALAR												2.412				2.93			1203					
7	4.5	52.2	135	62.3	62.3	62.4	62.3	1186.9	706.1	1191	484.9	2.448	2.531	3.36	12.82	13.8	3.05	1201	1.030	1236				
8	4.5	52.2	135	62.3	62.2	62.2	62.2	1189.5	706.3	1193.9	487.6	2.439									3.10	1202	1.032	1241
9	4.5	52.2	135	62.3	62.4	62.5	62.4	1189.3	707.8	1193.4	485.6	2.449												
ORTALAMALAR												2.445				3.08			1239					
10	5	58	135	61.6	61.5	61.5	61.5	1187.1	710	1196.4	486.4	2.441	2.513	2.71	13.26	79.6	3.33	1215	1.052	1279				
11	5	58	135	61.6	61.6	61.8	61.7	1188.9	706.6	1192	485.4	2.449									3.32	1210	1.048	1269
12	5	58	135	62.5	62.4	62.4	62.4	1187.2	697.3	1190.2	492.9	2.409												
ORTALAMALAR												2.445				3.33			1274					
13	5.5	63.8	135	62	62.1	62.1	62.1	1189.5	704	1191.9	487.9	2.438	2.496	2.50	14.07	82.3	3.55	1185	1.037	1229				
14	5.5	63.8	135	62	62	62	62	1190.1	703.2	1192.3	489.1	2.433									3.51	1183	1.039	1229
15	5.5	63.8	135	62.2	62.2	62.2	62.2	1190	702.9	1192.7	489.8	2.430												
ORTALAMALAR												4.434				3.53			1226					

