

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI

**BAYBURT TRASI İLE GERİ KAZANILAN
ASFALTIN BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLARDA
KULLANILABİLİRLİĞİ**

Mehmet Akif ŞENTÜRK

**Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Öğr. Üyesi Bahadır YILMAZ
(Her Hakkı Saklıdır)**

T.C.
BAYBURT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**BAYBURT TRASI İLE GERİ KAZANILAN ASFALTIN BİTÜMLÜ SICAK
KARIŞIMLARDA KULLANILABİLİRLİĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Akif ŞENTÜRK

2019

BAYBURT

Her Hakkı Saklıdır

EK-3

TEZ ONAY SAYFASI

**BAYBURT TRASI İLE GERİ KAZANILAN ASFALTIN BİTÜMLÜ SICAK
KARIŞIMLARDA KULLANILABİLİRLİĞİ**

Dr.Öğr. Üyesi Bahadır Yılmaz danışmanlığında, Mehmet Akif Şentürk tarafından hazırlanan bu tez çalışması 26/04/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Doç. Dr. Mehmet YILMAZ

İmza:

Üye: Doç. Dr. İlker TEKİN

İmza:

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Bahadır YILMAZ

İmza:

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum.

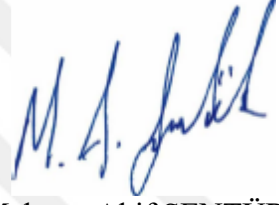

Prof. Dr. Metin UÇURUM

Enstitü Müdür V.

Not: Bu tezde kullanılan ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tez içindeki bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu ve bu çalışmada şahsıma ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.



Mehmet Akif ŞENTÜRK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BAYBURT TRASI İLE GERİ KAZANILAN ASFALTIN BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLARDA KULLANILABİLİRLİĞİ

Mehmet Akif ŞENTÜRK

Bayburt Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Bahadır YILMAZ

Günümüz dünyasındaki genel görüş, var olan kaynakların daha verimli ve etkin bir şekilde kullanılması yönündedir. Motorlu taşıt sayısındaki hızlı artış ve beraberinde yeni yolların yapılması ve/veya mevcut yollardaki bozulmaların iyileştirilmesi bu manada önemli bir yer oluşturmakla birlikte kullanılan malzeme sarfiyatını ve maliyetleri azaltmakta büyük önem arz etmektedir. Bu da atık malzemelerin ve/veya daha önceden kullanılan malzemelerin tekrar geri kazandırılarak kullanılması gereğini doğurmuştur. Bu kapsamda yapılan çalışmada, atık malzeme olarak Bayburt trası ve hizmet ömrünü tamamlamış bir yol yüzeyinden kazılarak elde edilen asfalt karışım birlikte tekrar değerlendirilerek yeni bir bitümlü sıcak karışım elde edilmiş ve aktif bir karayolu üzerine aşınma tabakası olarak serilmiştir. Serilen aşınma tabakasından bir yıl boyunca karot numuneleri alınmış olup numunelere Marshall stabilite ve akma, dolaylı çekme mukavemeti, dolaylı çekme esneklik modülü ve dinamik sünme deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçlarından, söz konusu malzemelerin bitümlü sıcak karışımlarda kullanılabileceği tespit edilmiştir.

2019, 135 sayfa

Anahtar kelimeler: Bayburt trası, geri kazanılmış asfalt, bitümlü sıcak karışım, mekanik özellikler

ABSTRACT

MS Thesis

Mehmet Akif ŞENTÜRK

THE USABILITY OF BAYBURT TRASS WITH RECYCLED ASPHALT PAVEMENT IN BITUMINOUS HOT MIXTURES

Bayburt University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Dr. Bahadır YILMAZ

The general view in today's world is to use existing resources more efficiently and effectively. The rapid increase in the number of motor vehicles and the development of new roads and / or the deterioration of the existing roads constitute an important place in this sense, but it is very important to reduce the material consumption and costs. This has led to the need to recycle waste materials or the materials previously used. In this study, a new bituminous hot mixture was obtained by laying together the Bayburt trass as a waste material and the asphalt mixture obtained by excavating from a road surface that has completed its service life and obtained as a wear layer on an active highway. Core samples were taken from the coated wear layer for one year. Marshall stability and flow, indirect tensile strength, indirect tensile elastic modulus and dynamic creep tests were performed on the samples. From the test results, it has been determined that the materials can be used in bituminous hot mixtures.

2019, 135 pages

Keywords: Bayburt trass, recycled asphalt pavement, bituminous hot mixture, mechanical properties

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yürütülmesini gerçekleştiren, değerli bilgilerini ve desteğini benden hiçbir zaman esirgemeyen danışman hocam sayın Dr. Öğr. Üyesi Bahadır YILMAZ'a, deneysel çalışmaların yürütülebilmesi için bütün imkanları seferber eden sayın Prof. Dr. Şeref ORUÇ hocama, savunma jürimde yer alarak tezime katkı sağlayan sayın Doç. Dr. Mehmet YILMAZ ve Doç. Dr. İlker TEKİN hocalarıma, bu çalışmanın yapılabilmesi için sağladığı emeklerden dolayı Hamit İLGÜ ve Bayburt İl Özel İdaresi Asfalt Şantiyesi çalışanlarına, moral motivasyon ve yardımlarından dolayı Furkan ALTUNAY ve Sedat HAŞLAK'a, her türlü imkanından yararlanmamı sağlayan Bayburt Grup firması ve çalışanlarına, uygulama ve üretim aşamasında desteklerini esirgemeyen Bayburt İl Özel İdaresi'ne, malzeme konusunda yardımlarından dolayı Binali CEBE'ye, bu günlere gelmemde büyük emekleri olan annem ve babam Yasemin ŞENTÜRK ve Hikmet ŞENTÜRK'e, yoğun çalışmalarım sırasında sabır gösterdiği için eşim Zehra ŞENTÜRK'e, çalışmalarımda varlığıyla bana motivasyon ve mutluluk sağlayan kızım İnci Serra ŞENTÜRK'e ve çalışmam sırasında küçük, büyük yardımlarını esirgemeyen herkese teşekkür ederim.

Mehmet Akif ŞENTÜRK

Nisan/2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
1.1 Genel Bilgiler.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	2
2.1 Konunun Özgeçmişi	2
2.2 Çalışmanın Amacı ve İzlenen Yol	5
2.3 Bitüm	5
2.3.1 Asfaltın kimyasal yapısı.....	8
2.3.2 Asfaltın reolojisi.....	8
2.4 Bitümlü Sıcak Karışımların Tarihçesi	8
2.5 Bitümlü Sıcak Karışımlar	9
2.5.1 Bitümlü sıcak karışımların özellikleri.....	9
2.5.1.1 Bitümlü sıcak karışımların stabilitesi.....	9
2.5.1.2 Bitümlü sıcak karışımların rijitliği	10
2.5.1.3 Bitümlü sıcak karışımların durabilitesi	11
2.5.1.4 Bitümlü sıcak karışımların yorulmaya karşı direnci	11
2.5.1.5 Bitümlü sıcak karışımlarda esneklik	11
2.5.1.6 Bitümlü sıcak karışımların geçirimsizliği	12

2.5.1.7 Bitümlü sıcak karışımlarda kaymaya karşı direnç	13
2.5.1.8 Bitümlü sıcak karışımların işlenebilirliği	13
2.6 Yol Kaplamalarında Oluşan Bozulmalar ve Bozulma Türleri.....	15
2.6.1 Deformasyonlar.....	15
2.6.1.1 Tekerlek izi oluşumu	16
2.6.1.2 Oturmalar ve çökmeler	17
2.6.1.3 Ondülasyon ve kabarmalar	18
2.6.1.4 Ayrışmalar	19
2.6.1.5 Soyulmalar	19
2.6.1.6 Sökülmeler	20
2.6.1.7 Çatlaklar	21
2.6.1.8 Timsah sırtı çatlaklar	21
2.6.1.9 Düşük ısı çatlakları	22
2.6.1.10 Diğer çatlaklar	23
2.7 Asfalt Kaplama Geri Kazanım Yöntemleri	27
2.7.1 Soğuk düzeltme (Cold planing)	29
2.7.2 Sıcak geri dönüşüm (Hot recycling)	29
2.7.3 Sıcak yerinde geri kazanım (Hot in place recycling).....	29
2.7.4 Soğuk geri dönüşüm (Cold recycling)	30
2.7.5 Tam derinlikten geri kazanma (Full depth reclamation).....	30
2.8 Bitümlü Sıcak Karışımda Kullanılan Agregalar	31
2.8.1 Agregaların sınıflandırılması	31
2.8.1.1 Mineralojik sınıflandırma.....	31
2.8.1.2 Boyun sınıflandırması	32

2.8.1.3	Gradasyon sınıflandırması.....	34
2.8.1.4	Agregaların biçim ve yüzey yapısı.....	35
2.8.1.5	Porozite, yüzey boşluk	36
2.8.1.6	Özgül ağırlık.....	36
2.8.1.7	Bayburt trasının genel özellikleri	37
2.8.2	Agregalara uygulanan deneyler	38
2.8.2.1	Elek analizi	38
2.8.2.2	Los Angeles deneyi	39
2.8.2.3	Donma dayanımı deneyi.....	41
2.8.2.4	Cıllanma deneyi.....	42
2.8.2.5	Su etkilerine karşı dayanıklılık deneyi	43
2.8.2.6	Yassılık indeksi deneyi.....	44
2.8.2.7	Birim hacim ağırlık deneyi.....	45
2.8.2.8	Özgül ağırlık ve absorpsiyon deneyi	45
2.9	Bitümlü Sıcak Karışımlara Uygulanan Deneyler	47
2.9.1	Marshall yöntemiyle karışım dizaynı.....	48
2.9.2	Dolaylı çekme mukavemeti deneyi.....	56
2.9.3	Dolaylı çekme esneklik modülü deneyi	57
2.9.4	Dinamik sünme deneyi	59
3.	MATERYAL VE YÖNTEM	63
3.1	Kullanılan Malzemeler	63
3.1.1	Kazılmış asfalt malzemesi (RAP).....	63
3.1.2	Bitüm.....	66
3.1.3	Agrega.....	68

3.1.4 Yeşil Bayburt trası (YBT).....	69
3.2 Laboratuvar Çalışmaları	71
3.2.1 Kazılmış asfalt malzemesi karışım oranının belirlenmesi	72
3.2.2 Yeşil Bayburt trasının bitümlü sıcak karışımda kullanımı	74
3.3 Asfalt Plentinde Üretim ve Serim Aşaması	75
3.4 Serimi Yapılan Karışımlardan Karot Numunelerinin Alınması	79
3.4.1 Karot numuneleri ölçüm işlemleri	84
3.5 Marshall Stabilite Deneyi	86
3.6 Dolaylı Çekme Mukavemeti Deneyi	86
3.7 Dolaylı Çekme Esneklik Modülü Deneyi.....	87
3.8 Dinamik Sünme Deneyi.....	88
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	90
4.1 Marshall Tasarımı Deney Sonuçları	90
4.2 Karot Numuneleri Marshall Deney Sonuçları	98
4.3 Karot Numuneleri Dolaylı Çekme Mukavemeti Deney Sonuçları.....	104
4.4 Dolaylı Çekme Esneklik Modülü Deney Sonuçları.....	108
4.5 Dinamik Sünme Deneyi.....	111
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	119
6. KAYNAKLAR.....	122
7. EKLER	130
Ek-1 Dizayn Raporu.....	130
Ek-2 Stabilite düzeltme çarpımı katsayıları	130
8. ÖZGEÇMİŞ

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 Ham petrol damıtma kulesi.....	7
Şekil 2.2 Yol tabakaları.....	12
Şekil 2.3 BSK Serimi.....	14
Şekil 2.4 Finişerli BSK Serimi	14
Şekil 2.5 Tekerlek izi oluşumu şematik gösterimi.....	16
Şekil 2.6 Yolda oluşan tekerlek izi	17
Şekil 2.7 Yolda Oluşan Çökme.....	18
Şekil 2.8 Yolda oluşan ondülasyon.....	19
Şekil 2.9 Yolda oluşan soyulma	20
Şekil 2.10 Bitümlü sıcak karışım yolda oluşmuş sökülme	21
Şekil 2.11 Timsah sırtı çatlaklar	22
Şekil 2.12 Düşük ısı çatlakları	23
Şekil 2.13 Asfalt kenar çatlağı	24
Şekil 2.14 Derz çatlağı.....	24
Şekil 2.15 Büzülme çatlağı	25
Şekil 2.16 Kayma çatlağı	26
Şekil 2.17 Enine çatlak	26
Şekil 2.18 Gradasyon tiplerinin grafiksel gösterimi	35
Şekil 2.19 Agregada biçim yapıları gösterimleri.....	35
Şekil 2.20 Agregada hacim hesaplarının bölgesel gösterimi.....	37

Şekil 2.21 Elek takımı.....	39
Şekil 2.22 Los Angeles aşınma makinesi	40
Şekil 2.23 Kayma direnci ölçme cihazı	43
Şekil 2.24 Petri kabı.....	44
Şekil 2.25 Yassılık indeksi eleği.....	45
Şekil 2.26 Havadaki ağırlık ölçümü	51
Şekil 2.27 Sudaki ağırlık ölçümü.....	52
Şekil 2.28 Doygun ağırlık ölçümü.....	52
Şekil 2.29 Dolaylı çekme mukavemeti deney cihazı	56
Şekil 2.30 Dolaylı çekme esneklik modülü deney cihazı	59
Şekil 2.31 Asfalt Tester cihazı	61
Şekil 2.32 Dinamik sünme deneyi	62
Şekil 3.1 RAP malzemesi tedarik ve serim noktaları gösterimi	64
Şekil 3.2 RAP malzemesi	66
Şekil 3.3 YBT atıkları.....	70
Şekil 3.4 YBT, SEM görüntüsü	71
Şekil 3.5 BSK-RAP karışımı hazırlanması.....	72
Şekil 3.6 Tokmaktama öncesi sıcaklık kontrolü	73
Şekil 3.7 Marshall tokmağı.....	73
Şekil 3.8 RAP oranının belirlenmesi amacıyla üretilen Marshall numuneleri	74
Şekil 3.9 Marshall numunesi ağırlık ölçümü	74
Şekil 3.10 Bitümlü sıcak karışım üretimi	75

Şekil 3.11 BSK malzemesinin finişer ile serimi	76
Şekil 3.12 Üretim aşamasında RAP malzemesinin karışıma ilave edilmesi	76
Şekil 3.13 %20 RAP malzemesi ölçümü	77
Şekil 3.14 %20 oranında RAP malzemesinin karışıma ilavesi.....	77
Şekil 3.15 Karışımın serim noktasındaki sıcaklık ölçümü	78
Şekil 3.16 Karışımın yol yüzeyine serilmesi	78
Şekil 3.17 Serim sonrası genel görünüş	79
Şekil 3.18 Karot alımı esnasında kaplama sıcaklık kontrolü	80
Şekil 3.19 Karot numunesi alımı esnasında hava sıcaklık kontrolü	80
Şekil 3.20 Karot numune çukurları	81
Şekil 3.21 Karot numunesi alınması	81
Şekil 3.22 Tekerlek izi ve oturma kontrolü	82
Şekil 3.23 Normal karışım karot numuneleri.....	82
Şekil 3.24 RAP ilave edilmiş karışım karot numuneleri	83
Şekil 3.25 RAP ve YBT ilave edilmiş karışım karot numuneleri.....	83
Şekil 3.26 Karot numunelerinin havadaki ağırlık ölçümleri.....	84
Şekil 3.27 Karot numunelerinin sudaki ağırlık ölçümleri.....	84
Şekil 3.28 Karot numunelerinin suya doygun ağırlık ölçümleri.....	85
Şekil 3.29 Karot numunelerinin yükseklik ölçümleri	85
Şekil 3.30 Marshall stabilite deneyi.....	86
Şekil 3.31 Dolaylı çekme mukavemeti deneyi	87
Şekil 3.32 Dolaylı çekme deneyi	88

Şekil 3.33 Dinamik sünme deneyi	89
Şekil 3.34 Dinamik sünme deney düzeneği.....	89
Şekil 4.1 RAP oranına bağlı özgül ağırlık değişimi	91
Şekil 4.2 RAP oranına bağlı % boşluk değişimi.....	91
Şekil 4.3 RAP oranına bağlı agregalar arası boşluk değişimi.....	92
Şekil 4.4 RAP oranına bağlı asfaltla dolu boşluk değişimi	92
Şekil 4.5 RAP oranına bağlı stabilite değerleri değişimi.....	93
Şekil 4.6 RAP oranına bağlı akma değerleri değişimi.....	93
Şekil 4.7 %20 RAP ve %20 RAP+YBT karışımların özgül ağırlık değişimi.....	94
Şekil 4.8 %20 RAP ve %20 RAP+YBT karışımların % boşluk değişimi	95
Şekil 4.9 %20 RAP ve %20 RAP+YBT karışımların agregalar arası boşluk değişimi.....	95
Şekil 4.10 %20 RAP ve %20 RAP+YBT karışımların asfaltla dolu boşluk değişimi.....	96
Şekil 4.11 %20 RAP ve %20 RAP+YBT karışımların stabilite değeri değişimi	96
Şekil 4.12 %20 RAP ve %20 RAP+YBT karışımların akma değeri değişimi	97
Şekil 4.13 Karışımların stabilite değerlerinin karşılaştırılması.....	97
Şekil 4.14 Normal karışım karot numuneleri aylara göre stabilite grafiği	98
Şekil 4.15 Normal karışım karot numuneleri aylara göre akma grafiği	99
Şekil 4.16 Normal karışım karot numuneleri aylara göre Marshall oranı değişimi... ..	99
Şekil 4.17 %20 RAP karışımına ait karot numunelerinin Marshall stabilite-akma ve Marshall oranı değerlerinin aylara göre değişimi.....	100

Şekil 4.18 RAP+YBT karışımına ait karot numunelerinin Marshall stabilite-akma ve Marshall oranı değerlerinin aylara göre değişimi.....	102
Şekil 4.19 Karışımların stabilite değerlerinin aylara göre değişimi	103
Şekil 4.20 Normal karışım karot numunelerinin aylara göre dolaylı çekme mukavemeti değerleri.....	104
Şekil 4.21 RAP karışım karot numunelerinin aylara göre dolaylı çekme mukavemeti değerleri.....	105
Şekil 4.22 RAP+YBT karışım karot numunelerinin aylara göre dolaylı çekme mukavemeti değerleri.....	106
Şekil 4.23 Normal, RAP ve RAP+YBT karışımlarının dolaylı çekme mukavemeti karşılaştırma grafiği	107
Şekil 4.24 Karışımların zamana göre esneklik modülü değerleri değişimi	110
Şekil 4.25 Karışımların deformasyon-yük tekrar sayısı ilişkisi.....	117

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 2.1	Kaplama bozulma türlerine göre uygulanan geri kazanım yöntemleri...	28
Çizelge 2.3	Karışımda kullanılan ince agrega fiziksel ve mekanik özellikleri.....	33
Çizelge 2.4	Mineral filler malzeme elek ve yüzde geçenler	34
Çizelge 2.5	Los Angeles deneyinin agrega gradasyonu tablosu.....	40
Çizelge 2.6	Tabaka tipine göre yüzde aşınma şartname limitleri	41
Çizelge 2.7	Tabaka tiplerine göre donma kaybı şartname limitleri	42
Çizelge 2.8	Marshall gradasyonu şartname limitleri	48
Çizelge 2.9	Marshall tolerans limitleri.....	49
Çizelge 2.10	Marshall numune sıcaklık değerleri.....	51
Çizelge 2.11	BSK şartname limitleri	55
Çizelge 3.1	RAP ekstraksiyon ve optimum bitüm bilgileri	65
Çizelge 3.2	50/70 penetrasyonlu bitüm özellikleri	67
Çizelge 3.3	Bitümlü sıcak karışım gradasyonu.....	68
Çizelge 3.4	Karışımda kullanılan agrega özellikleri.....	69
Çizelge 3.5	YBT, teknik analiz sonuçları	70
Çizelge 4.1	Katkısız BSK genel bilgileri.....	90

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

VMA	Agregalar arası boşluk
YN	Asfaltın yumuşama noktası sıcaklık değeri
%F	Filler yüzdesi
%İ	İnce agregaya yüzdesi
%K	Kaba agregaya yüzdesi
°C	Santigrat derece
c	Kohezyon
dk	Dakika
Dp	Sıkıştırılmış karışımın hacim özgül ağırlığı
Dt	Gevşek kaplama karışımının boşluksuz maksimum özgül ağırlığı
Ec	Sünme modülü
Ec	Toplam plastik (kalıcı) eksenel birim şekil değiştirme
Ecq (t)	t anındaki sünme modülü
Em	Esneklik modülü
Er	Toplam elastik eksenel birim şekil değiştirme
F	Maksimum düşey yük
G	Numunenin başlangıç yüksekliği
g	Gram
Gb	Asfalt özgül ağırlığı
Gef	Agrega efektif özgül ağırlığı
Gfa	Filler zahiri özgül ağırlığı
Gia	İnce agregaya zahiri özgül ağırlığı
Gib	İnce agregaya hacim özgül ağırlığı
Gka	Kaba agregaya zahiri özgül ağırlığı

Gkb	Kaba agrega hacim özgül ağırlığı
Gsa	Agrega karışımının zahiri özgül ağırlığı
Gsb	Agrega karışımının hacim özgül ağırlığı
h	Numune yüksekliği
Hy	Toplam yatay deformasyon
ITS	Dolaylı çekme mukavemeti
K, n	Asfalt karışımın özelliklerine ve kompozisyonuna bağlı katsayılar
L1	LVDT'nin başlangıç referans deplasmanı
L2n	n darbe sayısındaki maksimum deplasman
L3n	(n+1). darbe uygulanmadan önceki deplasman
m	Metre
m-değer	Sünme oranı
mm	Milimetre
mN	Mili Newton
MPa	Mega Pascal
N	Azot
Nf	Yorulma ömrü
Np	Çatlama ilerlemesi için gerekli yük tekrar sayısı
P	Maksimum yük
Pa	Pascal
Pa.s	Pascal-saniye
Pba	Absorbe edilen asfalt, agreganın ağırlıkça yüzdesi
Pbe	Efektif asfalt, agreganın ağırlıkça yüzdesi
Pen25	Asfaltın 25°C sıcaklıktaki penetrasyon değeri
PI	Penetrasyon İndeksi
Pmax	Maksimum yük
Rm	Rijitlik modülü
RAP	Recycled Asphalt Pavement (Geri Kazanılmış Asfalt Kaplama)

rp	Çatlak ilerleme oranı (darbe sayısı, mm)
rpm	Dakikadaki devir sayısı
S	Sünme sertliği
sn	Saniye
T	Sıcaklık
t	Yükleme süresi veya hızı
Vd	Düşey deformasyon
Vf	Asfaltla dolu boşluk
Vh	Toplam hacmin yüzdesi olarak hava boşluğu
Wa	Kuru agreganın yüzdesi olarak asfalt
δ	Faz açısı
δf	Bozulma anında toplam deformasyon
δi	Çatlak başladığı andaki toplam deformasyon
ε	Şekil değiştirme (deformasyon)
$\varepsilon_c(t)$	t anında oluşan toplam kalıcı deformasyon
σ	Gerilme
τ	Kayma mukavemeti
ν	Poisson oranı
ϕ	İçsel sürtünme açısı

1. GİRİŞ

1.1 Genel Bilgiler

Günümüz dünyasında, insanların en iyi şartlar ve koşullar altında yaşamlarını sürdürmesi önem arz etmektedir. Gündelik ihtiyaçlar olan eğitim, barınma, beslenme, sosyalleşme ve bunun gibi birçok yaşam gereksinimlerinin tamamında ulaşım ortak bir nokta oluşturmaktadır. İnsan yaşamında artan konfor ile birlikte ulaşım standartları da artmıştır. Öncesinde toprak kaplı olan yollar, zaman içerisinde gelişim göstererek taş kaplamalı daha sonra sathi kaplamalı ve en sonunda da günümüzde yaygın olarak kullanılan esnek kaplamalı yollar olarak kendini göstermiştir. Her ne kadar büyük oranda bu ihtiyaçlar karşılanmış olsa da bu hizmetlerin sürekliliğinin sağlanması bir o kadar önemlidir.

Dünyamız süre gelen yıllarda mevcut kaynakları insanlığa sunmuştur. Sunulan kaynaklar her ne kadar büyük miktarlarda olsa da bunları korumak yaşamın devamı için elzemdir. Günümüzdeki en önemli gündem maddelerinden biri, var olan kaynakların kullanıldıktan sonra tekrar kullanılabilmesi ya da atık malzemelerin tekrar değerlendirilmesi üzerine yapılan çalışmalardır. Bu çalışmalar, kaynak kullanım tasarrufunun yanında ekonomik açıdan birçok avantaj sunmaktadır.

Her maddenin olduğu gibi yapılan yollarında bir ömrü vardır. Belirlenen ömür içerisinde maksimum verimi almak mühendisliğin önemli amaçlarından biridir. Ömrünü tamamlayan bitümlü sıcak karışımlar (esnek kaplamalı yollar) gerekli işlemler uygulanarak tekrar kullanılabilir hale getirilmektedir. Buna ilaveten çeşitli atık maddeler tekrar değerlendirilerek kullanılabilir hale getirilmektedir.

Bu kapsamda, hizmet ömrünü tamamlamış yol yüzeyinden kazınarak elde edilen asfalt karışımı ve çeşitli alanlarda kullanıldıktan sonra tekrar kullanılmayan Bayburt trası atıklarının birlikte esnek kaplama yolların esasını oluşturan bitümlü sıcak karışımlarda yeniden kullanılabilirliğin araştırılması gerekliliği ortaya çıkmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1 Konunun Özgeçmişi

Bakır cürufu ve beton atığı agregası içeren karışıma soğuk geri kazanım yöntemiyle elde edilen RAP malzemesi toplam agregası ağırlığının %18'i oranında ilave edilmiştir. Bu karışıma ayrıca portland çimentosu, uçucu kül ve pirinç kabuğu ayrı ayrı ilave edilmiş olup üç farklı karışım elde edilmiştir. Sonrasında bu karışımlara Marshall stabilite-akma, dolaylı çekme mukavemeti, esneklik modülü, nem hassasiyeti ve dinamik sünme deneyleri yapılmıştır. Portland çimentosu içeren karışımın diğer karışımlara göre daha iyi sonuç verdiği kaydedilmiştir (Behnood vd., 2015).

Sıcak karışımlarda kullanılan geri kazanılmış asfalt (RAP) malzemesinden dolayı elde edilen yeni karışımda kümelenmeler oluşabilmektedir. Bu manada bu olayı araştırmak için farklı karıştırma sıcaklıklarında; normal agregası, bitüm ve %50 ile %90 oranlarında RAP malzemesi kullanılarak iki tip karışım elde edilmiştir. %50 RAP malzeme içeren karışımın karıştırma sıcaklıkları 140°C, 160°C ve 180°C iken, %90 RAP malzeme içeren karışımınki ise 160°C olup bu karışımlardaki kümelenmelerin sıcaklığa bağlılığı reolojik (DSR) ve görüntüleme (ESEM, EDX) yöntemleriyle belirlenmiştir. Görüntüleme yöntemi sonucu, karıştırma sıcaklığına bağlı olarak asfalt bağlayıcının RAP malzemesinin etrafını sararak buna göre kümelenmemin olduğu ortaya konmuştur (Bressi vd., 2015).

Ilık karışım asfaltta RAP malzemesi kullanımının araştırıldığı çalışmada; %40, %50 ve %60 oranlarında RAP ilave edilen karışımların normal karışıma göre performansları sıkışma testi, tekerlek izi testi, kompleks modül ve yorulma testleri yardımıyla değerlendirilmiştir. Çalışmada, Fransız tasarım yöntemi kullanılmıştır. Bu tasarım yönteminde, malzemenin yaşlanması dikkate alınmadığından daha gerçekçi sonuçlar elde edilebilmesi adına malzeme yaşlandırılarak söz konusu deneyler yapılmıştır. RAP malzemesi eklenen karışımların normal karışıma göre daha iyi performans sergilediği tespit edilmiştir (Lopes vd., 2015).

Farklı katkı maddeleri içeren ılık asfalt karışımlarda %15 oranını geçmeyen RAP malzemesi ile düşük sıcaklıklarda geri kazanılmış poroz asfalt karışımlar üretilmektedir. Bu karışımlarda yaşlanmanın etkisi araştırılmak istenmiş olup karışımlara Viyana yaşlandırma prosedürü uygulanmıştır. Sonrasında karışımların yaşlanmaya etkileri değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmenin yapılabilmesi amacıyla karışım öncesi ve sonrasında sertlik testleri yapılmıştır. Yapılan testler sonucunda ılık asfalt karışıma ilave edilen malzemelerin sıcak asfalt karışıma göre daha iyi yaşlanma direnci gösterdiği bildirilmiştir (Frigo vd., 2016).

Geri dönüşlü motor yağı kalıntılarının asfalt çimentosunun duktilitesine etkisinin araştırıldığı çalışmada, söz konusu malzeme %6 ve %8 oranlarında kullanılmış olup elde edilen karışımlar AASHTO M320 ve çift kenarlı çentik gerginliği protokollerine göre kıyaslanmıştır. Yapılan kıyaslamalar sonucunda, karışımların AASHTO M320 protokolüne göre iyi performans sergilemesine karşın çift taraflı çentik gerginliğinde sonuçların olumsuz olduğu görülmüştür (Paliukaite vd., 2016).

Bitümlü karışımlarda bitümün yaşlanması sonucu içerisindeki aromatikler dönüşüm geçirir. RAP malzemesi kullanıldığında içerisindeki okside bitüm kullanıldığı karışımdaki bitümün asfalten yapısıyla bağ kurarak daha gevrek performans sergilemesini sağlar. Bu nedenle yaşlanmış bitümün fiziko-kimyasal eksikliklerinin uygun dozda geri dönüşüm ajanı kullanılarak optimize edilmesi ve bu optimizasyona göre karışımda kullanılacak RAP yüzdesinin belirlenmesi gerekir. Bu düşünceyle hareket edilen çalışmada, karışımdaki RAP malzemesi için optimum miktar %10 olarak bulunmuş olup dolaylı çekme mukavemeti (ITS), çekme mukavemeti (TSR) ve esneklik modülü deneyleri yapılmıştır. Deney sonucunda, RAP'li karışımların normal karışıma göre daha iyi performans sergilediği kaydedilmiştir (Pradyumna ve Jain, 2016).

RAP karışımlarına, karışımı gençleştirmek amacıyla aromatik yağ ve benzo amid esaslı sürfaktif katkıları ilave edilmiş olup reolojik temel deneyler yapılmıştır. Deney sonuçlarından, karışımların hem düşük hem de yüksek sıcaklık performansının arttığı tespit edilmiştir (Baldino vd., 2017).

Bitümlü bağlayıcıya soya türevli katkı malzemesi %0,75 oranında katılmış olup yaşlanma üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışma sonucunda, katkı malzemesinin bitümlü bağlayıcının yaşlanmasını geciktirdiği ve normal bitüme göre daha iyi performans sergilediği ortaya konmuştur (Elkashef vd., 2017).

Cam, asfalt beton, ahşap, plastik vb. atıklar bitümlü karışımlarda tekrar kullanılmıştır. Yapılan araştırma sonucunda, mevcut atıkların %16'sının yollarda kullanılabilceği ve bunun maliyet tasarrufuna katkı sağlayacağı bildirilmiştir (Poulikakos vd., 2017)

Stiren-butadien-stiren polimer modifiyeli bitüm ve %25 oranında RAP içeren karışım ile normal ılık asfalt karışım çok çeşit yükleme konfigürasyonlarında (sıkıştırılabilirlik, sertlik, yorulma) üretilerek mekanik özellikleri bakımından birbirleriyle kıyaslanmıştır. Düşük sıcaklıkta yapılan üretimin sertlikte önemli bir düşüşe neden olduğu ve normal karışımın dayanımını etkilediği ancak RAP malzemesi içeren karışımın performansının azalmadığı beyan edilmiştir (Stimilli vd., 2017).

RAP malzemesinden elde edilen bitümde, tarım ve petrol bazlı katkıları %65 oranında kullanılmış olup yaşlanmaya karşı etkileri incelenmiştir. Elde edilen modifiye bağlayıcılara laboratuvar ortamında kısa ve uzun süreli yaşlandırma deneyleri yapılmış ve reolojik davranışları incelenmiştir. Deney sonuçlarından, petrol bazlı katkının bitümün uzun süreli yaşlanma performansını artırdığı, tarım esaslı katkının ise stabiliteyi olumsuz etkilediği ve buna bağlı olarak söz konusu performansı azalttığı tespit edilmiştir (Haghshenas vd., 2018)

Polyethylene Terephthalate (PET) atık plastik su şişeleri 5 mm ebatlarında kesilerek kimyasal reaksiyona tabi tutulmuş olup elde edilen sonuç ürünü saf bitümlü bağlayıcıda %1, %1,5 ve %2 oranlarında kullanılarak modifiye asfalt bağlayıcılar elde edilmiştir. Sonrasında bu modifiye asfalt bağlayıcılar, RAP malzemesinden elde edilen bitüm ile %15, %25, %40 ve %100 oranlarında karıştırılmıştır. Elde edilen bağlayıcılara; penetrasyon, yumuşama noktası, dinamik kesme reometrisi, dönel viskozite, nem duyarlılığı, FT-IR ve flüoresans mikroskobu deneyleri yapılmıştır.

Deney sonuçlarından, modifiye asfalt bağlayıcıların saf bağlayıcıya göre daha iyi performans sergilediği, soyulma direncini %15, kırılma direncini ise %60 oranında artırdığı ortaya konmuştur (Leng vd., 2018).

2.2 Çalışmanın Amacı ve İzlenen Yol

Bu çalışmada, hizmet ömrünü tamamlamış asfalt kaplamaların ve belli alanlarda kullanıldıktan sonra arta kalan ve sonrasında kullanılmayan Bayburt iline özgü tras (tüf) atıklarının birlikte bitümlü sıcak karışımlarda kullanılmasıyla daha uzun ömürlü asfalt kaplamaların inşa edilmesi ve bu manada hem ekonomik hem de çevresel çözümlerin üretilmesi amaçlanmıştır.

Çalışma kapsamında; normal (önceden agrega gradasyonu ve bitüm içeriği bilinen bitümlü sıcak karışım, Ek-1), geri kazanılmış asfalt malzeme (RAP) içeren ve geri kazanılmış asfalt ile Bayburt trası atıkları içeren üç farklı bitümlü sıcak karışım asfalt plentinde ayrı ayrı üretilmiş olup aktif bir karayolu üzerine finişer yardımıyla serilerek sıkıştırılmıştır. Trafik yüklerinin ve iklim şartlarının etkisiyle bu kaplamalarda oluşacak performans farklılıkları 1 yıl süreyle incelenmiş olup bu süre zarfında her ay yol yüzeyinden karot numuneleri alınmıştır. Alınan bu numunelere Marshall stabilite ve akma, dolaylı çekme esneklik modülü, dolaylı çekme mukavemeti ve dinamik sünme deneyleri yapılmıştır. Ancak öncesinde asfalt plentinde üretilen karışımda kullanılacak olan RAP malzemesi oranı için Marshall tasarımı yapılmıştır. Normal karışımdaki agrega ağırlıkça %10, %15 ve %20 oranlarında azaltılmış ve bunun yerine RAP malzemesi ilave edilmiştir. Marshall stabilite ve akma deneyi yapılarak optimum RAP oranı belirlenmiştir. Bayburt trası atıkları ise bitümü sıcak karışımda sadece filler olarak RAP ile birlikte değerlendirilmiştir.

2.3 Bitüm

Bitüm, ham petrolün rafinerilerde damıtılmasından veya doğal asfalt göllerinden elde edilir (Şekil 2.1). Sıcaklığa bağlı olarak katı, yarı katı ve viskoz fazlarda olabilir.

Rengi koyu kahve ile siyah arasında olup kimyasal yapısı çok sayıda hidrokarbon zincirinden oluşur. Yol inşaatlarında kullanılan bitümlü sıcak karışımların su geçirgenliğini azaltan, termoplastik ve viskoelastik özellik kazandıran ve aynı zamanda agregayı bağlayıcı görevi gören maddedir. Isıtıldığında işlenebilir hale gelerek akışkan olan bitüm soğuduğunda katılarak agregaların bir arada durmasını sağlar. Bu özellikleri sebebiyle günümüzdeki yol inşaatlarının vazgeçilmez ve alternatifi olmayan malzemesidir. Genel olarak bitümlü sıcak karışımların ağırlıkça %3-8'i oranında bulunan bitüm, maliyetin ise %70-80'ini oluşturmaktadır. Bu durum ne kadar önemli ve kıymetli bir malzeme olduğunun ana göstergesidir (Annual Magazine 2002; WAPA, 2002).

2.3.1 Asfaltın kimyasal yapısı

Asfalt, yapılan incelemeler sonucunda; %82-88 oranında karbon, %8-11 oranında hidrojen, %0-6 oranında sülfür, %0-1.5 oranında oksijen, %0-1 oranında ise nitrojen elementlerini içerdiği tespit edilmiştir (Whiteoak, 2004).

Kimyasal olarak asfaltın n-heptan içerisinde çözünen kısmına maltenler, çözünmeyen kısmına ise asfaltenler denir. Asfaltenler, karbon ve hidrojenden oluşur ve içeriğinde sülfür, nitrojen ve oksijen bulunduran siyah ve kahverengi arası kendine özgü biçimi olmayan yapılardır. Asfaltenler, yapının yaklaşık %5-25'lik kısmını oluşturur. Asfalten içeriğinin artması asfaltın katılaşmasına sebep olur. Maltenler ise doygunlar, reçineler ve aromatikler guruplarından oluşur. Aromatikler içeriğin %40-65'ini oluşturan koyu kahverengi viskoz sıvılardır. Doygunlar ise bileşenin %5-20'sini oluşturur (Tunç, 2004).

2.3.2 Asfaltın reolojisi

Reoloji, cisimlerin gerilme altında zamana bağlı olarak şekil değişimini inceleyen bilim dalıdır. Bitümlü sıcak karışımların karakteristik özelliklerini belirleyen asfalt; trafik yükleri, sıcaklık, yükleme zamanı ve şiddetine bağlı olarak visko-elastik ve termoplastik özellik gösterir. Bu özelliklere bağlı olarak ağır ve yavaş ilerleyen araçların uyguladığı taşıt yüküne karşı asfalt viskoz sıvılara benzer şekilde akma eğilimine girer. Bu karakteristik davranışını göstermediği durumlarda kaplamada tekerlek izi olarak adlandırılan bozulma türü veya kırılmalar görülebilir (Menapace vd., 2018).

2.4 Bitümlü Sıcak Karışımların Tarihçesi

Bitüm, ilk olarak Sümerler tarafından şu anki kullanım alanının aksine değerli eşya yapımında ve heykeltıraşlar tarafından bağlayıcı malzeme olarak ayrıca kimyasal özellikleri sayesinde mumyalamada koruyucu katman olarak kullanılmıştır. Tarihte ilk olarak Babil'de Nabopolassar sarayının yollarının birinde bitümün yol yapımında yanmış tuğla ile karıştırılarak kaplama yapılmıştır. Asfalt kelimesi, antik

yunan dilinden “güvenli” anlamına gelen “asphaltos” kelimesinden gelmekte olup antik yunan döneminde oldukça yaygın kullanıldığı görülmektedir. Romalılar asfaltı su kanallarında yalıtım malzemesi olarak kullanmış ve kelimeyi “asphaltus” olarak değiştirmişlerdir (Salta, 2010).

Venezüella da bulunana Water Raleigh asfalt gölü sayesinde 1595’li yıllarda asfalt gemi tamirinde kullanılmıştır. İnkalar’ın M.S. 1500’lü yıllarda günümüze yakın şekilde yol kaplamalarında asfalt kullandığı tespit edilmiştir (Salta, 2010).

Asfalt, 1824 yılında Avrupa’da kaplama malzemesi olarak Paris’in Champs-ElYsees sokağında bloklar şeklinde, New York eyaletinde bulunan 5. caddede ise Edward Smedt tarafından yol kaplaması olarak kullanılmıştır. Yirminci yüzyıla kadar kaplamalarda, doğal olarak elde edilen asfalt kullanılırken, 1907 yılında petrolün rafine edilmesiyle yerini bitüm malzemesine bırakmış ve bu gelişmeler ışığında günümüzdeki kullanım şeklini almıştır (National Asphalt Pavement Association, 2004).

2.5 Bitümlü Sıcak Karışımlar

Bitümlü sıcak karışımlar, yol kaplamalarında gerek asfaltın karışıma kazandırdığı karakteristik özelliklerinden dolayı gerekse uygulamanın hızlı olması sebebiyle yol yapımında en çok tercih edilen kaplama türüdür (Kök vd., 2012).

2.5.1 Bitümlü sıcak karışımların özellikleri

Bitümlü sıcak karışımlar; işlenebilirlik, rijitlik, yorulma mukavemeti, esneklik, geçirimsizlik, kayma direnci ve stabilite gibi özellikleri içerisinde barındırması sebebiyle kaplama konusunda önemli avantajlar barındırmaktadır (Ahmetzade vd., 2008).

2.5.1.1 Bitümlü sıcak karışımların stabilitesi

Stabilite, genel olarak bitümlü sıcak karışımın (esnek kaplama) trafik yükü altında bozulmalara karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanır. Stabilite ve bozulmalar kendi

aralarında ters orantıya sahiptir. Stabilitesi çok yüksek karışımlar esnekliğini kaybettiği için kaplamada çatlaklar oluşmasına sebebiyet verecektir. Stabilité, içsel sürtünme direncine ve kohezyona bağılı olarak değişir ve denklem (2.1) ile hesaplanır (Oruç, 1997, 2002; Geçgil, 2008; Bostancıoğlu, 2012).

$$\tau = c + \sigma \tan \Phi \quad . \quad (2.1)$$

τ = Stabilité

c = Kohezyon

σ = Gerilme

Φ = Agregá daneleri arasındaki içsel sürtünme açısı

2.5.1.2 Bitümlü sıcak karışımların rijitliği

Bitümlü sıcak karışımlardaki rijitlik özelliği, trafik yükleri altında deformasyona uğramaması için çok önemlidir. Rijitliği fazla olan karışımlar konfor olarak rahat bir sürüş sunmamasının yanında yükün sürekliliğine ve miktarına bağılı olarak kırılmalara sebebiyet vermektedir (Fakhri ve Ahmadi, 2017).

Bitümlü sıcak karışımlar için rijitlik denklem (2.2)'de gibi hesaplanır.

$$Rm_{(t,T)} = \sigma / \varepsilon \quad (2.2)$$

σ = Gerilme

ε = Deformasyon

T = Sıcaklık

t = Yükleme süresi veya hızını göstermektedir.

2.5.1.3 Bitümlü sıcak karışımların durabilitesi

Durabilite, bitümlü karışımların çevresel şartlara ve trafik yüklerine karşı sürekliliğini korumasıdır. Durabilite bitüm oranının fazla olması, kullanılan bitümün düşük penetrasyonlu olması, sıkışmanın iyi olması ve gradasyonun boşluksuz olması durumunda artar. Boşluk oranının düşük olması durumunda ise kaplamaya su ve hava girişi az olacağından bitümün oksidasyonu azalır. Bu da kaplamanın durabilitesini artırır (Kizirgil, 2013).

2.5.1.4 Bitümlü sıcak karışımların yorulmaya karşı direnci

Asfalt kaplamaların trafik yükleri altında oluşan eğilmeye (deformasyona) karşı direncidir. Yorulmaya karşı direnç rijitlik, bitüm oranı, kalınlık, gradasyon yoğunluğu ve bitüm penetrasyonu ile doğru, eğilme gerilmesiyle ters orantılıdır (Yılmaz, 2016).

Yorulmaya Karşı Direnç; denklem (2.3)'de verilmiştir.

$$N_f = K(1/\varepsilon)^n \quad (2.3)$$

N_f = Tekrarlı yük uygulama sayısı

ε = Deformasyon

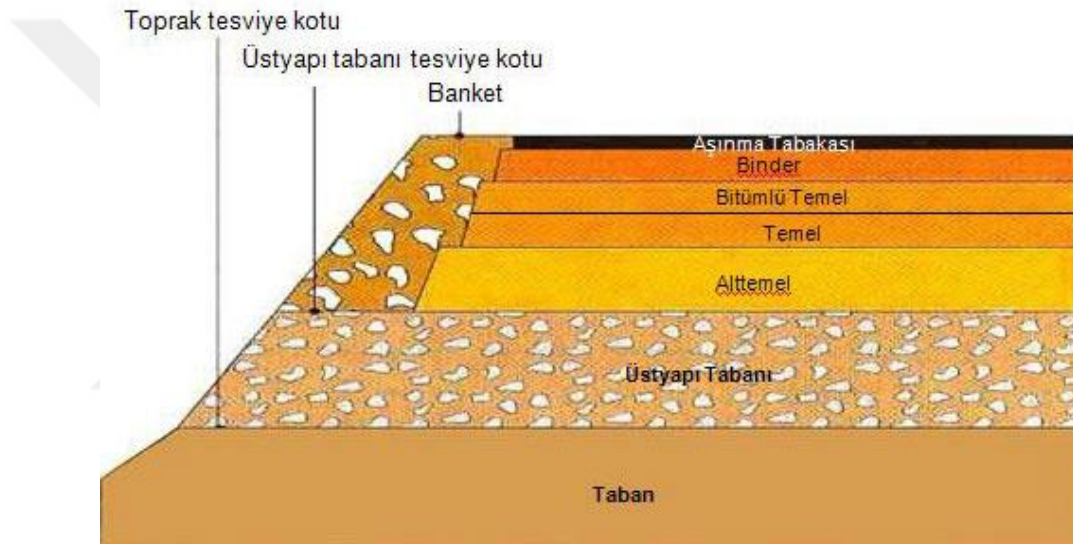
K, n = Karışımın özelliklerine bağlı kat sayılar, şeklinde ifade edilir.

2.5.1.5 Bitümlü sıcak karışımlarda esneklik

Kaplamanın, trafik yükleri altında oturmalara, çatlama ve kırılmalara sebebiyet vermeden alttemel ve temel tabakalarıyla uyum göstermesine esneklik denir.

Esneklik bitüm oranı ve boşluk oranının fazla olduğu durumlarda artar. Ancak

bitümlü sıcak karışımlarda esneklik ve stabilite ters orantılıdır. Esneklik düşük olduğunda kaplamada çatlamlar, yüksek olduğunda ise tekrarlı yükler altında yorulma çatlakları oluşabilmektedir. Bu yüzden karışım dizaynının taşıması gereken bütün özelliklerinin optimum seviyede tutulmasına dikkat edilmektedir. Bu durum kaplama dizaynını zorlaştıran ana etkenlerden biridir (İsfalt, 2002).



Şekil 2.2 Yol tabakaları (Asmud, 2018)

2.5.1.6 Bitümlü sıcak karışımların geçirimsizliği

Bitümün oksidasyonunun azaltılması, agreganın karakteristik özelliklerinin korunması ve ana taşıyıcı olan alt temel ve temel tabakalarının ömrünün uzatılması için kaplamaların su ve havanın etkisine karşı geçirimsiz olması istenir (Clark vd., 2017).

Geçirimsizlik;

- Bitüm miktarı
- Agregada gradasyonu
- Sıkışma ile doğru orantılıdır (Önal ve Kahramangil, 1993).

2.5.1.7 Bitümlü sıcak karışımlarda kaymaya karşı direnç

Kayma direnci, taşıtların her türlü hava koşulu altında güvenli duruş mesafesini sağlayan ve kurplarda merkez kaç kuvveti sebebiyle savrulmalarını önleyen teker ile kaplama arasında bulunması gereken sürtünme kuvvetidir. Kayma direnci bitüm oranı, yüzey pürüzlülüğü, cilalanma direnci yüksek agrega ve gradasyonun kaba olmasıyla artış göstermektedir (Özgan vd, 2011).

Kayma direnci yol için çok önemli bir unsur olmasına rağmen fazla olması durumunda da sürüş konforu azalabilmektedir. Bundan dolayı optimum değerde tutulması önemlidir.

2.5.1.8 Bitümlü sıcak karışımların işlenebilirliği

İşlenebilirlik, karışımın hazırlanması, nakli, serilmesi ve sıkıştırılması sırasındaki kolaylık olarak tanımlanmaktadır. İşlenebilirliğin yüksek olması uygulamadaki hataları azaltmasına ve az iş gücüyle fazla imalat yapılması noktasında önem arz etmektedir (Ye vd., 2009).



Şekil 2.3 BSK serimi (Yolteknolojileri, 2019)



Şekil 2.4 Finişerli BSK serimi

2.6 Yol Kaplamalarında Oluşan Bozulmalar ve Bozulma Türleri

Yol yapımı ülkemizin lokomotif sektörü olan inşaatın önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Yol, sosyo-ekonomik gelişmenin en önemli göstergelerinin bir tanesi olmasının yanında, Türkiye İstatistik Enstitüsünün 2018 yılı verilerine göre 22.865.921 adeti bulan taşıt sayısı göz önüne alındığında ülkemiz için önemli bir yer tutmaktadır (Türkiye İstatistik Kurumu, 2019). Yapılan yollar, yoğun trafik yükleri altında ve çeşitli sebeplerden dolayı bozulmalar göstermektedir. Bu bozulmaları önlemek için yapılan uygulamaların en iyi şekilde ve müdahalelerin zamanında olması gerekmektedir.

Ülkemizdeki yollarda bozulmaların; tasarım hataları, malzeme seçimindeki hatalar, trafik planlamasının yetersiz yapılması, imalat ve proje hataları, doğru şekilde ve zamanında bakım yapılmaması gibi başlıca sebepleri vardır (Kuloğlu vd, 2006).

Bu etkenler yollarda çatlaklara, tekerlek izi ve çökmelerin oluşmasına sebebiyet vermektedir. Bozulmalar sebebiyle yol konforu ve ömrü ciddi azalmaktadır. Üretim, taşıma, serim ve sıkıştırma anında her ne kadar yaşlanmalar oluşsa da bunlar kısa sürelidir. Oysa yol servis ömrü sırasında oluşan yaşlanmalar uzun süreli etki etmektedir (Şengöz vd., 2005).

2.6.1 Deformasyonlar

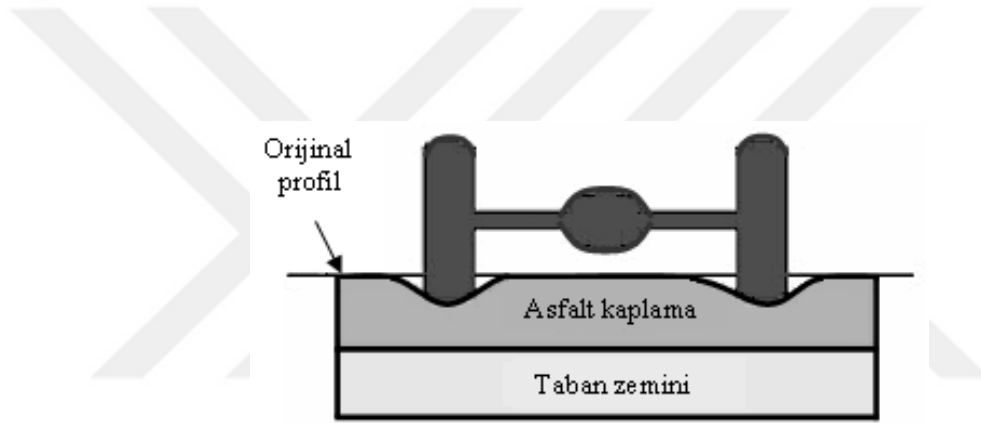
Kaplamalarda ki bozulmalar gözlemlene yoluyla fark edilebilmektedir. Bu bozulmalar trafik akışına tehlike arz etmesinin yanında yol konforunu da etkilemektedir. Genel olarak bu tür bozulmalar imalat hatalarından kaynaklıdır. Ancak daha önce de belirtildiği gibi;

- Uygulama anındaki hatalar
- Doğru karışım oranlarının sağlanamaması
- Alt temel ve temel tabakalarının yetersiz mukavemette olması
- Projelendirmenin doğru yapılmaması
- Trafik yükünün fiziksel etkileri

- İklim şartlarının ağırlığı deformasyonlara yol açan başlıca sebeplerdir (Bağdatlı ve Yıldırım, 2017).

2.6.1.1 Tekerlek izi oluşumu

Tekerlek izleri genel olarak ağır vasıtaların seyir halinde bulunduğu sağ şeritlerde oluşmaktadır. Bu oluşumlar özellikle ağır vasıtaların dur kalk yaptıkları kısımlar ve boyuna eğimin yüksek olduğu yerlerde gözlemlenir. Büyük araçlar için çok fazla tehlike arz etmemesine rağmen tekerlek izleri küçük araçlar için ciddi kazalara sebebiyet vermektedir (Deniz, 2009).



Şekil 2.5 Tekerlek izi oluşumu şematik gösterimi (Kutluhan ve Ağar, 2011)



Şekil 2.6 Yolda oluşan tekerlek izi (Baydar, 2019)

2.6.1.2 Oturmalar ve çökmeler

Oturmalar, genellikle serim esnasındaki hassas bölgeler olan birleşme yeri olarak tabir edilen orta kısım ve sıkışmanın kısmen yeterli yapılamayan kenar kısımlarında oluşur. Nedeni ise alt tabakalarda çeşitli sebeplerden dolayı oluşan hacimsel değişimlerdir. Bu değişimler;

- Alt tabakadaki sıkışmanın yeterli olmaması
- Üretim esnasındaki gradasyon hataları
- Birleşim noktalarında oluşan doğal dilatasyon
- Su uzaklaştırma yapılarının yetersiz olması gibi sebeplerden kaynaklanabilmektedir.

Çökmeler, yol kotundan 2,5 cm ve daha fazla derinlikte olabilen genellikle oval görünümlü içerişe su birikintisi olan bozulma türleridir. Birçok bozulma türünde olduğu gibi çökmelere de zamanında müdahale edilmediğinde büyümeye devam eder ve yolu kullanılamaz hale getirebilir (Yılmaz, 2016).

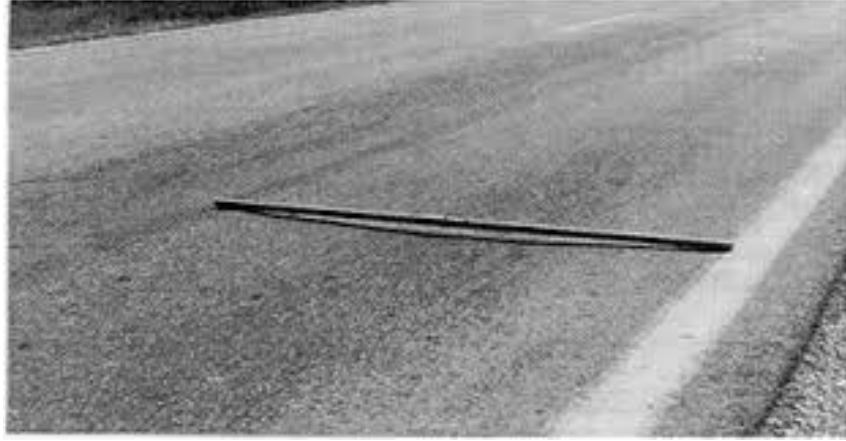


Şekil 2.7 Yolda oluşan çökme (Gerengi vd., 2012)

2.6.1.3 Ondülasyon ve kabarmalar

Ondülasyon, yok kesitini enine olacak şekilde oluşmuş düzenli şekilde oluşan yol yüzeyi kot farklılıklarıdır. Sürüş esnasında dalga üzerinde gidiyormuş hissi verir ve aracın titremesine sebep olur. Trafiğin yoğun olarak durup kalktığı, fren yaptığı ve keskin kurplarda görülebilir (Harvey, 1994; Şengül, 2011).

Kabarmalar, tabii zeminin çeşitli etkenlerle kabarması sonucu üst yapıda meydana gelen lokal kot yükselmeleridir (İBB, 2002; Kandhal, 2002; Deniz, 2009).



Şekil 2.8 Yolda oluşan ondülasyon (Bartın Üniversitesi, 2019)

2.6.1.4 Ayrışmalar

İklim şartları ve trafik yüklerinin etkisiyle üst tabakadaki agrega tanelerinin bitümün bağlayıcılığının yetersiz kalması sonucu ayrışmalar oluşur. Genel olarak;

- İmalat hataları
- Malzeme evsafının yeterli olmaması
- Uygun olmayan penetrasyon bitüm kullanılması gibi sebeplerden meydana gelir. Soyulmalar ve sökülmeler olarak iki başlıkta incelenir (Oruç, 2015).

2.6.1.5 Soyulmalar

Soyulma, agrega ve bitüm arasındaki adezyon bağının zayıflaması sonucu agreganın serbest hale gelmesi olarak tanımlanır. Soyulma genel olarak malzemenin kirli olması, bitüm viskozitesinin düşük olması ve agrega yüzeyindeki nemden dolayı bitümün yüzeye yapışmaması durumlarında gerçekleşir (Geçkil, 2008).



Şekil 2.9 Yolda oluşan soyulma (Yılmaz, 2016)

2.6.1.6 Sökülmeler

Sökülme, kaplamanın dış kısımlarından malzemenin trafik yükü ve hava şartları nedeniyle karışımdan ayrılması olarak tanımlanmaktadır. Oluşan sökülmeler kenardan içe doğru veya yüzeyden aşağı doğru ince malzemelerin ayrışması sonucu deformasyonun devam etmesiyle meydana gelir. Sökülmelere neden olan ana etkenler;

- Yeterli bitüm kullanılmaması
- Hava şartları
- Trafik yükünü iletemeyecek tabaka kalınlıkları
- Agreganın kirli olması
- Üretim hataları
- İmalat hataları gibi sebeplerden oluşmaktadır (Umar ve Ağar, 1985; Tunç, 2007; Geçkil, 2008; Deniz, 2009).



Şekil 2.10 Bitümlü sıcak karışım yolda oluşmuş sökülme (Yılmaz, 2016)

2.6.1.7 Çatlaklar

Çatlaklar, trafik yüklerinin sıcak karışımın hesap yüklerinden fazla olduğunda ve trafiğin dur kalk yaptığı bölgelerde oluşabilir. Bunun yanında;

- Sıcaklık değişimin yüksek olduğu bölgeler
- Absorbsiyonu yüksek olan agrega kullanımı
- Bitüm içerisindeki bileşenlerin buharlaşması gibi dış etkiler çatlakların oluşmasına sebebiyet verebilir (Öcal, 2018).

Çatlakların oluşmasının temel sebebi yük altında oluşan çekme gerilmesinin kaplamanın çekme mukavemetinin üzerinde olmasıdır. Trafik yükü altında çekme gerilmeleri tabakanın alt kısımlarında maksimum değerde oluşur, tekrarlı yüklerin etkisiyle üst kısımlara doğru devam eder (Yılmaz, 2016).

2.6.1.8 Timsah sırtı çatlaklar

Timsah sırtı çatlaklar, birbiriyle kesişen timsah sırtına benzer şekilde kaplama yüzeyinde oluşan çatlaklardır. Bu çatlaklar genellikle;

- Dizayn ağırlığından fazla dingil yükü

- Drenaj yetersizliği sebebiyle alt tabakaların fonksiyonunu yitirmesi
- Yetersiz alt yapı üzerine kaplama yapılması gibi sebeplerden oluşmaktadır (Salta, 2010).



şekil 2.11 Timsah sırtı çatlaklar (Pixnio, 2019)

2.6.1.9 Düşük ısı çatlakları

Düşük ısı çatlakları, çok düşük dereceli hava ısısına maruz kalan bölgelerde görülen çatlak türüdür. Hava aşırı soğuk olduğunda kaplama hacmi küçülür, kullanılan bitüm penetrasyonu düşük ise büzülme neticesinde kaplamanın çatlamasına sebebiyet verir. Bu çatlaklar yüzeysel oluşabildiği gibi tabakanın alt kısımlarından itibaren de oluşabilir. Bu çatlakların oluşmaması için soğuk bölgelerde penetrasyonu yüksek bitüm kullanılmalıdır (Tunç, 2007).



Şekil 2.12 Düşük ısı çatlakları (Yılmaz, 2016)

2.6.1.10 Diğer çatlaklar

Kenar çatlakları, genellikle kaplama kenarından 30 cm içe doğru yol ile aynı istikamette oluşan çatlak türleridir. Kenar kısımlarda yan etkiler az olduğundan imalat sırasında yetersiz sıkıştırma ve drenajın yetersizliği gibi sebeplerden oluşabilmektedir (Mareşteanu vd., 2004).



Şekil 2.13 Asfalt kenar çatlağı (İnsapedia, 2019)

Derz çatlakları, yapım esnasında oluşan derzlerin imalat hataları sebebiyle yetersiz temizlik ve yeterli emülsiyon kullanılmaması sebebiyle oluşabilmektedir (Çolak, 2006).



Şekil 2.14 Derz çatlağı (Asfalt kaplama, 2019)

Büzülme çatlakları, gerek yapı gerekse görünüşü timsah sırtı çatlaklarıyla büyük benzerlikler gösterir ancak büzülme çatlaklarında kesişim açıları dik veya yakın açılarda olmaktadır (Taşdemir, 2003).



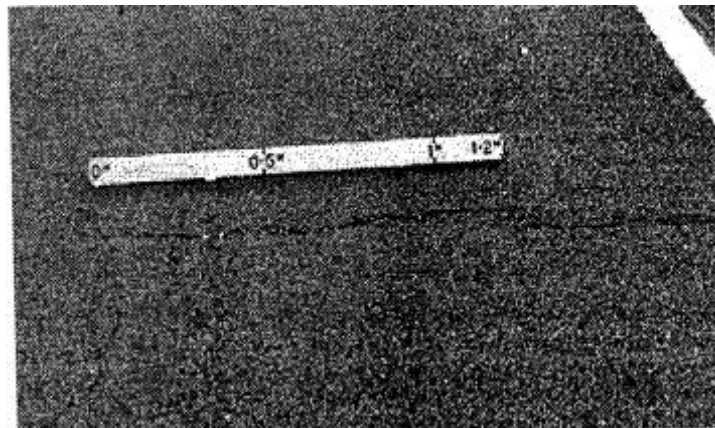
Şekil 2.15 Büzülme çatlağı (Movea, 2019)

Kayma çatlakları, tabakaların birbiri üzerinde yatay olarak kayması sonucu oluşur ve genellikle hilal biçimine benzer görünümde oluşmaktadır. Genel olarak yetersiz emülsiyon kullanımı ve imalat sırasında yetersiz temizlikten dolayı oluşmaktadır (Yayla, 2002).



Şekil 2.16 Kayma çatlağı (Movea, 2019)

Enine çatlaklar, bu çatlak türü adından da anlaşıldığı gibi yol kesiti boyunca oluşan çatlaklardır. Bu çatlak türü çok karşılaşılan bir çatlak türü değildir. Genellikle imalat hataları ve kaplama kalınlığının az olması sebebiyle oluşmaktadır (Seçginli, 2007).



Şekil 2.17 Enine çatlak (Tuncan vd., 2019)

2.7 Asfalt Kaplama Geri Kazanım Yöntemleri

Hizmet ömrünü tamamlamış yol kaplamalarının, tekrar geri kazandırılarak kullanılmasıyla ilgili farklı yöntemler geliştirilmiştir. Bunlar genel olarak;

1. Soğuk düzeltme (Cold planing-CP)
2. Sıcak geri kazanım (Hot recycling-HR)
3. Sıcak yerinde geri kazanım (Hot in place recycling-HPR)
4. Soğuk geri kazanım (Cold recycling-CR)
5. Tam derinlikten geri kazanım (Full depth reclamation-FDR) şeklindedir (ARRA, 2001, Gürer vd, 2004).

Genel olarak yoldaki bozulmaların türüne göre uygulanabilecek geri kazanım yöntemleri Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1 Kaplama bozulma türlerine göre uygulanan geri kazanım yöntemleri (Seferoğlu A.)

Kaplama Bozulma Tipi		CP	HR	HIR	CIR	FDR
Yüzey kusurları	Sökülme	X	X	X		
	Cilalanma	X	X	X		
Kalıcı deformasyon	Tekerlek izi-sığ	X	X	X		
	Tekerlek izi-derin		X		X	X
Çatlaklar/trafikten kaynaklanan	Timsah sırtı		X		X	X
	Boyuna çatlaklar		X	X	X	X
	Kaplama kenarı çatlakları		X		X	X
	Yansıma çatlakları		X	X		
Çatlaklar/trafikten kaynaklanmayan	Blok tipi çatlaklar		X		X	X
	Boyuna çatlaklar		X	X		
	Enine çatlaklar		X		X	X
Yamalar	Yüzeysel yamalar		X			X
	Derin yamalar		X			X
Problemlili temel/alttemel						X
Seyahat konforu (pürüzlülük)	Genel olarak pürüzlü	X	X	X		
	Çukur	X	X	X		X

2.7.1 Soğuk düzeltme (Cold planing)

Bu yöntem genel bozulmalardan ziyade kaplamanın üst kısımlarında oluşan bozulmaların tespit edilmesi durumunda kullanılabilir. Üst tabakada oluşan bozulmaların kalınlığı tespit edilir ve asfalt kazıyıcı makinelerle (freze vb.) kazınır. Özellikle kış şartlarının ağır olduğu bölgelerde kazılma işleminden sonra kalan pürüzlü kısım sürtünme kuvveti yüksek olduğundan avantajlar sağladığı gibi istek dâhilinde tekrar kaplama yapılması durumunda tabakalar arası kaymaları önlemekte katkı sağlamaktadır (Yılmaz vd., 2011).

2.7.2 Sıcak geri dönüşüm (Hot recycling)

Kullanım ömrünü tamamlayan asfalt kaplamalar yol yüzeyinden kazınarak (RAP) üretim ünitesine (asfalt plenti) götürülür. RAP malzemesi daha sonra ısıtılarak veya ısıtılmadan soğuk şekilde bitümlü sıcak karışımlarda kullanılabilir. RAP malzemesinin ısıtılarak kullanılabilmesi için asfalt plentine bir kurutucu (drayer) sistemin ilave edilmesi gerekmektedir. Bu sistemde RAP malzemesi doğrudan ateşe maruz kalmamaktadır. Isıtılan RAP malzemesiyle bitümlü karışım asfalt plentindeki mikser içerisinde karıştırılır. Bu şekilde RAP malzemesi yeni malzeme içerisinde değerlendirilmiş olur. Ayrıca RAP malzemesi ısıtılmadan doğrudan bitümlü karışıma ilave edilebilir. Ancak bu uygulamada elde edilecek olan bitümlü sıcak karışımda oransal malzeme kayıpları oluşabilmektedir (Güngör vd., 2008).

2.7.3 Sıcak yerinde geri kazanım (Hot in place recycling)

Bu yöntemin uygulanabilmesi için arazide birbiri ardına eklenmiş makineler (katar) kullanılmaktadır. Uygulama şekilleri kullanım amacına göre farklılık göstermekte olup makine fonksiyon ve dizilişi değişmektedir (Yılmaz vd., 2011).

Düşük trafik yükü bulunan yollarda veya mevcut kaplamanın temel tabakası olarak kullanılması amaçlandığında yüzeysel geri dönüşüm olarak adlandırılan yöntem de kullanılabilir. Bu işlemlerde yüzey ısıtılır, kazınır ve gerek görülmesi halinde

katkılı veya katkısız olarak tekrar serme sıkıştırma işlemi yapılarak imalat tamamlanır (Santucci, 2007).

Mevcut temel tabakasının uygun olduğu durumlarda yüzey düzgünlüğü ve trafik konforunun iyileştirilmesi amacıyla yeniden karıştırma denilen yöntem uygulanabilmektedir. Bu yöntem sıcak geri dönüşüm yöntemine benzerlik göstermektedir. Uygulama sırası ise yüzeyin ısıtılması, kazılması, agrega ve bitüm takviyesi yapılarak serme sıkıştırma işlemi yapılarak tamamlanır (Yılmaz vd., 2011).

Mevcut malzemeden faydalanmak istendiği durumlarda ise yeniden kaplama yöntemi uygulanabilmektedir. Bu uygulamada önceki uygulamalarda kullanılan sistemlerden farklı olarak malzeme serim işleminden sonra sıkıştırma yapılmaz. Sıkıştırılmamış malzeme üzerine yeni kaplama yapılır ve her iki tabaka beraber sıkıştırılarak aderansı sağlanmış olur (Mikhailenko, 2015).

2.7.4 Soğuk geri dönüşüm (Cold recycling)

Soğuk geri dönüşüm yöntemi yerinde uygulanabildiği gibi modifiye edilmiş plent ünitesinde de uygulanabilmektedir. Genel işleyişi bitümlü tabakanın yol yüzeyinden kazınarak bu malzemeye katkı ilave edilerek tekrar yol yüzeyine serilmesi ve sıkıştırılması şeklindedir. Bu uygulama esnasında sıralı makine dizileri (katar) kullanılmaktadır (Şerefoğlu, 2015).

2.7.5 Tam derinlikten geri kazanma (Full depth reclamation)

Bu yöntemin esas amacı deforme olmuş yol yüzeyindeki tüm kaplama tabakalarının kazınarak birbirleriyle karıştırılması ve yol üstyapısındaki temel tabakasında tekrar kullanılmasıdır. İhtiyaç duyulması halinde gerekli agrega aralığı dikkate alınabileceği gibi malzemenin homojen şekilde karışmasına yardımcı olacak malzemelerde (uçucu kül, kireç, magnezyum klorür, asfalt emülsiyonları, köpük asfalt vb.) ilave edilebilir (Kearney, 1999).

2.8 Bitümlü Sıcak Karışımda Kullanılan Agregalar

Bitümlü sıcak karışım bitüm ve agrega olarak iki temel öğeden oluşmaktadır. Agrega gerek karışım hacminin gerekse ağırlığının büyük bir oranını oluşturması sebebiyle özellikleri açısından büyük önem arz etmektedir. Agrega, karışımın özellikle stabilitesi açısından doğrudan etkilidir. Bu sebeple kullanılan agregaların özelliklerinin bilinmesi gerekmekte olup karışımda meydana getireceği dezavantajlar ve avantajlar iyi analiz edilmelidir (Ilıcalı, 2001).

Kullanılan agregalar üst tabakalarda trafik yüküne direk maruz kaldığından alt tabakalara göre daha nitelikli ve değer kritik noktaları açısından daha dikkatli seçilmelidir (Yılmaz, 2016).

2.8.1 Agregaların sınıflandırılması

Agregalar çeşitli özellikleri açısından sınıflandırılmaktadır.

2.8.1.1 Mineralojik sınıflandırma

Agregalar günümüzde genel olarak dere ocakları veya kırma taş ocaklarından elde edilmektedir. Bitümlü sıcak karışımlarda kullanım açısından kırma taş ocaklarında konkasörle kırılan agregalar uygunluk arz etmektedir. Bunlar püskürük, tortul ve metamorfik kayalar olarak sınıflara ayrılmaktadır. Püskürük kayalar olarak bilinen bazalt, andezit, kuvars v.b. gibi kayalardan daha çok bazalt gurubu sert ve kırılması zor olduğundan aşınma tabakalarında tercih edilmektedir. Tortul kayalar ise kalker, kumtaşı ve konglomeradır. Bunlar kırılması daha kolay ve uygun özellikleri sebebiyle bitümlü sıcak karışımda çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Metamorfik kayalar ise yıllar içerisinde çeşitli etkilerle (basınç, ısı v.b.) bu kayaç türlerinin başkalaşım geçirmiş halleridir. Bunlara örnek olarak mermer, şist v.b. kayalar verilebilir (Yılmaz, 2016).

2.8.1.2 Boyun sınıflandırması

Bitümlü sıcak karışımda kullanılan agregalar kaba agrega, ince agrega ve filler olarak üç farklı sınıfta değerlendirilmektedir.

Kaba agregalar kırılan malzemenin 4.75 mm (No:4) açıklığındaki eleğin üstünde kalan kısmıdır. Karışımda kullanılacak kaba agreganın fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Karışımda kullanılan kaba agrega fiziksel ve mekanik özellikleri (Kgm, 2013)

Deney	Şartname Limitleri		Deney Standardı
	Binder	Aşınma	
Parçalanma Direnci (Los Angles),% Kayıp	≤ 30 (LA30)	≤27 (LA27)	TSEN 1097-2a (AASHTO T 96)
Aşınma Direnci (Micro-Deval) ^b , % Kayıp	≤ 25 (MDE25)	≤ 20 (MDE20)	TS en 1097-1
Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık, (MgSO4 ile Kayıp) %	≤ 18 (MS18)	≤ 16 (MS16)	TS EN 1367-2
Kırılmışlık, Ağırlıkça % (Tüm yüzeyleri kırılmış-Tüm yüzeyi yuvarlak)	≥95 - ≤0 C950	≥95 - ≤0 C850	TS EN933-5
Yassılık İndeksi, %	≤ 30	≤ 25	BS 812
	≤ 25 FL25	≤ 20 FL20	TS En 933-3a
Cilalanma Değeri, %	≥ 35 (PSV35)	≥ 50 (PSV50)	TS EN 1097-8
Su Emme, %	≤2,5 (WA24 2,5)	≤2,0 (WA24 2,0)	TS EN 1097-6
Soyulma Mukavemeti, % Bitümle Kaplı Yüzey (24 saat 60 oC suda bekletmeden sonra)	≥ 60	≥ 60	TS EN 1297-11 (Kısım 403 EK-A)
Kil Toprakları ve Ufalanabilir Daneleşim, %	≤ 0,3	≤ 0,3	ASTM C 142 AASHTO T 112
^a Referans metot. ^b Gerek görüldüğünde yapılacak. ^c Parantez içindeki ifade şartname değerinin TS EN 13043'deki sınıfını gösterir.			

İnce agrega 4.75 mm (No:4) ile 0.075 mm (No:200) elek aralığında kalan malzeme sınıfıdır. Karışımda kullanılacak ince agreganın mekanik ve fiziksel özellikleri Çizelge 2.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2 Karışımda kullanılan ince agrega fiziksel ve mekanik özellikleri (Kgm, 2013)

Deney		Şartname Limitleri		Deney Standardı
		Binder	Aşınma	
Plastisite İndeksi %		NP	NP	TS 1900-1
Organik Madde, (%3 NaOH ile)		Negatif	Negatif	TS EN 1744-1 Madde 15.1
Su Emme %		≤2,5 (WA24 2,5)	≤2,0 (WA24 2,0)	TS EN 1097-6
Metilen Mavisi	İnce agreganın 0/2 mm kısmına	≤1,5 (MB1,5) ≤3,0 (MB3,0)*	≤1,5 (MB1,5) ≤3,0 (MB3,0)*	TS EN 933-9
	Öğütülmüş magmatik agreganın 0/2 mm kısmına	≤3,0 (MB3,0)*	≤3,0 (MB3,0)*	
*Magmatik kökenli kayalarda, şantiye konkasöründe üretilmiş ince agregada istenen şartname değerimim sağlanmaması durumunda bu şart aranacaktır.				

Mineral filler agrega tamamı 0,425 mm (No:40) elekten geçen ve %70-100 aralığında 0.075 mm (No:200) elekten geçen malzemedir (Çizelge 2.4).

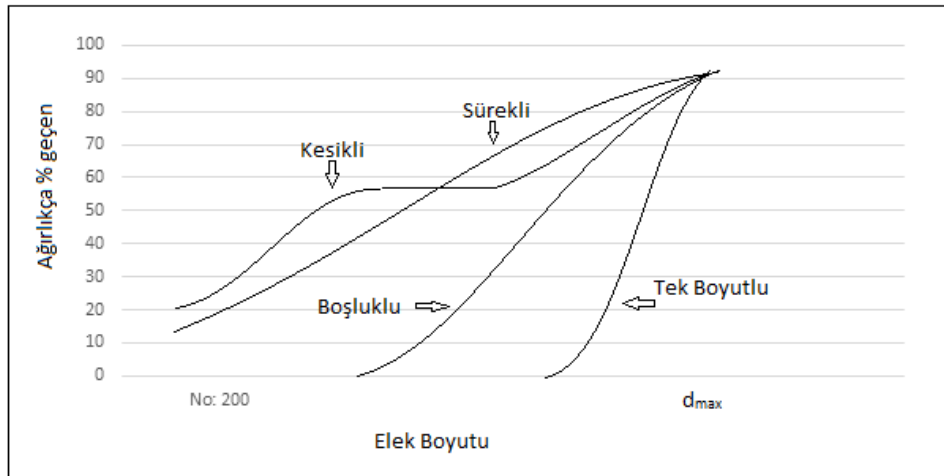
Çizelge 2.3 Mineral filler malzeme elek ve yüzde geçenler (Kgm, 2013)

Elek Boyu-mm (No)	Ağırlıkça % geçen
0,425 (No.40)	100
0,075 (No.200)	70-100

2.8.1.3 Gradasyon sınıflandırması

Gradasyon, agreganın dane boyutlarına göre sınıflandırılması anlamına gelir. Bu dane boyutlarındaki agregalar yapım şartnamesinde belirtilen sınır aralığında kalmak şartıyla birbirleriyle karıştırılarak bir agrega kümesi elde edilir. Gradasyon çeşitleri şu şekildedir;

- Boşluklu gradasyon, bu tür gradasyonlarda filler malzemesi çok az veya yoktur. Bu şekildeki gradasyona sahip bir malzemenin ince malzeme olmadığından bunun yerini yüksek miktarda hava boşlukları almaktadır.
- Sürekli gradasyon, bütün malzemelerden şartnamenin el verdiği miktarlarda bulunduran stabilitesi yüksek, boşluk oranı az olan gradasyon tipidir.
- Tek boyutlu gradasyon, dane boyutlarının çok yakın olduğu karışım tipidir.
- Kesikli gradasyon, ara malzemelerin çok az olduğu ve bütün aralık değerlerinin birbirinden uzak olarak karıştırıldığı gradasyon tipleridir (Seçgingil, 2007).



Şekil 2.18 Gradasyon tiplerinin grafiksel gösterimi

2.8.1.4 Agregaların biçim ve yüzey yapısı

Agregalar, gerek kırılma sonucu yapısal özellikleri sebebiyle gerekse doğal ortamları sebebiyle belirli şekiller alırlar. Genel itibariyle konkasörde kırılması sonucu agrega yüzeyleri köşeli bir biçim almaktadır. Agreganın yüzeyinin düzgün olması her ne kadar işlenebilirlik ve boşluk oranı açısından avantaj sağlarsa da stabilite, içsel sürtünme açısı, kayma direnci gibi etkenler yüzeyi köşeli agregalarda daha fazla olduğundan tercih sebebidir (Baha ve Kuloğlu, 2008).



Şekil 2.19 Agregaların biçim yapıları gösterimleri

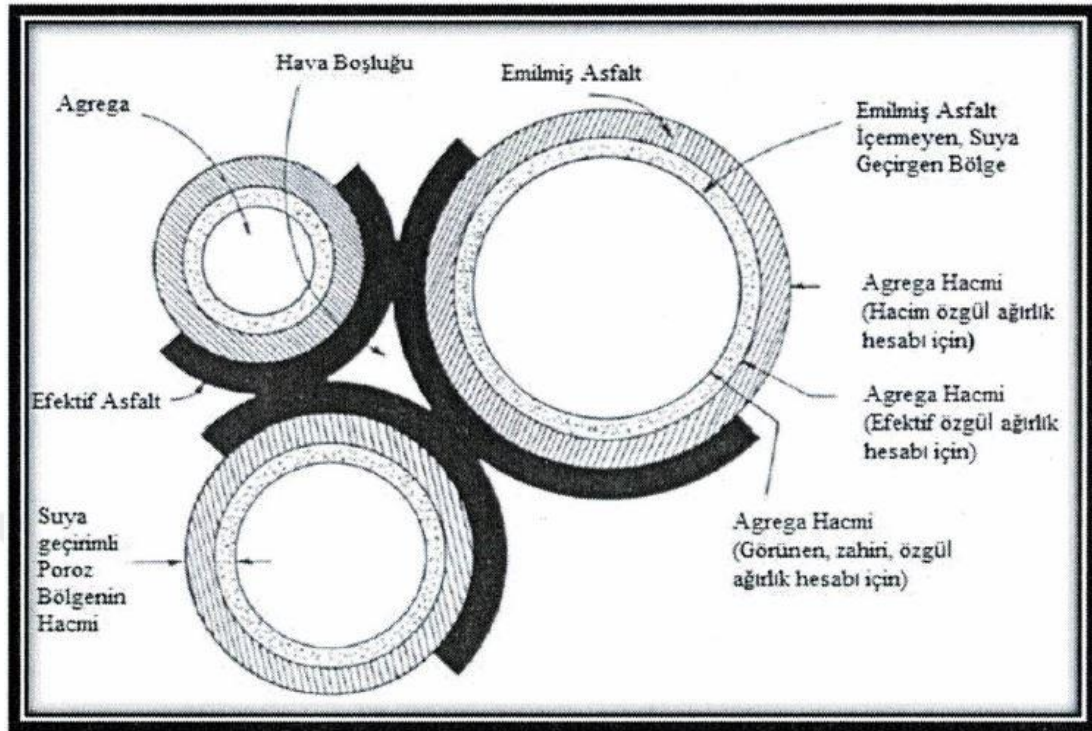
2.8.1.5 Porozite, yüzey boşluk

Porozite, agregalar için mikron derecesinde içerisine su alabileceği boşluklar demektir. Bu boşluklar, bitümün agregaya yüzeyine tutunması noktasında vazife gösterir. Bitüm ile agregaya arasındaki adezyon kuvveti artar ve dolayısıyla çevresel etkilere daha dayanıklı bir bağ oluşturur. Porozitenin fazla olması, bitüm emilimini artıracığından sıcak havalarda kuma olayının gerçekleşmesine neden olur. Bu sebeple agregaya porozitesinin optimum düzeyde olması istenir. Genel olarak agregaya porozluğunun trafik ile temas sağladığı tabakalarda yüksek alt tabakalarda ise düşük olması istenir (Karaçor, 2018)

Agrega arası boşluk genel itibarıyla gradasyonun optimum olmamasından kaynaklanmaktadır. Gradasyon sürekliliği sağlandığında boşluk oranı düşer tersi durumda ise boşluk oranının fazla olmasına ve buna bağlı olarak karışım yoğunluğunun düşük olmasına sebebiyet verir (Akbulut vd., 2003).

2.8.1.6 Özgül ağırlık

Özgül ağırlık, aynı hacimde uygun şartta bulunan suyun ağırlığına, maddenin ağırlığının oranlanmasıdır. Agregada özgül ağırlığı karışım dizaynı yaparken doğru oranı belirlemede mühendislik açısından çok önemlidir. Karışım hesaplarında zahiri, hacim, efektif özgül ağırlık değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır (Şekil 2.20).



Şekil 2.20 Agreganın hacim hesaplarının bölgesel gösterimi (Lavin, 2003)

Zahiri özgül ağırlıkta agreganın bütün yüzeysel boşluklarının bitümlle dolduğu kabul edilir. Hacim özgül ağırlıkta bunun tersine boş olduğu kabul edilir. Etkif özgül ağırlık ise absorbe edilen bitüm miktarı da göz önüne alındığında en doğru değeri vermektedir (Laving, 2003).

2.8.1.7 Bayburt trasının genel özellikleri

Genel itibariyle Bayburt yöresinde bulunan taş köken olarak volkanik kayaç olup sınıflandırması andezitik tuf olarak belirlenmiştir. İçeriğinde yapısal olarak matrix ve matrix içinde kuvars – plajoklaz, kloritleşmiş biyotit minarelleri bulunmaktadır. Matrix, kuvars, feldispat mikrolitleri, karbon, serisit, klorit ve volkanik materyallerini barındırmaktadır. Beyaz, sarı ve yeşil renkli görünüme sahip üç farklı şekilde mevcuttur. Bunlardan yeşil renkli olan taş daha çok tüfit yapıdadır (Tekin 2017).

Taşın darbe direnci 37.60 kgf/cm^2 , aşınma miktarı ise $26.40 \text{ cm}^3/50 \text{ cm}^2$ 'dir. Bu özellikleri sebebiyle fiziki dayanıklılık gerektiren ortamlarda rahatlıkla kullanılabilir. Absorpsiyonu yüksek ve yoğunluğu düşüktür. Ancak elastiklik ve sertlik özellikleri sayesinde kullanılmaktadır. TS 2513 uygunluk sertifikası bulunmaktadır. Bu sebeple özellikle düşük ısılarda dış cephe kaplaması olarak kullanılmaktadır (Tekin, 2017).

2.8.2 Agregalara uygulanan deneyler

Bitümlü sıcak karışımlarda kullanılacak agregalar, yol üstyapısı tabaka özelliklerine bağlı olarak çeşitli deneylere tabi tutulur. Deney esnasındaki hassasiyetler ve deneye tabi tutulan numunelerin malzemeyi temsil etmesi gerekir. Aksi halde doğru sonuçlar elde edilmeyeceği gibi düzeltme maliyetleri yüksek olabilir (Ilıcalı, 2001).

2.8.2.1 Elek analizi

Kaplama tipine göre istenen gradasyon, elekler yardımıyla elde edilir. Eleme işlemi otomatik elek makinesiyle veya el yordamıyla yapılabilir. Burada dikkat edilmesi gereken hususlar;

- 2 dakika boyunca eleme işlemi yapılmalıdır.
- Elekten geçen malzemeler %0,1 hassasiyetle ölçülmelidir.
- Eleme işlemi için alınan numune ağırlığı ile toplam ağırlık değerleri arasındaki fark %2'den fazla olmamalıdır.



Şekil 2.21 Elek takımı (Jeotest, 2019)

Eleklerle fazla malzeme yüklenmemelidir. Bu hususlara dikkat edilerek yapılacak eleme işleminden sonra her bir elek açıklığı için yüzde geçen miktarlar belirlenerek grafik haline getirilir ve şartnamede belirtilen sınır değerlere göre kontrolleri yapılır.

2.8.2.2 Los Angeles deneyi

Standartlara uygun ölçülerdeki deney tamburu içerisine deney tipine göre belirlenmiş miktarda numune konulur ve 30-33 devirde işleme başlanır. 500 devir döndürüldükten sonra numune çıkarılır ve 12 nolu elekten geçirilir. Elekten geçemeyen malzeme yıkanır ve uygun sıcaklıkta kurutulduktan sonra ilk ağırlığa oranlanarak yüzde cinsinden malzemenin aşınma değeri belirlenmiş olur (Şekil 2.22 ve Çizelge 2.5-2.6) (ASTM 2003).



Şekil 2.22 Los Angeles aşınma makinesi (Yalova çevre ve şehircilik müdürlüğü, 2019)

Çizelge 2.4 Los Angeles deneyinin agrega gradasyonu tablosu

GEÇTİĞİ ELEK	ÜZERİNDE KALDIĞI ELEK	GRANÜLOMETRİ SINIFI			
		A	B	C	D
37,5 mm	25 mm	1250			
25 mm	19 mm	1250			
19 mm	12,5 mm	1250	2500		
12,5 mm	9,5 mm	1250	2500		
9,5 mm	6,3 mm			2500	
6,3 mm	4,76 mm			2500	
4,76 mm	2,36 mm				5000
TOPLAM		5000	5000	5000	5000
KÜRE SAYISI		12	11	8	6

Çizelge 2.5 Tabaka tipine göre yüzde aşınma şartname limitleri

Tabaka veya kaplama türü	Maksimum aşınma sınır değeri (%)
Alt temel	50
Granüller temel	40
Bitümlü temel	35
Binder tabakası	35
Aşınma tabakası	30
Sathi kaplama	35

2.8.2.3 Donma dayanımı deneyi

Agrega tanelerinin iklim şartları altında parçalanmaya karşı direnci laboratuvar ortamında donma deneyi ile yapılır. Bu deney için sodyum sülfat çözeltisine ihtiyaç duyulmaktadır. Sodyum sülfat çözeltisi saf sodyum sülfatın 25-30 °C sıcaklıkta çözülmesi ve karışıma ilave edilen her bir litre su için 250 gr sodyum sülfat tuzunun eklenmesiyle hazırlanır. Şartnamede belirlenen gradasyona göre ayarlanmış agrega numunesi (Çizelge 2.7) etüvde uygun şartlarda kurutulduktan sonra elekler üzerindeki malzemeler ile çözeltiliye tel sepet yardımıyla yerleştirilir ve üzeri kapatılır. Burada önemli husus çözeltilinin numunenin üzerini belirli bir miktar geçmesine özen gösterilmesidir. Bu şekilde 16-18 saat bekletilen numune süzme işlemi yapıldıktan sonra etüvde kurutulur. Bahsedilen işlemler 5 kez tekrarlandıktan sonra malzeme yıkanır ve etüvde kurumaya bırakılır. Bu işlem sonunda eleklerin üzerinde kalan miktar ilk yerleştirilen malzeme miktarıyla karşılaştırılarak donma kaybı ilk ağırlığa göre de donma kaybı yüzdesi bulunmuş olur. Elde edilen değerler şartnamedeki sınır değer tablosuna (Çizelge 2.7) göre değerlendirilir (Yılmaz, 2016).

Çizelge 2.6 Tabaka tiplerine göre donma kaybı şartname limitleri

Tabaka veya kaplama türü	Maksimum kayıp sınır değeri (%)
Alt temel	25
Granüller temel	15
Bitümlü temel	12
Binder tabakası	10
Aşınma tabakası	10
Sathi kaplama	12

2.8.2.4 Cilalanma deneyi

Trafik yükleri altında kaplama içerisindeki agregaların cilalanma değeri laboratuvar ortamında hızlandırılmış şekilde tespit edilir. Üç farklı agrega gurubundan 4'er adet numune alınır ve bu numuneler 9,5mm-8mm açıklığındaki eleklerden geçirilir. Bu iki elek aralığındaki malzemelerden her birinde 35-50 gr arası agrega bulunduran ve boşlukları ince agrega ile doldurulmuş deney numuneleri hazırlanır. Hazırlanan bu numuneler kür uygulamasından sonra zımpara tozu ve su ile hazırlanmış cilalanma makinesinde 6 saat boyunca deney şartlarına maruz bırakılır ve sonrasında kayma direnci ölçme cihazında gerekli ölçümler yapılır (Şekil 2.23). Bu işlemler 5 kez tekrarlanır ve son üç okuma tam sayıya yuvarlanarak değer tespit edilmiş olur (Seçginli, 2007).



Şekil 2.23 Kayma direnci ölçme cihazı (Seçginli, 2007)

2.8.2.5 Su etkilerine karşı dayanıklılık deneyi

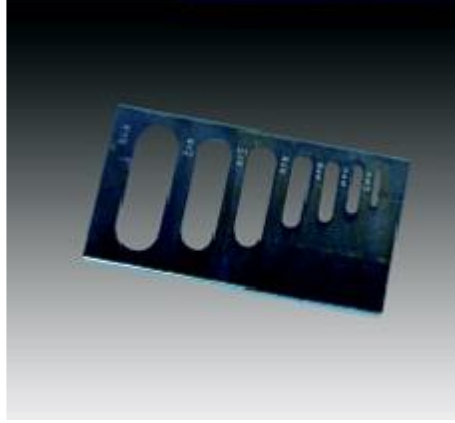
Bitümlü sıcak karışımların ömrünü etkileyen önemli faktörlerden biri agreganın suya karşı dayanıklılığıdır. Deney için 9,50 mm ve 4,75 mm elekler arasında kalan 200 gr malzeme alınır ve saf su ile iyice temizlenerek kuruması için 110 °C etüvde beklemeye alınır. Bir yandan 1,5 gr ağırlığındaki bitüm, beher yardımıyla kum banyosunda 110 °C sıcaklıkta hazır tutulur. Bitüm ve 30 gr agregaya birbirleriyle yaklaşık 1,5 dakika karıştırılır. Petri kabına aktarılıp oda sıcaklığında soğumaya bırakılır ve sonrasında karışımın üstü saf su ile doldurularak 60°C sıcaklıktaki etüve yerleştirilir. Etüvde 24 saat bırakıldıktan sonra numune çıkarılır, üzerindeki su dökülür. Yatay olarak bir ışık kaynağıyla gözle inceleme yapılır ve gözlem sonucu yüzeydeki soyulmamış kısmın bütün numuneye oranı suya karşı direncini verir (Yılmaz, 2016).



Şekil 2.24 Petri kabı (Abtlab, 2019)

2.8.2.6 Yassılık indeksi deneyi

Yassılık, malzemenin bulunduğu iki elek aralığının ortalama değerinin tanelerin en küçük boyutuna oranının 0,6'dan küçük olması olarak tanımlanır. Yassılık indeksi ise yassı agregaların bütün agregalara ağırlık olarak oranıdır. Deney için kullanılacak agrega aralıkları belirlenmek istenen aralık için şartnamede belirtilen miktarlarda alınan numunelerin elek analizi yapılır ve elek açıklıkları için yüzde değerleri bulur. Alınan aralıklar için her agrega yassılık indeksi eleğinden (Şekil 2.25) geçirilir. Geçirilen malzemenin elek aralığındaki toplam malzeme miktarına oranı yassılık indeksi değerini verir (Vapur vd., 2013).



Şekil 2.25 Yassılık indeksi eleği (Seçginli, 2007)

2.8.2.7 Birim hacim ağırlık deneyi

Sıkışık ve gevşek birim hacim olarak iki farklı deney yapılır sıkışık birim hacim ağırlığı için belirlenen numune kabı darası alınır ve üç kademe olarak her bir kademeye 25 şişleme yapılarak doldurulur. Doldurulan malzemenin ağırlığı alınır ve kabın hacmine oranlanılarak sıkışık hacim bulunur (Seçginli, 2007).

Gevşek birim hacim ağırlığı ise numune kabı silme olacak şekilde doldurulur ve ağırlığı hacmine oranlanarak bulunur. İki deney arasındaki hacim farkı %0,1'den fazla ise deney tekrarlanır (Ilıcalı, 2001).

2.8.2.8 Özgöl ağırlık ve absorbsiyon deneyi

Bu deney ince ve kalın agregalar için ayrı ayrı yapılır. İnce agregalar için yıkanmış ve etüvde kurutulmuş 500 gr numune piknometreye konular ve ağırlığı kaydedilir. Piknometrenin yüzde ellisi saf su ile doldurulup bir gün bekletilir. Ertesi gün piknometrenin içerisindeki hava vakum yardımıyla çekilir ve tamamen saf su ile doldurulur. Burada içerisinde hava kabarcığı kalmamasına dikkat edilir. Piknometre 25 °C'lik su banyosunda 1,5 saat dinlendirilir. Kurutma işleminden sonra ağırlığı

kaydedilir. Bu işlem iki kez tekrarlanır ve ortalama değeri alınır (Denklem 2.4) (Umar ve Ağar, 1985).

$$\text{Zahiri Özgöl Ağırlık} = \frac{t - x}{(y - x)(k - t)} \quad (2.4)$$

x= Piknometre ağırlığı

y= Piknometrenin su ile doldurulduktan sonraki ağırlığı

t= Piknometre ve agregası numunesi ağırlığı

k= piknometre, numune ve tamamen su dolu ağırlığı

İnce agreganın absorpsiyonu doygun hale getirilen numunenin su ağırlığı tespit edildikten sonra numunenin kuru haldeki ağırlığına oranı ile bulunur.

Kaba agregası için özgöl ağırlık, öncelikle 4 mm elek üstü kalan malzemeden 2000 gr alınır. Sonra kuru birim ağırlık, doygun birim ağırlık ve sudaki ağırlıkları kaydedilir (Denklem 2.5-2.8). Kaydedilen ağırlık değeri ile:

Kuru Özgöl Ağırlık (Denklem 2.5);

$$\frac{a}{b - c} \quad (2.5)$$

Doygun Yüzey Özgöl Ağırlık (Denklem 2.6);

$$\frac{b}{b - c} \quad (2.6)$$

Zahiri Özgöl Ağırlık (Denklem 2.7);

$$\frac{a}{a - c} \quad (2.7)$$

Su Emme Yüzdesi (Denklem 2.8);

$$\frac{b - a}{a} \quad (2.8)$$

a= Kuru birim ağırlık

b= Doygun birim ağırlık

c= Sudaki ağırlık, değerleri hesaplanır.

2.9 Bitümlü Sıcak Karışımlara Uygulanan Deneyler

Nitelikli bir bitümlü sıcak karışım yapılabilmesi için malzeme özelliklerinin yanı sıra karışımın çeşitli etkilere göre verdiği tepkiler ve dayanımının da bilinmesi elzemdir. Karışımların farklı kullanım alanlarına göre değişik özellikleri barındırması gerekmektedir. Bunların tespiti ve doğru tabakada doğru özelliklerin bulunması mühendislik açısından belirlenmelidir. Her ne kadar en doğru tespit yerinde tespitler

olsa da arazi ortamında bu deneyleri yapmak güç olduğundan laboratuvar ortamında araziyi temsil eden numunelerin özelliklerine bakmak mümkündür.

2.9.1 Marshall yöntemiyle karışım dizaynı

Karışım için en önemli etken dizaynı belirlemektir. Dizayn sonucunda bir reçete belirlenmeli ve buna göre üretim aşamasına geçilmelidir. Tespit edilen bu dizayn Marshall metodu kullanılarak yapılmaktadır. Marshall metoduna öncelikle karışım bileşenlerinden biri olan agrega tespitiyle başlanır. Kaplama tipine uygun agrega bulunur ve şartname elek aralıklarına göre elenerek gradasyonu tespit edilir (Çizelge 2.8 ve 2.9).

Çizelge 2.7 Marshall gradasyonu şartname limitleri (Kgm, 2013)

Elek Boyu mm (inç,No)	TİP-1 (%)	TİP-2 (%)	TİP-3 Çok İnce Aşınma (%)
19 (3/4")	100		
12,5 (1/2")	88-100	100	100
9,5 (3/8")	72-90	80-100	90-100
6,0 (1/4")	-	-	25-33
4,75 (No.4)	42-52	55-72	23-31
2,00 (No.10)	25-35	36-53	20-27
0,425 (No.40)	10-20.	16-28	12-18.
0,180 (No.80)	7-14.	8-16.	
0,075 (No.200)	3-8.	4-8.	7-11.

Çizelge 2.8 Marshall tolerans limitleri

Malzeme	Toleranslar
4,75 mm (No.4) ve daha büyük eleklerden geçenler	± %4
2,00 mm (No.10) - 0,180 (No.80) eleklerden geçenler	± %3
0,075 mm (No.200) eleğinden geçen	± %2
Bitümlü Bağlayıcı	± %0.2

Belirlenen gradasyon limitlerinden sonra zahiri, hacim, efektif özgül ağırlıklarının tespit edilmesi gerekmektedir. Tespit için formül ve ihtiyaç duyulan değerler Denklem 2.9-2.12’de verilmiştir (Yılmaz, 2016).

G_{sb} = Karışım hacim özgül ağırlığı

G_{sa} = Karışım zahiri özgül ağırlığı

%K, %İ, %F = Ağırlık yüzdeleri kaba agregaya, ince agregaya, filler

G_{kb}, G_{jb} = Agregaya hacim özgül ağırlığı

G_{ka}, G_{ja}, G_{fa} = Agregaya zahiri özgül ağırlığı

G_{ef} = Agregaya efektif özgül ağırlık

W_a = Asfaltın agregaya yüzde değeri

D_t = Karışımın maksimum özgül ağırlık değeri

G_b = Asfalt özgül ağırlık değeri

$$G_{sb} = \frac{\%K + \%İ + \%F}{\frac{\%K}{G_{kb}} + \frac{\%İ}{G_{JB}} + \frac{\%F}{G_{fa}}} \quad (2.9)$$

$$G_{sa} = \frac{\%K + \%İ + \%F}{\frac{\%K}{G_{ka}} + \frac{\%İ}{G_{Ja}} + \frac{\%F}{G_{fa}}} \quad (2.10)$$

$$G_{ef} = \frac{100}{\frac{100 + W_a}{D_t} - \frac{W_a}{G_b}} \quad (2.11)$$

$$D_t = \frac{100 + W_a}{\frac{100}{G_{ef}} - \frac{W_a}{G_b}} \quad (2.12)$$

Elde edilen değerlerde efektif özgül ağırlık, hacim ve zahiri özgül ağırlık değerleri arasında olmasına dikkat edilmelidir aksi takdirde hesaplar tekrarlanır. Hacim ve zahiri özgül ağırlıkların ortalamaları alınarak ta efektif özgül ağırlık belirlenebilir.

Gradasyon ve özgül ağırlık değerleri belirlendikten sonra karışım için gerekli optimum bitüm miktarı belirlenmelidir. Optimum bitüm miktarı belirlenmesi için 1150 gr karışıma tamamen bitümün karışmasına özen göstererek %0,5 aralıklar halinde genellikle şartname alt limitinden başlanarak bitüm karıştırılır ve üçer adet Marshall briketi hazırlanır. Hazırlanan briketler Marshall tokmağı yardımıyla şartnamede belirtilen sıcaklık değerlerinde 75'er kez alt üst edilerek tokmaklanır (Çizelge 2.10) (Bostancıoğlu, 2012).

Çizelge 2.9 Marshall numune sıcaklık değerleri, (Kgm, 2013)

Bitümlü Bağlayıcı	Bitüm		Agrega	
	min. °C	maks. °C	min. °C	maks. °C
40/60,50/70 pen bitüm ile hazırlanan karışımlarda	145	160	150	165
70/100 pen bitüm ile hazırlanan karışımlarda	140	155	145	160

Soğuması beklenen malzeme briketten çıkarılır havadaki ağırlığı (Şekil 2.26), sudaki ağırlığı (Şekil 2.27) ve doymun ağırlıkları (Şekil 2.28) ölçülerek kaydedilir. Bu değerler özgül ağırlık, asfalt dolu boşluk ve boşluk oranı tayinleri için kullanılır (Denklem 2.13-2.18) (Yılmaz, 2016).



Şekil 2.26 Havadaki ağırlık ölçümü



Şekil 2.27 Sudaki ağırlık ölçümü



Şekil 2.28 Doygun ağırlık ölçümü

D_p = Sıkıştırılmış karışımın hacim özgül ağırlığı

P_{ba} = Absorbe edilen bitüm, agreganın ağırlıkça yüzdesi

P_{be} = Efektif bitüm, agreganın ağırlıkça yüzdesi

VMA = Agregalar arası boşluk

V_h = Marshall numunesinin içerisindeki hava boşluğu

V_f = Asfalt dolu boşluk

K = Marshall numunesi havadaki ağırlık

L = Marshall numunesi doymun kuru yüzey ağırlığı

M = Marshall numunesi ağırlığı

$$D_p = K/L - M \quad (2.13)$$

$$P_{ba} = 100 \times \frac{G_{ef} - G_{sb}}{G_{sb} \times G_{ef}} \quad (2.14)$$

$$P_{be} = W_a - P_{ba} \quad (2.15)$$

$$WMA = 100 - \frac{D_p \times (100 - \frac{W_a \times 100}{100 + W_a})}{G_{sb}} \quad (2.16)$$

$$V_h = \frac{D_t - D_p}{D_t} \times 100 \quad (2.17)$$

$$V_f = \frac{WMA - V_h}{WMA} \times 100 \quad (2.18)$$

Değerleri belirlenen Marshall briketleri daha sonra 60°C su banyosunda yarım saat bekletilir. Son olarak briket Marshall stabilite aletine yerleştirilir ve en yüksek değer ölçülerek kırılma anındaki akma kaydedilir. Bu deney esnasındaki en önemli noktalardan biri standart briket yüksekliğinin 63,5 mm olmasıdır. Aksi bir durum söz konusu olduğunda ilgili düzeltme katsayılarıyla çarpılarak stabilite değerleri düzeltilir (Ek-2).

Optimum asfalt içeri için çeşitli grafikler ve bunlarla ilgili okumalara ihtiyaç duyulmaktadır;

$D_p - W_a$ grafiğindeki en yüksek D_p değerine karşılık gelen W_a değeri W_{a1} olarak okunur.

$V_f - W_a$ grafiğindeki şartnamede belirtilen limitlerde kalmak şartıyla W_{a2} olarak okunur.

$V_h - W_a$ grafiğindeki şartnamede belirtilen limitlerde kalmak şartıyla W_{a3} olarak okunur.

Stabilite - W_a en yüksek stabiliteyi sağlayan W_a değer W_{a4} olarak okunur.

Okunan değerler sonucunda;

Optimum Bitüm Miktarı = $(W_{a1} + W_{a2} + W_{a3} + W_{a4})/4$ olarak hesaplanır. Bitümlü sıcak karışımlarla ilgili şartname limitleri Çizelge 2.11'de verilmiştir.

Çizelge 2.10 BSK şartname limitleri, (Kgm, 2013)

Özellikler	Binder		Aşınma TİP-1, TİP-2		Aşınma TİP-3		Deney Standardı
	Min.	Maks.	Min.	Maks.	Min.	Maks.	
Briket yapımında uygulanacak darbe sayısı	75		75		75		TS EN 12697-30
Marshall stabilitesi, kg	750	-	900	-	400	-	TS EN 12697-34
Boşluk, %	4	6	3	5	5	12	TS EN 12697-8
Asfaltla dolu boşluk, %	60	75	65	75	-	-	TS EN 12697-8
Agregalar arası boşluk, (VMA) %	13	15	14	16	-	-	TS EN 12697-8
Akma, mm (10 ⁻² inç)	2(8)	4(16)	2(8)	4(16)	2(8)	4(16)	TS EN 12697-34
Filler/bitüm oranı	-	1,4	-	1,5	-	-	
Bitüm (ağırlıkça 100'e)	3,5	6,5	4,0	7,0	5,0	8,0	TS EN 12697-1
Sıkıştırılmış bitümlü karışımların sudan kaynaklanan bozulmalara karşı direnci, indirekt çekme mukavemeti (İÇM) oranı, min. %	80		80		80		AASHTO T 283
Tekerlek izinde oturma (30.000 devirde, 60°C'de) maks. %	-		8		-		TS EN 12697-22
Tekerlek izinde oturma (3.000 devirde, 60°C'de 5 cm kalınlığında numune) maks. %	-		-		7		TS EN 12697-22

2.9.2 Dolaylı çekme mukavemeti deneyi

Bu deney için Marshall deneyinde kullanılan stabilite aleti ve çekme gerilme deney aleti kullanılmaktadır (Şekil 2.29). Deney ASTM D4123 veya AASHTO T245 standartlarına göre yapılır. Karot olarak alınmış veya briket olarak numuneler üzerinde 50 mm/dakika hızda yük uygulanarak numune kırılıncaya kadar beklenir ve en yüksek yük değeri kayıt edilerek Denklem 2.18 kullanılarak dolaylı çekme mukavemeti hesaplanır (İsfalt, 2001).

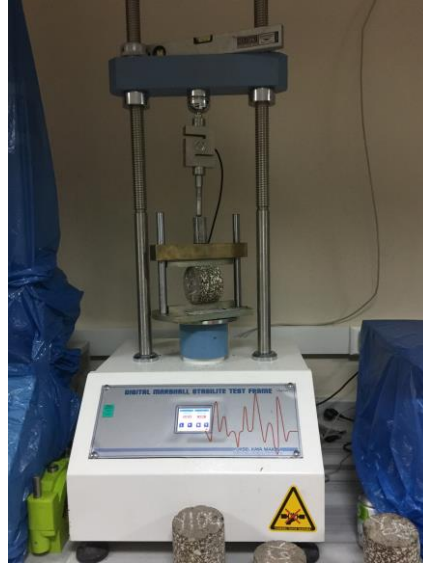
ITS = Dolaylı çekme mukavemeti değeri, (kg/cm³)

P_{max} = Kaydedilen en yüksek yük değeri

h = Numune yüksekliği, (cm)

d = Numune çapı, (cm)

$$ITS = \frac{2 \cdot P_{max}}{\pi \cdot h \cdot d} \quad (2.18)$$



Şekil 2.29 Dolaylı çekme mukavemeti deney cihazı

2.9.3 Dolaylı çekme esneklik modülü deneyi

Bitümlü sıcak karışımların fiziksel özelliklerinden biriside karışımın esnek olmasıdır. Esneklik kullanım alanında birçok avantaj sağlamaktadır. Dolaylı çekme deneyi karışımın esneklik değerini tespit etmek için yapılmaktadır. Esneklik modülü, trafik yüklerinin kaplamaya uyguladığı kuvvetlerin aktarılmasında ve bu yükler altında kaplamada oluşacak çekme ve basınç gerilme deformasyonlarının önlenmesinde etkilidir (Yılmaz, 2016).

Dolaylı çekme deneyi, Asfalt Tester ve iklimlendirme kabini kullanılarak yapılan bir deneydir. Deney için BS DD 213 standartlarına göre yapılır. Deney esnasında iklimlendirme kabini yardımıyla çeşitli sıcaklık koşullarında numunenin performansını ölçmek için önemli katkı sunar. Deney yapılmadan önce numune uygulanacak sıcaklıkta 180 dakika bekletilmelidir. Gerekli değerler alet bilgi bankasına işlendikten sonra numune Asfalt Tester cihazına yatay olarak yerleştirilir ve sensörler şekil farklılıklarının belirlenmesi için ayarlanmalıdır. Belirlenen çekme mukavemeti değerinin %10-%50 aralığındaki yük belirli aralıklarla numuneye beş kez uygulanır. Ölçüm değerleri not edildikten sonra numune 90° çevrilerek dik pozisyona getirilir ve deney tekrarlanır. Uygulanan iki deneyin ortalaması esneklik modülü hesabı için kaydedilir. Esneklik modülü Denklem 2.19'daki gibi hesaplanır (Oruç, 2002).

$$E_m = \frac{P \cdot (v + 0.2734)}{H_y \cdot h} \quad (2.19)$$

E_m = Esneklik modülü (MPa)

P = Maksimum yük (N)

H_y = Yatay deformasyon (mm)

h = Numunenin kalınlığı (mm)

ν = Poisson oranı

Poisson oranının hesaplanması, 100 mm numune çapı için Denklem 2.20'de, 150 mm numune çapı için ise Denklem 2.21'de verilmiştir;

$$\nu = 3.59 \cdot \frac{H_y}{V_d} - 0.27 \quad (2.20)$$

$$\nu = 4.09 \cdot \frac{H_y}{V_d} - 0.27 \quad (2.21)$$

H_y = Yatay yer değiştirme

V_d = Dikey yer değiştirme

Dolaylı çekme deneyi, numunede kalıcı deformasyonları azaltmak için düşük sıcaklıktan yüksek sıcaklığa doğru yapılmalıdır. Dolaylı çekme esneklik modülü deney cihazı Şekil 2.30'da gösterilmiştir.



Şekil 2.30 Dolaylı çekme esneklik modülü deney cihazı

2.9.4 Dinamik sünme deneyi

Dinamik sünme deneyi, karayollarında en sık karşılaşılan problemlerden biri olan oluklaşmaya yani tekerlek izine karşı esnek kaplamanın dayanım parametresini tespit etmek için yapılmaktadır. Elde edilen verilere göre bitümlü sıcak karışım daha verimli hale getirilebilmektedir.

Dinamik sünme deneyi Asfalt Tester cihazı ile yapılır (Şekil 2.31). Marshall dizaynına göre üretilen briketlere darbe uygulanarak her darbeden sonra numunede oluşan deformasyonlar ölçülür. Deneye başlamadan önce istenilen iklim şartının araziye temsil etmesi için briketler 180 dakika deney sıcaklığında bekletilir. Bu deney laboratuvar ortamında üretilen briketlere uygulanabildiği gibi araziden alınan karot numunelerine de uygulanabilir. Deney aletine numenin ölçü değerleri, yükün tekrar periyodu, yük miktarı, yük artış miktarı gibi değerler veri olarak girilir. Numune yerleştirildikten sonra duyargalar ayarlanır ve doğru deformasyon ölçümü sağlanır

(Şekil 2.32). Deneyde ilk yükleme için gerekli değerler girilerek ön oturmanın oluşması istenir. Ön oturmadan sonra periyodik yüklemeler uygulanarak zaman-deformasyon eğrisi çıkarılır (Yılmaz, 2011).

Esneklik ve sünme modülü değerlerini elde etmek için denklem 2.22-2.26 kullanılır.

ϵ_c = Toplam plastik aksenal birim şekil değiştirme

ϵ_r =Toplam elastik aksenal birim şekil değiştirme

E_c = Sünme modülü

E_r =Esneklik modülü

G = Numune yüksekliği

L_1 = Duyarga başlangıç referans deplasmanı (mm)

L_{2n} = n Darbe sayısına göre maksimum deplasman (mm)

L_{3n} = (n+1) darbe uygulanmadan önceki deplasman (mm)

σ = Maksimum düşey gerilme (kPa)

F = Maksimum düşey yük (N)

A = Numunenin kesit alanı (cm²)

$$\epsilon_c = (L_3 - L_1)/G \quad (2.22)$$

$$\epsilon_r = (L_2 - L_{3n})[G - (L_{3n} - L_1)] \quad (2.23)$$

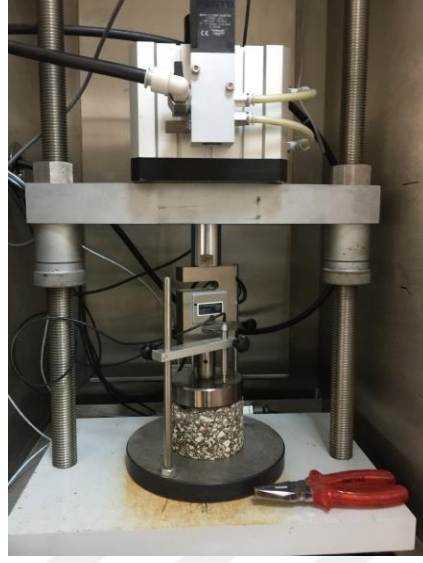
$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.24)$$

$$E_c = \sigma / \varepsilon_c \quad (2.25)$$

$$E_r = \sigma / \varepsilon_r \quad (2.26)$$



Şekil 2.31 Asfalt Tester cihazı



Şekil 2.32 Dinamik sünme deneyi

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Hizmet ömrünü tamamlamış bir yol yüzeyinin aşınma tabakasından kazınarak elde edilen malzeme ile yeşil renkli Bayburt trası (YBT) atıklarından sağlanan malzeme, bitümlü sıcak karışımında yeniden değerlendirilmiş olup aşınma tabakası olarak arazide aktif bir yol yüzeyine 120 m uzunluğunda 6 m genişliğinde 10 cm kalınlığında serilmiştir. Serilen bu malzeme ağır trafik yüklerine ve çevresel şartlara maruz bırakılarak 1 yıl boyunca yoldan karot numuneleri alınmış ve bu numunelere Marshall stabilite, dolaylı çekme mukavemeti, dolaylı çekme esneklik modülü ve dinamik sünme deneyleri yapılmıştır.

3.1 Kullanılan Malzemeler

Yapılan bu çalışmada;

- Kazılmış asfalt malzemesi (RAP)
- Agregası (Bazalt)
- 50/70 penetrasyon dereceli bitüm
- Yeşil renkli Bayburt trası (YBT) filler olarak kullanılmıştır.

3.1.1 Kazılmış asfalt malzemesi (RAP)

Dizaynı bilinen asfalt malzemesi tedarik noktasından kazınarak üretim için hazır olarak asfalt plant sahasına istif edilmiş (Şekil 3.2) olup özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir. Asfalt plantinde üretilen RAP karışım malzeme serim noktasında finişer yardımıyla yola serilmiş ve silindirlerle sıkıştırılmıştır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 RAP malzemesi tedarik ve serim noktaları gösterimi

Çizelge 3.1 RAP ekstraksiyon ve optimum bitüm bilgileri

Elek Açıklığı		Ekstraksiyon	Alt Limit	Üst Limit
mm	Inch			
37,5	1 1/2"	100	100	100
25,4	1"	100	100	100
19,1	3/4"	100	100	100
12,7	1/2"	94,3	88	100
9,52	3/8"	85,5	72	90
4,76	No.4	46,5	42	52
2	No.10	38,25	25	35
0,42	No.40	18	10	20
0,177	No.80	5,32	7	14
0,075	No.200	3,23	3	8
Optimum Bitüm			5,1	



Şekil 3.2 RAP malzemesi

3.1.2 Bitüm

Batman rafinerisinden temin edilen 50/70 penetrasyon dereceli bitüm kullanılmıştır. Kullanılan bitümün özellikleri Çizelge 3.2’de verilmiştir. Rafineriden getirilen bitüm tanklara boşaltılarak ısıtılır ve karışım için uygun sıcaklık elde edilerek karışıma dahil edilir.

Çizelge 3.2 50/70 penetrasyonlu bitüm özellikleri

ÖZELLİK	BİRİM	DEĞER	SINIR	DENEY YÖNTEMİ
Penetrasyon 25°C'ta, 100 g 5 saniye	x 0,1 mm	61	-	TS EN 1426
Yumuşama noktası	°C	48	-	TS EN 1427
Sertleşmeye karşı direnç	-	-	-	TS EN 12607-1 veya TS EN 12607-2
Kütle değişimi (ısıtmadaki kayıp)	%	0,5	En çok	TS EN 121 veya TS EN 12607-1 veya TS EN 12607-2
Kalıcı penetrasyon	%	50	En az	TS EN 1426
Sertleştirmeden sonra yumuşama noktası	%	53	En az	TS EN 1427
Parlama noktası	°C	230	En az	TS EN ISO 2592
Çözünürlük	% Ağırlık	99	En az	TS EN 12592
Yumuşama noktası farkı	°C	5	En çok	TS EN 1427
Özgül ağırlığı	gr/cm ³	1,023	-	TS1087

3.1.3 Agrega

Bitümlü sıcak karışımda kullanılan agrega Bayburt ili Kaleardı mevki taş ocağından elde edilmiş olup gradasyonu Çizelge 3.3'te ve özellikleri Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.3 Bitümlü sıcak karışım gradasyonu

Agrega Gradasyonu				
Elek Açıklığı		20%	36%	44%
mm	Inch	3/4" - 1/2"	1/2" - No.4	No.4-0
37,5	1 1/2"	100	100	100
25,4	1"	100	100	100
19,1	3/4"	100	100	100
12,7	1/2"	62,7	100	100
9,52	3/8"	4,5	100	100
4,76	No.4	0,4	9,7	100
2	No.10	0	2,8	64
0,42	No.40	0	2,5	33,5
0,177	No.80	0	2,3	24,2
0,075	No.200	0	2,1	13

Çizelge 3.4 Karışımda kullanılan agrega özellikleri

Ocak Adı	Kaleardı T.O.			
Kayanın Cinsi	Bazalt			
	Kaba Agrega	İnce Agrega	Filler	Deney Standardı
Hacim Özgül Ağırlık	2,694	2,605		TS EN 1097-6
Zahiri Özgül Ağırlık	2,73	2,714	2,818	
Absorbsiyon %	0,48	1,54		
Karışım Efektif Özgül Ağırlık (Deneyle)			2,696	ASTM D-2041
Karışım Efektif Özgül Ağırlık (Hesapla)			2,696	
Cilalanma Direnci			41,3°	TS EN 197-3
Mg ₂ SO ₄ Donma Kaybı %			1,5	ASTM C-88
Los Angeles Parçalanma Direnci %			18,3	AASHTO T-96
Yassılık İndeksi %			11,3	BS 812
Soyulma Mukavemeti %			(80-85)	KTŞ Kısım 403 Ek-A
Aşınmaya Karşı Direnç Deney(Mikro-Deval) %			13,7	
Metilen Mavisi %			0,95	TS EN 933-9

3.1.4 Yeşil Bayburt trası (YBT)

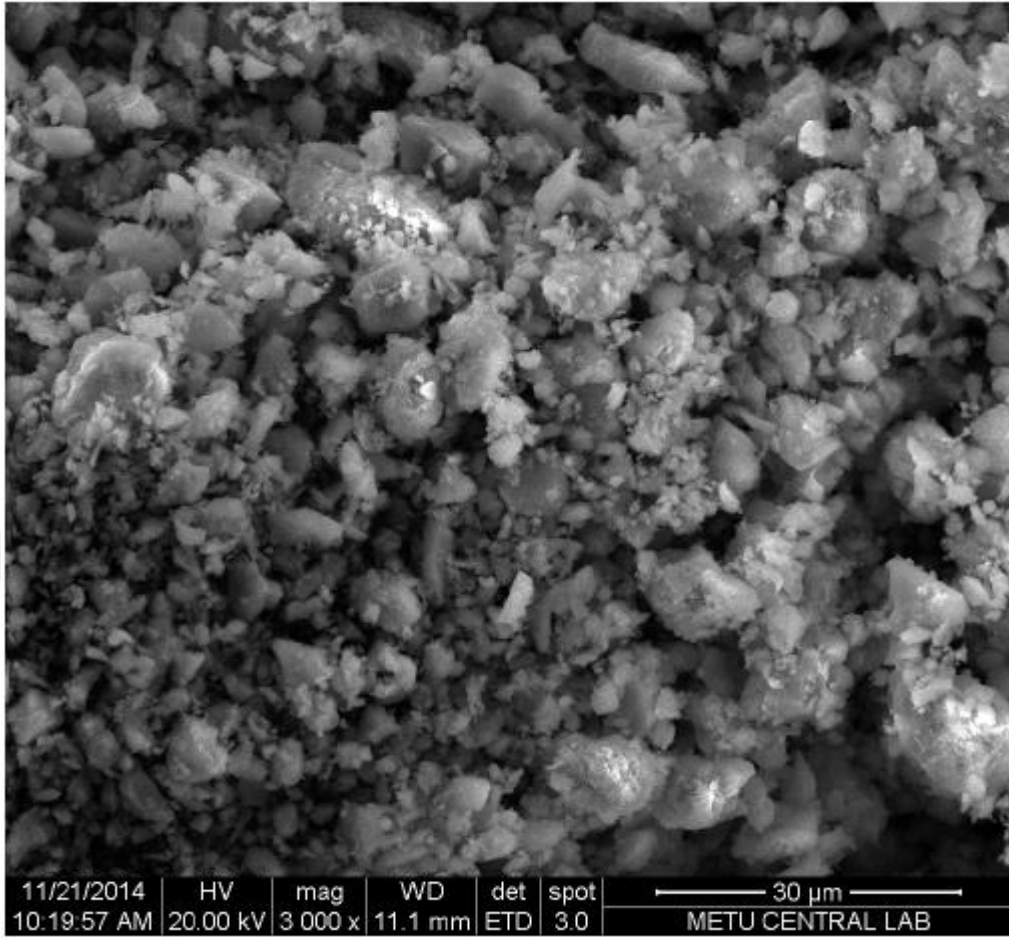
YBT atıkları Şekil 3.3'de gösterilmiş olup özellikleri Çizelge 3.5'de, SEM (Taramalı elektron mikroskobu) görüntüsü ise Şekil 3.4'de verilmiştir.



Şekil 3.3 YBT atıkları

Çizelge 3.5 YBT, teknik analiz sonuçları (Topyay maden, 2019)

Birim Hacim Ağırlığı	gr/cm ³	2,26
Sertlik	Mohs	3-4
Yoğunluk	gr/cm ³	2,74
Atmosfer Basıncında Su Emme	Ağırlıkça %	5,9
	Hacimce %	13,3
100 Derecede Su Emme	Ağırlıkça %	5,8
	Hacimce %	13
Porozite	%	13,3
Basınç Direnci	MPa	60,8
Darbe Direnci	MPa	3,7
Eğilme Direnci	MPa	22,9
Ortalama Aşınma Direnci	cm ³ /50cm ²	26,4
SiO ₂ Miktarı	%	72,5
MgO Miktarı	%	0,4
Fe ₂ O ₃ Miktarı	%	2,1
CaO Miktarı	%	4,55



Şekil 3.4 YBT, SEM görüntüsü

3.2 Laboratuvar Çalışmaları

Asfalt plentinde üretilmesi planlanan bitümlü sıcak karışıma, RAP malzemesi ve yeşil Bayburt trasından elde edilen fillerin birlikte katılması işleminden önce bu atık malzemelerin plentte kullanım optimum oranları, laboratuvar ortamında Marshall dizaynına göre belirlenmiştir. Optimum oranlar belirlendikten sonra plentte üç farklı bitümlü sıcak karışım üretilmiştir. İlk karışım, standart yani katkısız; ikinci karışım, toplam agrega ağırlığının %20'si RAP malzeme olacak şekilde ve üçüncü karışım ise

ikinci karışıma ilave olarak YBT filler olarak kullanılmış ve üretim gerçekleştirilmiş olup araziye serim uygulaması yapılmıştır.

3.2.1 Kazılmış asfalt malzemesi karışım oranının belirlenmesi

Üretilecek olan bitümlü sıcak karışımda RAP oranının belirlenmesi amacıyla mevcut karışım dizaynından %5, %10, %15, %20 oranlarında malzeme eksilterek bunun yerine bu oranlarda RAP malzemesi ilave edilmiş ve Marshall numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelere Marshall stabilite ve akma deneyi yapılmış olup optimum oran belirlenmiştir.

İlk olarak malzemeler, etüvde 145 °C sıcaklığa kadar ısıtılmış ve sonrasında 3 dk süreyle karıştırılarak Marshall kalıplarına dökülmüştür. Marshall tokmağı yardımıyla 75'er kez önlü-arkalı olacak şekilde tokmaklanmış ve 24 saat soğumaları için bekletilmiştir (Şekil 3.5-3.8). Bu sürenin sonunda kalıplardan çıkarılan numunelerin havadaki, sudaki ve doygun ağılıkları kaydedilmiştir (Şekil 3.9). 30 dakika 60°C sıcaklıktaki su banyosunda bekletildikten sonra deneye hazır hale getirilmiştir.



Şekil 3.5 BSK-RAP karışımı hazırlanması



Şekil 3.6 Tokmaktama öncesi sıcaklık kontrolü



Şekil 3.7 Marshall tokmağı



Şekil 3.8 RAP oranının belirlenmesi amacıyla üretilen Marshall numuneleri



Şekil 3.9 Marshall numunesi ağırlık ölçümü

3.2.2 Yeşil Bayburt trasının bitümlü sıcak karışımda kullanımı

Bitümlü sıcak karışımda kullanılacak olan RAP oranı belirlendikten sonra karışımın filler miktarı tamamen alınarak bunun yerine yeşil Bayburt trası atıklarından elde

edilen filler kullanılmıştır. Bu şekilde, hem normal karışıma hem de sadece RAP içeren karışıma göre trasın etkisi belirlenmiştir.

3.3 Asfalt Plentinde Üretim ve Serim Aşaması

Belirlenen bilgiler çerçevesinde, üretim sahasında (asfalt plenti sahası) hazır bulundurulan malzemelerle gerekli dizayn veri girişleri asfalt plentinde yapılmak suretiyle üretime başlanmıştır. Üretilen malzemenin nakli Bayburt ili Genç Osman Mahallesi Vatan Caddesi üzerindeki yolun belirlenen kesimine yapılmıştır. Öncesinde atık malzeme içermeyen normal bitümlü sıcak karışım, sonrasında RAP içeren bitümlü sıcak karışım ve daha sonra RAP ile YBT filleri içeren bitümlü sıcak karışım 40'ar m uzunluğunda, 6 m genişliğinde, 10 cm kalınlığında finişer yardımıyla aşınma tabakası olarak yol yüzeyine 145°C sıcaklıkta serilmiş ve silindirler vasıtasıyla sıkıştırılmıştır (Şekil 3.10-3.17).



Şekil 3.10 Bitümlü sıcak karışım üretimi



Şekil 3.11 BSK malzemesinin finişer ile serimi



Şekil 3.12 Üretim aşamasında RAP malzemesinin karışma ilave edilmesi



Şekil 3.13 %20 RAP malzemesi ölçümü



Şekil 3.14 %20 oranında RAP malzemesinin karışıma ilavesi



Şekil 3.15 Karışımın serim noktasındaki sıcaklık ölçümü



Şekil 3.16 Karışımın yol yüzeyine serilmesi



Şekil 3.17 Serim sonrası genel görünüş

3.4 Serimi Yapılan Karışımlardan Karot Numunelerinin Alınması

2017 yılının ekim ayında yola serimi gerçekleştirilen bu üç farklı karışımdan 12 ay boyunca her ay 11'er adet karot numunesi alınmak suretiyle alınan karot numunelerine Marshall stabilite ve akma, dolaylı çekme mukavemeti, dolaylı çekme esneklik modülü ve dinamik sünme deneyleri yapılmıştır. Buradan; yalnız RAP içeren, RAP ile yeşil Bayburt trası filleri içeren karışımların normal karışıma (atık malzeme içermeyen) göre performans kıyaslaması yapılmıştır (Şekil 3.18-3.25).



Şekil 3.18 Karot alımı esnasında kaplama sıcaklık kontrolü



Şekil 3.19 Karot numunesi alımı esnasında hava sıcaklık kontrolü



Şekil 3.20 Karot numune çukurları



Şekil 3.21 Karot numunesi alınması



Şekil 3.22 Tekerlek izi ve oturma kontrolü



Şekil 3.23 Normal karışım karot numuneleri



Şekil 3.24 RAP ilave edilmiş karışım karot numuneleri



Şekil 3.25 RAP ve YBT ilave edilmiş karışım karot numuneleri

3.4.1 Karot numuneleri ölçüm işlemleri

12 ay boyunca toplam 396 adet karot numunesi alınmış ve sistematik bir şekilde numaralandırıldıktan sonra yapılacak deneylerde veri olarak kullanılması amacıyla çap, yükseklik, havadaki ağırlık, sudaki ağırlık ve doymun ağırlık değerleri tespit edilmiştir (Şekil 3.26-3.29).



Şekil 3.26 Karot numunelerinin havadaki ağırlık ölçümleri



Şekil 3.27 Karot numunelerinin sudaki ağırlık ölçümleri



Şekil 3.28 Karot numunelerinin suya doymun ağırlık ölçümleri



Şekil 3.29 Karot numunelerinin yükseklik ölçümleri

3.5 Marshall Stabilite Deneyi

Yol yüzeyinde belirlenen bölgelerden alınan karot numunelerine Marshall deneyi uygulanmıştır. Numuneler 30 dakika, 60°C sıcaklıkta su banyosunda bekletildikten sonra Marshall stabilite aletinde kırılmış ve belirlenen stabilite-akma değerleri değerlendirilmek üzere not edilmiştir (Şekil 3.30).

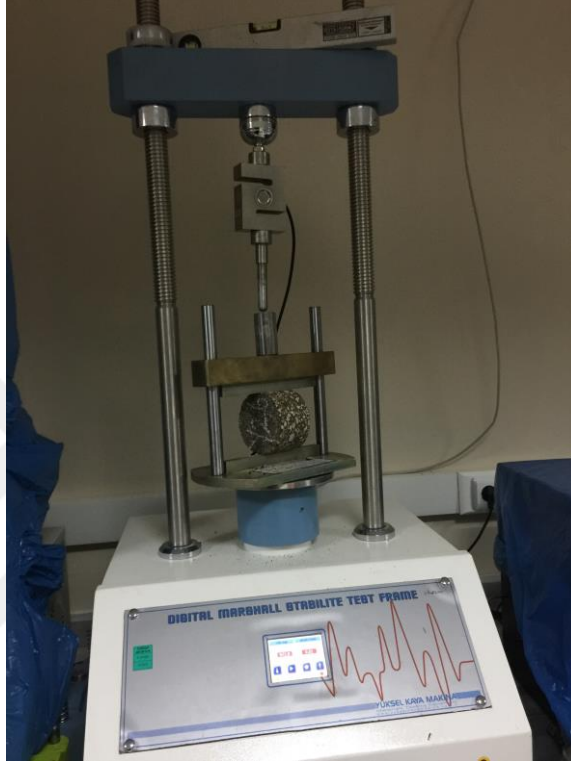


Şekil 3.30 Marshall stabilite deneyi

3.6 Dolaylı Çekme Mukavemeti Deneyi

Marshall stabilite aleti ve dolaylı çekme başlığı kullanılarak yapılan bu deneyde üç farklı karışımdan alınan 3'er adet (her ay için) numune 24 saat boyunca 25°C sıcaklıkta su banyosunda bekletilmiştir. Bekletilen numuneler su banyosundan

çıkartılarak 50 mm/dk hızda kırılmış ve kırılma anına tekabül eden en yüksek yük değerleri kayıt altına alınmıştır (Şekil 3.31).



Şekil 3.31 Dolaylı çekme mukavemeti deneyi

3.7 Dolaylı Çekme Esneklik Modülü Deneyi

Üç farklı karışımdan alınan 2'şer adet karot numunesi (her ay için) 24 saat boyunca 25 °C sıcaklıkta bekletilmiştir. Bu sıcaklıkta, yükleme periyodu 1000 ms, 2000 ms ve 3000 ms, yük artış süresi 40 ms, 60 ms ve 80 ms olarak belirlenerek deney gerçekleştirilmiştir. Numuneler tek tek yükleme başlıkları arasına yerleştirilerek yatay deformasyonu ölçecek sensörler (LVDT) ayarlanmıştır. Cihaz programına daha

önceden belirlenmiş numune yüksekliği, çapı ve poisson oranı (0,35) değerleri girilmiştir. Her bir numune 90 derece döndürülerek ikinci kez deneye tabi tutulmuştur. Esneklik modülü değeri olarak iki örneğe uygulanan dört deney sonucunun ortalaması alınmıştır (Şekil 3.32).



Şekil 3.32 Dolaylı çekme deneyi

3.8 Dinamik Sünme Deneyi

Üç farklı karışımdan alınan 3'er adet karot numuneleri (her ay için) 25°C sıcaklıkta 24 saat bekletildikten sonra bu sıcaklıkta 1000 ms vuruş periyodu boyunca 500 ms yüklü, 500 ms yüksüz olmak üzere 300 kPa'lık tek eksenli basınç yüküne 12,5 saat (45000 yük tekrarı) boyunca maruz bırakılmış ve numunelerde oluşan kalıcı deformasyon miktarları ölçülmüş olup buna karşılık gelen sünme modülü değerleri hesaplanmıştır (Şekil 3.33 ve 3.34).



Şekil 3.33 Dinamik sünme deneyi



Şekil 3.34 Dinamik sünme deney düzeneği

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

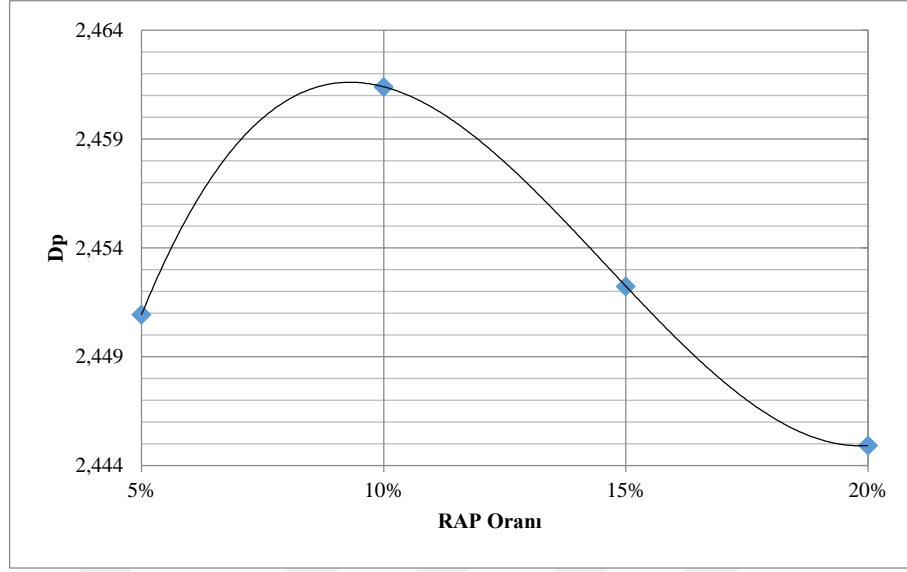
Bu bölümde; normal karışım, kazınmış asfalt eklenerek yapılmış karışım ve kazınmış asfalt ile yeşil Bayburt trası filler olarak kullanılan karışımlardan elde edilen veriler irdelenmiştir.

4.1 Marshall Tasarımı Deney Sonuçları

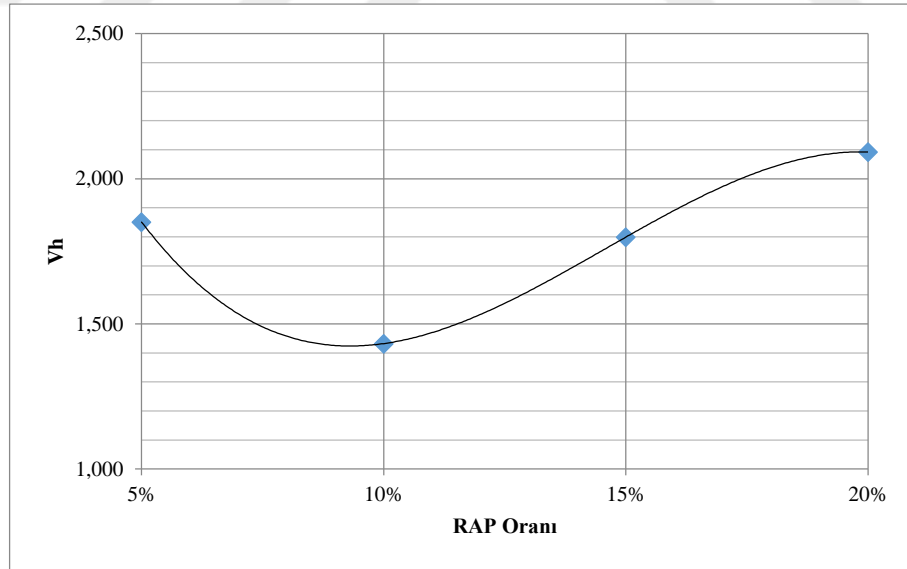
Herhangi bir atık malzeme içermeyen bitümlü sıcak karışımın optimum bitüm içeriği %5,2 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.1). Bu içerik sabit kalarak üretilen %5, %10, %15 ve %20 RAP içerikli karışımların Marshall tasarım değerleri ve bunlara ait grafikler Şekil 4.1-4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4.1 Katkısız BSK genel bilgileri

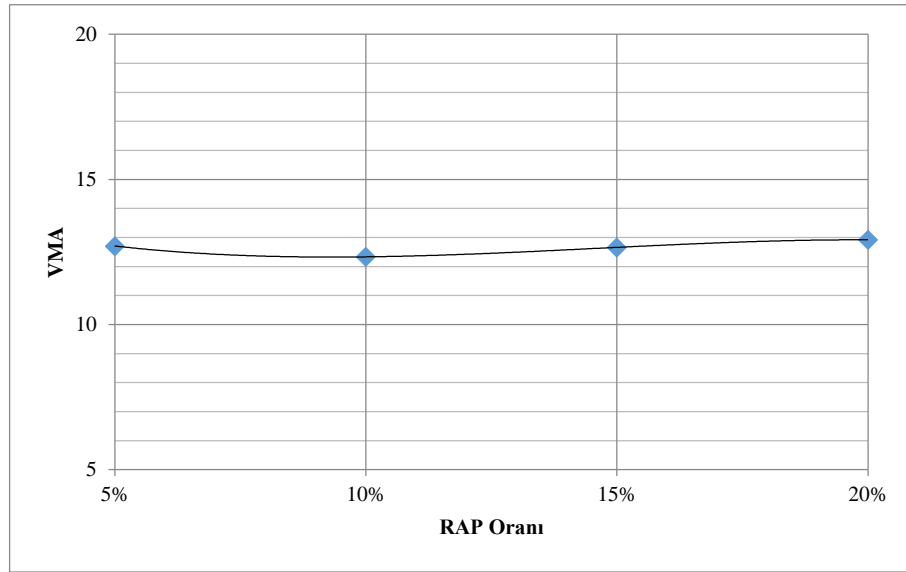
Optimum Bitüm Oranı (%)	5,2
Hacim Özgül Ağırlık (D_p , g/cm ³)	2,392
Maksimum Teorik Özgül Ağırlık (D_t , g/cm ³)	2,494
% Boşluk (V_h)	4,1
% VMA	14,6
Asfalt Dolu Boşluk (V_f , %)	72
Akma (mm)	3,3
Stabilite (kg)	1200
Stabilite/Akma (kg/mm)	364



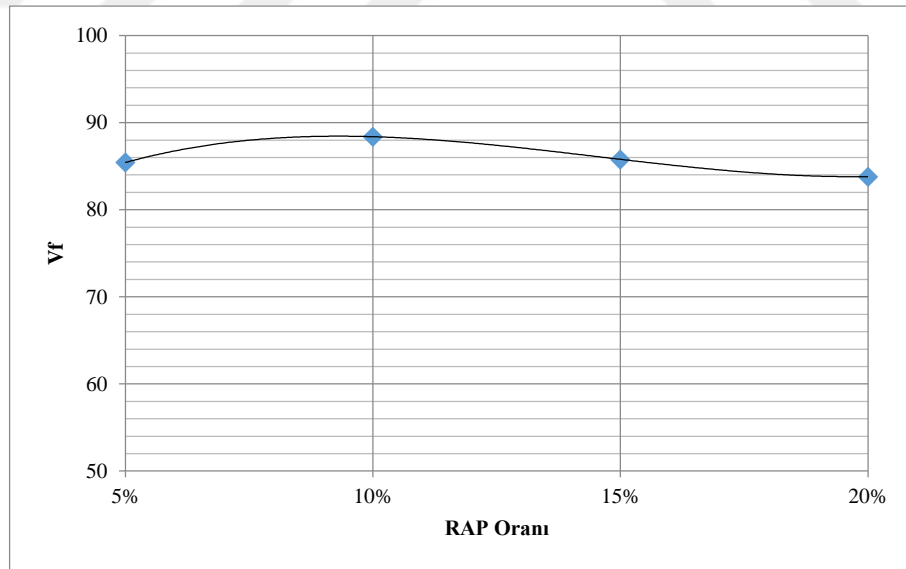
Şekil 4.1 RAP oranına bağlı özgül ağırlık değişimi



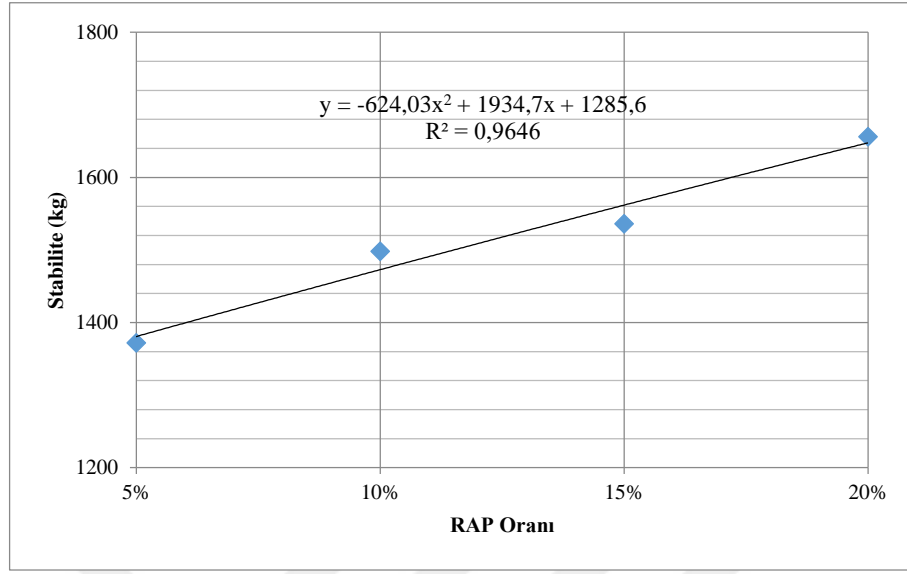
Şekil 4.2 RAP oranına bağlı % boşluk değişimi



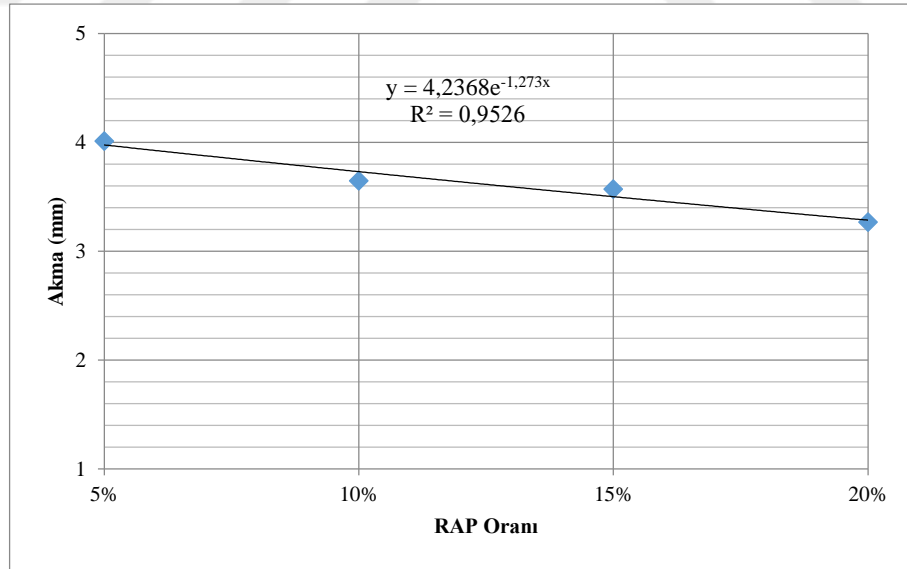
Şekil 4.3 RAP oranına bağlı agregalar arası boşluk değişimi



Şekil 4.4 RAP oranına bağlı asfaltla dolu boşluk değişimi



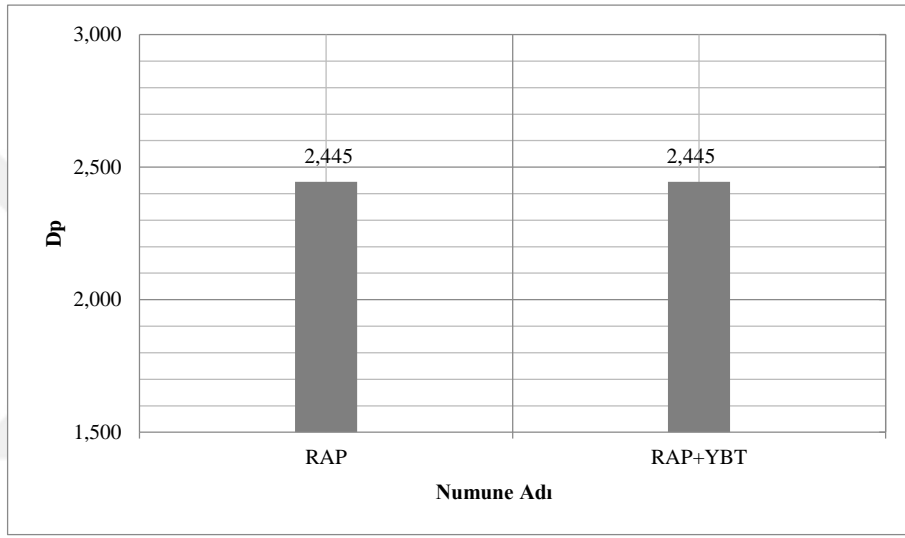
Şekil 4.5 RAP oranına bağlı stabilite değerleri değişimi



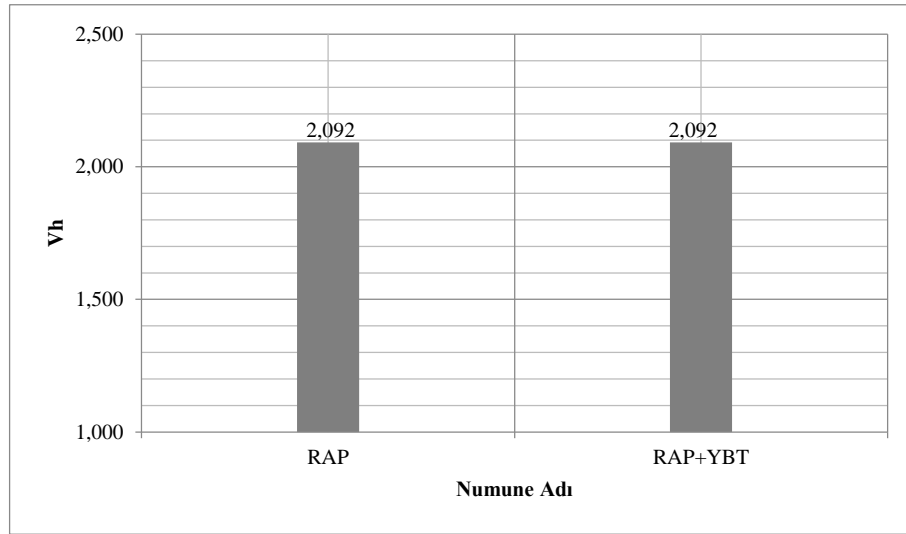
Şekil 4.6 RAP oranına bağlı akma değerleri değişimi

Şekil 4.1-4.6'daki grafiklerden elde edilen bilgiler ışığında %20 RAP oranının uygun olduğu tespit edilmiş olup bu orandaki karışım araziye uygulanmıştır.

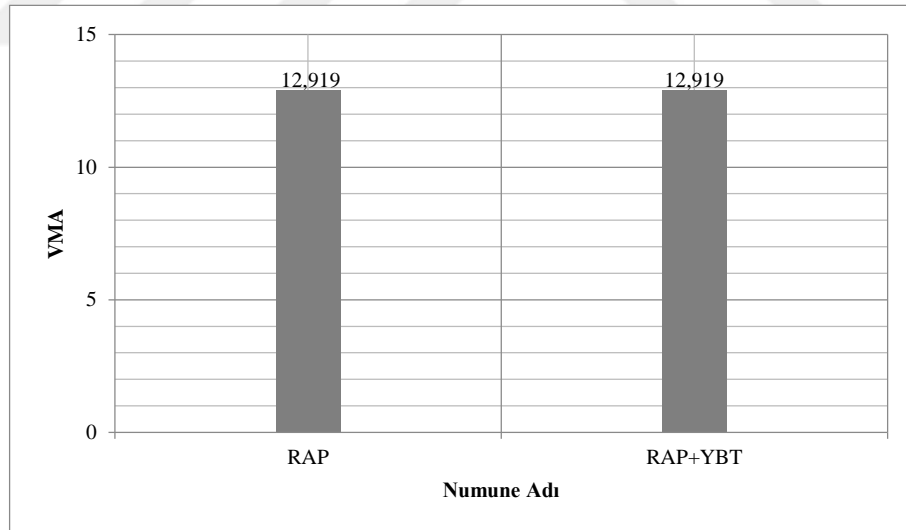
Optimum bitüm içeriği %5,2 değeri esas alınarak, laboratuvar ortamında %20 RAP ile yeşil Bayburt trasının (YBT) filler olarak birlikte kullanılmasıyla üretilen karışımın Marshall tasarım değerleri Şekil 4.7-4.12'de gösterilmiştir.



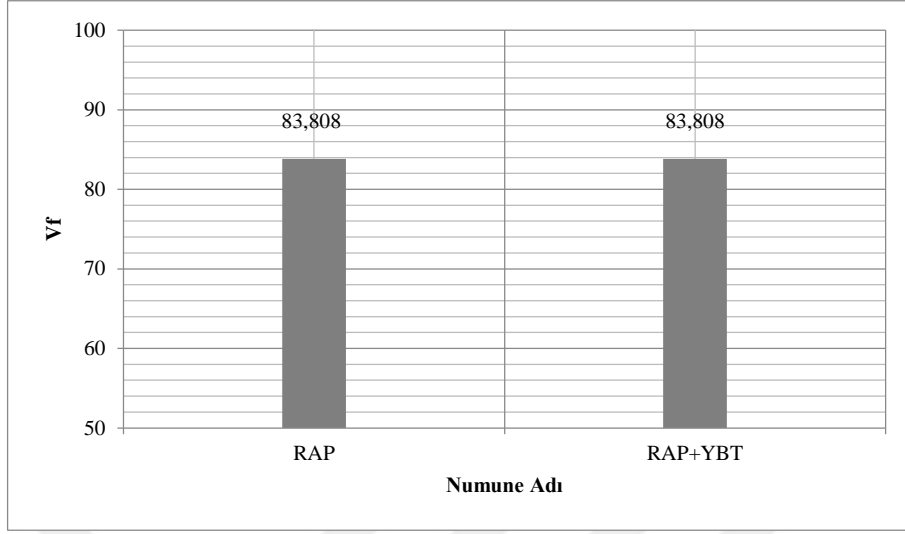
Şekil 4.7 %20 RAP ve %20 RAP+YBT karışımların özgül ağırlık değişimi



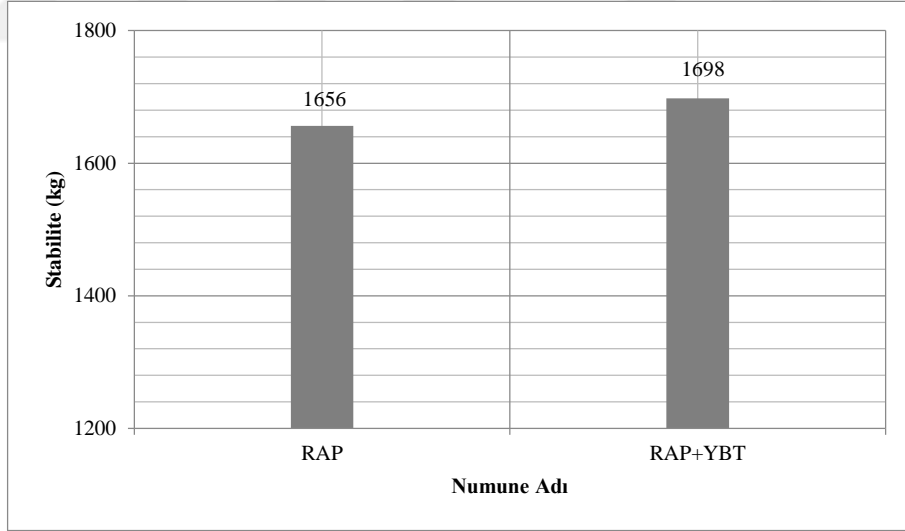
Şekil 4.8 %20 RAP ve %20 RAP+YBT karışımların % boşluk değişimi



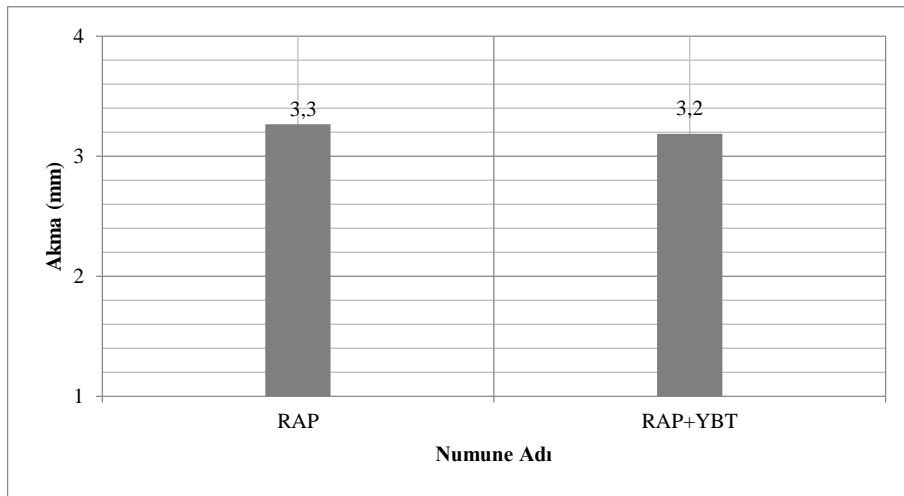
Şekil 4.9 %20 RAP ve %20 RAP+YBT karışımların agregalar arası boşluk değişimi



Şekil 4.10 %20 RAP ve %20 RAP+YBT karışımların asfaltla dolu boşluk değişimi



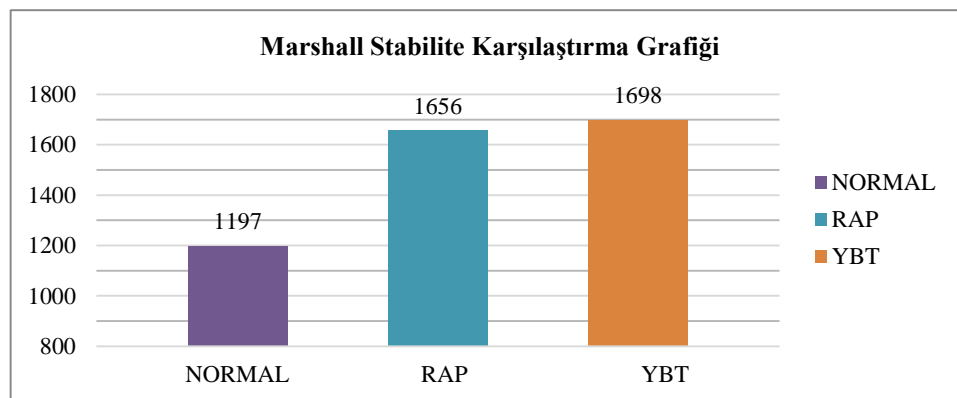
Şekil 4.11 %20 RAP ve %20 RAP+YBT karışımların stabilite değeri değişimi



Şekil 4.12 %20 RAP ve %20 RAP+YBT karışımların akma değeri değişimi

Şekil 4.11 ve Şekil 4.12 incelendiğinde RAP+YBT karışımının stabilite değeri RAP karışımına göre %2.54 oranında artış göstermiş olup akma değeri ise %3 oranında azalmıştır.

Laboratuar ortamında üretilen üç farklı karışımın Marshall stabilite deney sonuçları Şekil 4.13’de verilmiştir.

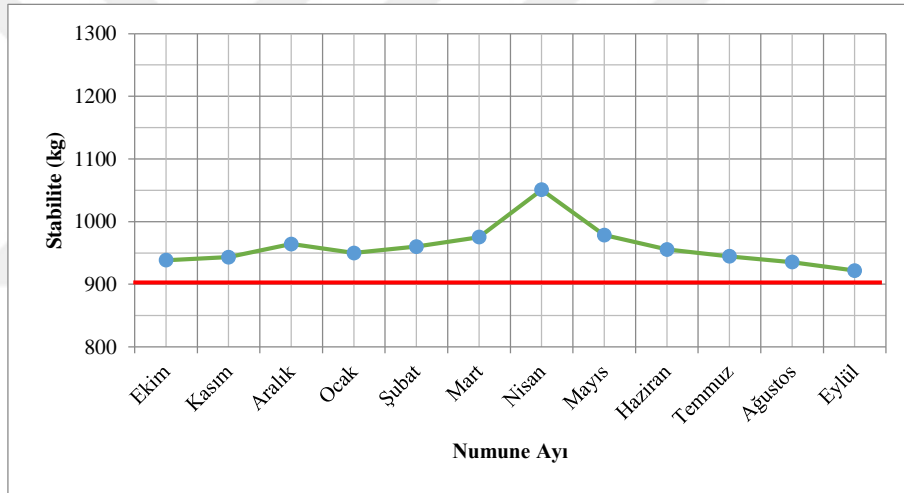


Şekil 4.13 Karışımların stabilite değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 4.13 incelendiğinde normal karışıma göre %20 RAP kullanılmasıyla stabilite değerinin %38,34 oranında, %20 RAP+YBT içeriğinde ise %41,85 oranında artış olduğu tespit edilmiştir.

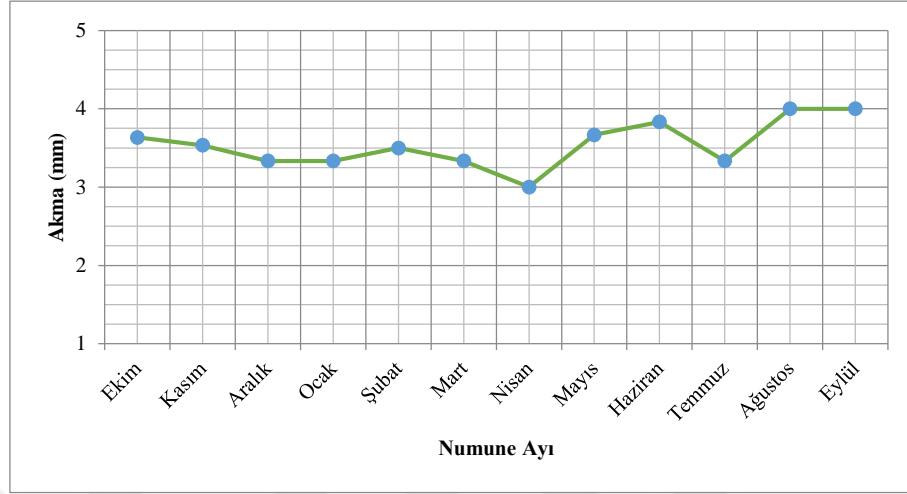
4.2 Karot Numuneleri Marshall Deney Sonuçları

Serimi yapıldıktan sonra bölgesel olarak alınan karot numuneleri üç karışım içinde 12 ay boyunca toplanmış ve Marshall stabilite-akma deney sonucunda elde edilen bulguların aylara göre değişimleri Tablo 4.14-4.19'da gösterilmiştir.

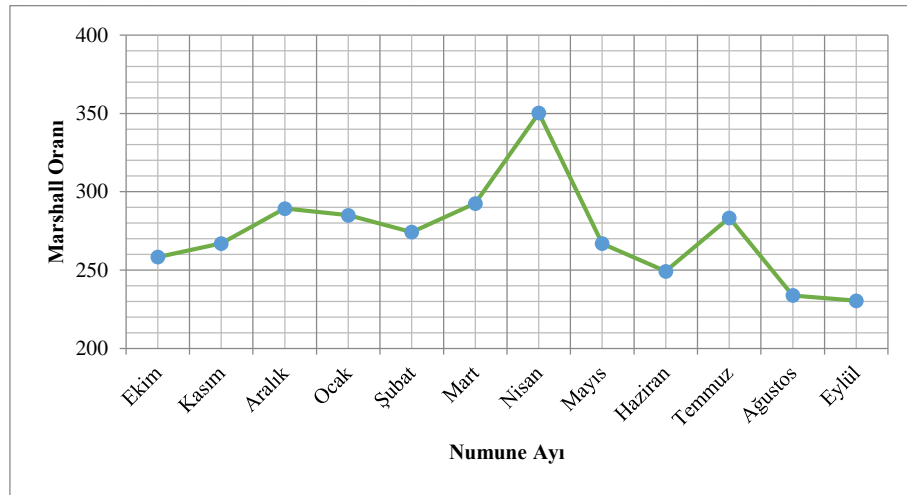


Şekil 4.14 Normal karışım karot numuneleri aylara göre stabilite grafiği

Karayolları Teknik Şartnamesine göre stabilite değerinin en az 900 kg olması istenmektedir. Bu manada alınan karot numunelerinin tamamının stabilite değeri bu değer üzerinde.

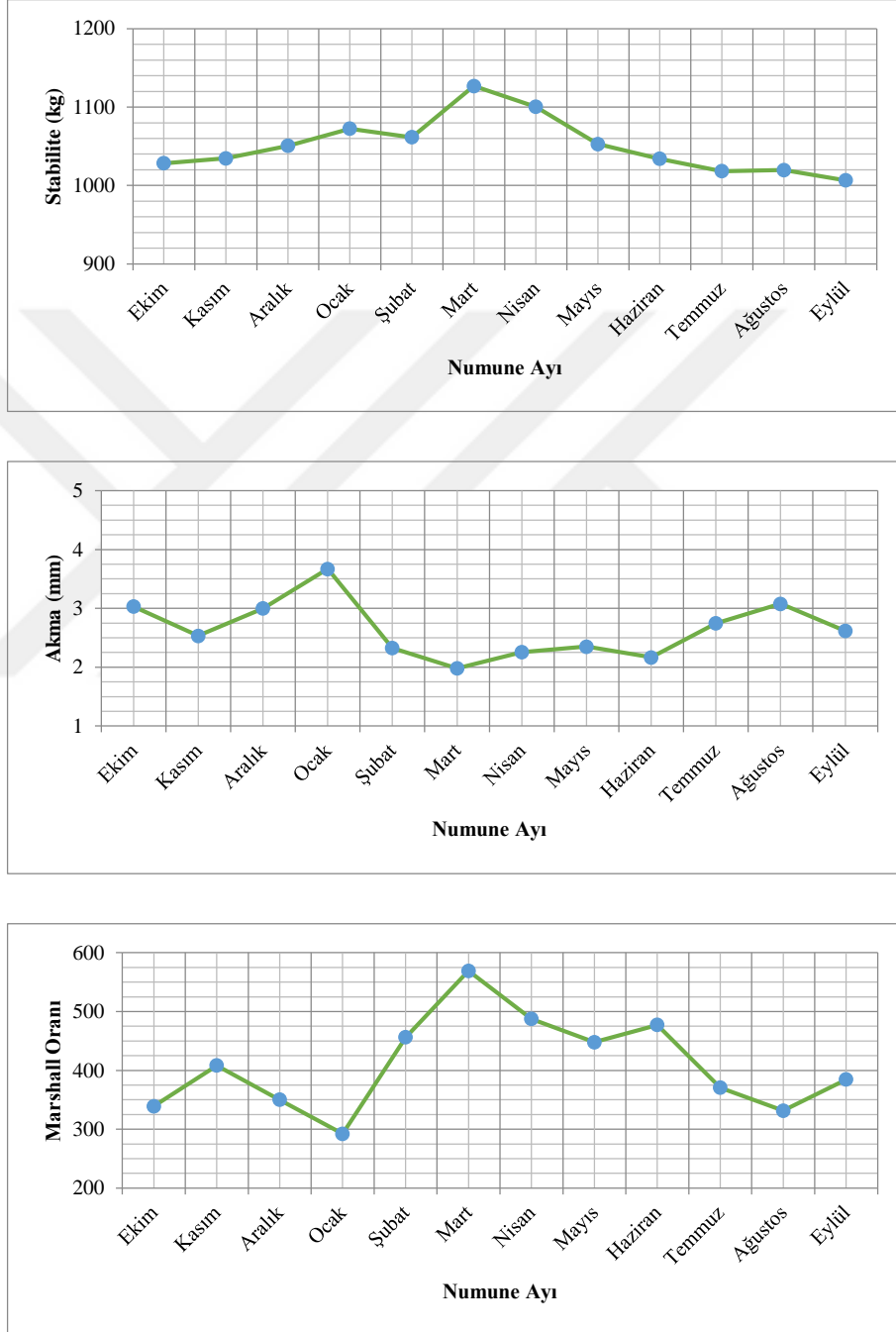


Şekil 4.15 Normal karışım karot numuneleri aylara göre akma grafiği



Şekil 4.16 Normal karışım karot numuneleri aylara göre Marshall oranı değişimi

Kazılmış asfalt malzemesinin %20 oranında normal karışıma ilave edilmesiyle elde edilen karot numunelerine ait Marshall stabilite-akma ve Marshall oranı değerleri Şekil 4.17’de verilmiştir.

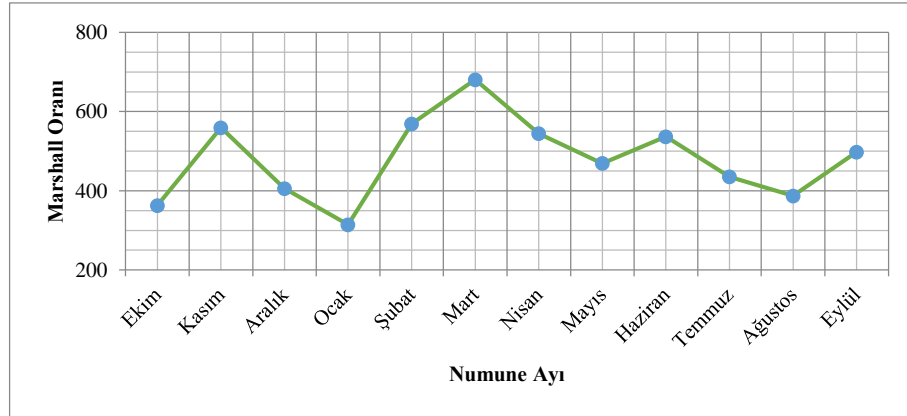
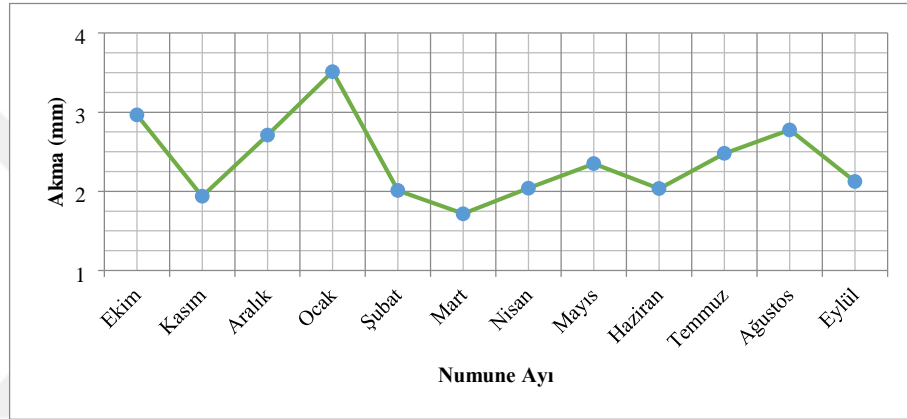
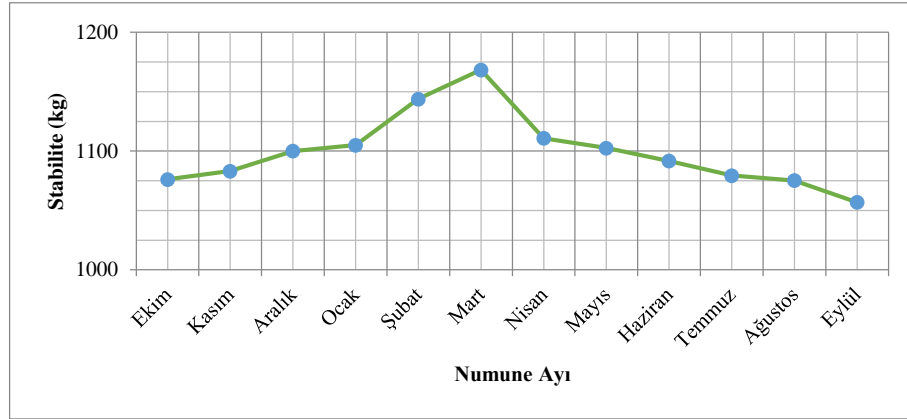


Şekil 4.17 %20 RAP karışımına ait karot numunelerinin Marshall stabilite-akma ve Marshall oranı değerlerinin aylara göre değişimi

Yukarıdaki grafikler incelendiğinde değerlerin tamamının şartnamede uygun görülen limitlerde kalmasına karşın %20 oranında RAP ilave edilmiş karışım değerlerinde iyileşmeler olduğu görülmektedir.

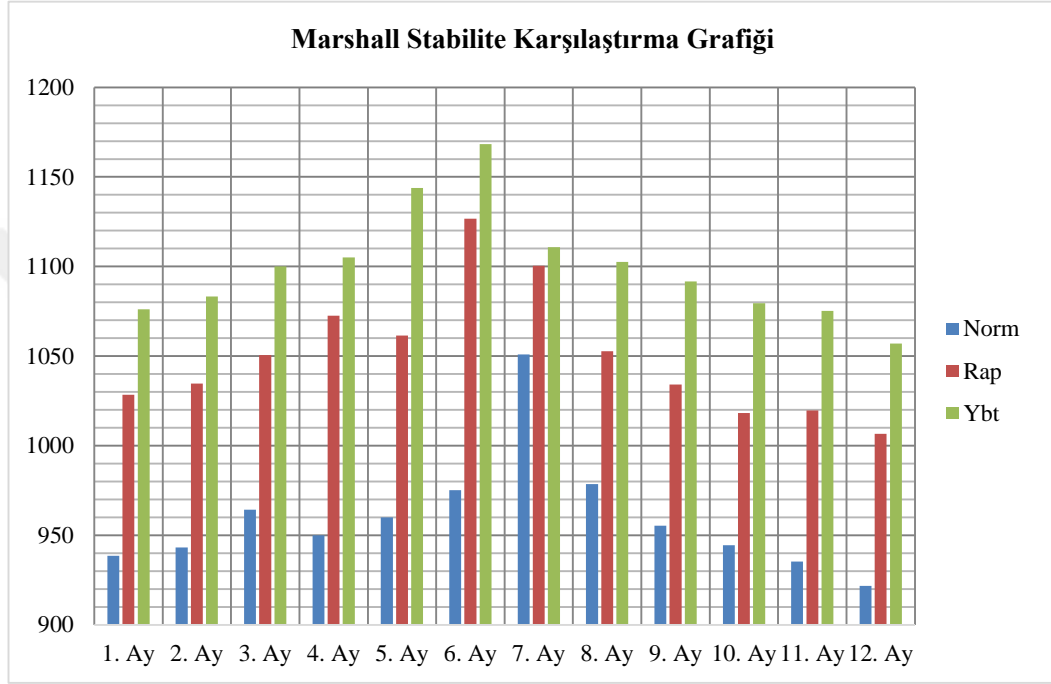
Son olarak %20 RAP ile YBT filler malzemesi karışımına ait karot numunelerinin Marshall stabilite-akma ve Marshall oranı deney sonuçları Şekil 4.18’de verilmiştir.





Şekil 4.18 RAP+YBT karışımına ait karot numunelerinin Marshall stabilite-akma ve Marshall oranı değerlerinin aylara göre değişimi

Söz konusu bu üç karışımın Marshall stabilite değerleri şartname limitinin üzerinde çıkmıştır. %20 RAP+YBT karışımı diğer iki karışıma göre daha iyi sonuç vermiştir. Karışımların stabilite değerleri bir bütün olarak Şekil 4.19’da verilmiştir.



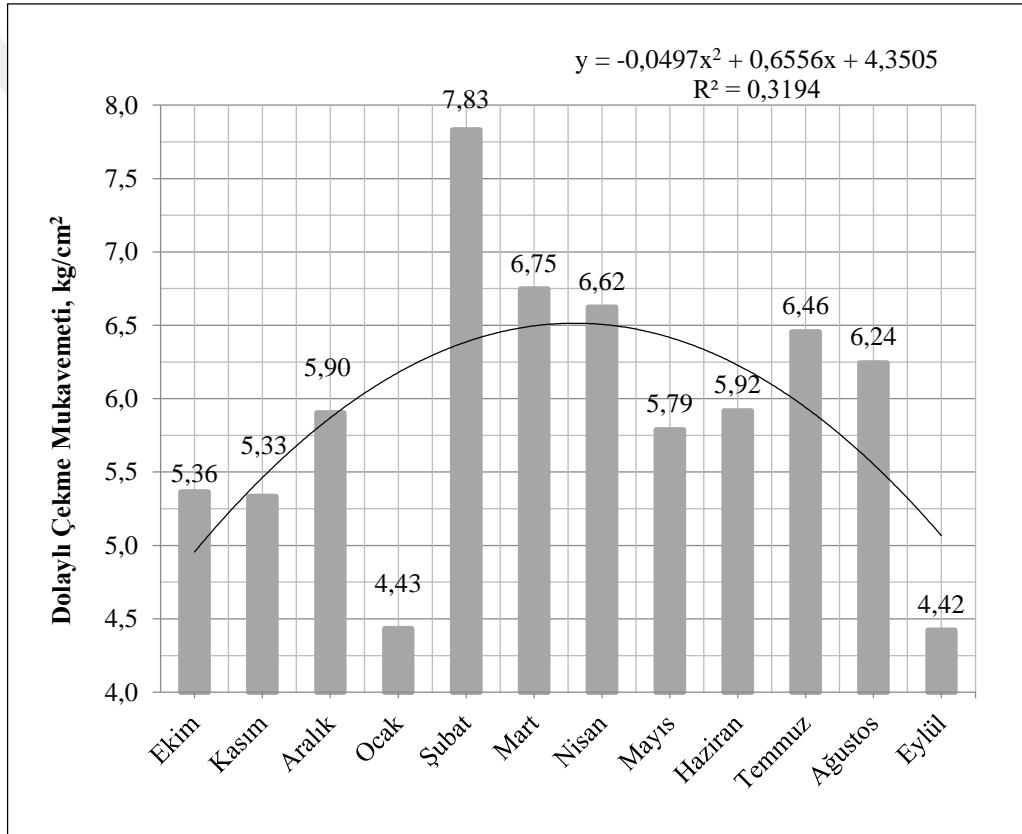
Şekil 4.19 Karışımların stabilite değerlerinin aylara göre değişimi

Şekil 4.19 incelendiğinde, YBT içeren karışımın stabilite değerlerinin diğer karışımlara göre daha yüksek olduğu açık şekilde görülmektedir. RAP eklenen karışımın stabilite değerleri normal karışıma göre Ekim ayında %9.6, Mart ayında %15.5, Eylül ayında ise %9.2 oranlarında artmış iken RAP+YBT filleri eklenmiş karışımın normal karışıma göre stabilite değerleri ise Ekim ayında % 14.7, Mart ayında %19.8 ve Eylül ayında %14.7 oranlarında artmıştır. Genel olarak karışımların stabilite değerleri mevsimsel şartlara bağlı olarak soğuk aylarda diğer aylara göre daha yüksek çıkmıştır. On ikinci ay sonunda başlangıç değerine yakın ancak biraz

daha düşük stabilite değerleri elde edilmiştir. Buradan YBT ilavesinin karışımın adezyon kuvvetini arttırarak, agregayı sarma eğilimini guclendirdiği anlaşılmaktadır.

4.3 Karot Numuneleri Dolaylı ekme Mukavemeti Deney Sonuçları

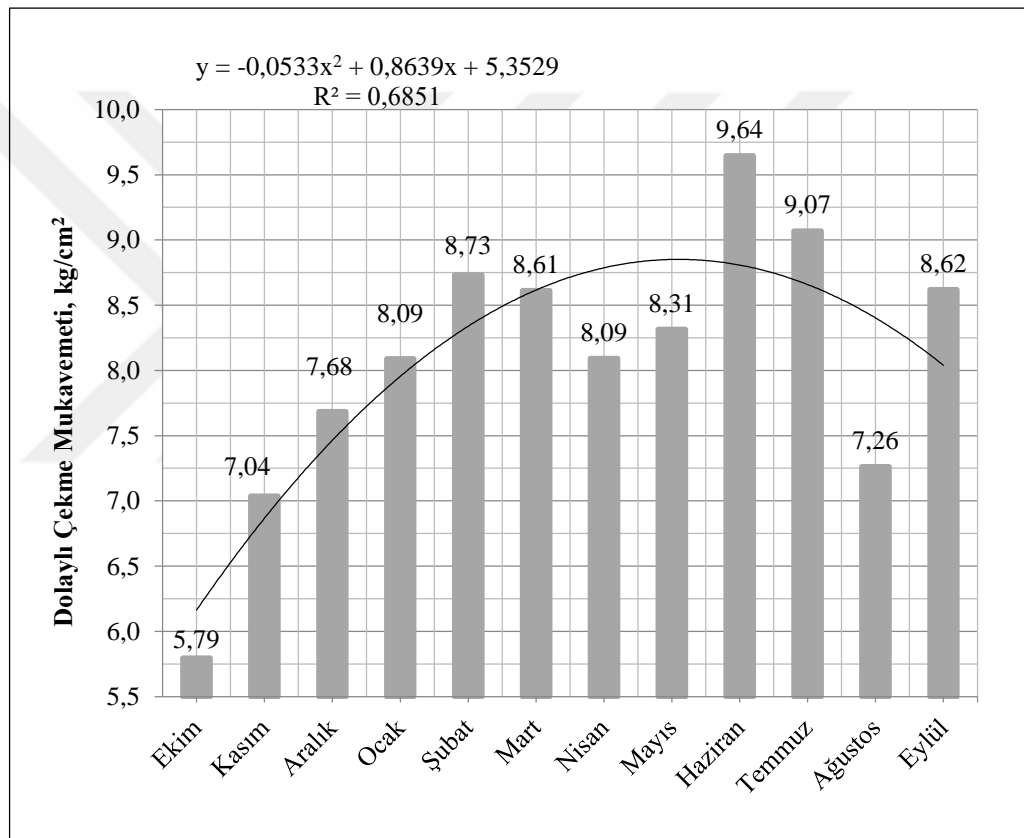
Normal karışıma ait karot numunelerinin aylara gore deney sonuçları değişimi Şekil 4.20'de verilmiştir.



Şekil 4.20 Normal karışım karot numunelerinin aylara gore dolaylı çekme mukavemeti değerleri

Şekil 4.20’de görüldüğü gibi parabolik bir grafik elde edilmiştir. Stabilitede olduğu gibi iklimsel şartlar neticesinde Şubat ve Mart aylarında maksimum değerler görülürken ilerleyen aylarda düşüş göstermiştir.

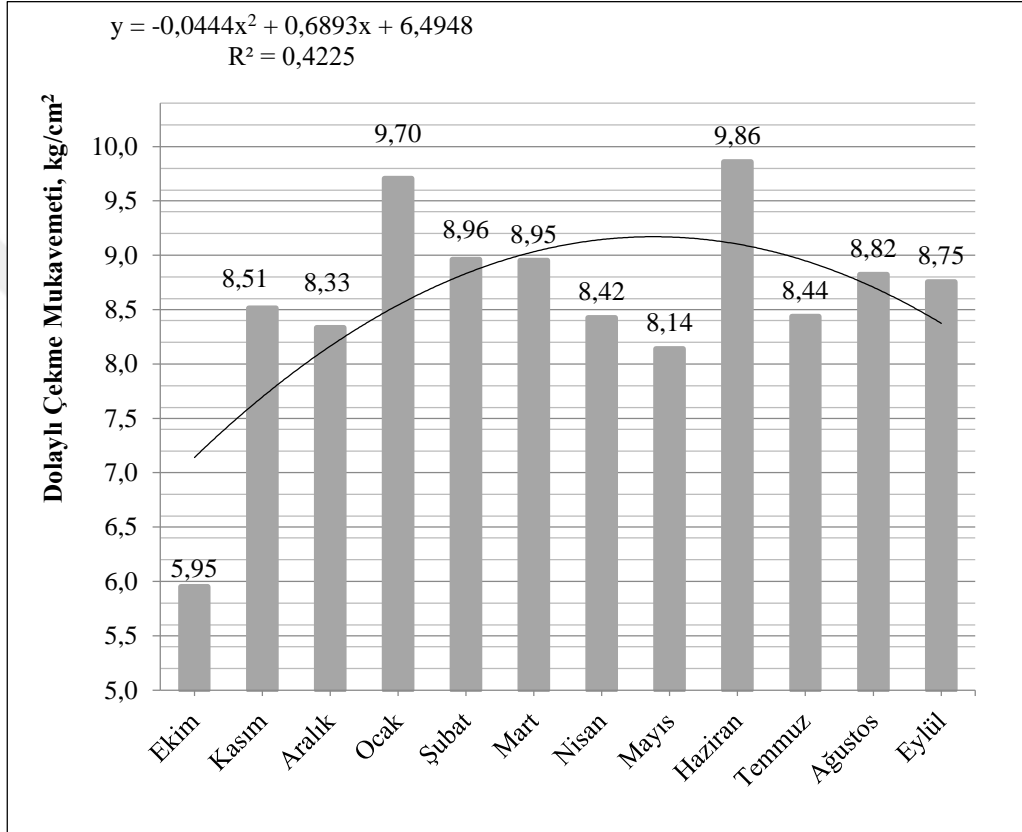
Kazılmış asfaltın %20 oranında kullanıldığı karışıma ait karot numunelerinin aylara göre dolaylı çekme mukavemeti deney sonuçları Şekil 4.21’de verilmiştir.



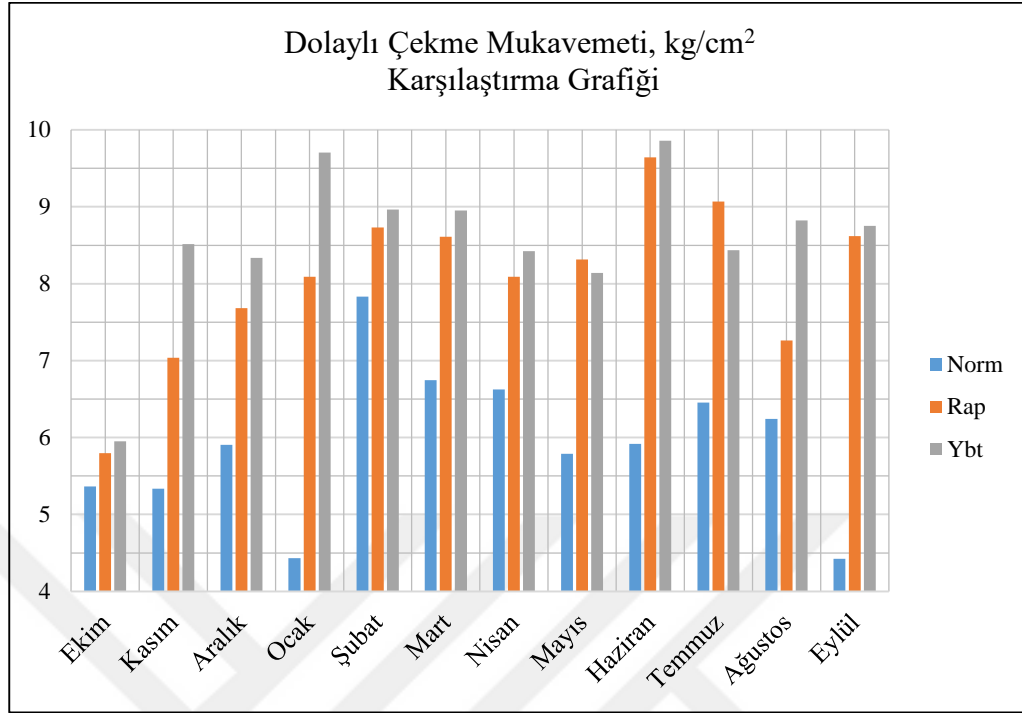
Şekil 4.21 RAP karışım karot numunelerinin aylara göre dolaylı çekme mukavemeti değerleri

Şekil 4.21 incelendiğinde RAP kullanımı ile dolaylı çekme mukavemeti değerlerinde normal karışıma göre artışlar olmuştur.

%20 RAP ile YBT filler malzemesi karışımına ait karot numunelerinin dolaylı çekme mukavemeti değerlerinin aylara göre değişimi Şekil 4.22’de, tüm karışımların birbirleriyle karşılaştırıldığı grafik ise Şekil 4.23’de verilmiştir.



Şekil 4.22 RAP+YBT karışım karot numunelerinin aylara göre dolaylı çekme mukavemeti değerleri



Şekil 4.23 Normal, RAP ve RAP+YBT karışımlarının dolaylı çekme mukavemeti karşılaştırma grafiği

Şekil 4.23 incelendiğinde, RAP eklenen karışımda normal karışıma göre Ekim ayında %8, Mart ayında %27.7, Eylül ayında ise %94.8 oranlarında mukavemet artışı görülmüştür. Buna karşın RAP+YBT karışımında ise normal karışıma göre Ekim ayında % 23.3 oranında azalış, Mart ayında %2.5 ve Eylül ayında ise %97.9 oranlarında artış tespit edilmiştir. Değerlerde dalgalanmalar olmasına karşın genel itibariyle atık malzeme içeren karışımların mukavemet değerlerinin normal karışıma göre, 12 ay süre boyunca yüksek çıktığı belirlenmiştir. Bu bulgular ışığında söz konusu atık malzemelerin ayrı veya beraber kullanımıyla asfalt kaplamaların düşük sıcaklıklarda ve trafik yüklerinin etkisiyle oluşan çekme gerilmelerine karşı direnç sağladığı net bir şekilde tespit edilmiştir.

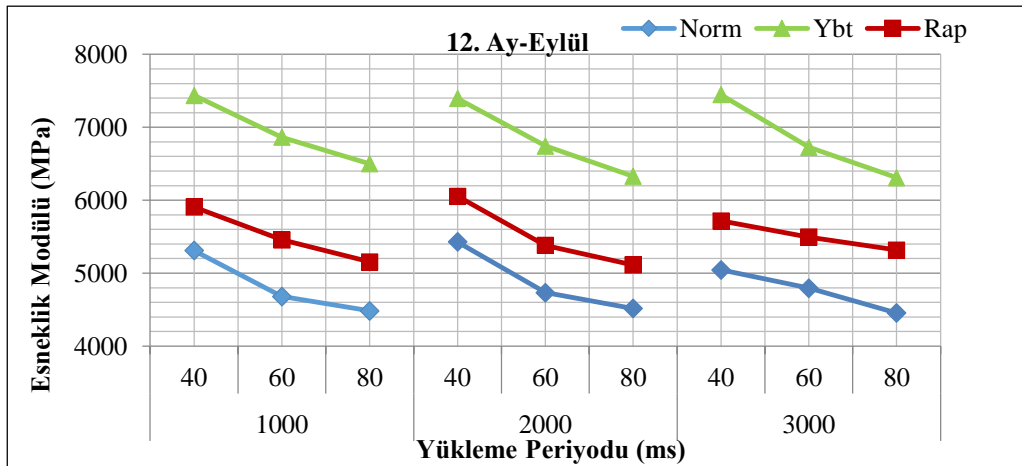
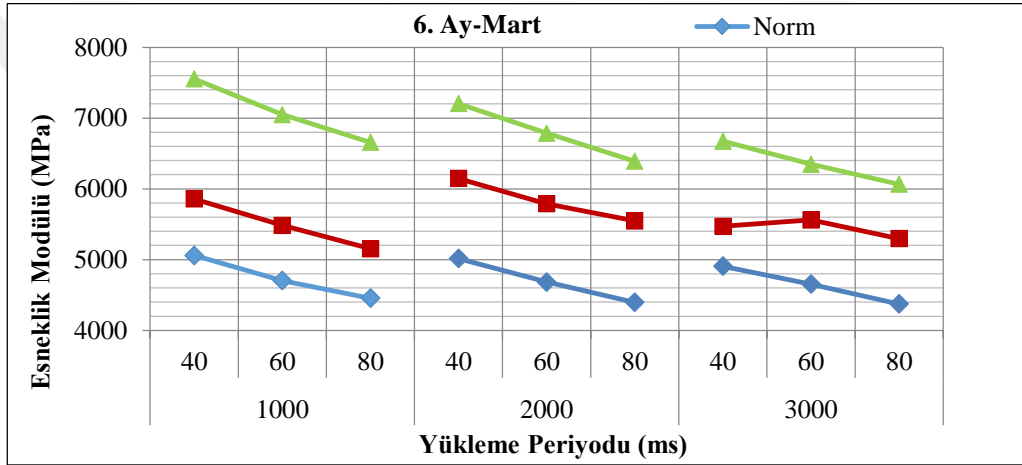
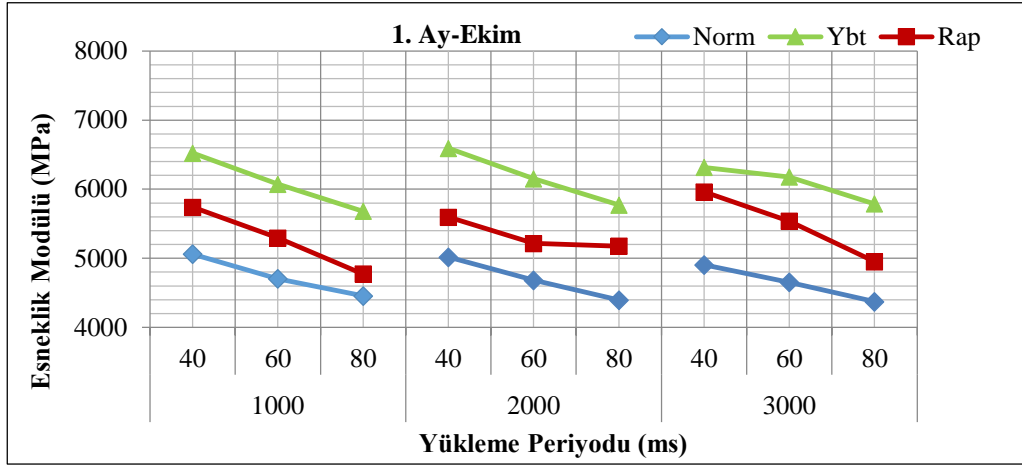
4.4 Dolaylı Çekme Esneklik Modülü Deney Sonuçları

Üç farklı karışım için elde edilen esneklik modülü değerleri birinci, altıncı ve on ikinci aylar (Ekim, Mart ve Eylül) için Şekil 4.24'te ve tüm aylara ait bütün değerler Çizelge 4.15'te verilmiştir.



Çizelge 4.15. Tüm aylara ait karışım karot numunelerinin esneklik modülü değerleri

NUMUNE AYI	NUMUNE CİNSİ	1000						2000						3000					
		40		60		80		40		60		80		40		60		80	
		µε	E	µε	E	µε	E	µε	E	µε	E	µε	E	µε	E	µε	E	µε	E
1. AY EKİM	Normal	1,9	5059	2,0	4704	2,1	4455	1,9	5015	2,0	4683	2,1	4395	2,0	4906	2,0	4653	2,1	4373
	RAP	2,0	5739	2,2	5294	2,3	4773	1,9	5595	2,3	5215	2,4	5175	1,5	5962	1,6	5538	2,1	4952
	RAP+YBT	1,5	6523	1,6	6072	1,7	5681	1,4	6591	1,6	6151	1,7	5772	1,5	6317	1,6	6178	1,7	5787
2. AY KASIM	Normal	2,2	4186	2,4	3859	2,7	3605	2,3	4143	2,6	3816	2,6	3629	2,1	4401	2,3	4189	2,5	3861
	RAP	2,8	4500	2,8	4234	3,3	3910	1,9	5317	2,7	4389	2,9	4005	2,2	4841	2,2	4770	2,3	4575
	RAP+YBT	5,1	4771	5,8	4634	5,8	4706	4,2	5191	5,9	4831	5,4	4785	3,8	6823	3,8	6052	5,1	5578
3. AY ARALIK	Normal	1,6	6385	1,8	5290	1,9	5170	1,7	6275	1,6	5851	1,8	5476	1,7	5826	1,7	5398	1,8	5308
	RAP	2,9	6950	3,0	6622	3,2	6335	2,6	7083	3,1	6727	3,0	6418	2,2	7452	2,6	6940	3,0	6397
	RAP+YBT	3,4	7216	4,2	6907	4,0	6756	3,1	7311	3,5	7192	3,6	6954	4,8	6204	3,0	7093	3,4	6925
4. AY OCAK	Normal	5,0	1910	5,7	1604	5,7	1581	6,4	1560	6,0	1722	6,7	1483	3,9	1996	5,0	1950	5,4	1741
	RAP	1,5	6457	1,6	5957	1,7	5598	1,6	6441	1,6	5947	1,8	5521	1,6	6256	1,6	5832	1,7	5591
	RAP+YBT	1,5	6222	1,6	5834	1,7	5533	1,5	6242	1,6	5807	1,7	5480	1,6	6094	1,6	5725	1,8	5374
5. AY ŞUBAT	Normal	2,1	4642	2,3	4292	2,3	4117	2,1	4653	2,1	4510	2,3	4023	2,3	4173	2,3	4261	2,3	4098
	RAP	1,8	5656	1,9	5236	2,1	4863	1,7	5703	1,9	5220	2,0	4866	1,8	5690	1,9	5213	2,1	4889
	RAP+YBT	1,6	6077	1,6	5747	1,7	5465	1,4	6666	1,6	6141	1,6	5825	1,5	6533	2,0	4779	1,7	5626
6. AY MART	Normal	4,0	2865	4,4	2645	4,8	2459	4,0	2788	4,2	2616	4,7	2447	3,7	3207	4,0	3005	4,3	2828
	RAP	1,6	5858	1,7	5485	1,8	5154	1,5	6146	1,6	5789	1,7	5547	1,8	5471	1,7	5562	1,7	5297
	RAP+YBT	1,3	7554	1,4	7049	1,5	6658	1,3	7205	1,5	6788	1,6	6392	1,4	6673	1,6	6348	1,7	6065
7. AY NİSAN	Normal	2,2	4349	2,5	3922	2,6	3709	2,3	4309	2,4	3975	2,6	3658	2,3	4316	2,4	3969	2,5	3659
	RAP	1,6	6078	1,7	5604	1,9	5297	1,6	6000	1,8	5548	1,9	5237	1,9	5595	1,9	5281	1,9	5048
	RAP+YBT	1,1	8233	1,2	7706	1,3	7331	1,2	7824	1,2	7465	1,4	7111	1,2	7830	1,4	7186	1,4	6793
8. AY MAYIS	Normal	2,6	3608	2,9	3303	3,0	3147	2,8	3489	2,8	3274	3,0	3091	3,1	3334	2,8	3169	3,1	3019
	RAP	1,6	6266	1,7	5827	1,8	5521	1,6	6196	1,7	5623	1,8	5410	1,8	5624	1,8	5387	1,9	5259
	RAP+YBT	1,3	6956	1,4	6493	1,5	6102	1,3	6841	1,6	6350	1,5	6069	1,4	6381	1,6	6243	1,6	5937
9. AY HAZİRAN	Normal	2,1	4307	2,4	3977	2,5	3699	2,3	4166	2,5	3863	2,6	3651	2,5	3985	2,5	3766	2,6	3584
	RAP	1,3	7525	1,5	6957	1,5	6630	1,3	7361	1,4	6896	1,5	6409	1,5	6836	1,5	6426	1,5	6300
	RAP+YBT	1,2	8198	1,2	7615	1,3	7223	1,2	7961	1,2	7712	1,3	7318	1,2	7799	1,3	7433	1,3	7178
10. AY TEMMUZ	Normal	3,1	3106	3,2	2893	3,5	2702	3,0	3126	3,2	2885	3,5	2725	3,2	3109	3,3	2827	3,5	2623
	RAP	1,3	7221	1,4	6809	1,6	6345	1,3	7137	1,5	6631	1,6	6284	1,5	6582	1,5	6365	1,6	6263
	RAP+YBT	1,7	7656	1,7	7377	1,8	7069	1,7	7678	1,7	7407	1,9	7124	1,7	7648	1,7	7468	1,8	7172
11. AY AĞUSTOS	Normal	2,2	4243	2,4	3953	2,6	3721	2,2	4168	2,6	3797	2,6	3629	2,2	4214	2,3	4084	2,7	3739
	RAP	1,7	5735	1,8	5376	1,9	5087	1,7	5671	1,8	5246	2,0	5013	1,8	5515	1,9	5071	2,0	4937
	RAP+YBT	1,5	6066	1,6	5694	1,8	5412	1,5	6114	1,7	5692	1,7	5355	1,5	5991	1,8	5572	1,8	5298
12. AY EYLÜL	Normal	4,2	5312	4,3	4682	4,6	4484	3,8	5430	4,2	4734	4,6	4517	3,8	5046	3,9	4796	4,3	4455
	RAP	1,5	5907	1,7	5459	1,8	5155	1,5	6055	1,8	5382	1,8	5114	1,6	5716	1,7	5495	1,7	5318
	RAP+YBT	1,3	7438	1,4	6865	1,5	6501	1,4	7395	1,5	6743	1,5	6329	1,3	7447	1,5	6726	1,5	6310

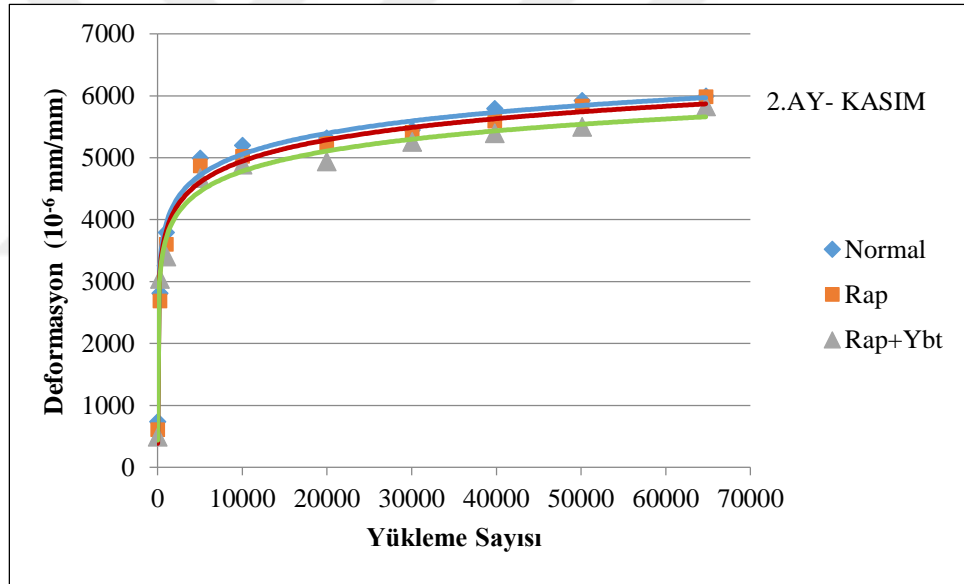
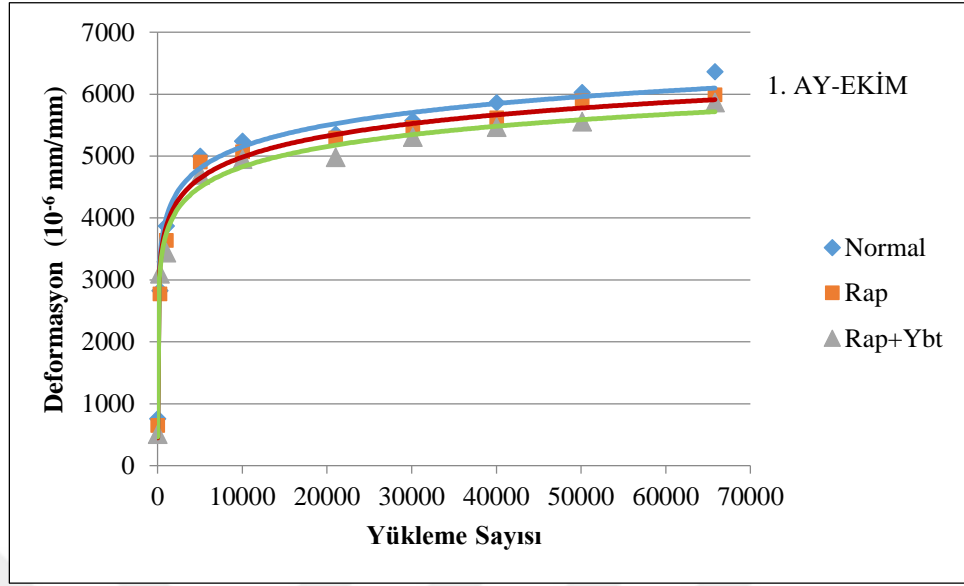


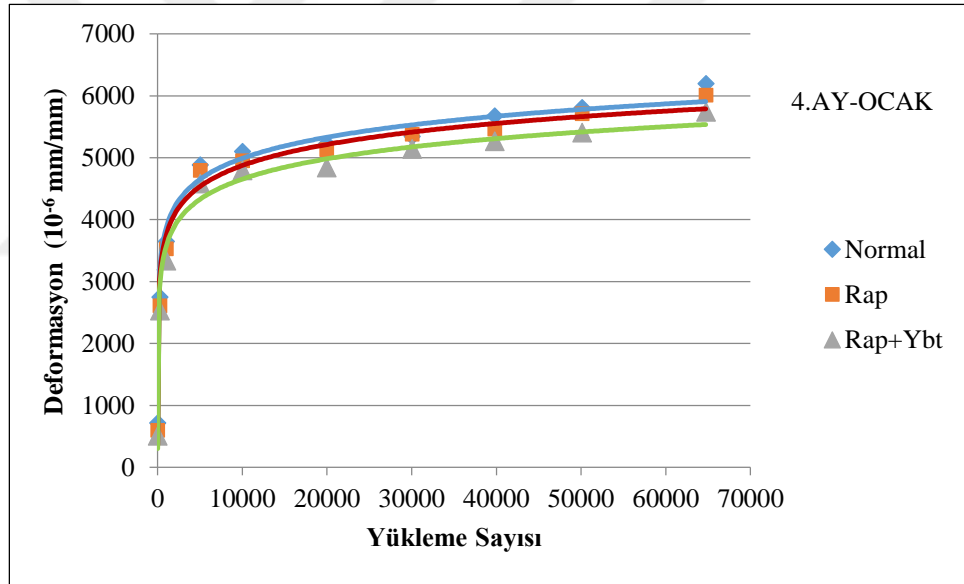
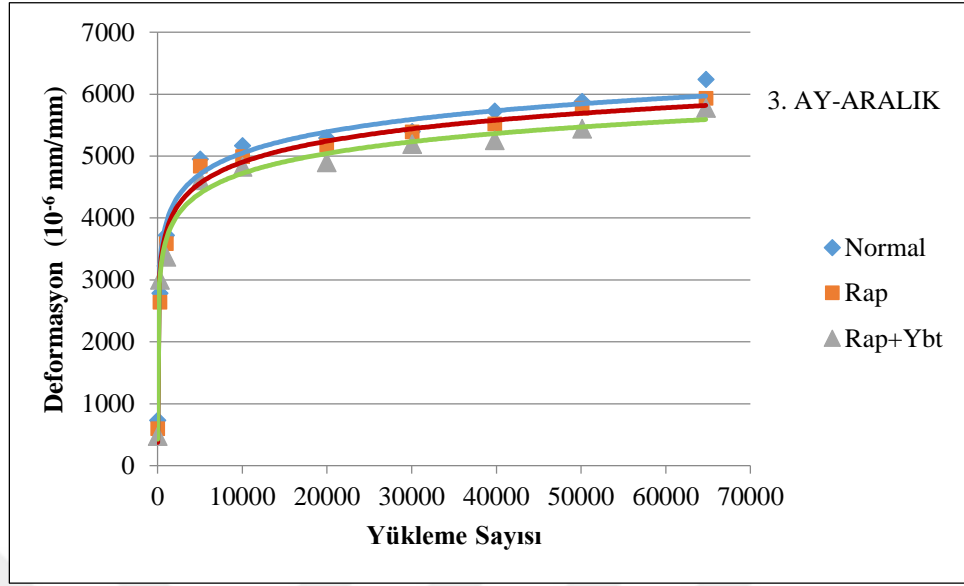
Şekil 4.24 Karışımların zamana göre esneklik modülü değerleri değişimi

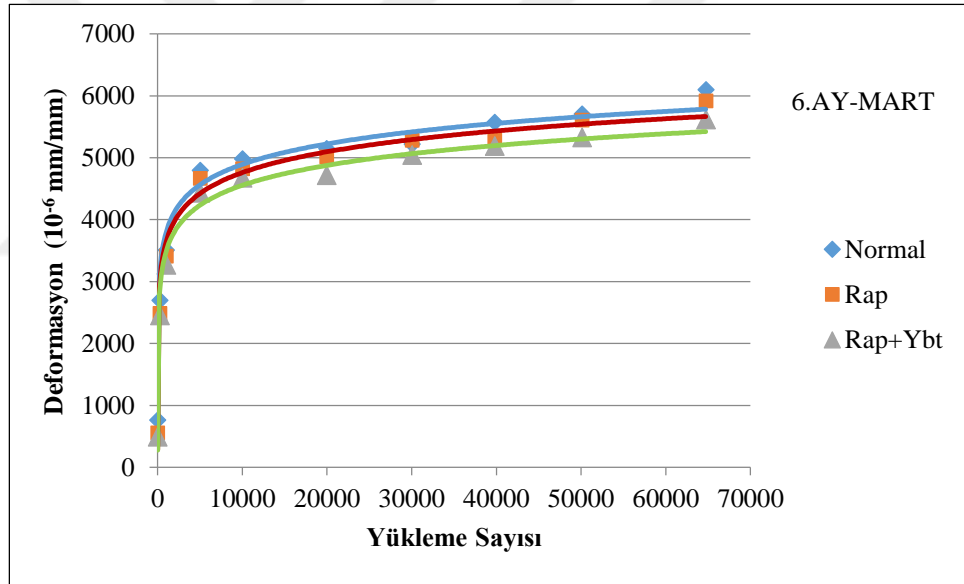
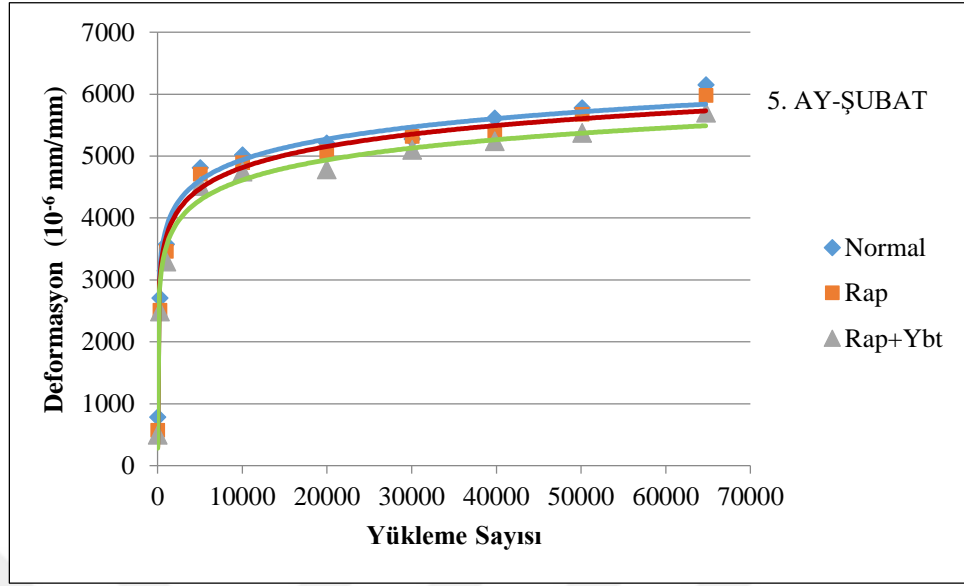
Şekil 4.24'te görüldüğü gibi mevsimsel etkiler ve trafik yükü altında esneklik modülü değerleri hem RAP içerikli olan karot numunelerinde hem de RAP ile birlikte YBT içeren karot numunelerinde normal karışıma göre daha yüksek çıkmıştır. Araziye uygulamanın yapıldığı ilk aydan, 12. aya kadar YBT içeriği ile beraber karışımın esneklik değerlerinin daha da arttığı görülmektedir. Böylece ilave edilen atık malzemeler ile bilhassa YBT'nin ilavesiyle kaplamanın altında meydana gelen ve yorulma çatlaklarına neden olan çekme ve basınç gerilmelerine karşı direncin arttığı ve kaplamanın yük dağıtma kabiliyetinin iyileştiği açıkça görülmektedir.

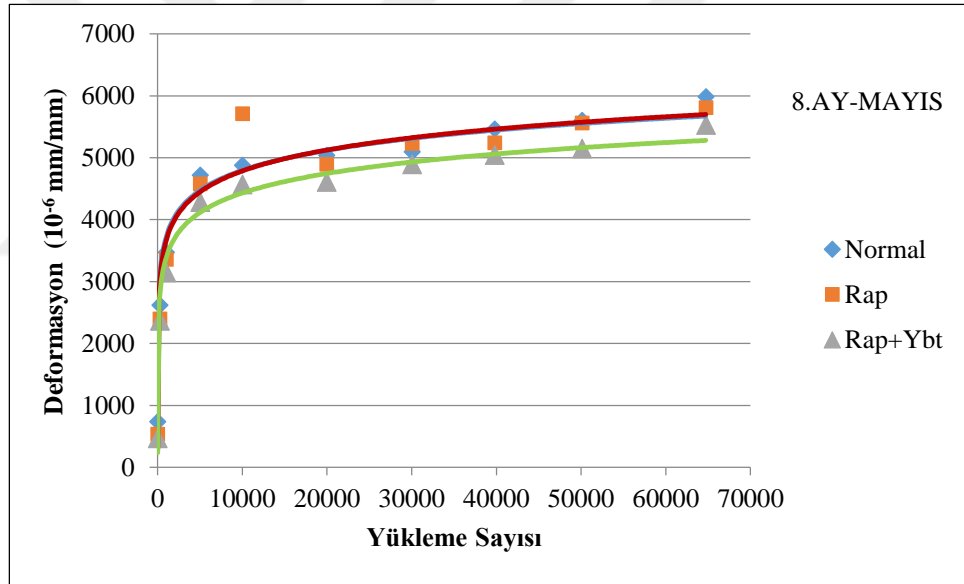
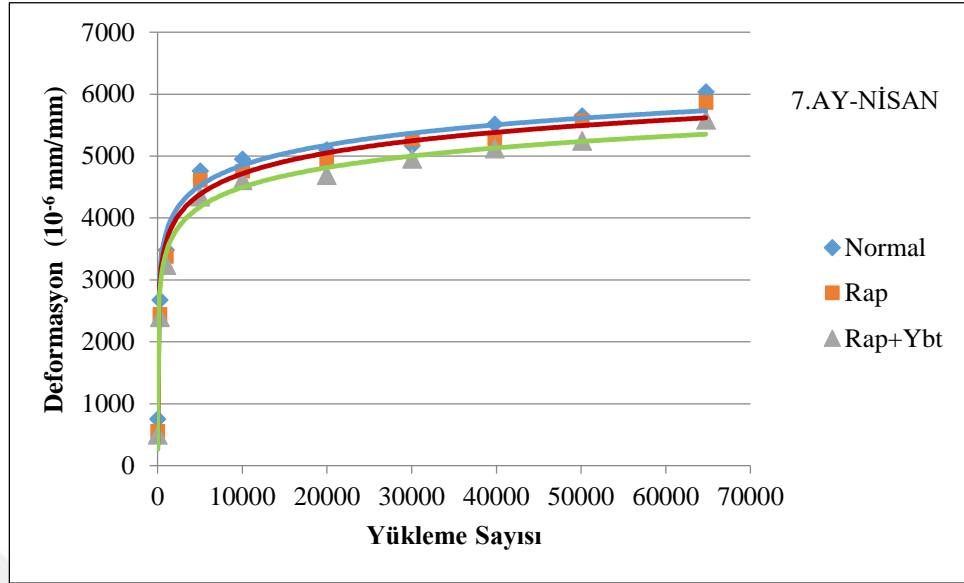
4.5 Dinamik Sünme Deneyi

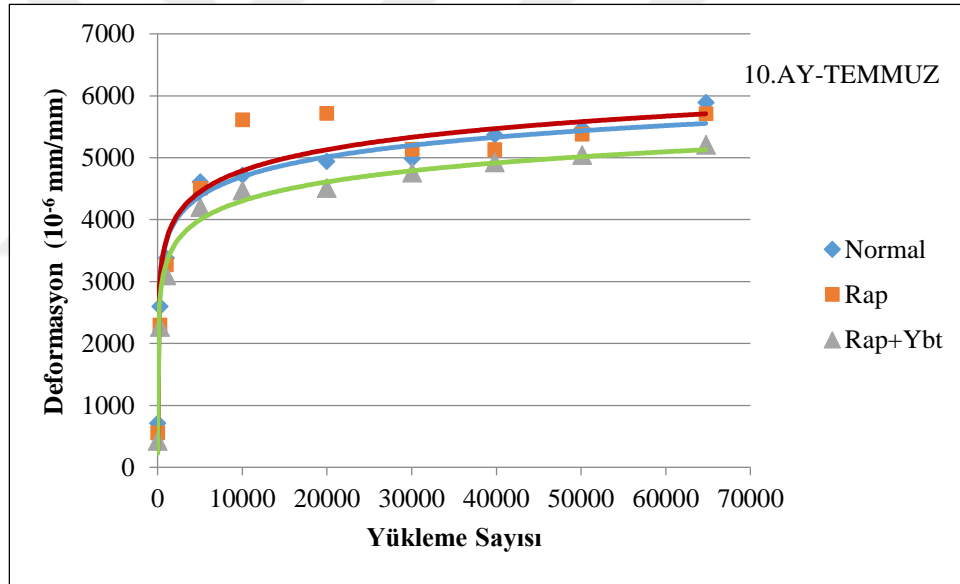
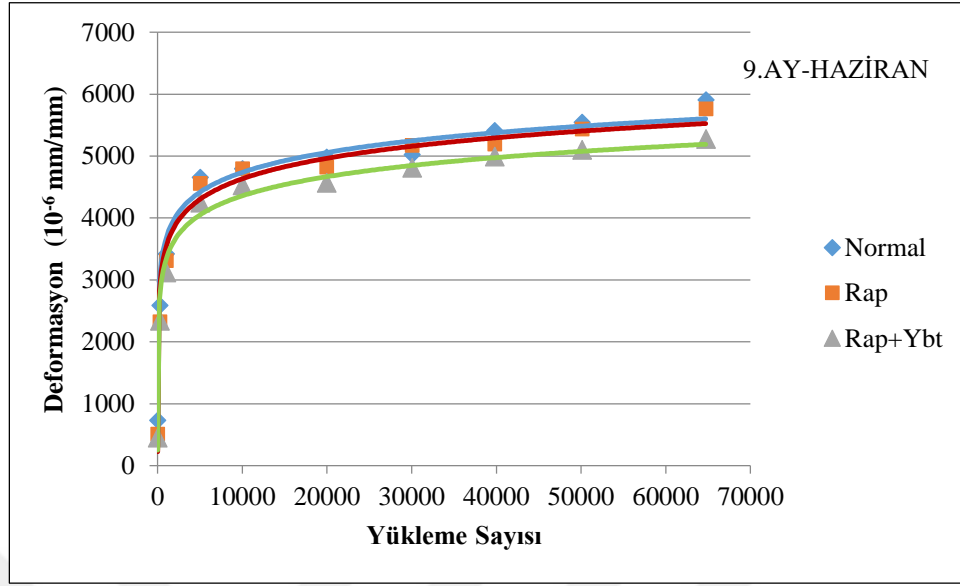
Karışımlar için dinamik sünme deneyinden elde edilen, kalıcı deformasyonun yükleme sayısına göre değişimi tüm aylar için sırasıyla Şekil 4.25'te verilmiştir.

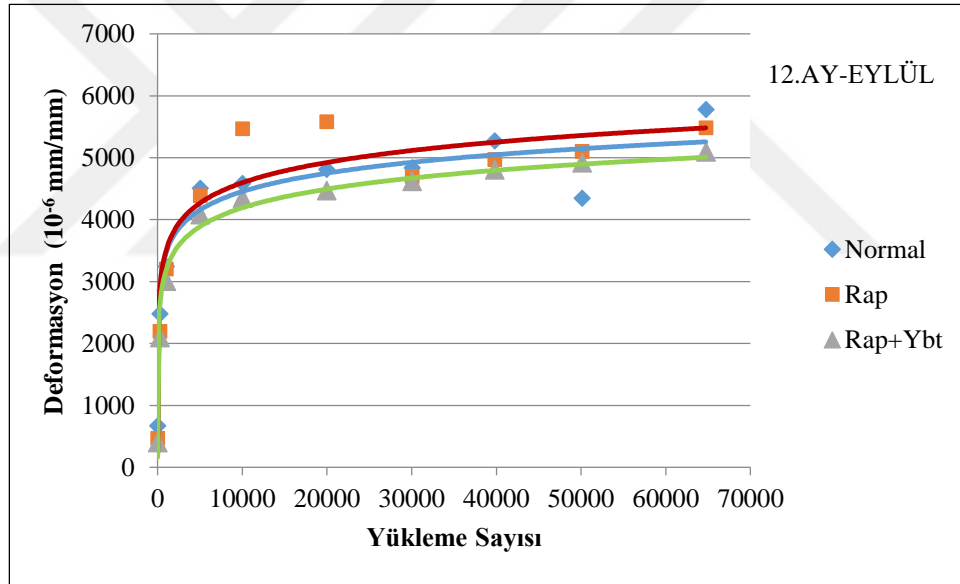
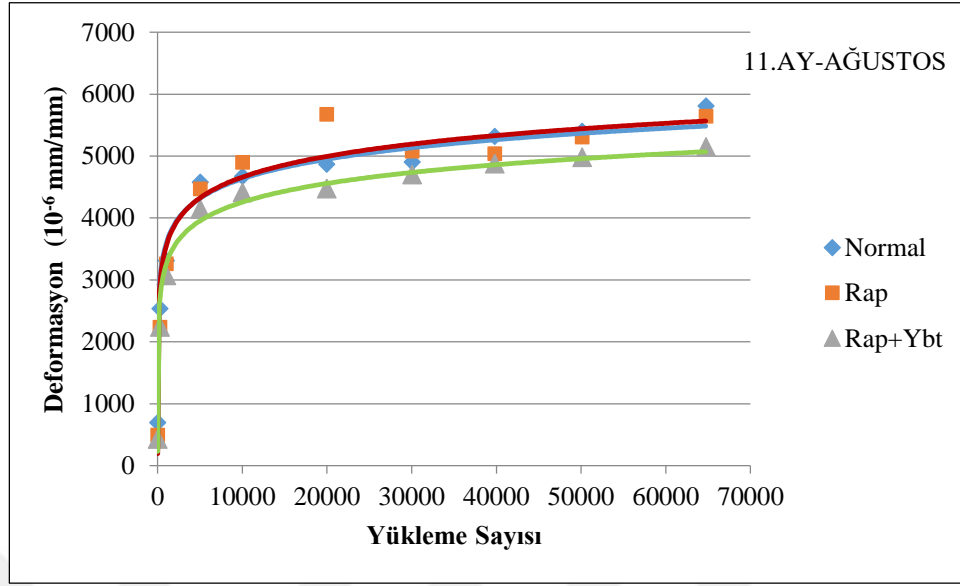












Şekil 4.25 Karışımların deformasyon-yük tekrar sayısı ilişkisi

Şekil 4.25 incelendiğinde her bir karışım için 20000 yük tekrar sayısından sonra deformasyonların büyük değişimler göstermediği belirlenmiştir. RAP eklenmiş karışımda oluşan deformasyonlar, normal karışıma göre Ekim ayında %14.3, Mart

ayında %3.0, Eylül ayında %5.2 oranlarında azalış göstermiş iken RAP ve YBT filleri eklenmiş karışımda Ekim ayında %7.8, Mart ayında %7.9 ve Eylül ayında %11.9 oranlarında tespit edilmiştir. Grafiklerden anlaşılacağı gibi normal karışımda oluşan deformasyonlar, RAP ve YBT filleri içeren karışımlara göre fazla olmuştur.



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Mevcut aşınma dizaynına uygun olarak asfalt plentinde üretilen bitümlü sıcak karışım ile kazılmış asfaltın %20 oranında karışıma katılması ve kazınmış asfaltın ilave edildiği karışıma da yeşil Bayburt trasının filler olarak ilave edilmesi sonucu üretilen üç çeşit sıcak karışımın, aktif bir yol yüzeyine serilerek 1 yıl süre boyunca her ay karot numuneleri alınması suretiyle yapılan Marshall stabilite-akma, dolaylı çekme mukavemeti, dolaylı çekme esneklik modülü ve dinamik sünme deneylerinden elde edilen bulgular neticesinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Laboratuar ortamında yapılan Marshall dizaynı neticesinde %20 RAP oranına karar verilerek asfalt plentinde üretilen sıcak karışım için bu oranın uygun olduğu karot numunelerine yapılan deneyler sonucunda tespit edilmiştir.
- RAP malzemesinin olduğu kaplamadan alınan karot numunelerinin stabilite değerleri 12 ay boyunca geleneksel (normal) kaplamadan daha yüksek çıkmıştır. RAP malzemesi, normal karışımın stabilite değerini 12.ay olan Eylül ayında yaklaşık %9.2 oranında artırmış iken RAP ile YBT'nin beraber kullanılmasıyla bu artış %14.7 seviyesine ulaşmıştır. YBT ilavesi stabilite değerlerini daha da artırmıştır. Buradan filler olarak kullanılan YBT'nin karışımın tekerlek izi direncini artırmada önemli bir rol oynadığı anlaşılmaktadır. Arazi uygulamasının yapıldığı Bayburt ilinde gündüz ile gece arasındaki sıcaklık farkları özellikle sonbahar ve kış aylarında çok fazla olup donma çözünme olayına çok sık rastlanılmaktadır. Bu olaya rağmen atık malzeme içeren kaplamalarda herhangi bir stabilite kaybı gerçekleşmemiştir. Ayrıca soğuk aylarda stabilite değerlerinde artış olduğu dolayısıyla soğuk iklimlerde daha iyi sonuçlar alınabileceği görülmüştür. Ancak bilindiği gibi stabilitedeki çok yüksek artışlar düşük ısı çatlaklarının oluşmasına neden olabilmektedir. Uygulamanın yapıldığı yol yüzeyinde bu tip olumsuzluklara rastlanmamıştır.
- Dolaylı çekme mukavemeti deney sonuçları 12 aylık periyot dikkate alındığında kullanılan atık malzemeler genel itibariyle normal karışımın

mukavemetini artırmış olup trafik yükleri altında kaplamada oluşan çekme gerilmelerine karşı direnç sağlamıştır.

- Dolaylı çekme esneklik modülü deney sonuçlarından, kullanılan atık malzemelerin bilhassa filler olarak kullanılan YBT'nin kaplamada oluşan kalıcı deformasyonlara karşı direnci artırdığı tespit edilmiştir. Ayrıca iklim şartları ve trafik etkisi göz önüne alındığında YBT'nin bitümün agregaya yapışma özelliğini artırarak su hasarına karşı direnç kazandırdığı aşikardır.
- Dinamik sünme deneyinden, karışımlarda görülen deformasyonların 2000 yük tekrarına kadar hızlı bir şekilde arttığı, bu yük tekrarından sonra ise azaldığı görülmüştür. Bu ani deformasyon artışlarının konsolidasyon kaynaklı sıkışmadan olduğu belirlenmiştir. Ancak kaplamada oluşabilecek kalıcı deformasyonlara karşı hem RAP içeren hem de RAP ile YBT içeren karışımların 1 yıl boyunca her mevsim ve trafik etkisi de göz önünde bulundurulduğunda daha dirençli davranış gösterdiği net bir şekilde ortaya konmuştur. Ekseriyetle karışımda YBT'nin etkisi göz ardı edilemez.
- Mevcut asfalt plentinde geleneksel sıcak karışım üretimi yapılmasına karşın ilave mekanik tertibatlar yardımıyla atık malzeme içeren karışımlar üretilmiştir. Bu noktada seri üretim yapılabilmesi adına plent tesislerine ilave pahalı olmayan basit modifiyeler yapılarak üretimlerin seri hale getirilebileceği görülmüştür.
- Bilindiği gibi RAP malzemesi son yıllarda aktif olarak mevcut karışımlarda doğrudan ya da değişik katkılarla tekrar kullanılmaktadır. Bu çalışmada ikinci bir atık malzeme olarak yeşil Bayburt trası kullanılarak kaplama performansı artırılmış olup bu iki çeşit atık malzeme birlikte tekrar kullanılabilir hale getirilmiştir.

Sonuç olarak, bitümlü sıcak karışımların iklim ve artan trafiğin etkisine karşı daha performanslı hale gelebilmesi için çok değişik tip ve oranlarda katkıları kullanılarak modifikasyonlar yapılmaktadır. Bu uygulamalar, kaplamaların performansını artırmakta olup bitüm maliyeti yanında katkı, mevcut asfalt plentine ilave tesisler, işletme ve benzeri gibi ek maliyetler de getirmektedir. Yapılan bu çalışma hiçbir ek

maliyet getirmeden daha performanslı kaplamaların inşası için yeni bir çözüm üretmekle beraber atık malzemelerin tekrar değerlendirilmesi noktasında da çevreci bir çözüm getirmektedir. Bu bağlamda yapılacak farklı çalışmalarda değişik tipte atık malzemelerin sıcak karışımlarda kullanılabilirliği araştırılabilir.



6. KAYNAKLAR

- ABT Laboratuvar Ve Müşavirlik Hizmetleri A.Ş (2019). Suyun Tesirine Karşı Dayanıklılık Soyulma Mukavemeti Deneyi. [Http://Www.Abtlab.Com.Tr](http://www.abtlab.com.tr), 02.03.2019.
- Ahmedzade, P., Alataş, T., & Geçkil, T. (2008). Asfalt Betonunda Siyah Karbonun Filler Olarak Kullanımı. İMO Teknik Dergi, 4493(4507), 297.
- Akbulut, H., İçağa, Y., & Gürer, C. (2003). Atık Agregaların Asfalt Yol Kaplamalarında Tekrar Kullanım İmkanları Ve CEN Standartları. III Ulusal Kırmataş Sempozyumu, 3-4.
- APA Yayıncılık Reklamcılık Fuarcılık Ve İletişim Hiz. Ltd. Şti., (2019). BSK Serim Çalışmaları. [Http://Yolteknolojileri.Com.Tr/İcerik/7037/Baskente-2-Milyon-Ton-Asfalt](http://yolteknolojileri.com.tr/icerik/7037/Baskente-2-Milyon-Ton-Asfalt), 07.02.2019.
- Asphalt Institute, (2002). The History Of The Asphalt ,Annual Magazine.
- Astek Kaplama Ve Asfalt Teknolojileri İnş.San.Tic.Ltd.Şti. (2019). Çatlak Tamiri Derz Dolgusu. [Http://Www.Asfaltkaplama.Com](http://www.asfaltkaplama.com), 04.03.2019.
- ASTM, C. (2003). 131–03, “Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine”. West Conshohocken, USA.
- Bağdatlı, M. E. C., & Yıldırım, M. Ş. Karayolu Üstyapılarındaki Bozulmaların Bakım Maliyetlerine Etkisi. Nevşehir Bilim Ve Teknoloji Dergisi, 6(1), 102-111.
- Baha, K. Ö. K., & KULOĞLU, N. (2008). İki Aşamalı Karıştırma Yönteminin Bitümlü Sıcak Karışımların Mekanik Özelliklerine Etkisi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 12(1), 35-48.
- Baldino, N., Rossi, C. O., Lupi, F. R., & Gabriele, D. (2017). Rheological and structural properties at high and low temperature of bitumen for warm recycling technology. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 532, 592-600.
- Bartın Üniversitesi, (2019). Professor Paul J. Tikalsky Ders Notları. [Http://Ypl.Bartın.Edu.Tr/Handler/Dosyahandler.Ashx?Dosyaid=29766](http://ypl.bartın.edu.tr/handler/dosyahandler.ashx?dosyaid=29766), 17.03.2019

- Baydar, Y. (2019) Asfalt Betonu Kaplamalarda Meydana Gelen Bozulmalar, Nedenleri Ve İyileştirilmeleri. [Www.Docplayer.Biz.Tr](http://www.Docplayer.Biz.Tr).
- Behnood, A., Gharehveran, M. M., Asl, F. G., & Ameri, M. (2015). Effects of copper slag and recycled concrete aggregate on the properties of CIR mixes with bitumen emulsion, rice husk ash, Portland cement and fly ash. *Construction and Building Materials*, 96, 172-180.
- Bostancıoğlu, M. (2012). Bitkisel Atıklardan Elde Edilen Kimyasal Ürünler İle Bitümlü Sıcak Karışımların Mekanik Özelliklerinin Geliştirilmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Bressi, S., Cavalli, M. C., Partl, M. N., Tebaldi, G., Dumont, A. G., & Poulidakos, L. D. (2015). Particle clustering phenomena in hot asphalt mixtures with high content of reclaimed asphalt pavements. *Construction and Building Materials*, 100, 207-217.
- Cere, S. (2005) Otoyol Esnek Üstyapı İnşaatında Kalite Kontrolleri Ve Kalite Yönetim Sistemlerinin Uygulanabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü .
- Clark, B. R., Piacere, L., & Gallage, C. (2017). Effects Of Recycled Asphalt Pavement On The Stiffness And Fatigue Performance Of Multigrade Bitumen Asphalt. *Journal Of Materials İn Civil Engineering*, 30(2), 04017278.
- Çolak. K.,(2006), Asfalt Kaplamalarda Sinerjik Performansının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Deniz M.T. (2009) Esnek Üstyapı Kaplamalarında Bitümlerle Birlikte Bağlayıcı Olarak Granüler Sülfür Kullanımının Kalıcı Deformasyona Etkisi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Elkashef, M., Podolsky, J., Williams, R. C., & Cochran, E. (2017). Preliminary examination of soybean oil derived material as a potential rejuvenator through Superpave criteria and asphalt bitumen rheology. *Construction and Building Materials*, 149, 826-836.
- Fakhri, M., & Ahmadi, A. (2017). Recycling Of RAP And Steel Slag Aggregates Into The Warm Mix Asphalt: A Performance Evaluation. *Construction And Building Materials*, 147, 630-638.
- Frigio, F., Raschia, S., Steiner, D., Hofko, B., & Canestrari, F. (2016). Aging effects on recycled WMA porous asphalt mixtures. *Construction and Building Materials*, 123, 712-718.

- Geçkil T. (2008) Siyah Karbonun Bitümlü Sıcak Karışımların Özelliklerine Etkisinin Araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Gerengi, H., Özgan, E., Akçay, Ç., & Arslan, İ. (2012). Asfalt Betonu İçerisine Konulan Düşük Karbon Çeliğinin% 3.5 Nacl Ortamındaki Korozyonunun İncelenmesi. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 3(1), 5-11.
- Güngör, A. G., Orhan, F., Kaşak, S., & Dost, Y. (2008). Kazılmış Asfalt Kaplamaların Yeniden Kullanımı, Karayolu 1. Ulusal Kongresi (1-3 Nisan), Ankara.
- Gürer, C., Akbulut, H., & Kürklü, G. (2004). İnşaat Endüstrisinde Geri Dönüşüm Ve Bir Hammadde Kaynağı Olarak Farklı Yapı Malzemelerinin Yeniden Değerlendirilmesi. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, 28-36.
- Haghshenas, H. F., Kim, Y. R., Kommidi, S. R., Nguyen, D., Haghshenas, D. F., & Morton, M. D. (2018). Evaluation of long-term effects of rejuvenation on reclaimed binder properties based on chemical-rheological tests and analyses. Materials and Structures, 51(5), 134.
- Harvey, J., Lee, T., Sousa, J. O. R. G. E., Pak, J., & Monismith, C. L. (1994). Evaluation Of Fatigue And Permanent Deformation Properties Of Several Asphalt-Aggregate Field Mixes Using Strategic Highway Research Program A-003A Equipment. Transportation Research Record, 1454(123), 1994.
- Ilacılı, M., Tayfur, S., Ozen, H., Sönmez, I., Ve Eren, K., (2001), Asfalt Ve Uygulamalar, İsfalt Bilimsel Yayın No:1, İstanbul, Yıldız Teknik Üniversitesi Yayın Merkezi Başkanlığı
- İnsapedia, (2019). Asfalt Kenar Çatlağı. <https://İnsapedia.Com/Asfalt-Yollarda-Meydana-Gelen-Kusur-Ve-Hasar-Cesitleri/Asfalt-Kenar-Catlagi> 07.01.2019
- İstanbul Büyükşehir Belediyesi, (2001). Asfalt ve Uygulamaları, İSFALT Bilimsel Yayın No:1. İstanbul
- İstanbul Büyükşehir Belediyesi, (2002). Asfalt El Kitabı İSFALT Bilimsel Yayın No:2. İstanbul.
- Jeotest Ltd Şti, (2018). Elek Takımı . [Http://Www.Jeotest.Com.Tr/Tr/Anasayfa/607-Elek-Takimi-Asfalt-.Html](http://Www.Jeotest.Com.Tr/Tr/Anasayfa/607-Elek-Takimi-Asfalt-.Html), 07.12.2018
- Kandhal, P., & Cooley, L. A. (2002). Evaluation Of Permanent Deformation Of Asphalt Mixtures Using Loaded Wheel Tester.

- Karaçor, F. (2018). Bitümlü Sıcak Karışımlarının Üç Eksenli Basınç Testi Altında Deformasyon Direncinin Belirlenmesi (Doctoral Dissertation, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Karayolları Genel Müdürlüğü, (1995). Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi, Ankara, 93s.
- Karayolları Genel Müdürlüğü, (2013). Karayolları Teknik Şartnamesi, Ankara.
- Kearney, E., & Huffman, J. (1999). Full-Depth Reclamation Process. Transportation Research Record: Journal Of The Transportation Research Board, (1684), 203-209.
- Kizirgil. M.E, (2013). Stiren-Butadien-Stiren Ve Uçucu Külün Birlikte Kullanılmasının Bitümlü Sıcak Karışımların Mekanik Özelliklerine Etkisi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- KÖK, B. V., YILMAZ, M., & KULOĞLU, N. (2012). Asfaltitin Bitüm Ve Bitümlü Sıcak Karışımların Mekanik Özelliklerine Etkisi. Teknik Dergi, 23(111), 5813-5826.
- Kuloğlu, N., Kök, B. V., & Durmaz, B. (2006). Beton Asfaltın Farklı Türden Temeller Üzerindeki Serbest Basınç Mukavemet Değerinin Değişimi. Fırat Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Dergisi, 18(1), 91-97.
- Kutluhan, S., & Açar, E. (2011). Bitümlü Sıcak Karışımlarda Tekerlek İzi Oluşumunu Etkileyen Faktörler Ve Azaltmaya Yönelik Öneriler. İTÜDERGİSİ/D, 8(6).
- Laving, (2003), P.G., Asphalt Pavements, Spon Press, London And New York, 2003
- Leng, Z., Sreeram, A., Padhan, R. K., & Tan, Z. (2018). Value-added application of waste PET based additives in bituminous mixtures containing high percentage of reclaimed asphalt pavement (RAP). Journal of cleaner production, 196, 615-625.
- Lopes, M., Gabet, T., Bernucci, L., & Mouillet, V. (2015). Durability of hot and warm asphalt mixtures containing high rates of reclaimed asphalt at laboratory scale. Materials and Structures, 48(12), 3937-3948.
- Maden Teknik Arama, (2005). Bayburt Doğal Taş Potansiyeli Maden Jeolojisi Raporu.
- Marasteanu, M., Li, X., Clyne, T., Voller, V., Timm, D. Ve Newcomb, D.,(2004), "Low Temperature Cracking Of Asphalt Concrete Pavements" Minnesota

Department Of Transportation Office Of Research Services, MN/RC – 2004-23

Menapace, I., Cucalon, L. G., Kaseer, F., Arámbula-Mercado, E., Martin, A. E., Masad, E., & King, G. (2018). Effect Of Recycling Agents In Recycled Asphalt Binders Observed With Microstructural And Rheological Tests. *Construction And Building Materials*, 158, 61-74.

Mikhailenko, P. (2015). Valorization Of By-Products And Products From Agro-Industry For The Development Of Release And Rejuvenating Agents For Bituminous Materials (Doctoral Dissertation, Université Paul Sabatier-Toulouse III).

Milli Eğitim Bakanlığı, Ham Petrolün Destilasyonu, 2012

Movea Ltd., (2019). Asfalt Bozulmaları Neden Oluşur. <https://www.movea.com.tr/asfalt-bozulmalari-neden-olusur/>, 14.03.2019

National Asphalt Pavement Association, (2004).

Oruç, Ş. (1997). Tortul Kalker Taşocağı Agregalarının Asfalt Betonunda İçerisindeki Performansının Araştırılması. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Y. Lisans Tezi, 70.

Oruç, Ş. (2002), Yoğun Granülometrilik Emülsifiye Asfalt Betonunda Çimentonun Karışım Performansı Üzerindeki Etkisi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Oruç, Ş., Yılmaz, B., & Sancak, K. (2016). Effect Of Boron-Containing Additives On Rheological Properties Of Asphalt Binder. *Road Materials And Pavement Design*, 17(4), 810-824.

Öcal, A., Gürü, M., & Karacasu, M. (2018). Improvement Of Bitumen Performance Properties With Nano Magnesium Spinel And Colemanite. *Journal Of The Faculty Of Engineering And Architecture Of Gazi University*, 33(3), 939-951.

Önal, A., & Kahramangil, M. (1993). Bitümlü Karışımlar Laboratuvarı El Kitabı. Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara.

Özgan, E., Serin, S., & Kap, T. (2011). Sıcak Karışım Parametrelerinin Marshall Stabilitesine Etkisinin Çok Yönlü İncelenmesi. In 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), Elazığ.

- Paliukaite, M., Assuras, M., & Hesp, S. A. (2016). Effect of recycled engine oil bottoms on the ductile failure properties of straight and polymer-modified asphalt cements. *Construction and Building Materials*, 126, 190-196.
- Poulikakos, L. D., Papadaskalopoulou, C., Hofko, B., Gschösser, F., Falchetto, A. C., Bueno, M., ... & Loizidou, M. (2017). Harvesting the unexplored potential of European waste materials for road construction. *Resources, Conservation and Recycling*, 116, 32-44.
- Pradyumna, T. A., & Jain, P. K. (2016). Use of RAP stabilized by hot mix recycling agents in bituminous road construction. *Transportation Research Procedia*, 17, 460-467.
- Recycling, A., & Reclaiming Association. (2001). *Basic Asphalt Recycling Manual*. Annapolis, Md.
- Salta, İ. (2010). *Bitümlü Karışımların Geri Dönüşüm Yöntemlerinin İncelenmesi (Doctoral Dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü)*.
- Santucci, L. (2007). *Recycling Asphalt Pavements: A Strategy Revisited*. Tech Topics,
- Seçginli, M. (2007). *Kara Yolu Esnek Üst Yapılarında Sönmüş Kireç Katkısının Düşük Sıcaklık Çatlama Direncine Etkisi*.
- Seferoğlu, A. G. A. G., Seferoğlu, A. G. M. T., & Akpınar, M. V. (2015). *Yol Aşınma Tabakasının Geri Dönüşüm Malzemesi Olarak Ulaşım Üstyapısında Kullanılabilirliğinin Araştırılması Investigating The Usability Of Road Wearing Course As A Recycled Material In Highway Superstructure*.
- Seferoğlu, A. G., Seferoğlu, M. T., & Akpınar, M. V. *Türkiye’de Geri Dönüşüm Asfalt Kaplamaların (Rap) Bağlayıcısız Temel Tabakalarında Kullanılabilirliği Ve Şartname Gereksinimleri*.
- Stimilli, A., Virgili, A., & Canestrari, F. (2017). Warm recycling of flexible pavements: Effectiveness of Warm Mix Asphalt additives on modified bitumen and mixture performance. *Journal of Cleaner Production*, 156, 911-922.
- Şengöz B, Ağar E, 2005. *Asfalt Film Kalınlığının Bitümlü Karışımların Yaşlanmasına Etkisi, İtüdergisi/D Mühendislik Cilt:4, Sayı:1, 71-82 Şubat 2005*

- Şengül, C.E. (2011). Sönmüş Küreç İle SBS Ve Elyaf Türü Katkı Maddelerinin SMA Karışımların Performansı Üzerindeki Etkileri, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Taşdemir.Y., (2003) Bitümlü Kaplamaların Termal Davranışlarının Performans Testleri İle İncelenmesi, Doktora Tezi, İ.T.Ü., İstanbul
- Tekin, İ. (2017). Bayburt Bölgesinde Bulunan Farklı Agrega Tipleri İle Üretilen Geleneksel Betonların Mekanik Mukavemetleri Üzerine Bir Çalışma. Politeknik Dergisi, 20(3).
- Topyay Taş Madencilik Ltd. Şti. (2018). Yeşil Bayburt Taşı Teknik Özellikleri. [Http://Www.Bayburttasi.Com/Bayburt-Tasi/Bayburt_Yesil_Tasi_Teknik.Jpg](http://www.bayburttasi.com/Bayburt-Tasi/Bayburt_Yesil_Tasi_Teknik.Jpg) 11.12.2018
- Tuncan, M., Tuncan, A., & Cetin, A. (2019). Şehir İçi Yollarda Uygulanan Asfalt Kaplamalara Genel Bakış. [Www.İmo.Org.Tr/Resimler/Ekutuphane/Pdf/11633](http://www.imo.org.tr/Resimler/Ekutuphane/Pdf/11633).
- Tunç, A. (2004). Esnek Kaplama Malzemeleri Elkitabı. Asil Yayın Dağıtım.
- Tunç, A. (2007). Yol Malzemeleri Ve Uygulamaları. 2.Baskı, Nobel Yayın Dağıtım.
- Türkiye Asfalt Müteahhitleri Derneği (2019). Yol Tabakaları. [Http://Www.Asmud.Org.Tr](http://www.asnud.org.tr), 15.02.2019.
- Türkiye İstatistik Kurumu, (2019). Motorlu Taşıt Sayısı. [Http://www.Tuik.Gov.Tr/Pretablo.Do?Alt_Id=1051](http://www.tuik.gov.tr/Pretablo.Do?Alt_Id=1051), 01.03.2019.
- Umar, F. Ve Açar, E., (1985). Yol Üstyapısı, İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- VAPUR, H., Soner, T. O. P., TEYMEN, A., & TÜRKMENOĞLU, M. (2013). Elazığ Ferrokrom Tesisi Cürufurlarının Agrega Özelliklerinin Araştırılması. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 28(1), 77-88.
- Washington Asphalt Pavement Association. (2002). WAPA Asphalt Pavement Guide. WAPA, Washington.
- Whiteoak, D. (2004). Shell Bitüm El Kitabı, Lav, A.H. Ve Lav, A., İsfalt Bilimsel Yayın No:3, İstanbul, 2004

- Yalova Çevre Ve Şehircilik İl Müdürlüğü, (2018). Los Angles Aşınma Deneyi. [Http://Yalova.Csb.Gov.Tr/Ar-Ge-Calismalarimiz-Kapsaminda-Los-Angeles-Asinma-Deneyi-Yapildi-Haber-95673](http://Yalova.Csb.Gov.Tr/Ar-Ge-Calismalarimiz-Kapsaminda-Los-Angeles-Asinma-Deneyi-Yapildi-Haber-95673), 28.10.2018.
- Yayla N., (2002), Karayolu Mühendisliği, Birsen Yayın Evi, İstanbul
- Ye, Q., Wu, S., & Li, N. (2009). Investigation Of The Dynamic And Fatigue Properties Of Fiber-Modified Asphalt Mixtures. International Journal Of Fatigue, 31(10), 1598-1602.
- Yılmaz B. (2016). Bor İçerikli Organik Katkıyla Modifiye Edilen Asfaltın Performans Özelliklerinin Araştırılması, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yılmaz F. (2015). Tüfit Taşların Zemin Stabilizasyonunda Kireçle Birlikte Kullanılabilirliğinin Standart Deneyler Ve Bilgisayarlı Tomografi Tekniği İle Araştırılması, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yılmaz M. (2011). Asfaltın Bitümlü Sıcak Karışımların Mekanik Özellikleri, Doktora Tezi, Fırat Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yılmaz, M., Kök, B. V., & Kuloğlu, N. (2011). Karayolu Esnek Üstyapı Malzemelerinin Geri Dönüşümünde Köpük Asfalt Yönteminin Kullanılması.
- Yılmaz, M., Kuloğlu, N., & Kök, B. V. (2012). Asfaltın Bitüm ve Bitümlü Sıcak Karışımların Mekanik Özelliklerine Etkisi.

7. EKLER

Ek-1 Dizayn Raporu

Ek-2 Stabilite düzeltme çarpımı katsayıları



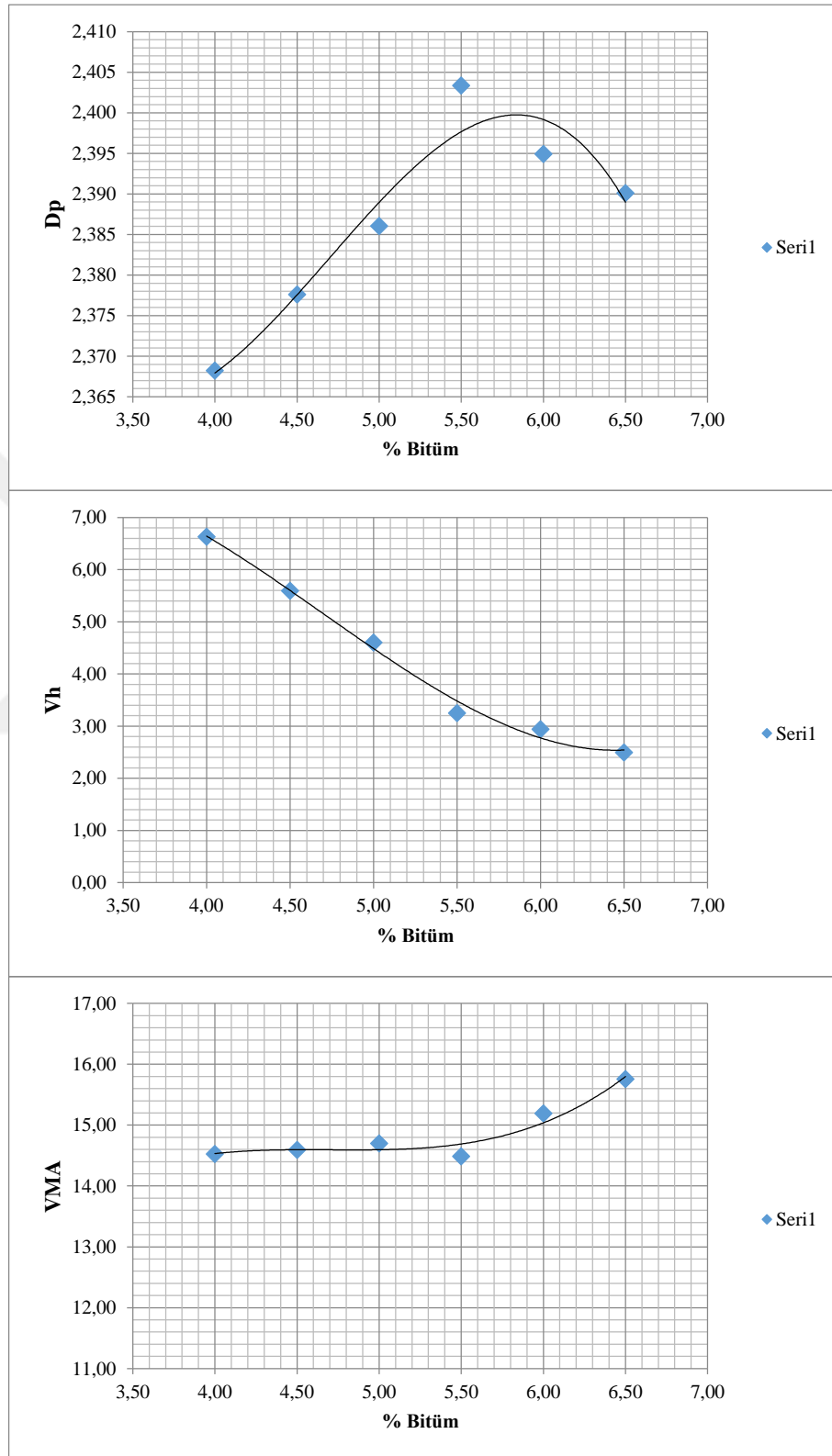
EK-1**Ek 1a Marshall Tasarım Değerler Tablosu**

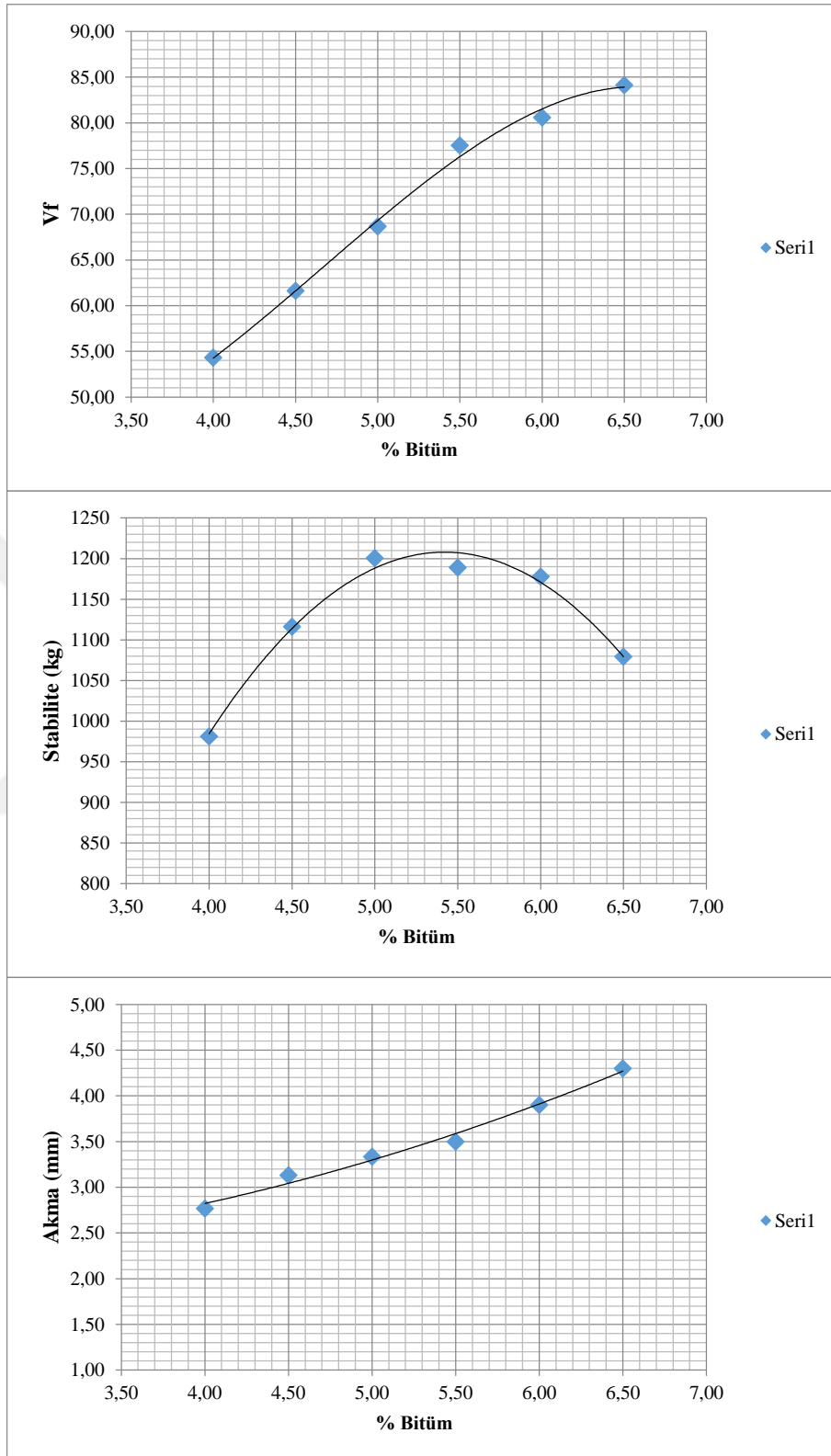
Agrega gradasyonu		
%K	Kaba agrega yüzdesi (No4 elek üzeri)	52,8
%İ	İnce agrega yüzdesi (No4-No200)	41,4
%F	Filler yüzdesi (No200 elek altı)	5,8
Agrega özgül ağırlıkları		
Gkb	Kaba agrega hacim özgül ağırlığı	2,694
Gka	Kaba agrega zahiri özgül ağırlığı	2,736
Gib	İnce agrega hacim özgül ağırlığı	2,606
Gia	İnce agrega zahiri özgül ağırlığı	2,714
Gfa	Filler zahiri özgül ağırlığı	2,616

Bitüm özgül ağırlığı ve karışım özgül ağırlıkları		
Gb	Bitüm özg. Ağırlığı	1,023
Gsb	Agrega karışımının hacim özg. Ağırlığı	2,664
Gsa	Agrega karışımının zahiri özg. Ağırlığı	2,728
Gef	Agrega karışımının efektif özg. Ağırlığı	2,696

Briket özellikleri	
Briketteki agreg ağırlığı (gr)	1150

Ek 3a Marshall Tasarım Grafikleri





EK-2

Boy	Katsayısı	Boy	Katsayısı	Boy	Katsayısı	Boy	Katsayısı
51	1,460	55,9	1,239	60,8	1,074	65,7	0,947
51,1	1,455	56	1,235	60,9	1,071	65,8	0,945
51,2	1,450	56,1	1,231	61	1,068	65,9	0,943
51,3	1,445	56,2	1,228	61,1	1,065	66	0,941
51,4	1,440	56,3	1,224	61,2	1,062	66,1	0,939
51,5	1,435	56,4	1,220	61,3	1,059	66,2	0,939
51,6	1,430	56,5	1,216	61,4	1,056	66,3	0,938
51,7	1,425	56,6	1,213	61,5	1,053	66,4	0,936
51,8	1,420	56,7	1,209	61,6	1,049	66,5	0,934
51,9	1,415	56,8	1,205	61,7	1,046	66,6	0,932
52	1,410	56,9	1,201	61,8	1,043	66,7	0,930
52,1	1,405	57	1,198	61,9	1,040	66,8	0,928
52,2	1,400	57,1	1,194	62	1,038	66,9	0,925
52,3	1,395	57,2	1,190	62,1	1,035	67	0,923
52,4	1,390	57,3	1,187	62,2	1,033	67,1	0,920
52,5	1,386	57,4	1,184	62,3	1,030	67,2	0,916
52,6	1,381	57,5	1,181	62,4	1,028	67,3	0,915
52,7	1,377	57,6	1,178	62,5	1,025	67,4	0,913
52,8	1,373	57,7	1,174	62,6	1,023	67,5	0,910
52,9	1,369	57,8	1,171	62,7	1,020	67,6	0,908
53	1,364	57,9	1,168	62,8	1,018	67,7	0,905
53,1	1,359	58	1,165	62,9	1,015	67,8	0,903
53,2	1,355	58,1	1,162	63	1,013	67,9	0,900
53,3	1,351	58,2	1,159	63,1	1,010	68	0,898
53,4	1,346	58,3	1,156	63,2	1,008	68,1	0,895
53,5	1,342	58,4	1,153	63,3	1,005	68,2	0,893
53,6	1,338	58,5	1,149	63,4	1,003		
53,7	1,333	58,6	1,146	63,5	1,000		
53,8	1,329	58,7	1,143	63,6	0,998		
53,9	1,324	58,8	1,137	63,7	0,995		
54	1,320	58,9	1,134	63,8	0,993		
54,1	1,316	59	1,131	63,9	0,990		
54,2	1,311	59,1	1,128	64	0,988		
54,3	1,307	59,2	1,124	64,1	0,985		
54,4	1,303	59,3	1,121	64,2	0,983		
54,5	1,298	59,4	1,118	64,3	0,980		
54,6	1,294	59,5	1,115	64,4	0,978		
54,7	1,289	59,6	1,112	64,5	0,975		
54,8	1,285	59,7	1,109	64,6	0,973		
54,9	1,281	59,8	1,106	64,7	0,970		
55	1,276	59,9	1,103	64,8	0,968		
55,1	1,272	60	1,099	64,9	0,963		
55,2	1,268	60,1	1,096	65	0,960		
55,3	1,263	60,2	1,093	65,1	0,958		
55,4	1,259	60,3	1,090	65,2	0,956		
55,5	1,254	60,4	1,087	65,3	0,954		
55,6	1,250	60,5	1,084	65,4	0,953		
55,7	1,246	60,6	1,081	65,5	0,951		
55,8	1,243	60,7	1,078	65,6	0,949		



8. ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Akif ŞENTÜRK 1986 yılında Bayburt'ta doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Bayburt'ta tamamladı. 2009 yılında Trakya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 2013 yılının ortalarına kadar özel sektörde çalıştı. 2015 yılının 2. döneminde yüksek lisans eğitimine başladı. 2013 yılında Bayburt İl Özel İdaresinde kamu görevine başladı ve halen görevine devam etmekte olan Şentürk, evli ve bir kız çocuğu babasıdır.