

**T.C.
BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Yüksek Lisans Tezi

BİTÜMLÜ İLİK KARIŞIMLARIN MEKANİK ETÜDÜ

Adem ÜNVERMEZ

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Yüksel TAŞDEMİR

Yozgat 2011

**T.C.
BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Yüksek Lisans Tezi

BİTÜMLÜ İLİK KARIŞIMLARIN MEKANİK ETÜDÜ

Adem ÜNVERMEZ

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Yüksel TAŞDEMİR

Yozgat 2011

T.C.
BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEZ ONAYI

Enstitümüzün İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı 7011070004 numaralı öğrencisi Adem ÜNVERMEZ'in hazırladığı "Bitümlü İlk Karışımların Mekanik Etüdü" başlıklı YÜKSEK LİSANS tezi ile ilgili TEZ SAVUNMA SINAVI, Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği uyarınca 25/05/2011 Çarşamba günü saat 14:00'te yapılmış, tezin onayına OY-ÇOKLUĞU / OY BİRLİĞİYLE karar verilmiştir.


Başkan :Doç. Dr. Yüksel TAŞDEMİR (Danışmanı)

Üye :Yrd. Doç. Dr. Fuat KÖKSAL

Üye :Yrd. Doç. Dr. Osman GENÇEL

ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulu'nun 24/06/2011 tarih ve ...07...sayılı kararı ile onaylanmıştır.

24.06.2011

Yrd. Doç. Dr. Mustafa EROL
Bozok Üniversitesi
Fen Bil. Erst. Müdür V.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
GRAFİKLER LİSTESİ	vii
KISALTMALAR LİSTESİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. ESNEK YOL ÜST YAPILARI	3
2.1. Yol Üst Yapısında Kullanılan Malzemeler	5
2.1.1. Agrega	5
2.1.1.1. İdeal Agrega Standartları	6
2.1.1.2. Agregalara Uygulanan Deneyler	7
2.1.1.2.1. Elek Analizi	7
2.1.1.2.2. Aşınma (Los Angeles) Deneyi	7
2.1.1.2.3. Agregaların Hava Etkilerine Karşı Dayanıklılık (Donma) Deneyi	8
2.1.1.2.4. Su Tesirine Dayanıklılık (Soyulma Direnci) Deneyi	8
2.1.1.2.5. Cilalanma Deneyi	8
2.1.1.2.6. Yassılık İndeksi Deneyi	9
2.1.1.2.7. Özgül Ağırlık ve Su Emme (Absorbsiyonu) Deneyi	9
2.1.1.2.8. Birim Hacim Ağırlık Deneyi	9
2.1.1.3. Agreganın Sınıflandırılması	9
2.1.1.3.1. Elde Ediliş Şekline Göre Sınıflandırma	9
2.1.1.3.2. Dane Boyutlarına Göre Sınıflandırma	10
2.1.2. Bitümlü Bağlayıcı	11
2.1.2.1. Bitümlü Bağlayıcılar Üzerinde Yapılan Deneyler	13
2.1.2.1.1. Penetrasyon Deneyi	13
2.1.2.1.2. Düktilite Deneyi	14
2.1.2.1.3. Yumuşama Noktası Deneyi	14
2.1.2.1.4. Özgül Ağırlık Deneyi	15

2.1.2.1.5. Viskozite Deneyi	16
2.1.2.1.6. Yüzdürme Deneyi	17
2.1.2.1.7. Eriticilerde Erime Deneyi	17
2.1.2.1.8. Yanma (Parlama) Noktası Deneyi	18
2.1.2.2. Bitümlü Bağlayıcının Kalitesi	18
3. BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLAR	21
3.1. Bitümlü Sıcak Karışımların Özellikleri	21
3.1.1. Stabilite	21
3.1.2. Durabilite	22
3.1.3. Fleksibilite	22
3.1.4. Kayma Mukavemeti	22
3.1.5. İşlenebilirlik (Workabilite)	22
3.1.6. Ekonomik	22
3.2. Bitümlü Sıcak Karışımların Üretimi	23
3.3. Bitümlü Sıcak Karışım Serilecek Yüzeyin Hazırlanması	24
3.4. Bitümlü Sıcak Karışımların Serimi ve Sıkıştırılması	24
4. BİTÜMLÜ ILIK KARIŞIMLAR	26
4.1. Bitümlü Ilık Karışımların Potansiyeli ve Üstünlükleri	27
4.1.1. Emisyonların Azalması	27
4.1.2. Yakıt Kullanımının Azalması	28
4.1.3. Yapım Sırasındaki Avantajları	28
4.1.4. İşçilerin Maruz Kaldığı Emisyonların Azalması	29
4.2. Bitümlü Ilık Karışımların Üretim Teknikleri	29
4.2.1. Kimyasal Katkılarla Üretim	29
4.2.2. Organik Katkılarla Üretim	29
4.2.2.1. FT – Parafin (Sasobit)	30
4.2.2.1.1. FT – Parafin Modifikasyonunun Üstünlükleri	31
4.2.3. Köpüklendirme Tekniğiyle Üretim	32
4.3. Bitümlü Ilık Karışım Uygulamaları ve Performansı	32
5. DENEYSEL ÇALIŞMA	35
5.1. Malzeme Karakteristiklerinin Belirlenmesi	35
5.1.1. Bitümlü Bağlayıcı ve Katkı Maddeleri	35

5.1.2. Agrega ve Bitümlü Karışım	36
5.2. Karışımlar Üzerinde Uygulanan Deneyler	37
5.2.1. Marshall Deneyi	37
5.2.2. Dolaylı Çekme Mukavemeti Deneyi	39
5.3. Deney Numunelerinin Hazırlanması	40
5.4. Maksimum Teorik Özgül Ağırlık Hesaplamaları	41
5.5. Sıkıştırılmış Bitümlü Karışımların Doygun – Yüzey Kuru Numunelerle Hacim Özgül Ağırlığı Hesapları	42
5.6. Marshall Stabilite Deneyi ve Sonuçları	43
5.7. Dolaylı Çekme Mukavemeti Deneyi ve Sonuçları	47
SONUÇLAR VE İRDELEME	51
KAYNAKLAR	54
ÖZGEÇMİŞ	56

BITÜMLÜ ILIK KARIŞIMLARIN MEKANİK ETÜDÜ

Adem ÜNVERMEZ

**Bozok Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

2011; Sayfa: 56

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Yüksel TAŞDEMİR

ÖZET

Bitümlü sıcak karışımların karışım ve sıkıştırma sıcaklıklarının yüksek olması enerjinin daha fazla kullanılmasına ve çevrenin olumsuz etkilenmesine sebep olmaktadır. Bu da ülke ekonomisini ve emisyonun artmasıyla çevreyi olumsuz etkilemektedir.

Bitümlü karışımların içine katkı maddeleri katılarak, karışımın sıcaklığı normal bitümlü sıcak karışımlara göre 25 – 55 °C daha düşük sıcaklıklara sahip bitümlü karışımlar üretilmekte ve sıkıştırılmaktadır. Bu tür bitümlü karışımlar, bitümlü ılık karışımlar olarak adlandırılmaktadır. Katkı maddeleri katılarak üretilen bitümlü ılık karışım, klasik bitümlü sıcak karışım ile aynı ve hatta daha iyi özelliklere sahip olabilmektedir.

Bu çalışmada, 160/220 penetrasyon dereceli bitümlü bağlayıcı iki farklı vaks türü FT – parafin - sasobit (S) ve polietilen vaks (PW), ile modifiye edilmiştir. Hazırlanan numunelerin üzerinde Marshall stabilite ve dolaylı çekme deneyleri yapılarak, karışımın performansı incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bitümlü Ilık Karışım, Marshall Stabilitesi, Dolaylı Çekme Dayanımı.

MECHANICAL PROPERTIES OF WARM MIX ASPHALT

Adem ÜNVERMEZ

**Bozok University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering
Master of Science Thesis**

2011; Pages: 56

Thesis Supervisor: Assoc. Prof. Yüksel TAŞDEMİR

ABSTRACT

The mixing and compaction temperatures of hot bituminous mixtures are high this situation causes using of more energy and a negative impact on the environment. This condition negatively affects the country's economy and environment with increase in emissions.

The mixing and compaction of the bituminous mixtures may be decreased with addition of additives (25 to 55 °C). This type of bituminous mixtures called as warm mix asphalt. Warm mix asphalt which is produced by using additives may have same or even better properties then conventional bituminous mixtures.

In this study, 160/220 penetration grade bitumen was modified using two different types of additives (FT – paraffin – sasobit (S) and polyethylene wax (PW)). The different mixtures were produced with unmodified and modified bitumen. Marshall stability and indirect tensile tests were done on prepared specimens and the mixtures performance were investigated.

Keywords: Warm Mix Asphalt, Marshall Stability, Indirect Tensile Strength.

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın planlanması ve yürütülmesinde benden destek ve ilgisini esirgemeyen, bilgi ve önerilerinden yararlandığım danışman hocam sayın Doç. Dr. Yüksel TAŞDEMİR'e sonsuz saygı ve Őükranlarımı sunarım.

İnşaat Mühendisliği Araştırma görevlisi sayın Mehmet BAYAZİT'e ve Lisans Öğrencileri Mustafa KURT, Recep ÇALIŐKAN ve Salih Murat ŐEYRAN'a Çok kıymetli eŐim ve kızıma teşekkür ederim.

Adem ÜNVERMEZ

Yozgat 2011

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1: Tipik Bir Esnek Üstyapı Kesiti	4
Şekil 2.2: Tipik Bir Yol Üstyapı Kesiti ve Gerilme Dağılımı	5
Şekil 2.3: Boyutlarına Göre Agregalar	11
Şekil 2.4: Bitümlü Bağlayıcının Genel Görüntüsü	13
Şekil 2.5 : Penetrasyon Ölçüm Aleti	14
Şekil 2.6: Yumuşama Noktası Deney Aleti	15
Şekil 4.1 : Üretim Sıcaklıklarına Göre Karışımın Sınıflandırılması ve Kullanılan Yakıt Miktarı	28
Şekil 4.2 : FT - Parafinin Bitümlü Bağlayıcıya Katılmasının Genel Görüntüsü	30
Şekil 5.1: Agrega Gradasyonu	37
Şekil 5.2: Marshall Deney Cihaz Aleti	39
Şekil 5.3: Dolaylı Çekme Deney Cihaz Aleti	40
Şekil 5.4: Asfalt Mikseri	41
Şekil 5.5: Marshall Stabilitesi Deney Sonucu	46
Şekil 5.6: Numune Tipleri Dolaylı Çekme Mukavemeti Değişimi.....	50

TABLolar LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1: Türkiye’de Sıcaklık Dağılımına Göre Kullanılacak Bitümlü Bağlayıcı Sınıfları.....	19
Tablo 4.1: Tipik Bir Bitümlü Sıcak Karışımın Üretimine Göre WMA Teknolojisinde Emisyon Azalması	27
Tablo 4.2: Bitümlü Ilık Karışımın Deneme Kesimlerinin Bitümlü Sıcak Karışımın Deneme Kesimleriyle Karşılaştırılması	33
Tablo 5.1: Bitümlü Bağlayıcıların Geleneksel Reolojik Karakteristikleri ...	36
Tablo 5.2: Agreganın Fiziksel Özellikleri.....	36
Tablo 5.3: Karışımın Maksimum Teorik Özgül Ağırlık Değerleri	42
Tablo 5.4: Marshall Stabilite ve Akma Deneyine Tabi Tutulan Numunelerin Fiziksel Özellikleri (HP)	44
Tablo 5.5: Marshall Stabilite ve Akma Deneyine Tabi Tutulan Numunelerin Fiziksel Özellikleri. (S)	44
Tablo 5.6: Marshall Stabilite ve Akma Deneyine Tabi Tutulan Numunelerin Fiziksel Özellikleri. (PW)	44
Tablo 5.7: Numunelerin Marshall Stabilite ve Akma Değerleri (HP)	45
Tablo 5.8: Numunelerin Marshall Stabilite ve Akma Değerleri (S)	45
Tablo 5.9: Numunelerin Marshall Stabilite ve Akma Değerleri (PW)	45
Tablo 5.10: Dolaylı Çekme Deneyine Tabi Tutulan Numunelerin Fiziksel Özellikleri (HP)	47
Tablo 5.11: Dolaylı Çekme Deneyine Tabi Tutulan Numunelerin Fiziksel Özellikleri (S)	48
Tablo 5.12: Dolaylı Çekme Deneyine Tabi Tutulan Numunelerin Fiziksel Özellikleri (PW).....	48
Tablo 5.13: Dolaylı Çekme Mukavemeti ve Oranları (HP)	48
Tablo 5.14: Dolaylı Çekme Mukavemeti ve Oranları (S)	49
Tablo 5.15: Dolaylı Çekme Mukavemeti ve Oranları (PW)	49

SİMGELER VE KISALTMALAR

AASHTO	:	American Association of State Highway and Transportation
BSK	:	Bitümlü Sıcak Karışım
WMA	:	Bitümlü Ilık Karışım
D	:	Özgül Ağırlık
G_{mb}	:	Sıkıştırılmış Numunenin Hacim Özgül Ağırlığı (gr/cm ³).
G_{mm}	:	Sıkıştırılmış Numunenin Teorik Özgül Ağırlığı (gr/cm ³).
ITS	:	Dolaylı Çekme Mukavemeti
V_h	:	Sıkıştırılmış Karışımdaki Boşluk Oranı (%).
V_{ma}	:	Sıkıştırılmış Karışımdaki Agregalar Arası Boşluk (%).
V_f	:	Sıkıştırılmış Karışımdaki Bağlayıcı ile Dolu Boşluk (%).

1. GİRİŞ

Bir devletin kalkınmasında ulaşım kolaylığı önemli bir etkidir. İnsanlar eşyalarını taşıırken ve bir yerden başka bir yere giderken ulaştırma hizmetlerinden yararlanırlar. Ulaşım, yaşadığımız çağ için zorunlu bir ihtiyaçtır. Ulaşım sistemleri olmaksızın yaşamın devam ettirilmesi çok zordur. Sağlık, eğitim, yiyecek, giyecek vb. her türlü gereksinimin karşılanabilmesi için ulaşım zorunludur. Ulaştırma yöntemleri; karayolu ulaştırması, havayolu ulaştırması, demiryolu ulaştırması ve denizyolu ulaştırması şeklinde sıralanabilir.

1970'li yıllardan itibaren karayolu ulaşımına olan talep Dünya'nın her yerinde gün geçtikçe artan bir eğilim göstermektedir. Türkiye'de de ekonominin kalkınması ve refahın artmasında karayolu taşımacılığının, ulaştırma sektöründeki payı her geçen gün artmaktadır.

Devlet İstatistik Enstitüsü verilerine göre Türkiye'de kullanım amacına göre motorlu kara taşıt sayısı 2001 yılı ile 2009 yılı arasında araç sayısı % 76 artmıştır. Karayolu yük taşımacılığı 2001 yılı ile 2008 yılı arasında % 19, yolcu taşımacılığı 2001 yılı ile 2008 yılı arasında % 20 artmıştır [1]. Bu nedenle en önemli taşımacılık yöntemlerinden biri olan karayollarımız giderek ağırlaşan bir yük altındadır.

Bu verilerden de anlaşılacağı üzere kentler arası yolcu ve yük taşımacılığı her geçen gün hızla artış göstermektedir. Teknolojik gelişmelerle birlikte insanların konforlu, güvenli ve hızlı sürüş talebi artmıştır. Bununla birlikte trafik yükleri ve lastik iç basınçları da yükselmiştir. Saf bitümlü bağlayıcı ve yoğun gradasyonlu geleneksel bitümlü karışımın ihtiyaca cevap veremediği ve beklenen performansı gösteremediği gözlenmiştir. Bu yetersizlik, esnek üstyapılarda tekerlek izi oluşumunun, yorulma çatlaklarının ve termal çatlakların hızlanması şeklinde ortaya çıkmıştır [2].

Bu durum karşısında ABD ve Avrupa'da bir yandan agrega gradasyonlarının, bitümlü bağlayıcı şartnamelerinin geliştirilmesi yoluna gidilirken, diğer yandan bitümlü bağlayıcının performansını arttırmak için bazı katkı maddeleri katılmıştır [3].

Bitümlü bağlayıcının özelliklerini iyileştirme konusunda araştırmalar devam etmekte olup yapılan çalışmalar, bitümlü bağlayıcıya bazı polimerlerin eklenmesinin bitümlü bağlayıcının özelliklerini iyileştirdiği ve bitümlü bağlayıcıya üstün özellikler kazandırdığını ortaya koymuştur. Bitümlü bağlayıcının polimer ile modifiye edilmesi oldukça karmaşık ve masraflı olup özel bir ekipmana ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca, polimer ile modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcı ile yapılan karışımın üretim ve sıkıştırma sıcaklığı, saf bitümlü bağlayıcı ile yapılan karışımdan daha yüksektir. Kaplamanın kalitesini düşürmeden, bitümlü sıcak karışımın üretim ve sıkıştırma sıcaklığını azaltmak için bazı yeni işlemler geliştirilmiştir. Bu işlemlerden biride bitümlü bağlayıcının vaks ile modifiye edilmesidir. Bitümlü bağlayıcının vaks ile modifiye edilmesi için özel bir ekipmana ihtiyaç duyulmayıp, vaks, bitüm tankında bitümlü bağlayıcı ile karıştırılabilmekte veya erimiş halde agrega içerisine ilave edilebilmektedir [4].

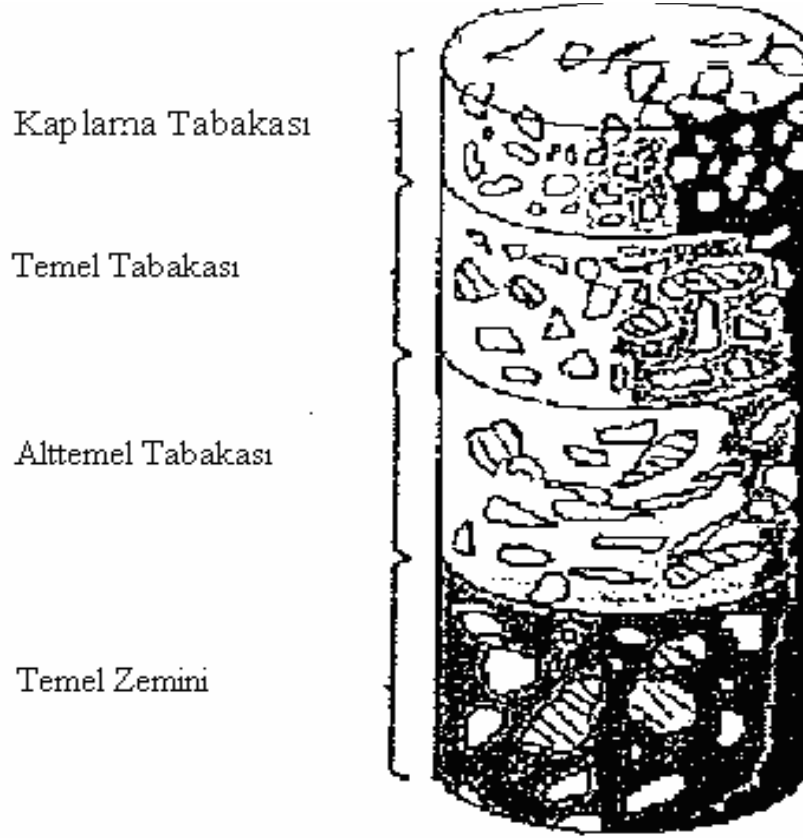
Artan küresel ısınma ve bitümlü sıcak karışımların üretimi sırasında ortaya çıkan emisyonlar nedeniyle; bitümlü karışımlar içerisinde ticari vaks kullanılmaya başlanmıştır. Ticari vaks kullanılarak üretilen bu karışımlar bitümlü ılık karışımlar olarak adlandırılmaktadır. Örneğin, FT – Parafin (sasobit) içeren bu karışımlar bitümlü sıcak karışımın sıcaklığını 20 – 30 °C arasında düşürmektedir. Bitümlü ılık karışımların karıştırma ve sıkıştırma sıcaklığının düşük olması enerji ve çevre açısından üstünlük sağlamakla birlikte, bitümlü karışımların daha uzun mesafelere taşınmasını ve yolun daha kısa süre de trafiğe açılabilmesini sağlamaktadır. Enerji tasarrufu ile ülke ekonomisini, emisyon azalmasıyla da çevreyi olumlu olarak etkilemektedir.

Bu çalışmada, modifiye edilmemiş ve ticari vakslar (FT - parafin - sasobit ve polietilen vaks) ile modifiye edilmiş bitümlü ılık karışımlar üzerine Marshall stabilite ve dolaylı çekme deneyleri yapılarak karışımların mekanik özellikleri incelenmiştir.

2. ESNEK YOL ÜST YAPILARI

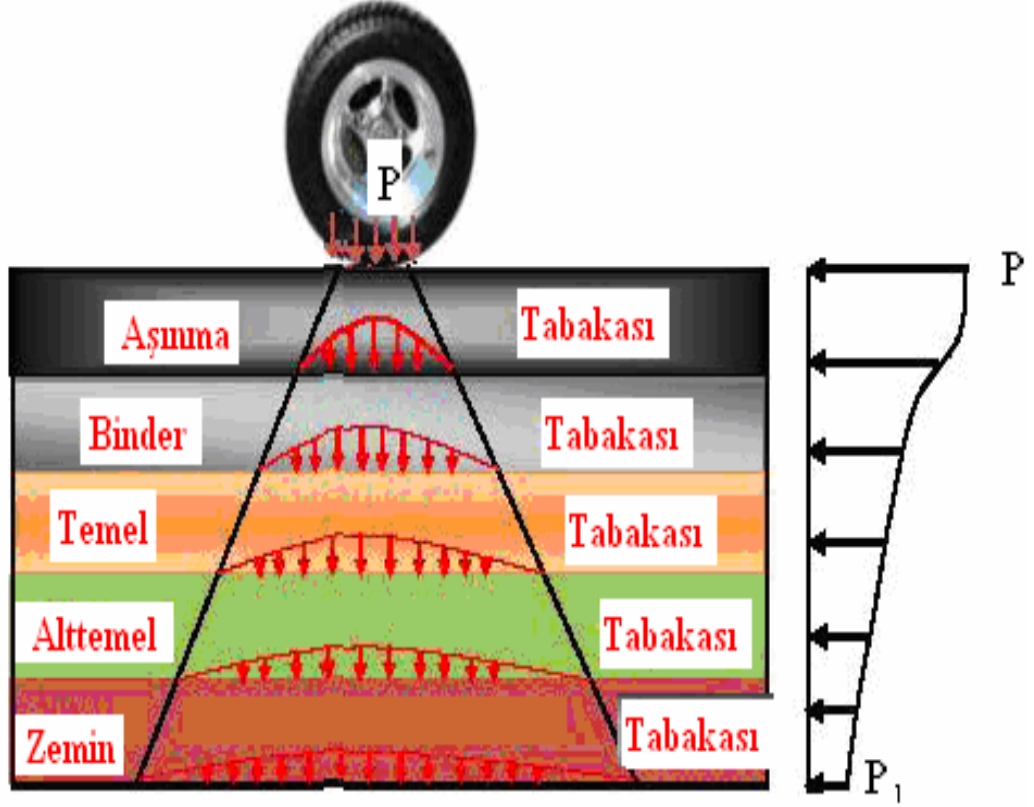
Önceden belirlenen geometrik standartlara göre saptanmış güzergâh boyunca, doğal zeminin istenilen yükseltilere getirilebilmesi ve üzerinde motorlu taşıtların istenilen hız, güvenlik ve konfor koşullarında hareketlerinin sağlanabilmesi amacıyla inşa edilen yapıların tümü karayolu yapısını oluşturmaktadır.

Esnek üstyapı, tesviye yüzeyi ile sıkı bir temas sağlayan ve yükleri taban zeminine dağıtan bir üstyapı şekli olup, bağlayıcısız alttemel veya temel malzemeleri üzerinde trafiğe bağlı olarak bitümlü karışımlar serilerek oluşturulan tabakalardan veya bitümlü sathi kaplamalardan oluşmaktadır. Stabilitesi agrega kenetlenmesine, dane sürtünmesine ve kohezyona bağlıdır. Trafik yüklerini altyapının taşıyabileceği değere indirmek, altyapıyı korumak ve düzgün bir yuvarlanma yüzeyi sağlamak, esnek üstyapıların amacıdır. Esnek yol üstyapısı, taşıtlara uygun bir yuvarlanma yüzeyi sağlamak, trafiğin aşındırma etkilerine karşı koymak ve alt yapıya sızan yüzeysel su miktarını ve temel tabakasına iletilen kayma gerilmelerini azaltmak amacıyla temel tabakası üzerine inşa edilen bir yol kaplamasıdır. Esnek yol üstyapısı altındaki temel tabakası, bağlayıcısız ya da bir bağlayıcı maddeyle işlem görmüş olan belirli granülometrideki malzemeden oluşur. Ana görevi, üstyapının yük taşıma kabiliyetini artırmaktır. Ayrıca, trafik hareketlerinden doğan yüksek kayma gerilmelerine karşı koyabilecek, drenaja yardımcı olabilecek ve don olaylarına karşı da koruma sağlayabilecek özelliklere sahip olmalıdır. Alttemel ise, trafik yüklerinin taban üzerine yayılımını sağlamak, ince taneli altyapıların temel tabakasına nüfuz etmelerini önlemek, ayrıca su ve don tesirlerine karşı direnimsizlik sağlamak, tampon bölge görevi yapmak için tesviye yüzeyi üzerine serilen tabakadır [5]. Şekil 2.1. de esnek bir üstyapısının tabakaları gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Tipik Bir Esnek Üstyapı Kesiti [6]

Üstyapının taban zeminden üst kısma doğru çıkıldıkça, tabakalarda kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri ve kaliteleri yükselmektedir. Çünkü kaplama tabakası, üstyapının trafik yüklerine doğrudan maruz kalan en üst tabakasıdır. Karayolu üstyapısı, trafiği güvenli olarak ve ekonomik bir şekilde taşımak zorundadır. Trafik yükleri nedeniyle oluşan basınç ve çekme gerilmelerinin en yüksek seviyede olması nedeniyle, üstyapının diğer tabakalarına göre daha yüksek elastisite modülüne sahip olmalıdır. Esnek yol üstyapılarında; iri ve ince agrega, filler ve bitümlü bağlayıcının tesislerde karıştırılıp düzgün bir tabaka halinde serilip sıkıştırılarak elde edilen bir yol kaplamasıdır. Esnek yol üstyapısında ağırlıkça % 93 – 96 arasında agrega kullanılmaktadır. Bu nedenle agrega granülometrisi önemli bir faktördür [7]. Şekil 2.2. Tipik bir yol üstyapı kesiti ve gerilme dağılımı verilmiştir.



Şekil 2.2. Tipik Bir Yol Üstyapı Kesiti ve Gerilme Dağılımı [8]

2.1 Yol Üstyapısında Kullanılan Malzemeler

Yol üstyapısında kullanılan malzemeler agrega malzemesi ve bitümlü bağlayıcı malzemesi olarak iki kısma ayrılırlar.

2.1.1. Agrega

Agrega; tabii ve yapay her iki cins yoğun mineral malzemenin, genellikle 100 mm'ye kadar çeşitli büyüklüklerdeki kırılmamış veya kırılmış danelerinin bir yığıdır. Esnek yol üst yapısının hammaddesidir. Esnek yol üstyapısının yaklaşık olarak ağırlıkça % 95'lik, hacimce ise % 85'lik bölümünü agrega oluşturmaktadır. Agreganın tipi, yüzey pürüzlülüğü, yassılık durumu, gradasyonu gibi özellikleri bitümlü karışımın yorulma ve tekerlek izi açısından performansları üzerinde büyük bir öneme sahiptir. Dolayısıyla yol tasarım süresi boyunca agregalara önemli rol düşmektedir. Bu nedenle kullanılan agregalarda aranan temel özellikler vardır. Yapılan tasarım özelliğine göre agregalarda aranan özellikler de farklı olacaktır. Yol tabakası, çeşitli kalınlıkta ve farklı görevleri olan birden fazla katmandan meydana

gelmektedir. Yolun üstyapısını oluşturan ve en önemli katmanlardan biri olan aşınma tabakası, yol güvenliği açısından önemli parametrelerden birini meydana getirir. Yolun servis süresini güvenli bir şekilde tamamlaması ve arzu edilen özelliklerini uzun süre koruması için kullanılan agregaların, sürtünme katsayılarının yüksek olması ve servis ömrü boyunca cilalanmaya karşı yüksek dayanım sağlaması istenir [6].

2.1.1.1. İdeal Agregat Standartları

Agregalar kullanma yeri ve amacına göre, granülometrik bileşim, dane şekli, dane dayanımı, aşınma direnci, dona dayanıklılığı ve zararlı maddeler bakımından gereklerini yerine getirmelidir. Ayrıca, suyun etkisi altında yumuşamamalı, dağılmamalı, bitümlü bağlayıcılar ile zararlı bileşikler meydana getirmemelidir.

Dane Dağılımı: Agreganın dane dağılımı, granülometri eğrileri (elek eğrileri) ve gerektiğinde bu eğrilere bağlı olarak tayin edilen incelik modülü, özgül yüzey ve su istek katsayıları ile belirtilir.

Dane Şekli: Agregat danelerinin şekli, olabildiği kadar küresel ve kübik olmalıdır. Danenin en büyük boyutunun en küçük boyutuna oranı 3'den büyük olan danelere şekilce kusurlu daneler denir. Şekilce kusurlu daneler (yassı veya uzun daneler) oranı, 8 mm 'nin üzerindeki agregalarda ağırlıkça %50 'den çok olmamalıdır.

Dane Dayanımı: Agregat taneleri, istenilen özellikli bir yolun yapımına elverişli olacak kadar dayanıklı olmalıdır. Bu özellik, doğal olarak oluşmuş kum ve çakılda veya bunlardan kırılarak elde edilen agregalarda, doğada uğradıkları ayıklanma olayı ile sağlanmaktadır.

Dona Dayanıklılık: Bir agreganın dona dayanıklılığı öngörülen kullanma amacı için yeterli olmalıdır. Doğal olarak oluşmuş kum ve çakıl veya bunlardan kırılarak elde edilen agregalar, doğada uğradıkları ayıklanma olayı dolayısıyla çoğunlukla çok az miktarda dona duyarlı daneler içerir. Sürekli donma ve çözünme olmayan yörelerde bu özellik aranmaz.

Zararlı maddeler: Bitümlü bağlayıcının (katılaşmasına) veya sertleşmesine zarar veren, asfalt dayanımını veya doluluğunu (kompositesini) azaltan, parçalanmasına

neden olan veya tehlikeye düşüren maddelerdir. Dağılışı ve miktarlarına bağlı olarak zararlı etkiyen maddeler şunlardır. Yıkanabilir maddeler, organik kökenli maddeler, sertleşmeye zarar veren maddeler, bazı kükürtlü bileşikler, yumuşayan, şişen ve hacmi artıran maddeler, klorürler gibi korozyona sebep olan maddelerdir.

Yıkanabilir Maddeler: Yıkanabilir maddeler, agregada ince halde dağılmış veya toprak halinde veya agrega tanelerine yapışık olarak bulunabilir. Bu maddeler genellikle kil, silt ve çok ince taş tozudur [9].

2.1.1.2. Agregalara Uygulanan Deneyler

Agregaların karayolu üstyapısında kullanılabilmesi için, bunların aşınmaya ve donmaya karşı dirençlerin, özgül ağırlık, su absorpsiyonu, soyulma değerlerinin, elek analizleri ve dane şeklerinin, sürtünme etkileriyle oluşacak cilalanmaya karşı dirençlerinin bilinmesi yeterlidir. Agregalara uygulanan deneyler, ilgili şartname numaralarıyla birlikte aşağıda verilmiştir [10].

2.1.1.2.1. Elek Analizi (AASHTO T-11, T-27; ASTM C- 136)

Bu deney yöntemi, standartlarda nitelikleri verilmiş olan elekler kullanılarak agreganın tane büyüklüğünün saptanmasında kullanılır [10]. Agreganın karışımının yoğunluğunun artması ile stabilitesi de artmaktadır [11]. Eleme işlemi elle ya da eleme makinesiyle yapılır.

2.1.1.2.2. Aşınma (Los Angeles) Deneyi (A.S.T.M. C 131- 55; AASHTO T-96)

Bu deney, agregaların sertliği veya aşınmaya karşı direnci kaplamanın trafik etkilerine dayanmasında önemli rol oynar. Bu işlem Los Angeles makinesiyle gerçekleştirilir. Agregalar Los Angeles aletinde aşınmaya uğratılır. Aşınan malzeme yüzdesi saptanır. Bu değer şartnamede belirtilen sınırın altında kalması gerekir [11].

2.1.1.2.3. Agregaların Hava Etkilerine Karşı Dayanıklılık (Donma) Deneyi (ASTM-C88; AASHTO T-104)

Agregaların hava etkileri ile donarak ufalanmaya karşı olan dirençleri hakkında, laboratuvarında kısa süre içinde bir karar vermek amacı ile uygulanan hızlandırılmış bir deneydir.

Kuru ve elenmiş agrega örneği doymuş bir sodyum sülfat veya magnezyum sülfat eriyiğine batırılır. Sonra çıkarılıp süzülür ve fırında kurutulur. Agrega danelerinin boşluklarına dolan eriyik kuruyken basınç meydana getirerek agrega yüzeyinde çatlama, ufalanma veya pullaşma ve kırılma gibi etkiler gösterir. Bu deney, birçok kere (5) tekrarlanır. Yıkayıp kurutulduktan sonra numuneler gözle incelenir. Elenerek dane boyutunda değişme olup olmadığı kontrol edilir. Sonuçlar yüzde kayıp cinsinden “donma kaybı” olarak belirtilir. Sağlam agregalarda bu değer küçük olacaktır [11].

2.1.1.2.4. Su Tesirine Dayanıklılık (Soyulma Direnci) Deneyi (Nicholson Yöntemi)

Bir asfalt kaplamanın ömrü, geniş ölçüde, suyun etkisine karşın asfalt ile agrega daneleri arasındaki yapışma durumuna bağlıdır. Soyulma yüzeyinin bütün yüzeye oranı soyulmaya karşı direnç olarak verilir [11].

2.1.1.2.5. Cilalanma Deneyi (BS-812)

Bu deneyin amacı, çeşitli yol agregalarının trafik altında sürtünme ile aşınarak ne dereceye kadar cilalanacaklarını laboratuvarında kısa bir zamanda saptamaktır. Yol yüzeyinin cilalanan bir taştan yapılmış olması, yolun kaymaya karşı direncine etkileyen başlıca faktörlerden biridir. Deney iki kısımdan oluşur;

- Agrega numunesi hızlandırılmış cilalanma makinesinde cilalanma işlemine tabi tutulur.
- Agrega numunesinin cilalanma makinesinde eriştiği cilalanma durumu, bu numunenin yüzeyi ile sarkaç tipindeki portatif kayma direnci ölçme aletinin lastik takozu arasındaki sürtünme kat sayısı olarak ölçülür. Sonuç “cilalanma

kat sayısı” olarak belirtilir. Bu kat sayının değeri trafik altında fazla cilalanan agregalar için 0,30’dan başlar 0,80’e kadar çıkabilir.

2.1.1.2.6. Yassılık İndeksi Deneyi (BS -812)

Yassı agrega tanelerinin en küçük boyutunun anma boyutuna oranının 0,6’dan küçük olması şeklinde tanımlanır. İki elek arasında kalan tane için bu iki elek boyutunun aritmetik ortalaması anma boyutu olarak kabul edilir [10].

2.1.1.2.7. Özgül Ağırlık ve Su Emme (Absorbsiyonu) Deneyi (ASTM C 127– 59, TS EN 1907-6)

Özgül ağırlık belirli hacimdeki numune ağırlığının aynı hacimdeki +4 °C’deki suyun ağırlığına oranıdır [10].

2.1.1.2.8. Birim Hacim Ağırlık Deneyi (TS 3529)

Bu deney agregaların sıkışık ya da gevşek birim ağırlıklarını belirleyebilmek için yapılır. Deneyde kullanılacak numune miktarı en büyük tane boyutuna bağlı olarak değişir [10].

2.1.1.3. Agreganın Sınıflandırılması

Agregaların sınıflandırılması elde edilmiş şekline göre ve dane boyutlarına göre yapılmaktadır.

2.1.1.3.1. Elde Edilmiş Şekline Göre Sınıflandırma

Doğal agrega (Doğal taş agregası): Doğal taş agrega, nehirlerden, denizlerden, göllerden ve taş ocaklarından elde edilen kırılmış veya kırılmamış agregadır.

Yapay agrega (Sanayi ürünü agrega): Yüksek fırın cüruf taşı, izabe cürufu veya yüksek fırın cüruf kumu gibi sanayi ürünü olan kırılmış veya kırılmamış agregadır.

(Yapay taş veya yapay kum da denir.)

2.1.1.3.2. Dane Boyutlarına Göre Sınıflandırma

İnce agregâ: 4,75 mm ile 0,075 mm arasındaki elekler üzerinde kalan agregâdır. Kırılmış, elenmiş, taş, kum, çakıl veya doğal olarak ocaklardan elenerek elde edilir. Sert, sağlam, temiz olmalı ve içerisinde kil, organik maddeler % 3'den fazla bulunmamalıdır.

Kum: Kırılmamış tanelerden meydana gelen ince agregâdır.

Kırma kum: Kırılmış tanelerden meydana gelen ince agregâdır. Çakılın kırılması ile elde edilir.

Yapay kum: İzabe cürufu veya yüksek fırın cüruf kumundan oluşur.

İri agregâ: 4,75 mm açıklıklı kare delikli elek üzerinde kalan agregâdır. Kırılmış, elenmiş, taş, çakıl veya bunların karışımından oluşur. Agregâ daneleri kübik ve keskin köşeli, sert, sağlam ve temiz olmalı, kil ve organik maddeler % 1'den fazla iri agregâ içerisinde bulunmamalıdır.

Çakıl: Kırılmamış tanelerden meydana gelen iri agregâdır.

Kırmataş (mıcır): Kırılmış tanelerden meydana gelen iri agregâdır.

Yapay taş: Yüksek fırın cüruf taşından yapılır [6].

Mineral Filler : 0,075 mm altı tanelerden meydana gelir. Taş tozu, uçucu kül veya benzeri plastik olmayan malzemelerden oluşur. Taş tozu konkasörle kırılarak elde edilir. Şekil 2.3. Boyutlarına göre agregâ dağılımı verilmiştir.



a) Taş Tozu (0- 5 mm) Arası



b) 1 No Agregta (5- 12mm) Arası



c) 2 No Agregta (12-22mm) Arası



d) 3 No Agregta (22-32mm) Arası



d) Kırma Taş (22-70mm) Arası

Şekil 2.3. Boyutlarına Göre Agregalar [6]

2.1.2. Bitümlü Bağlayıcı

Doğal ve projen orjinli hidrokarbonların veya bunların her ikisinin bir birleşimi olup çok defa bunların gaz, sıvı, yarı katı ya da katı olabilen metal dışı türevleri ile bir arada bulunan, yapıştırıcı özellikleri olan ve karbon disülfürde tamamen çözünen madde olarak tanımlanır. Sıvı hidrokarbonlara ham petrol, gaz halindekilere doğal gaz, katı olanlara ise bileşimlerine bitümlü bağlayıcı adı verilmektedir. Bitümlü

bağlayıcı ham petrolden elde edilir. Ham petrolün genelde deniz canlıları ve bitkisel madde kalıntılarının okyanus tabanındaki çamur ve kaya parçalarıyla karışmasından kaynaklandığı kabul edilmektedir. Milyonlarca yıl boyunca bu organik maddeler ve çamur, yüzlerce metre kalınlığında katmanlar halinde birikmiş ve üzerlerindeki katmanların muazzam ağırlığıyla alt katmanlar tortul kayalar haline gelmiştir.

Organizma ve bitkisel maddelerin ham petrolün hidrokarbonları haline dönüşmesinin nedeni yer kabuğundan gelen sıcaklık, üst tortul tabakalarının yaptığı basınç, bakteriyel oluşum ve radyoaktif etkilerin bir sonucu olduğu düşünülmektedir. Petrolün oluştuğu tortular, tortul kayalar üzerinde birikirken ilave basınçların etkisiyle sıkıştırılan petrol, bu gözenekli kayaların içerisinden yana ve üste ilerlemiştir. Gözenekli kayaların yeryüzüne doğru uzandığı yerlerde petrol dışarıya sızmış ve daha önce bahsettiğimiz birikintileri oluşturmuştur. Petrol ve gazın büyük bir çoğunluğu gaz ve petrol rezervleri oluşturacak şekilde geçirgen olmayan başka bir kaya altında kalan gözenekli kayalar içerisinde hapsolmuştur.

Petrol, sismik yöntemler kullanılarak yeri belirlenene ve etrafındaki geçirgen olmayan kayalar delinerek çıkartılıncaya kadar bu rezervlerde kalmıştır. Dünyadaki petrol üretimi ABD, Orta Doğu, Karayip Ülkeleri ve Rusya olmak üzere dört ana bölgede yapılmaktadır. Ham petroller fiziksel ve kimyasal özellikleriyle birbirlerinden farklılıklar gösterirler. Fiziksel olarak viskoz siyah sıvılardan, akışkan, saman renkli sıvılara kadar değişkenlik gösterirler. Kimyasal olarak petrol parafinik, naftenik veya aromatik olabilir. En fazla görülen ise parafinik ve nafteniğin çeşitli kombinasyonlarıdır.

Dünyada 1500 civarında, birbirinden farklı ham petrol elde edilmektedir. Çıkartılan ürünün kalite ve verimi göz önüne alındığında bunların yalnızca birkaç tanesi bitümlü bağlayıcı üretimi için uygundur, İngiltere'de bitümlü bağlayıcı çoğunlukla ya Orta Doğu ya da Güney Amerika'da üretilen ham petrolden imal edilmektedir.

İngiliz Standardı (BS 3690) 'na göre bitümlü bağlayıcı "Temel olarak hidrokarbonlar ve türevlerini içeren, trikloroetilen içerisinde çözünebilir, uçucu olmayan ve ısıtıldığında gittikçe yumuşayan, viskoz bir sıvı veya katı bir maddedir. Rengi siyah veya kahverengi olup su geçirmez ve yapışkandır (adezyon özelliği). Petrolün rafinaj

işlemi sırasında elde edildiği gibi doğal bir birikinti olarak veya içerisinde mineral maddelerle birlikte doğal bir şekilde ortaya çıkmış asfaltın bir bileşiği olarak da bulunabilmiştir" şeklinde tanımlamaktadır [6]. Şekil 2.4. Bitümlü bağlayıcının genel görüntüsü verilmiştir.



Şekil 2.4. Bitümlü Bağlayıcının Genel Görüntüsü [6]

2.1.2.1. Bitümlü Bağlayıcılar Üzerinde Yapılan Deneyler

Bitümlü bağlayıcılara uygulanan deneyler, bağlayıcının teknik şartnamelerde istenilen kurallara uygun olup olmadığının belirlenmesi için yapılır. Bitümlü bağlayıcılar üzerinde yapılan deneyler aşağıda verilmiştir.

2.1.2.1.1. Penetrasyon Deneyi

Bitümlü bağlayıcının kıvamlılığı 'Penetrasyon deneyi' ile tayin edilir. *Penetrasyon*; standart bir iğnenin belirli yük altında, belirli bir süre içinde, belli sıcaklıktaki bitümlü bağlayıcıya dikey doğrultuda batma uzunluğudur. Penetrasyon birimi 0,01 cm'dir. Penetrasyon cihaz göstergesindeki her taksimat 0,1 mm'ye eşittir. Penetrasyon değeri 500'e kadar olan bitümlü bağlayıcılarda numuneye 25 °C sıcaklıkta 5 saniye süre ile 100 gr'lık bir yük uygulanmaktadır. Penetrasyon değeri 500'ün üzerinde olan numuneler için deney 15 °C'de yapılmakta ve yükleme şartları değişmektedir [9]. Şekil 2.5. Penetrasyon ölçüm aleti görülmektedir.



Şekil 2.5. Penetrasyon Ölçüm Aleti

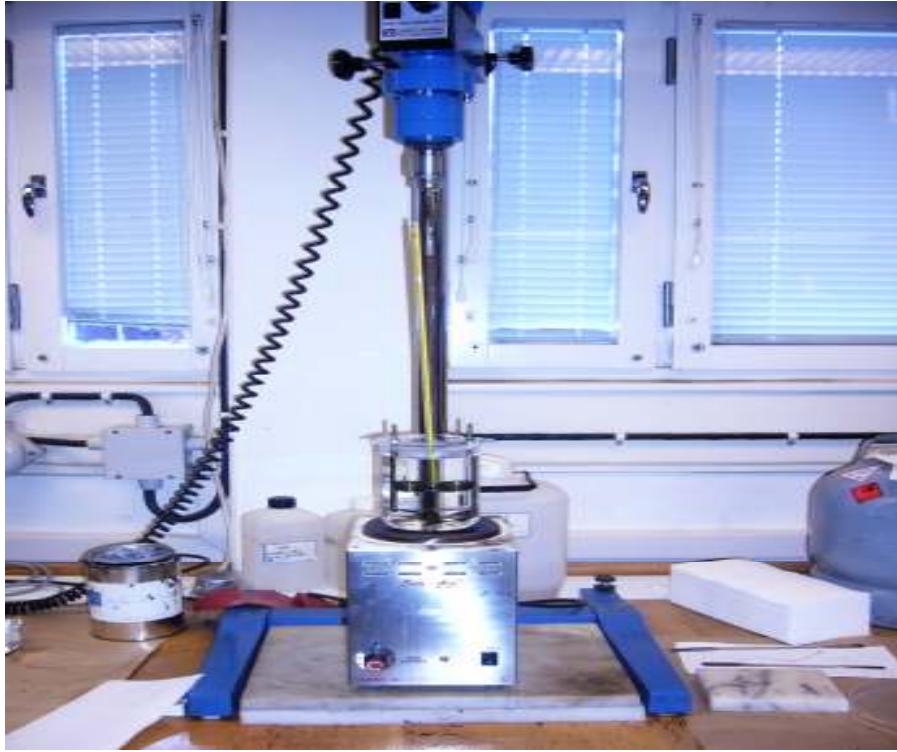
2.1.2.1.2. Düktilite Deneyi

Düktilite deneyi, bitümlü bağlayıcıların uzama kabiliyetini göstermektedir. Bitümlü karışımlar genleşme ve büzölmeler doğuran ısı değışikliklerine maruz kaldıklarından, bağlayıcıların belli bir düktilite özelliğine sahip olması gerekir. Bitümlü bağlayıcının düktilitesi; standart bir kalıpta hazırlanmış bir bitümlü bağlayıcı numunesinin her iki ucundan çekilerek uzatılması sonucunda koptuğu andaki mesafenin cm cinsinden ifadesidir [10].

2.1.2.1.3. Yumuşama Noktası Deneyi

Bitümlü bağlayıcıları sıcaklık karşısında farklı davranışlar göstermektedir. Bitümlü bağlayıcı, bitümlü maddelerin yumuşaması belli bir sıcaklıkta gerçekleşmez. 25 °C sıcaklıkta aynı penetrasyona sahip 2 bitümlü bağlayıcı numunesi farklı sıcaklıkta farklı özellikler gösterebilirler [10].

Çok sert bağlayıcılar için penetrasyon sifıra eşit olabilir. Ayrıca duyarlılığı yüksek olan bağlayıcılarda ortalama bir penetrasyon değeri bulmak güçtür. Çünkü dispersiyon fazladır. Bu gibi hallerde bağlayıcının kıvamını belirtmek için başka deneyler kullanılır. Bunlardan biri Halka Bilye metoduyla yumuşama noktasının saptanması deneyidir. Bu deneyle, standart çaplı bir bilyenin, yumuşatılan bir bağlayıcı zarını delerek belirli uzaklıkta bulunan tabana ulaştığı andaki sıcaklık derecesi ölçülür. Yumuşama noktası adı verilen bu sıcaklıkta asfaltlar eşit viskozitelere erişirler [11]. Şekil 2.6. Yumuşama noktası deney aleti görülmektedir.



Şekil 2.6. Yumuşama Noktası Deney Aleti

2.1.2.1.4. Özgül Ağırlık Deneyi

Bir bağlayıcının özgül ağırlığı bunun belli bir hacminin ağırlığının aynı hacimde su ağırlığına oranıdır. Bir bağlayıcının özgül ağırlığı başlıca iki bakımdan önemlidir. *Birincisi*; çok defa ağırlıkla hacim arasındaki bağıntının bilinmesi faydalıdır. Bitümlü karışımlara ait şartnamelerde oranlar ağırlıkça yüzde cinsinden belirtilir. Buna karşılık bağlayıcılar çok defa hacimce ölçülür. Bitümlü sıcak karışımlarda ise bağlayıcının genleşme katsayısının belirlenmesi faydalıdır. Böylece herhangi bir

sıcaklıktaki özgül ağırlık hesaplanabilir. Özgül ağırlık değeri formül 2.1. ile hesaplanmaktadır.

İkincisi; hidrokarbonlu bağlayıcının cinsinin bilinmesi açısından özgül ağırlık yararlıdır. Özgül ağırlık tayini için piknometre metodu kullanılır. Bu metotta, önce boş piknometre kabı kuru olarak tartılır, daha sonra su ile doldurulur ve tekrar tartılır. Piknometre kabı boşaltılır, kurutulur, içine uygun miktarda bağlayıcı genellikle 2/3 yüksekliğine kadar ya küçük parçalar halinde veya eritilmiş malzeme akıtılarak konulur. Eğer ısıtılmış malzeme akıtılacak ise malzeme içinde hava kabarcıkları kalmamasına dikkat edilmesi gerekir. Piknometre içinde kalan boşluk su ile doldurulur ve tartılır. Deneyde kullanılacak su saf su olmalıdır. Deney, genellikle 25 °C 'de yapılır. Farklı sıcaklıklarda yapılacaksa 25 °C 'ye çevirmek için çeşitli abaklardan yararlanılır [12].

$$\text{Özgül ağırlık (kN/cm}^3\text{)} = \frac{(C - A)}{[B - A - (D - C)]} \quad (2.1)$$

Formülü ile bulunur.

A= Piknometre ağırlığı (gr)

B= Su ile dolu piknometre ağırlığı (gr)

C=Piknometre ve asfalt ağırlığı (gr)

D=Piknometre, asfalt ve su ağırlığı (gr) [13].

2.1.2.1.5. Viskozite Deneyi

Vizkozite deneyi, petrol ürünlerinin ve yağların kıvamlılığını tayin etmek için yapılmaktadır. Bitümlü bir maddenin viskozite değeri yükseldikçe kıvamlılığı artmakta yarı katı hale geçmektedir.

Saybolt viskozitesi, standart bir tüp içine konulan bitüm numunesinin belirlenen deney sıcaklığına kadar ısıtıldıktan sonra 60 cm³ hacmindeki toplama kabını doldurması için geçen zamanın saniye cinsinden değeridir.

Viskozite deneyi sırasında standart tüp olarak universal delikli tüp kullanılıyorsa ‘saybolt universal’, furol delikli delikli tüp kullanılırsa ‘saybolt furol’ viskozite adını alır. Yaklaşık olarak formül 2.1 deki gibi hesaplanır.

$$\text{Üniversal viskozite} = 10 \times \text{Furol viskozite} \text{ dir [10].} \quad (2.2)$$

2.1.2.1.6. Yüzdürme Deneyi

Katranlar ve yol yağlarının damıtılmasından elde edilen kalıntılar gibi penetrasyon deneyi için çok yumuşak ve viskozite deneyi için de çok kıvamlı olan yarı katıların kıvamını saptamada kullanılan bir deneydir.

Deney küçük numuneler üzerine uygulanır. Küçük bir yüksüğün içine soğutulmuş numune doldurulur. Bu yüksük, altı açık bir kabın altına vidalanır. 50 °C deki suya bırakılır. Su kabın içine girinceye kadar geçen zaman ölçülür. Deney aleti ve metodu standarttır. Numune denenmeden önce 5 °C’ye kadar soğutulmalı ve yüksükten akması sağlanmalıdır.

2.1.2.1.7. Eriticilerde Erime Deneyi

Bitümlü bağlayıcı içindeki yabancı maddelerin saptanmasına yarar. Eritici olarak CS₂ ve CCL₄ kullanılır. Karbon sülfürde erime – bir bitümlü bağlayıcının karbon sülfürde eriyen kısmı, bunun saf bitümlü bileşenidir. Ham petrolden usulüne uygun olarak elde edilmiş ve içine öteki maddeler karıştırılmamış olan bitümlü bağlayıcılar karbon sülfürde % 99,5 oranında erirler. Bitümlü bağlayıcıların hakiki bitüm %’si ve yabancı madde %’si, formül 2.2 ve 2.3 deki gibi hesaplanır. Bir miktar malzeme alınır tartılır (Wa gr.), daha sonra CS₂ içine konularak tartılır (Wb gr.), bu durumda;

$$\text{Hakiki Bitüm \%} = \frac{W_a - W_b}{W_a} \quad (2.3)$$

$$\text{Yabancı Madde \%} = \frac{W_b}{W_a} \quad (2.4)$$

formülleri ile bulunur [12].

2.1.2.1.8. Yanma (Parlama) Noktası Deneyi

Katran ve asfalt özellikle bunların bünyesindeki katbek yağları yanabilir maddelerdir. Bu bakımdan bu sıvılarla yüksek sıcaklık derecesinde çalışırken yeterince dikkatli olunmazsa parlama tehlikesi söz konusudur. Parlama noktasının tayini için çeşitli yöntemler vardır. Bunlardan biri açık kap yöntemidir. Bu yöntem küçük bir kap numune ile doldurulur, sıcaklık dakikada 14 – 17 °C yükseltilir. Çapı 4 mm olan küçük bir alev kaptaki sıvının yüzeyine zaman zaman yaklaştırılır.

Yüzeyin herhangi bir noktasında alevin görüldüğü andaki sıcaklık tespit edilir. Bu sıcaklık asfalt numunesinin yanma noktası değeridir [12].

2.1.2.2. Bitümlü Bağlayıcının Kalitesi

Yollarda her geçen gün gittikçe artan toplam dingil yükleri ve daha yüksek performans talebi, üstyapıların uzun süreli davranışının tahminini zorunlu kılmıştır. Bir üstyapının performansı, tasarım, uygulama ve kullanılan malzemenin kalitesinin de dahil olduğu bir çok faktöre bağlıdır. Bitümlü bağlayıcı, karışım içerisinde hacimce küçük bir yer tutmasına karşın, dayanıklılık ve bitümlü karışıma viskoelastik özellik kazandırması sebebiyle karışımlarda çok önemli bir role sahiptir. Esas olarak, bitümlü karışımın yol üzerinde tatmin edici bir performans göstermesi aşağıda sıralanan dört özelliğin kontrol edilmesiyle sağlanabilir:

Reoloji; hizmet sıcaklıkları altında bitümün reolojisi, penetrasyon ve penetrasyon endeksi ile uygun biçimde nitelendirilmektedir.

Kohezyon (yapışkanlık); penetrasyon cinsi bitümlü bağlayıcının kohezif mukavemeti düşük sıcaklıklardaki duktilitesi ile karakterize edilir. Bu deneyde üç parça bitüm su banyosuna daldırılır ve kopuncaya kadar dakikada 50 mm 'lik sabit bir hızla çekilir. Numunenin kopmadan hemen önceki uzunluğu duktilitesi olarak saptanır. Deney sıcaklığı bitümlü bağlayıcının penetrasyonuna bağlı olarak ayarlanır; örneğin 80 pen ile 100 pen için 10 °C, 60 pen ile 70 pen için 13 °C ve 40 pen ile 50 pen için 17 °C'dir. Bu koşullar altında, deneyin farklı kohezyona sahip bitümlü bağlayıcı ayırt edebildiği görülmüştür.

Adezyon; bitümlü bağlayıcının adezyon karakteristikleri Marshall deneyi ile belirlenir. Deneyde belirli bir agrega, gradasyon ve bitümlü bağlayıcı kullanılarak sekiz Marshall numunesi üretilir. Numuneler ortalama boşluk oranı eşit olacak şekilde iki adet 4'lü gruba ayrılır. Birinci grup standart Marshall yöntemi kullanılarak deney hemen yapılır, ikinci grup numunelerin ise boşluklarının suyla mümkün olduğunca doygun hale gelmesi için 0 °C ile 1 °C arasındaki bir sıcaklıktaki su altında vakumlanır. Bu işlemden sonra, numuneler 60 °C 'deki su banyosunda 48 saat boyunca bekletilir. Daha sonra da bu dört numunenin Marshall stabilitesi belirlenir. Bu numunelerin stabilitesinin, standart Marshall yöntemi kullanılarak test edilmiş numunelerin stabilitesine oranına, tutulan Marshall (re-tained Marshall) stabilitesi adı verilir. Her iki laboratuvar deneyi ve uygulamadaki performansından, bitümün fonksiyonel özellikleri ile kimyasal yapısı arasındaki önemli bağlantılar belirlenmiştir.

Dayanıklılık; bitümlü bağlayıcının hizmet ömrü boyunca kohezyon ve adezyon özelliklerini koruyabilmesi yeteneği şeklinde açıklanabilir [6]. Tablo 2.1. Türkiye’de sıcaklık dağılımına göre kullanılacak bitümlü bağlayıcı sınıfları verilmiştir.

Tablo 2.1. Türkiye’de Sıcaklık Dağılımına Göre Kullanılacak Bitümlü Bağlayıcı Sınıfları

Bitümlü Bağlayıcı Sınıfı		Bitümlü Karışımın Kullanılacağı Yerler
BSK İçin	Sathi Kaplama İçin	
B 40/60 B 50/70	B 70/100	Akdeniz iklimin hüküm sürdüğü kesimler ve Güney Doğu Anadolu'nun güney kesimleri
B 50/70	B 100/150	Karadeniz, Marmara, iç Anadolu, iç Batı Anadolu, Güney Doğu Anadolu'nun Kuzey kesimleri, Doğu Anadolu'nun Batı kesimleri
B 70/100	B 100/150	Yukarıda belirtilen bölgelerin çok soğuk kesimleri ile Doğu Anadolu'nun soğuk ve yüksek kesimleri

Tesisler de B 100/150 üretimde AC 150/200 ya da AC 120/150 de kullanılmaktadır. Bitümlü bağlayıcı sınıfının seçimine projenin yer aldığı bölgenin iklim koşullarına (ortalama sıcaklık değeri dışında, projenin yer aldığı kesimin rüzgâr durumu, rakım gibi faktörler de göz önünde bulundurularak) göre karar verilmelidir.

Bu sınıflandırmalar TS 1081 EN 12591 Standardında yer alan ve rafinelerimizde üretilen bitüm sınıfları esas alınarak yapılmıştır. Ancak, ağır trafikli, mevsimsel ve gece – gündüz sıcaklık farklarının yüksek olduğu ya da çok sıcak bölgelerimizde yapılacak bitümlü karışımların imalatlarında polimer modifiye bitümlü bağlayıcı kullanılması uygun olacaktır [14].

3. BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLAR

Bitümlü sıcak karışımlar (BSK), bir asfalt tesisinde, gradasyonu kontrollü bir şekilde ayarlanmış agrega ile, uygun miktarı tayin edilmiş bağlayıcının sıcak olarak karıştırılması ile elde edilmektedir. Yüksek standartlı karayolları, otoyolları ve havaalanlarında yapılacak esnek kaplamalar için bitümlü sıcak karışımlar yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bitümlü sıcak karışımların yüksek kalitede imal edilmeleri gerektiği için stabilite, rijitlik, dayanıklılık, yorulma, işlenebilirlik gibi fiziksel ve mekanik özelliklerinin tümünü ideal olarak sağlayabilecek karışım tasarımlarının yapılması büyük önem arz etmektedir. Bitümlü sıcak karışımların performansına yani uzun süre bozulmadan hizmet etme yeteneğine etki eden faktörler, kaplamanın esnekliği, suya karşı duyarlılığı, kalıcı deformasyonlar ile tekerlek izi oluşumu ve düşük ısı çatlaklarına karşı gösterdiği direnç ve yorulma ömrü, olarak tanımlanabilir. Geçmişten bugüne daha sağlam, ön görülen süre içerisinde trafik ve çevre şartlarının aşındırıcı etkilerine direnç gösterebilecek yolların inşası için büyük bir çaba sarf edilmekte, bu amaçla üstyapıyı oluşturan her bir tabakanın deneysel ve sayısal analizleri yapılarak stabilitesi ve durabilitesi yüksek karışımlar elde edilmeye çalışılmaktadır [15].

3.1. Bitümlü Sıcak Karışımların Özellikleri

3.1.1. Stabilite

Taşıtlardan dolayı oluşan statik ve dinamik yüklerin meydana getirdiği kesme kuvvetine ve deformasyonlara kaplamanın dayanmasıdır. Bitümlü sıcak karışımı meydana getiren agrega ve bitümlü bağlayıcının fiziki özellikleri, kaplamanın stabilite değerine tesir eden bitümlü bağlayıcının penetrasyonu küçüldükçe sertleşir, bu da stabilite değerine tesir eder. Bitümlü sıcak karışımın uygulandığı yerin iklimi, trafiği, tipi ve hacmi itibarıyla yüksek stabilite istendiğinde düşük penetrasyonlu bitümlü bağlayıcı kullanılmalıdır. Soğuk kışın hüküm sürdüğü yerlerde, kaplamanın çatlama dayanıklılığını göz önüne alarak yüksek penetrasyonlu bitümlü bağlayıcı kullanılmalıdır, yüksek stabilite elde etmeye çalışmalıdır [15].

3.1.2. Durabilite

Bitümlü bağlayıcının trafik, su ve hava etkilerine karşı mukavemetidir. Durabilite diğer bir ifade ile kaplamanın aşınmaya, kabarmaya, soyulmaya ve oksidasyona dayanmasıdır. Bitümlü karışım kararlı yapıya sahip olduğu kadar dayanıklı olmalıdır.

3.1.3. Fleksibilite

Bir kaplamanın kendisini temel çökmelerine çatlama intibak ettirmesi kabiliyetidir. Kaplamanın fleksibilitesine; bitümlü sıcak karışımın penetrasyonu bitümlü bağlayıcının ısı altında genişleme derecesi, bitümlü sıcak karışımdaki bitümlü bağlayıcı miktarı ve filler tesir eder. Çok az fleksibil bir kaplama çok az stabil bir kaplama kadar sakıncalıdır.

3.1.4. Kayma Mukavemeti

Taşıtların kaplama üzerinde emniyetle hareket etmesini ve durmasını sağlayan kaplama yüzeyinin sürtünme mukavemetidir. Kayma mukavemeti karışımdaki agreganın aşınmaya olan dayanıklılığı, asfalt miktarı ve boşluk yüzdesine bağlıdır. Yumuşak agregalar fazla aşındıklarından kaygan yüzey oluştururlar. Karışımda fazla bitümlü bağlayıcının ve az boşluğun bulunması trafiğin aşırı kompaksiyonu tesiriyle sıcak havalarda bitümlü bağlayıcının genişmesi sonunda bitümlü sıcak kaplama yüzeyine çıkarak kaygan bir yüzeyin meydana gelmesine sebep olur.

3.1.5. İşlenebilirlik (Workabilite)

Bitümlü sıcak karışımın karıştırma – serilme - sıkıştırma bakımından işlenebilir özellikte olmasıdır. Karışımın bu özelliği Agreganın gradasyonu, asfalt yüzdesi, agreganın maksimum dane büyüklüğü, şekli ve yüz yapısı ile ilgilidir. Köşeli kum taneleri stabilizeyi artırır. Yuvarlak kum taneleri işlenebilirliği artırır. Karışımda bitüm miktarının azlığında, karışımda iyi agrega kullanıldığı ve yeteri derecede silindirme yapıldığı halde kaplamalarda istenilen pratik yoğunluk temin edilemez.

3.1.6. Ekonomiklik

Yapılan kaplamalar ekonomik olmalıdır [15].

3.2. Bitümlü Sıcak Karışımların Üretimi

Bitümlü sıcak karışımlar, kırılmış ve elenmiş kaba agrega, ince agrega ve mineral fillerin belirli gradasyon limitleri arasında işyeri karışım formülü esaslarına uygun olarak bitümlü bağlayıcı ile bir tesiste karıştırılarak elde edilirler. Tesiste üretilen bitümlü sıcak karışımın, temeller veya diğer bitümlü kaplamalar ile beton kaplamalar üzerine bir veya birden fazla tabakalar halinde sıcak olarak projesindeki plan, profil ve enkesitlere uygun biçimde serilip sıkıştırılması ile kaplama tabakası teşkil edilir. Bitümlü bağlayıcının kaplama tabakası, aşınma tabakasını, binder tabakasını veya bunların her ikisini birden kapsar. Bitümlü sıcak karışımın üretimi için ilk önce uygun özellikte agregaların üretilmesi gerekir. Agrega, kırmataş, kırılmış çakıl veya bunların karışımından oluşur. Karışım içindeki kırmataş veya kırma çakıl, temiz, sert sağlam ve dayanıklı danelerden olup malzemede kil toprakları, bitkisel maddeler ve diğer zararlı maddeler bulunmaz.

Kaba agrega, agrega karışımının 4,75 mm'lik (No.4) elek üzerinde kalan kısmıdır. Bitümlü sıcak karışımdaki kaba agreganın hafif ve orta trafikli yollar için ağırlıkça en az %60'ının, ağır trafikli yollar, otoyolları ve tırmanma şeritleri için % 100'ünün mekanik olarak kırılmış iki veya daha fazla yüzünün bulunması gerekmektedir. İnce agrega 4,75 mm'lik elekten geçip 0,075 mm'lik (No.200) elek üzerinde kalan malzemedir. Mineral filler genel anlamı ile tamamı 0,600 mm (No.30) elekten geçip ağırlıkça en az %70'i 0,075 mm elekten geçen malzeme olarak tanımlanır. Mineral filler taş tozu, mermer tozu, portlant çimentosu, sönmüş kireç veya benzeri maddelerden oluşmaktadır. Bitümlü sıcak karışımın üretiminde agrega karışımı, kaba agrega, ince agrega ve mineral filleri içeren en az üç ayrı dane grubunun düzgün bir derecelenme verecek şekilde belirli oranlarda karıştırılmasından oluşur.

Bitümlü sıcak karışımın aşınma ve binder tabakalarının yapımı için agrega karışımına penetrasyon dereceleri 40 – 150 arasında olan bitümlü bağlayıcı ilave edilmektedir. Hangi bitümlü bağlayıcının hangi bölge ve yörede ve hangi tabakada kullanılacağı iklim koşullarına bağlı olarak belirlenmektedir.

Bitümlü sıcak karışımın üretiminde, kullanılacak bitümlü bağlayıcının, agrega ve karışıma ait gerekli deneyler yapıldıktan sonra işyeri karışım formülü hazırlanır ve

tesiste üretime geçilir. Bitümlü sıcak karışım tesisi, agregaların, kurutulduğu, ısıtıldığı bağlayıcı ile karıştırıldığı mekanik ve elektronik ekipmanlardan oluşmaktadır. En çok kullanılan tesis tipleri harman tipi (batch plant) ve kazan tipi (drum plant) tesislerdir [15].

3.3. Bitümlü Sıcak Karışım Serilecek Yüzeyin Hazırlanması

Bitümlü sıcak karışım tabakası bağlayıcısız granüler temel tabakasının üzerine serilecekse, temel tabakası stabil ve yüzeyi kuru olmalıdır. Granüler temel tabakası seriminden kısa bir süre sonra yüzey asfalt tabakası ile kaplanacaksa, astar uygulamasına gerek yoktur. Temel tabakasının uzun süre açık kalması ve trafiğe açılması halinde, yüzeye bitümlü astar malzemesi uygulanmalıdır. Genellikle sıvı petrol asfaltı (MC-30 veya MC-70) astar malzemesi olarak kullanılır. Ayrıca, asfalt emülsiyonu da başarıyla uygulanabilir. Bir astar uygulamasında, bitümlü sıcak karışımın serimi başlamadan en az 48 saat önce, astar malzemesi asfalt distribütörü ile temel tabakası üzerine yayılır.

Bitümlü sıcak karışım mevcut asfalt kaplamanın üstüne serilecek ise, yüzeydeki çukurlar doldurulmalı, çatlaklar dolgu malzemesi ile yalıtılmalı ve yüzey temizlenmelidir. Ayrıca, mevcut kaplama yüzeyi ile yeni serilecek asfalt arasındaki bağlantıyı sağlamak için yapıştırma tabakası kullanılmalıdır [13].

3.4. Bitümlü Sıcak Karışımların Serimi ve Sıkıştırılması

Hava sıcaklığının 5°C 'in üzerinde olduğu yağışsız günlerde serim yapılır. Genellikle Türkiye'de asfalt yapımı 1 Nisan ile 30 Kasım tarihleri arasında gerçekleştirilir. Hazırlanan bitümlü sıcak karışım, istenilen genişlik, boyuna ve enine eğim ve kalınlıkta homojen bir yüzey yapısı verecek şekilde uygun özellikteki sericilerle serilmektedir. Sericiler malzemeyi sererken asfaltın ön sıkıştırmasını sağlar ve yüzey dokusunu oluşturur. Bitümlü sıcak karışım yola serildikten hemen sonra sıkıştırma işlemine başlanır. Silindiraja başlandığında karışım sıcaklığı 135°C 'in altında olmamalıdır. Sıcaklık 80°C altına düşmeden sıkıştırma işlemi tamamlanır. Sıkıştırma sırasında statik ağırlığı 8-12 ton arasında demir bandajlı silindirler ile lastik basıncı ayarlanabilen kendinden yürür minimum 20 tonluk lastik tekerlekli silindirler kullanılmaktadır.

Sıkıştırma, bitümlü sıcak karışım kaplamaların performansını etkileyen en önemli etkidir. Karışımın doğru olarak sıkıştırılması yolun ömrünü uzatır, kalıcı deformasyonu (tekerlek izi oturmasını) azaltır, oksidasyon veya yaşlanmayı geciktirir, rutubetin oluşturduğu zararları azaltır, karışımın mukavemetini ve stabilitesini artırır, düşük sıcaklık çatlaklıklarının oluşumunu azaltır. Bitümlü sıcak karışımların yüksek sıcaklıkta üretilmesi ve uygulanması nedeniyle, ülke ekonomisine ve çevreye yayılan emisyonların fazla olması nedeniyle üretimin ve uygulamanın sıcaklığını düşürmek için, bitümlü bağlayıcıya katkı maddeleri katılarak mekanik performansını artırmak ve enerji tasarrufu sağlanmaya çalışılmıştır. Bu şekilde katkı maddesi katılarak üretilen ve uygulanan karışımlara bitümlü ılık karışım denir [13].

4. BİTÜMLÜ ILIK KARIŞIMLAR

Dünya’da hızla artan çevre bilinciyle, çevresel etkileri en az olan üretim ve uygulama tekniklerinde önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Bu kapsamda, bitümlü sıcak karışımın üretimi ve uygulamasında enerji tasarrufu sağlanması ve çevreye yayılan emisyonların azalması amacıyla üretimin daha düşük sıcaklıklarda yapılabilmesi için yeni teknolojiler geliştirilmiştir. “Bitümlü Ilık Karışım” –Warm Mix Asphalt (WMA) olarak bilinen bu teknoloji, yoğun gradasyonlu asfalt, taş mastik asfalt, poroz asfalt ve mastik asfalt karışımları dahil tüm bitümlü karışımların hazırlanmasında kullanılmaktadır. Üretim ve serme sıcaklığını azaltarak düşük viskoziteyi sağlamak amacıyla çeşitli ürünler geliştirilmiştir.

Asfalt karışım sürecinde;

- Enerji tüketimi
- Çevresel etkiler
- Mekanik Performans
- Ekonomi

etkenlerine dikkat edilir.

Klasik bitümlü sıcak karışıma göre 25 – 55 °C daha düşük sıcaklıklarda yaklaşık olarak 100 – 140 °C civarında üretilen ve sıkıştırılan bitümlü karışım, bitümlü ılık karışım olarak adlandırılmaktadır. Bu teknikle üretilen karışım klasik bitümlü sıcak karışım ile aynı ve hatta daha iyi özelliklere sahiptir.

Düşük sıcaklıklarda bitümlü karışım tekniği ilk kez 1990 yılında Almanya’da geliştirilmiş ve uygulamada katkı maddeleri kullanılmıştır. Daha sonra Norveç’te köpük tekniğiyle bitümlü ılık karışım üretimi gerçekleştirilmiştir. Bitümlü ılık karışım tekniği ilk kez 2000 yılında 2. Eurasphalt Eurobitume kongresinde sektöre bilimsel verilerle sunulmuştur.

Bitümlü karışımları ayırt etmek amacıyla çeşitli sınıflandırmalar yapılabilir. Süreç, enerji tüketimi, emisyon ya da üretim ve serme sıcaklığına bağlı olarak;

- Bitümlü Sıcak Karışım : Üretim sıcaklığı 140 – 170 °C arasında,

- Bitümlü Ilık Karışım: Üretim sıcaklığı 100 – 140 °C arasında,
- Bitümlü Yarı Ilık Karışım: Üretim sıcaklığı 70 – 100 °C arasında,
- Soğuk Karışım: Agregaların ısınması gerekmez [16].

4.1. Bitümlü Ilık Karışımların Potansiyeli ve Üstünlükleri

Bitümlü ılık karışımların kullanımının pek çok potansiyel üstünlükleri mevcuttur. Yapılan çalışmalar, bitümlü ılık karışımların arazi performansının klasik bitümlü sıcak karışıma eşit ve hatta daha iyi olduğunu göstermiştir. Bitümlü ılık karışımın işlenebilirliğinin artması ve daha iyi sıkıştırılması sonucu daha iyi bir performans elde edilmiştir. Ayrıca karışım düşük sıcaklıkta üretilebildiğinden içindeki bitümlü bağlayıcı daha az yaşlanarak termal ve yorulma çatlaklarına karşı daha dirençli olmaktadır. Bitümlü ılık karışımların üstünlükleri maddeler halinde aşağıda verilmiştir.

4.1.1. Emisyonların Azalması

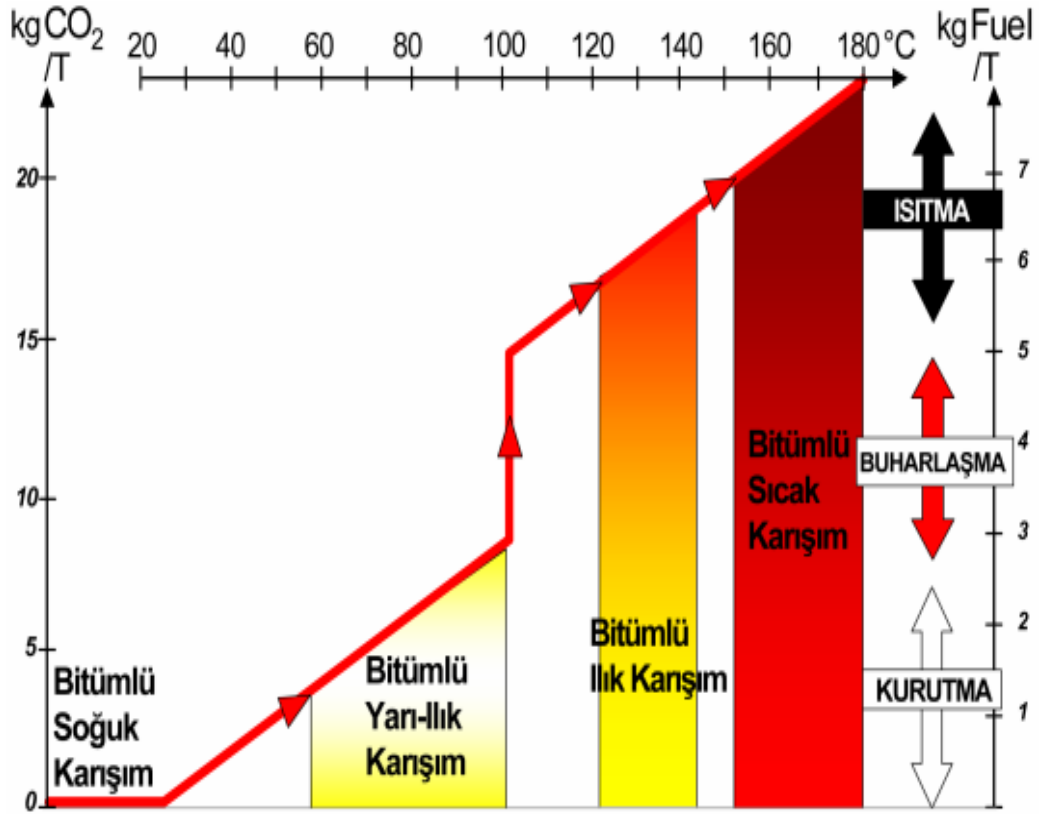
Bitümlü ılık karışım teknolojisinde, klasik bitümlü sıcak karışımlarda beklenen tipik emisyonlara göre Tablo 4.1. de belirtildiği gibi önemli azalmalar olmaktadır. Emisyonlardaki düşüş oranları, birçok faktöre bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Sıcaklık düşüşünün yüksek olduğu teknolojilerde, emisyonlardaki azalma da o nispette yüksek olmaktadır. Şekil 4.1. Bitümlü karışımların üretim sıcaklığına göre sınıflandırılması ve emisyon azalması verilmiştir.

Tablo 4.1. Tipik Bir Bitümlü Sıcak Karışımın Üretimine Göre WMA Teknolojisinde Emisyon Azalması [16]

Emisyonlar	Tipik bir Bitümlü Sıcak Karışım üretimine göre Emisyonlarındaki azalma %
CO ₂ ve SO ₂	30-40
Uçucu organik bileşikler	50
CO	10-30
Azot oksitler (NO _x)	60-70
Toz	20-25

4.1.2. Yakıt Kullanımının Azalması

WMA teknolojileri ile sağlanan yakıt tasarrufu olarak % 10 ile % 35 arasında değişmektedir. Düşük enerji ile üretilen bitümlü ılık karışımlarda yakıt tasarrufu % 50 veya daha fazla olabilmektedir. Bu işlemde agrega içindeki suyun kaynama derecesine kadar ısıtılması gerekmektedir. Şekil 4.1. Bitümlü karışımların üretim sıcaklığına göre sınıflandırılması ve emisyon azalması verilmiştir.



Şekil 4.1. Üretim Sıcaklıklarına Göre Karışımın Sınıflandırılması ve Kullanılan Yakıt Miktarı [16]

4.1.3. Yapım Sırasındaki Avantajları

Düşük sıcaklıklarda üretilen bitümlü ılık karışım kolay bir şekilde serilebilmekte ve istenilen yoğunluğa sıkıştırılabilmektedir. Yeterli işlenebilirliğe sahip olan bu karışım, uzun mesafelere taşınabilmektedir. Ayrıca, düşük sıcaklıklarda daha yüksek oranlarda eski bitümlü karışımın yeniden kullanımına imkan sağlanmaktadır.

4.1.4. İşçilerin Maruz Kaldığı Emisyonların Azalması

Bitümlü ılık karışım teknolojisi, klasik bitümlü sıcak karışım ile karşılaştırıldığında, koku, duman ve poliaromatik hidrokarbonların (PAH) emisyonlarında % 30 ile % 50 arasında değişen azalmaların olduğu kanıtlanmıştır. Bitümlü ılık karışım teknolojilerinde emisyonlar, klasik bitümlü sıcak karışıma göre kabul edilmiş emisyon sınırlarının oldukça altındadır [16]. Şekil 4.1. Bitümlü karışımların üretim sıcaklığına göre sınıflandırılması ve emisyon azalması verilmiştir.

4.2. Bitümlü Ilık Karışımların Üretim Teknikleri

Yapılan araştırmalarda, mevcut bitümlü ılık karışımların üretim tekniklerinin yanı sıra ABD ve diğer ülkelerde yeni işlemler geliştirilmekte olduğu tespit edilmiştir. Mevcut teknolojiler aşağıda belirtilen 2 farklı metoda göre sınıflandırılmaktadır.

- *Sıcaklık azaltma derecesine göre sınıflandırma:* Nihai karışım sıcaklığına göre bu tip karışımlar, “Bitümlü Ilık Karışım” ve “Yarı – Ilık Karışımı” olarak sınıflandırmak mümkündür.
- *Üretim tekniklerine göre sınıflandırma:* Bitümlü ılık karışımların üretim tekniklerine göre kimyasal madde katkılı ılık karışımlar, organik madde katkılı ılık karışımlar ve köpük asfalt olmak üzere 3 şekilde sınıflandırılmaktadır.

4.2.1. Kimyasal Katkılarla Üretim

Kimyasal katkılar bitümlü bağlayıcının viskozitesini değiştirmezler, bunlar bitümlü bağlayıcı ile agreganın ara yüzeyindeki sürtünme kuvvetlerini azaltan maddelerdir. Bu katkılarla karışım sıcaklığı en az 30 °C azaltılabilmekte ve karışım 140 °C ile 85 °C arasındaki sıcaklıklarda hazırlanabilmektedir.

4.2.2. Organik Katkılarla Üretim

Organik katkıların (Vaks ve amidlerin - CONH_2) kullanıldığı işlemler, vaksın erime noktası üzerinde vizkositesinin azalması prensibine bağlıdır. Vaksın erime noktası, yolda beklenen servis sıcaklığından daha yüksek olması gerekmektedir, aksi takdirde kalıcı deformasyon oluşabilmektedir. Ayrıca karışımın düşük sıcaklıklarda da kırılğan olmasının önlenmesi için, vaks tipinin çok dikkatli seçilmesi

gerekmektedir. Organik katkıları, karışımda kullanılan bitümün sertliğine bağlı olarak karışımın sıcaklığının 20 – 30 °C düşmesini sağlayarak, yaklaşık 130 °C civarında karışımın üretilmesine imkân sağlamaktadır [16]. Organik katkılardan en çok kullanılanı FT – Parafin – sasobittir. Bundan dolayı bu çalışmada açıklanması uygun olmaktadır.

4.2.2.1. FT – Parafin (Sasobit)

FT - Parafin, Fischer-Tropsch sentezi kullanılarak kömür gazlaştırılmasından üretilen ince kristalli, uzun zincirli alifatik polietilen hidrokarbondur. Fischer-Tropsch sentezinde, damıtma işlemini takiben, karbon monoksit katalitik hidrojenasyonla daha büyük hidrokarbona dönüştürülmektedir. Sonuçtaki ürün, 40 - 100 karbon atomlu hidrokarbon zincirini kapsamaktadır. Bitümlü bağlayıcıya FT - Parafin ilave edilmesi; bitümlü bağlayıcının yumuşama noktasını ve plastisite aralığını arttırmakta, penetrasyonunu azaltmaktadır. Bitümlü bağlayıcının sertliği arttıkça, vaksın yumuşama noktası ve penetrasyon üzerindeki etkisi azalmaktadır. FT - Parafin, yaklaşık 115 °C'de erimekte, bu sıcaklık civarında bitümlü bağlayıcının viskozitesini belirgin şekilde düşürmektedir. Böylelikle hem üretim hem de uygulama sıcaklıkları 30 °C kadar düşürülebilmektedir. Bu özellik, sert ve/veya polimerle modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcılara göre üstünlük olarak düşünülebilir. FT – Parafin, 140 °C üzerinde bitümlü bağlayıcı içerisinde tamamen erimekte ve yaklaşık 150 °C'de karıştırılmaktadır [17,19,20,21]. Çalışmada kullanılacak diğer vaks türü polietilen vaks olup normalde bitümlü karışımlarda kullanılmamaktadır. Son yıllarda yapılan laboratuvar çalışmaları, polietilen vaksın bitümlü bağlayıcı performansını olumlu yönde etkilediğini göstermiştir [18,22,23]. Şekil 4.1. FT - Parafinin bitümlü bağlayıcıya katılmasının genel görüntüsü görülmektedir [24].



Şekil 4.2. FT - Parafinin Bitümlü Bağlayıcıya Katılmasının Genel Görüntüsü

4.2.2.1.1. FT – Parafin Modifikasyonunun Üstünlükleri

FT – Parafin modifikasyonu bitümlü bağlayıcının performansını belirgin bir şekilde artırmaktadır. Bitümlü bağlayıcı miktarının sadece % 3,0 – 6,0 gibi düşük kullanım oranı fazla miktarda avantaj sağlamaktadır.

- Daha iyi sıkıştırma
- Belirgin biçimde artan taşıma gücü
- Tekerlek izinde azalma
- Daha iyi adezyon
- Bitümlü sıcak karışımın sıcaklığının 30 °C'ye kadar düşürülmesi
- Trafığe daha erken açma
- Sıkıştırmaya karşı direncin azaltılması
- Enerji tasarrufu ve proses CO₂ emisyonlarının azaltılması
- Geri dönüşüm asfaltların soğuk ve sıcak ilave miktarlarının artırılması.

FT - Parafin kimyasal yapısından dolayı hem kendi başına uygulanabilir ve aynı zamanda ko-modifikatör olarak kullanılabilir bir katkı malzemesidir. FT - Parafin kendini farklı bitümlü karışım uygulamalarında uluslararası kanıtlanmış katkı malzemesidir. FT – Parafin katkılı bitümlü karışımlar, her türlü bitümlü sıcak karışımlarda, havaalanlarında, mastik asfaltlarda ve liman bölgelerinde kullanılmaktadır [23,24].

4.2.3. Köpüklendirme Tekniğiyle Üretim

Köpük asfalt tekniği olarak belirtilen bu yöntemde, bitümün köpük haline getirilmesi veya mineral bir madde ile suyun açığa çıkarılması teknikleri kullanılmaktadır. Sıcak bitüme az miktarda su verilmesi işlemi sonucunda atmosferik basınç altında belirli bir hacimdeki su buhar haline dönüşmekte ve bitüm köpük haline gelmektedir. Bu işlem suyun enjekte edilerek bitüm içine püskürtülmesi veya zeolit gibi bünyesinde kristal su bulduran bir malzemenin veya rutubetli agreganın bitümlü bağlayıcıya ilavesi sonucunda, bağlayıcı genişerek viskozitesi azalmaktadır. Genleşme miktarı ilave edilen suyun miktarını ve bağlayıcı sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir. Zeolit bünyesinde % 20 kristal su bulduran alüminyum silikattır. Sıcaklık artışıyla bu madde kristal suyunu kaybeder. Karışıma kontrollü şartlarda ilave edilen bu maddeden ayrılan su buharı bitümün hacmini biraz artırarak, bağlayıcının viskozitesini azaltır. Karışım sıcaklığı 100 °C altına düşünceye adar 6 – 7 saat içinde aşamalı bir şekilde gerçekleşen su çıkışı ile karışımın işlenebilirliği artmaktadır. Köpüklendirme tekniğinde karışım sıcaklığı yaklaşık 30 °C azalmakta ve karışım daha iyi işlenebilmektedir [16].

4.3. Bitümlü Ilık Karışım Uygulamaları ve Performansı

Bitümlü ılık karışım 1990'lı yılların sonlarında geliştirilmiştir. Bu yıllarda bitümlü ılık karışımın üretiminde Almanya'da katkılar kullanılmaya başlanmış ve Norveç'te bitüm köpüklendirme tekniği geliştirilmiştir. 2000 yılından sonra birçok teknik geliştirilerek uygulanmaya başlanmıştır. Ancak halen çok kullanılan bir karışım değildir.

Almanya'da 1998 – 2001 yılları arasında 7 deneme kesimi yapılmıştır. Bu projelerde bitümlü ılık karışım tekniğiyle, 6 kesim taş mastik asfalt, bir kesim ise klasik yoğun gradasyonlu asfalt ile teşkil edilmiştir. Bu kesimlerde yapılan arazi ve laboratuvar performans deney sonuçları sıcak karışım asfalt tekniğiyle yapılan kontrol kesimleriyle karşılaştırılmış ve değerlendirmeler Tablo 4.2.'de verilmiştir.

Tablo 4.2. Bitümlü İlık Karışımın Deneme Kesimlerinin Bitümlü Sıcak Karışımın Deneme Kesimleriyle Karşılaştırması [16]

		Sın B35 (sasobitle ön karıştırma	50/70 % 4 Sasobit	50/70 pen Asphaltan B	50/70 pen Asphaltan B	50/70 pen Aspha min	Sübit VR 45	Sübit VR 45
Kesim No		1 SMA	2 SMA	3 AC	4 SMA	5 SMA	6 SMA	7 GA ⁽³⁾
Arazi Ölçümleri	Tekerlek izi	Eşit	Eşit	Eşit	Eşit	Eşit	Eşit	Düşük
	Tekerlek yükü altında sıkışma	Eşit	Eşit / Daha iyi	Eşit	Daha iyi	Daha iyi	Eşit	Yok
	Çatlama	Eşit ⁽²⁾	Eşit	Eşit	Eşit	Eşit	Eşit	
Laboratuvar Ölçümleri	Termal stabilite	Daha iyi	Eşit / Daha iyi	Eşit	Daha iyi	Eşit	Daha iyi	Çok iyi
	Düşük sıcaklık performansı ₁	Eşit	Eşit / Daha iyi	Eşit	Eşit	Eşit / Daha iyi	Eşit / Daha iyi	İyi
	Bağlayıcı yaşlanması	Eşit / Daha iyi	Eşit / Daha iyi	Eşit / Daha iyi	Eşit / Daha iyi	Eşit	Eşit	Düşük
	Adezyon	Eşit / Daha iyi	Eşit / Daha iyi	Daha iyi	Eşit	Eşit / Daha iyi	Eşit / Daha iyi	İyi
1) Düşük seviye: < 10 mm 2) eşit = yok 3) Kontrol kesimi yapılmalı								

Elde edilen sonuçlara göre, bitümlü ılık karışımın özellikleri normal bitümlü sıcak karışımın kontrol kesimleriyle aynı hatta daha iyi olduğu belirtilmiştir.

Bitümlü ılık karışım teknolojileri, yoğun gradasyonlu bitümlü karışımları, mastik asfalt, poröz asfalt ve geri dönüştürülmüş asfalt dahil bütün asfalt karışımlarında kullanılmaktadır.

Avrupa’da bir çok projede bitümlü ılık karışımın uygulanmasına izin verilmesine rağmen, bitümlü ılık karışımın uygulanmasının beklenildiği kadar yüksek olmadığı gibi, rutin kullanılan bir üründe değildir. Müteahhitler ve kurumlarla yapılan görüşmelerde, bitümlü ılık karışımın yaygınlaşmamasının nedenleri arasında iki ayrı husus ortaya konmuştur.

- İlk bitümlü ılık karışım projelerinde garanti süreleri yeni tamamlanmıştır. Bu tekniği geliştiren müteahhitler, bu teknolojiyi yaygın olarak kullanmadan önce gerekli güvenin sağlanması için, uzun vadeli performansın belirlenmesi gerektiğini belirtmektedirler.
- Önemli ölçüde yakıt tasarrufu sağlamasına rağmen, bitümlü ılık karışımın maliyeti hala bitümlü sıcak karışımın maliyetinden daha yüksektir. Ancak bitümlü ılık karışımın en çok kullanıldığı ülke olan Fransa’da kamu kurumlarının temsilcileri, bitümlü ılık karışımın daha dayanıklı olacağına inandıkları için, daha fazla ödemeye gönüllü olmuşlardır [16].

5. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada, modifiye edilmemiş ve ticari vakslar (FT-parafin - sasobit ve polietilen vaks) ile modifiye edilmiş bitümlü karışımlar üzerine Marshall stabilite ve dolaylı çekme deneyleri yapılarak mekanik özellikleri araştırılmıştır.

Laboratuvarda hazırlanan numuneler üzerinde Marshall stabilite testi ve dolaylı çekme testi, Marshall stabilite cihazı ve yarma çekme aparatı kullanılarak uygulanacaktır.

5.1. Malzemelerin Karakteristiklerinin Belirlenmesi

5.1.1. Bitümlü Bağlayıcı ve Katkı Maddeleri

Deneylede bağlayıcı olarak 160 – 220 penetrasyon dereceli bitümlü bağlayıcı (HP) iki farklı vaks türü FT - Parafin - sasobit (S) ve polietilen vaks (PW) % 6 oranında katılarak, 3 farklı deney seti oluşturulmuştur.

FT - Parafin 140 °C üzerinde bitümlü bağlayıcı içerisinde tamamen erimekte ve yaklaşık 150 °C'de karıştırılmaktadır [14,25]. FT – Parafinle ilgili detaylı bilgi 4.3.2.1 de verilmiştir.

Diğer kullanılan vaks türü polietilen vaks olup normalde bitümlü karışımlarda kullanılmamaktadır. Son yıllarda yapılan laboratuvar çalışmaları, polietilen vaksın bitümlü bağlayıcının performansını olumlu yönde etkilediğini göstermiştir [2,14,25]. Bu nedenle bu çalışmada kullanılmıştır.

Bitümlü bağlayıcı/S ve bitümlü bağlayıcı/PW karışımları, yaklaşık 300 gr bitümlü bağlayıcıya gerekli S ve PW miktarı hesaplanıp ilave edilmesinden sonra 155 °C'de 30 dakika bekletilerek hazırlanmıştır. (Bu hazırlama aşamasından önce saf bitümlü bağlayıcı 3 saat 155 °C'de ısıtıldıktan sonra katkı ilave edilmiştir.) Bitümlü bağlayıcı / katkı maddesi karışımı önceden aynı sıcaklıkta ısıtılmış blok içerisine konularak 90 saniye mekanik sarsıcıda homojen hale getirilmiştir. Bitümlü bağlayıcıların geleneksel reolojik karakteristikleri Tablo 5.2.'de verilmiştir.

Tablo 5.1. Bitümlü Bağlayıcıların Geleneksel Reolojik Karakteristikleri

Bitümlü Bağlayıcı	Penetrasyon (dmm)	Yumuşama Noktası (°C)	Dinamik Viskozitesi 60 °C (Pa.s)	Kinematik Viskozitesi 135 °C (mm ² /s)
Yüksek Penetrasyonlu bitümlü bağlayıcı	171	40	52,7	224,9
6% S	68	92	TS ^c	156,3
6% PW	109	52	175,3	251,3
TS ^c Test etmek için çok sert.				

5.1.2. Agregata ve Bitümlü Karışım

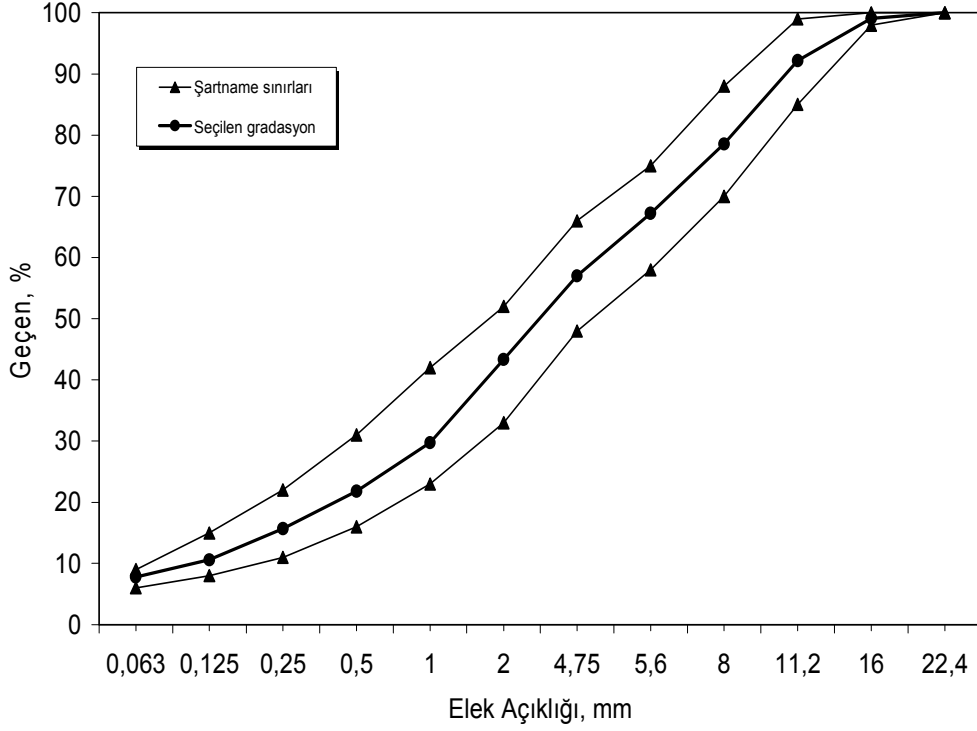
Deneylede agregata olarak Sorgun civarı karayollarında kullanılmak üzere kırmetaş malzeme üreten Astaş taş ocağından temin edilen kırmetaş malzemesi kullanılmıştır. Bu agregata malzemesinin fiziksel özellikleri belirlenmiş ve şartnamelere uygun olduğu tespit edilmiştir. Agreganın fiziksel özellikleri Tablo 5.1’de verilmiştir.

Tablo 5.2. Agreganın Fiziksel Özellikleri

Deney Adı	Deney Sonuçları	Şartname Sınırları
Aşınma kaybı (%) (Los Angeles)	25	Mak. % 30
Donma kaybı (%) (Sodyum Sülfat ile)	0,00	Mak. % 10
Donma kaybı (%) (Magnezyum Sülfat ile)	0,20	-
Agregata hacim özgül ağırlığı (gr/cm ³)	2,673	-
Agregata zahiri özgül ağırlığı (gr/cm ³)	2,716	-

Bitümlü karışımların hazırlanması sırasında; İsveç agregata standartlarına (ABT16) göre seçilen agregata gradasyonu ve bitümlü bağlayıcı % 6,2 oranı kullanılmıştır. İsveç

standartlarının kullanılmasının nedeni, Türkiye'deki düşük sıcaklığa sahip bölgelerde bu tür karışımların uygulanabilirliğini araştırmak için kullanılmıştır. Kullanılan agrega gradasyonu Şekil 5.1 de görülmektedir.



Şekil 5.1. Agrega Gradasyonu

5.2. Karışımlar Üzerinde Uygulanan Deneyler

5.2.1. Marshall Deneyi

Marshall deneyinin amacı, karışım için uygun bitüm oranını tespit etmek, sağlam ve durabil bir üstyapı elde etmek, trafik yükleri altında deformasyon göstermeyecek bir karışım stabilitesi oluşturmak, sıkıştırılmış karışımda kasma, akma ve stabilite düşüklüğü olmaksızın çok az miktardaki sıkışmaya imkân verecek, ancak karışım içinde rutubet ve fazla hava barındırmayacak ölçüdeki boşluğu sağlamak ve segregasyona uğramaksızın uygun serimi ve işlenebilirliği sağlayacak bir karışım belirlemektir [3].

Marshall test cihazı; yükleme krikosu ve dinamometreden oluşmaktadır. Yükleme krikosu, dakikada 50,8 mm üniform düşey yukarı doğru hareket sağlayabilmektedir.

Bu kriko mekanizmasına elektrik motoru takılabilir. Maksimum 2267 kg kapasiteli dinamometre kullanılmaktadır. Deney sırasında test cihazına, kırma kafası ve akma ölçer yerleştirilmektedir. Deneyde 10 cm çaplı ve 6,35 cm yükseklikte silindirik şekilde numuneler kullanılmaktadır. Numunenin hazırlanması sırasında karışım, 45 cm'den düşen 4,5 kg'lık özel bir tokmakla sıkıştırılmaktadır. Numunenin her iki yüzüne 50 veya 75'er darbe vurulmaktadır. Bu çalışmada numunenin her iki yüzüne 50'er darbe vurulmuştur. Deney 60 °C'de gerçekleştirilmektedir. Bu değer, kaplama yüzeyinin görebileceği maksimum sıcaklık derecesi olarak kabul edilmiştir. Numunenin 60 °C'lik su banyosundan alınmasından sonra, deney sonucu elde edilinceye kadar geçen zaman en çok 30 saniye olmaktadır. Numunenin aşırı derecede soğuması, stabilite değerinin azalmasına neden olduğu için deneyin oldukça hızlı yapılması gerekmektedir. Numune, Marshall cihazına yerleştirilerek basınca tabi tutulmaktadır. Cihazın alt çenesi, 50,8 mm/dk'lık bir hızla yukarı yükseldikçe, stabilometredeki değer artmakta ve bir noktadan sonra düşmeye başlamaktadır. Düşmeye başlaması, numunenin kırıldığını göstermektedir. Kırılma anındaki stabilite ve akma değerleri okunmaktadır. Bir karışıma Marshall deneyi uygulanınca, yalnızca stabilite ve akma değerleri ölçülmemekte, bunlara ek olarak karışımın birim ağırlığı, boşluk oranı (Vh) ve bitümlü bağlayıcı ile dolu boşluk yüzdesi de (Vfa) hesaplanmaktadır. Şekil 5.2. Marshall cihaz aleti görülmektedir.



Şekil 5.2. Marshall Deney Cihaz Aleti

5.2.2. Dolaylı Çekme Mukavemeti Deneyi

Bitümlü karışımların dolaylı çekme gerilmesi çatlak potansiyeli için iyi bir gösterge olmaktadır. Bozulma anındaki yüksek çekme birim şekil değıştirmesi, bitümlü karışımların bozulmadan önce yüksek değerlerdeki şekil değıştirmeleri, çatlamalara dayanacak şekilde tolere edeceğine işaret etmektedir. Dolaylı çekme dayanımı deneyinde silindirik numuneler çap doğrultusunda etki eden basınç yüklemesine tabi tutulmaktadır. Marshall deney ekipmanına kırma başlığı takılarak bu deney yapılabilmektedir.

Şekil 5.3. Dolaylı çekme deneyi cihaz aleti görülmektedir. Dolaylı çekme mukavemeti formül 5.1 ile hesaplanmaktadır [26].

$$ITS = \frac{2xP_{\max}}{\pi txd} \quad (5.1)$$

ITS : Dolaylı çekme mukavemeti (kPa).

P_{\max} : Maksimum yük (kN).

t : Numune yüksekliği (m).

d : Numune çapı (m).



Şekil 5.3. Dolaylı Çekme Deney Cihaz Aleti

5.3. Deney Numunelerinin Hazırlanması

Her deney numunesi için, ortalama 60 mm yüksekliğinde briket hazırlamak için 1200 gr agrega+bitüm malzemesi hazırlanmıştır. Karışımın % 93,8'i agrega (1125,6 gr) ve % 6,2'si bitüm (74,4 gr) den oluşmaktadır. Bu malzeme ve bitümlü bağlayıcı etüvde, ayrı kaplarda agrega 160 °C 'de 5 saat ve bitümlü bağlayıcı 150 °C 'de 2,5 – 3 saat süreyle ısıtılmıştır. Isıtılan agrega üzerine, bitümlü bağlayıcı uygulanarak 150 °C de karışım hızlı bir şekilde asfalt mikserinde karıştırılmıştır. Bu işlem sırasında

agreganın bitümlü bağlayıcı ile tamamen kaplanmasına dikkat edilmiştir. Şekil 5.3.'de Asfalt Mikseri görülmektedir. Hazırlanan karışım, etüvde ısıtılmış olan Marshall numune kalıbına dökülmüştür. Bu işlemde önce kalıbın altına bir karton yerleştirilmiştir. Bunun amacı, ikinci yüzün sıkıştırılabilmesi için, numune kalıbının ters çevrilmesi sırasında malzeme kaybını önlemek ve karışımın sıkıştırma darbeleri sırasında yapışmasını önlemek içindir. Tüm karışımı kalıba döktükten sonra ısıtılmış bir spatula yardımıyla asfalt-agrega karışımı kalıba yerleştirilmiştir. Malzemenin üstü de kâğıt ile kapatıldıktan sonra numune sıkıştırılmak üzere Marshall sıkıştırma aletine yerleştirilir. Numunenin her iki yüzüne 50'şer darbe uygulanmıştır. Sıkıştırma işlemi biten numune 15 – 20 dakika oda sıcaklığında bekletildikten sonra çıkarma işlemi yapılmıştır.



Şekil 5.4. Asfalt Mikseri

5.4. Maksimum Teorik Özgül Ağırlık Hesaplamaları

Numunelerin hacimsel hesaplamalarında dikkate alınan değerlerden birisi de maksimum teorik özgül ağırlık değerleridir. Bu değerlerin hesaplanmasında

kullanılan deney yöntemi AASHTO T209'da verilmektedir. Deneyde kullanılan agrega miktarı 1200 gr'dır. Hazırlanan agrega ve bitüm, 140 °C sıcaklığında karıştırılarak numuneler hazırlanmıştır. Max. Teorik Özgül Ağırlık formülü 5.2 ile hesaplanmaktadır. Bu deneyde Piknometre su ile doldurulup tartılır (D). Gevşek halde bulunan karışım, içerisi boş olan Piknometreye alınıp kuru olarak tartılır (A). Sonra numune Pikto metre içerisindeyken suyla doldurulur ve hava boşluğundan arındırılıp tartılır [24].

$$\text{Mak.Teo.Özg.Ağırlık} = G_{mm} = \frac{A}{A + D - E} \quad (5.2)$$

Hazırlanan % 6,2 bitümlü bağlayıcı yüzdesine sahip numunenin kuru ağırlığı A = 1169,50 gr, Pikto metre + su ağırlığı D = 5360 gr. Pikto metre + su + Gevşek Numune ağırlığı E = 6065,40 gr olarak ölçülmüştür.

Formülde değerleri yerine koyarak maksimum teorik özgül ağırlık hesaplanır;

$$\text{Mak.Teo.Özg.Ağırlık} = G_{mm} = \frac{A}{A + D - E} = \frac{1169,50}{1169,5 + 5360 - 6065,4} = 2,515$$

olarak bulunur.

Tablo 5.3. Karışımların Maksimum Teorik Özgül Ağırlık Değerleri

Numune No:	Bitüm Yüzdesi %	A	D	E	G _{mm}	Ort. G _{mm}
1	6	1169,50	5361,00	6065,40	2,515	2,521
2	6	1176,0	5358,0	6068,6	2,526	

5.5. Sıkıştırılmış Bitümlü Bağlayıcı Karışımların Doygun – Yüzey Kuru Numunelerle Hacim Özgül Ağırlığı Hesapları (AASHTO T 166)

Bu metot, sıkıştırılmış bitümlü karışımların hacim özgül ağırlığının tayinini kapsamaktadır. Bu metot ile tayin edilen özgül ağırlık, 25 °C'de malzemenin geçirimli ve geçirimsiz boşluklarını içeren hacminin kütesinin, aynı sıcaklık ve hacimdeki suyun kütesine oranı olarak tanımlanmaktadır.

Sıkışmış numunenin AASHTO T 166'ya göre hacim özgül ağırlığının (Gmb) belirlenmesi için; Oda sıcaklığında bekletilmiş numuneler tartılır. Tartım kaydedilir

(W_{kuru}), Numuneler 25 ± 1 °C'lik su içinde 20 dakika bekletilerek su içinde tartılır.

Tartım kaydedilir (W_{suda}), Sudan çıkarılan numunelerin yüzeyi nemli bir havlu ile çabucak kurulur ve tartılır. Tartım kaydedilir (W_{doygun}). Örneğin;

Numune kuru ağırlığı (W_{kuru}) = 1195,50 gr.

Numune sudaki ağırlığı (W_{suda}) = 710,40 gr.

Numune kuru yüzey doygun ağırlığı (W_{doygun}) = 1196,00 gr.

$$G_{mb} = \frac{W_{kuru}}{W_{doygun} - W_{suda}} = \frac{1195,50}{1196,00 - 710,40} = 2,462$$

olarak hesaplanır [17].

5.6. Marshall Stabilite Deneyi ve Sonuçları

Marshall stabilite ve akma deneyi için 3 tane yüksek penetrasyonlu bitümlü bağlayıcı ve 3'er tanede FT – Parafin (sasobit) ve polietilen vakslı olmak üzere toplam 9 numune optimum bitüm yüzdesinde her iki yüzüne 50 darbe uygulanarak hazırlanmıştır. Deneye başlamadan önce bütün numunelerin havadaki, sudaki ve doygun ağırlıkları tespit edilip fiziksel özellikleri, agregalar arasındaki boşluk oranı (V_{ma}), boşluk oranı (V_h) ve asfaltla dolu boşluk oranları (V_f) hesaplanmıştır. Bu fiziksel özellikler Tablo 5.4, 5.5 ve 5.6'de verilmiştir. Fiziksel özellikleri tespit edilen 9 numune şartnamelere uygun olarak ilk önce 20 dakika 60 °C'deki su banyosunda bekletilip Marshall deney cihazında (Şekil 5.1) 50,8 mm/dak. hızda kırılmış, Marshall stabilite ve akma değerleri kaydedilmiştir. Tablo 5.7, 5.8, 5.9'da Marshall stabilite ve akma deneyi sonuçları verilmiştir.

Tablo 5.4. Marshall Stabilite ve Akma Deneyine Tabi Tutulan Numunelerin Fiziksel Özellikleri (HP)

No	Yükseklik (mm)	W_{kuru} (gr)	$W_{doygün}$ (gr)	W_{suda} (gr)	Gmm Ort. ₃ (gr/cm ³)	Gsb Ort. ₃ (gr/cm ³)	Vma Ort. (%)	Vf Ort. (%)	Vh Ort. (%)
HP1	60,5	1.195,00	710,00	1.195,30	2,521	2,464	2,32	82,8 5	2,3
HP2	59,5	1.171,30	694,20	1.171,70					
HP3	58,5	1.183,50	703,50	1.183,90					

Tablo 5.5. Marshall Stabilite ve Akma Deneyine Tabi Tutulan Numunelerin Fiziksel Özellikleri (S)

No	Yükseklik (mm)	W_{kuru} (gr)	$W_{doygün}$ (gr)	W_{suda} (gr)	Gmm Ort. ₃ (gr/cm ³)	Gsb Ort. ₃ (gr/cm ³)	Vma Ort. (%)	Vf Ort. (%)	Vh Ort. (%)
S1	59,8	1.179,70	699,70	1.180,00	2,52 1	2,45 5	2,46	81,58	2,6
S2	59,8	1.178,70	699,90	1.178,90					
S3	60,3	1.181,30	698,90	1.181,60					

Tablo 5.6. Marshall Stabilite ve Akma Deneyine Tabi Tutulan Numunelerin Fiziksel Özellikleri (PW)

No	Yükseklik (mm)	W_{kuru} (gr)	$W_{doygün}$ (gr)	W_{suda} (gr)	Gmm Ort. ₃ (gr/cm ³)	Gsb Ort. ₃ (gr/cm ³)	Vma Ort. (%)	Vf Ort. (%)	Vh Ort. (%)
PW ₁	59,3	1.171,30	695,00	1.171,50	2,521	2,459	2,33	82,7 7	2,5
PW ₂	58,5	1.162,70	690,40	1.162,80					
PW ₃	59,5	1.181,20	701,10	1.181,50					

Tablo 5.7. Numunelerin Marshall Stabilite ve Akma Değerleri (HP)

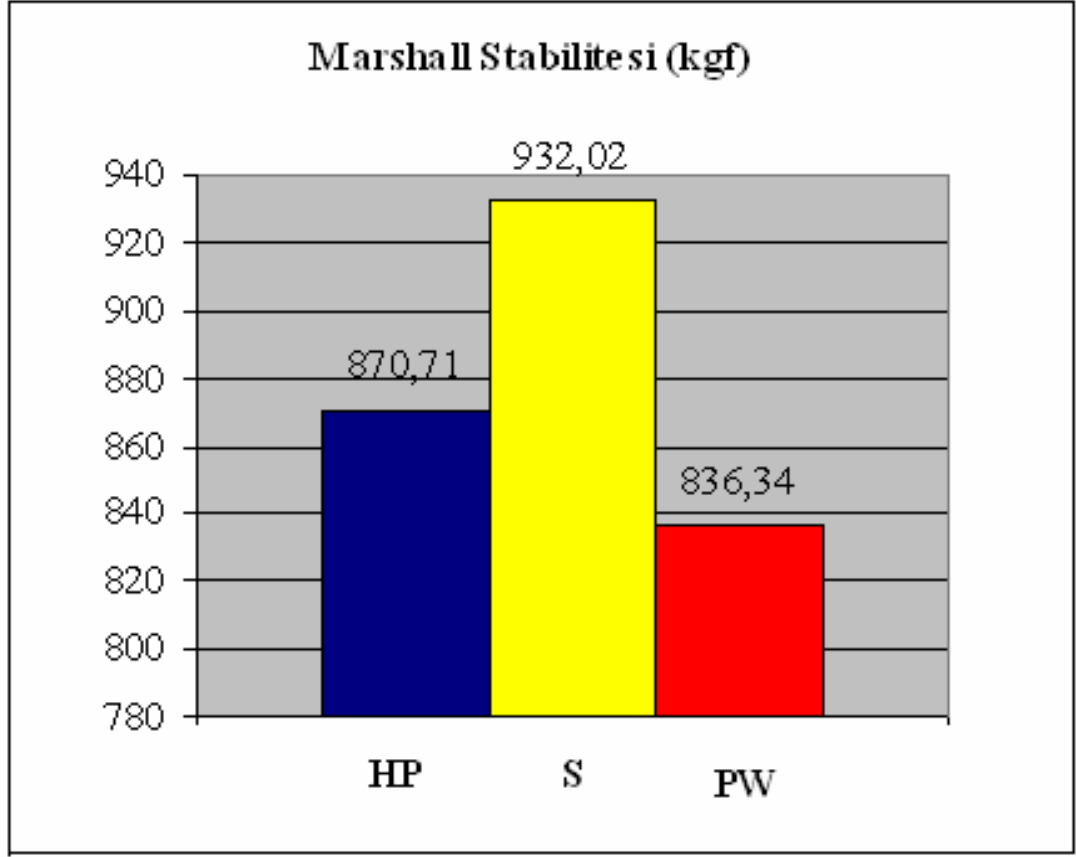
No	Yükseklik (mm)	Marshall Stabilitesi (kN)	Akma (mm)	Düzeltilme Faktörü	Düzeltilmiş Stabilite (kN)	Stb/Akma
HP1	60,5	7,92	6,50	1,084	8,59	1,32
HP2	59,5	8,04	6,50	1,115	8,97	1,38
HP3	58,5	7,46	6,90	1,149	8,57	1,24
Ort.					8,57	1,31

Tablo 5.8. Numunelerin Marshall Stabilite ve Akma Değerleri (S)

No	Yükseklik (mm)	Marshall Stabilitesi (kN)	Akma (mm)	Düzeltilme Faktörü	Düzeltilmiş Stabilite (kN)	Stb/Akma
S1	59,8	8,90	5,90	1,106	9,84	1,67
S2	59,8	8,26	5,30	1,106	9,14	1,72
S3	60,3	8,24	5,80	1,09	8,98	1,55
Ort.					9,32	1,65

Tablo 5.9. Numunelerin Marshall Stabilite ve Akma Değerleri. (PW)

No	Yükseklik (mm)	Marshall Stabilitesi (kN)	Akma (mm)	Düzeltilme Faktörü	Düzeltilmiş Stabilite (kN)	Stb/Akma
PW1	59,3	7,84	4,70	1,121	8,77	1,87
PW2	58,5	7,22	5,20	1,149	8,30	1,60
PW3	59,5	7,18	4,80	1,115	8,01	1,67
Ort.					8,36	1,71



Şekil 5.5. Marshall Stabilitesi Deney Sonucu

Şekil 5.4’de görüldüğü gibi yüksek penetrasyonlu bitümlü bağlayıcıya göre vaks S katkılı karışımda Marshall Stabilite değerinin % 7.1 arttığı ve vaks PW katkılı karışımlarda Marshall Stabilite değerlerinin % 4 azaldığı görülmektedir. Yapılan çalışma da vaks S katılan numunelerde Marshall Stabilite değerlerinin yüksek çıkması ile kaplama tabakasının trafik yükleri altında daha az deformasyon göstereceği, akma değerinin düşmesi ile sıkıştırılmış karışımda kuma ve stabilite düşüklüğü olmaksızın çok az miktardaki sıkışmaya imkân vereceği anlaşılmaktadır. Dolayısıyla daha uygun serim ve işlenebilirliği sağlayacak bir karışım elde edilebilecektir.

Buradan da görülüyor ki malzemenin taşıma gücünün artırılmasında vaks S katkılı bitümlü ılık karışımların geliştirilmesi ve iyileştirilmesi söz konusudur.

5.7. Dolaylı Çekme Mukavemeti Deneyi ve Sonuçları

Dolaylı çekme Mukavemeti deneyi için 3 tane yüksek penetrasyonlu numune ve 3'er tanede vaks S katkılı ve vaks PW katkılı olmak üzere toplam 9 numune optimum bitüm yüzdesinde her iki yüzüne 50'şer darbe uygulanarak hazırlanmıştır. Deneye başlamadan önce bütün numunelerin havadaki, sudaki ve doygun ağırlıkları tespit edilip fiziksel özellikleri, agregalar arasındaki boşluk oranı (V_{ma}), boşluk oranı (V_h) ve asfaltla dolu boşluk oranları (V_f) belirlenmiştir. Bu fiziksel özellikleri sırasıyla Tablo 5.10, 5.11 ve 5.12'de verilmiştir. Fiziksel özellikleri tespit edilen 9 numune şartnamelere uygun olarak ilk önce 20 dakika 60°C 'deki su banyosunda bekletilip Marshall deney cihazında eksenel yüklemeye tabi tutulup kırılmaya neden olan maksimum yük tespit edilmiş ve dolaylı çekme mukavemetleri hesaplanmıştır. Dolaylı çekme mukavemeti değerleri tablo 5.13, 5.14 ve 5.15'de verilmiştir. Dolaylı çekme mukavemetleri karşılaştırılması şekil 5.6'da verilmiştir.

Tablo 5.10. Dolaylı Çekme Deneyine Tabi Tutulan Numunelerin Fiziksel Özellikleri (HP)

No	Yükseklik (mm)	W_{kuru} (gr)	W_{doygun} (gr)	W_{suda} (gr)	Gmm Ort. ₃ (gr/cm ³)	Gsb Ort. ₃ (gr/cm ³)	V_{ma} Ort. (%)	V_f Ort. (%)	V_h Ort. (%)
HP1	59,0	1.193,50	710,80	1.195,6	2,521	2,462	2,23	83,4 2	2,3
HP2	59,5	1.184,10	703,40	1.184,4					
HP3	60,0	1.191,30	707,70	1.191,5					

Tablo 5.11. Dolaylı Çekme Deneyine Tabi Tutulan Numunelerin Fiziksel Özellikleri (S)

No	Yükseklik (mm)	W_{kuru} (gr)	W_{doygun} (gr)	W_{suda} (gr)	Gsb Ort. ₃ (gr/cm ³)	Gmm Ort. ₃ (gr/cm ³)	$V_{ort. ma}$ (%)	$V_{ort. f}$ (%)	$V_{ort. h}$ (%)
S1	59,0	1.169,40	691,00	1.170,20	2,446	2,521	2,84	79,74	2,9
S2	60,5	1.192,60	704,70	1.193,00					
S3	58,5	1.173,90	696,40	1.174,10					

Tablo 5.12. Dolaylı Çekme Deneyine Tabi Tutulan Numunelerin Fiziksel Özellikleri (PW)

No	Yükseklik (mm)	W_{kuru} (gr)	W_{doygun} (gr)	W_{suda} (gr)	Gsb Ort. ₃ (gr/cm ³)	Gmm Ort. ₃ (gr/cm ³)	$V_{ort. ma}$ (%)	$V_{ort. f}$ (%)	$V_{ort. h}$ (%)
PW ₁	59,00	1.177,40	699,90	1.177,60	2,460	2,521	2,30	2,4	2,4
PW ₂	59,50	1.190,90	707,10	1.191,30					
PW ₃	59,50	1.186,00	703,50	1.186,30					

Tablo 5.13. Dolaylı Çekme Mukavemeti ve Oranları (HP)

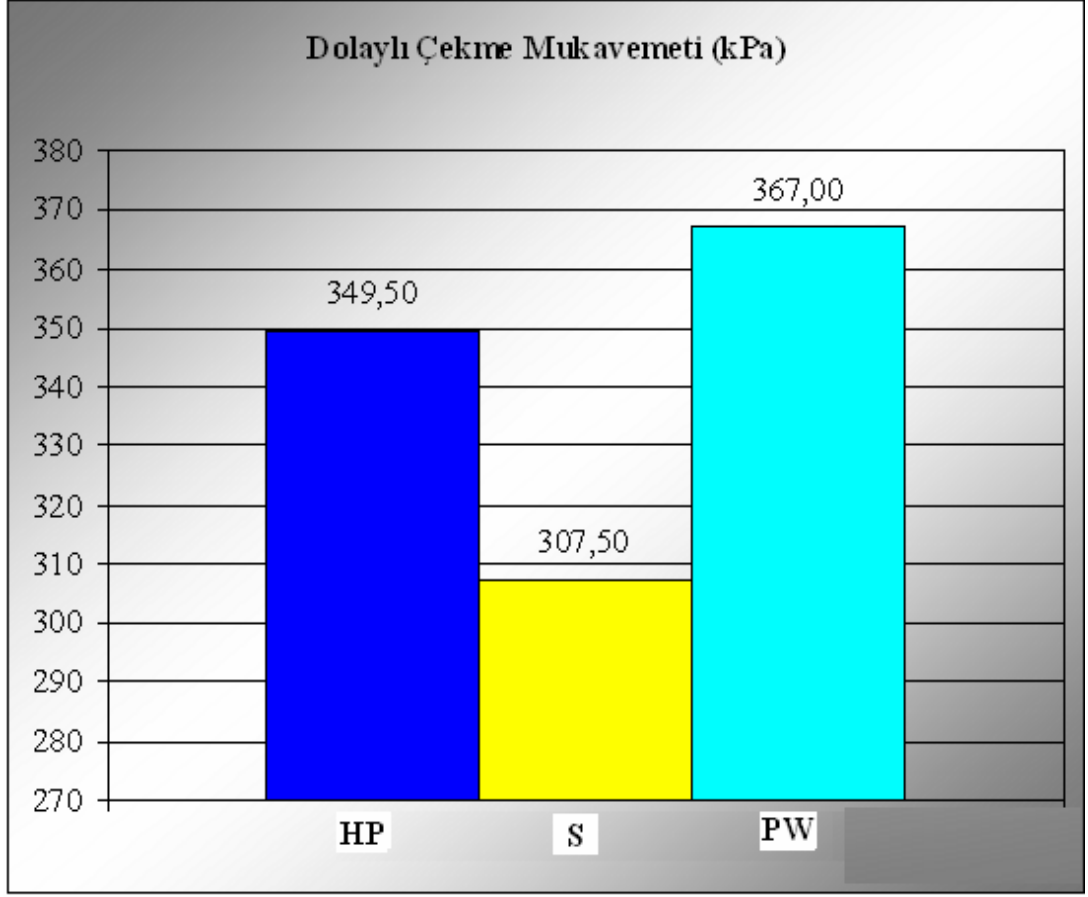
No	Yükseklik (mm)	F (kN)	ITS (kPa)
HP1	58,5	3,08	335,18
HP2	59,5	3,62	387,32
HP3	60,0	3,46	367,12
HP Ort.	59,33	3,63	363,21

Tablo 5.14. Dolaylı Çekme Mukavemeti ve Oranları (S)

No	Yükseklik (mm)	F (kN)	ITS (kPa)
S1	59,0	2,70	291,33
S2	60,5	3,00	315,68
S3	58,5	2,90	315,59
S Ort.	59,33	2,87	307,53

Tablo 5.15. Dolaylı Çekme Mukavemeti ve Oranları (PW)

No	Yükseklik (mm)	F (kN)	ITS (kPa)
PW1	59,00	3,46	373,34
PW2	59,50	3,52	376,62
PW3	59,50	3,28	350,94
PW Ort.	59,33	3,42	366,97



Şekil 5.6. Dolaylı Çekme Mukavemeti Deney Sonucu

Şekil 5.5.'de görüldüğü gibi yüksek penetrasyonlu bitümlü bağlayıcıya göre vaks S katkılı karışımlarda dolaylı çekme dayanımının % 9,7 azaldığı ve vaks PW katkılı karışımların dolaylı çekme dayanımının ise % 7,8 arttığı görülmektedir. Yapılan çalışmada vaks PW katılan numunelerin dolaylı çekme değerinin daha yüksek çıkması karışımın çatlamalara karşı daha iyi sonuç verebileceğine işaret etmektedir. Vaks S katkılı numunelerde ise çekme dayanımının düşük çıkması, karışımın çatlamalara karşı direncini azaltabileceğini göstermektedir.

SONUÇLAR VE İRDELEME

Karayolları üst yapısının maruz kaldığı araç sayısının her geçen gün artması, araçların artan yük taşıma kapasiteleri, artan enerji kullanımı ve çevresel etkiler günümüzde mevcut bitümlü karışımların tasarım yöntemlerini yetersiz kılmış ve araştırmacılar problemleri çözme konusunda yeni çalışmalar yaparak, günün koşullarına uygun yaklaşımları ortaya koymaya çalışmışlardır. Bu kapsamda, bitümlü sıcak karışımların üretilmesinde ve uygulamasında enerji tasarrufu sağlanması ve çevreye yayılan emisyonların azalması amacıyla bitümlü bağlayıcıların içine katkı maddeleri katılarak üretimin daha düşük sıcaklıklarda yapılabilmesi için yeni yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemle üretilen karışımlar bitümlü ılık karışımlar olarak adlandırılmaktadır.

Bitümlü karışımların içine bitümlü ılık katkı maddeleri katılması ile aşağıdaki üstünlükler elde edilmiştir.

- Bitümlü karışımın üretim sıcaklığını düşürerek, çevreye yayılan emisyonlarda önemli ölçüde azalma olmaktadır.
- Bitümlü karıştırma sırasında agreganın ısıtılması için gerekli enerji miktarındaki düşüşle, enerji tasarrufu sağlanmaktadır.
- Düşük sıcaklıkta üretilen bitümlü ılık karışım düşük sıcaklıklarda serildiği için daha rahat çalışma ortamı oluşmaktadır.
- Bitümlü bağlayıcı yüksek sıcaklıkta ısıtıldığı zaman daha çabuk yaşlanmaktayken, bitümlü ılık karışımda bitümlü bağlayıcı daha az ısıtılacağı için daha az yaşlanarak, yaşlanmanın neden olduğu termal ve yorulma çatlaklarına karşı daha dirençli olacaktır.
- Karışımın işlenebilirliği yüksek olduğu için asfalt sezonu dışında da (-3, +4 °C'ye kadar) bitümlü ılık karışım uygulanabilmektedir.

Bitümlü ılık karışımların mekanik özelliklerini belirlemek için modifiye edilmemiş yüksek penetrasyonlu bitümlü bağlayıcı, sasobit ile modifiye edilmiş ve polietilen vaks ile modifiye edilmiş numuneler üzerinde Marshall Stabilite deneyi ve Dolaylı Çekme Dayanımı deneyleri yapılmıştır.

Marshall Stabilite deney sonuçları irdelendiğinde, yüksek penetrasyonlu bitümlü bağlayıcıya göre, sasobit katılan numunelerin Marshall stabilitesinin % 7,1 oranında arttığı ancak, polietilen vaks katılan numunelerin Marshall stabilitesinin ise % 4 azaldığı görülmektedir. Yapılan çalışma da vaks S katılan numunelerde Marshall stabilite değerlerinin yüksek çıkması ile kaplama tabakasının trafik yükleri altında daha az deformasyon göstereceği, akma değerinin düşmesi ile sıkıştırılmış karışımda kuma ve stabilite düşüklüğü olmaksızın çok az miktardaki sıkışmaya imkân vereceği anlaşılmaktadır. Dolayısıyla daha uygun serim ve işlenebilirliği sağlayacak bir karışım elde edilebilecektir.

Buradan da görülüyor ki malzemenin taşıma gücünün artırılmasında vaks S katkılı bitümlü ılık karışımların geliştirilmesi ve iyileştirilmesi söz konusudur.

Dolaylı çekme deney sonuçları irdelendiğinde, yüksek penetrasyonlu bitümlü bağlayıcıya göre, sasobit katkılı karışımlarda dolaylı çekme dayanımının % 9,7 azaldığı ve polietilen vaks katkılı karışımların dolaylı çekme dayanımının ise % 7,8 arttığı görülmektedir. Yapılan çalışmada vaks PW katılan numunelerin dolaylı çekme değerinin daha yüksek çıkması, karışımın çatlamalara karşı daha iyi sonuç verebileceğine işaret etmektedir. Vaks S katkılı numunelerde ise çekme dayanımının düşük çıkması, karışımın çatlamalara karşı direncini azaltabileceğini göstermektedir.

Bitümlü ılık karışımın yaygınlaştırılması için;

- Bitümlü ılık karışımların üretilmesinde ve uygulamasında daha az enerji tüketildiği için, enerji tasarrufu için kurumların ve müteahhitlerin bilgilendirilmesi gerekmektedir.
- Bitümlü ılık karışımların arazide daha rahat uygulanabilirliğini göstermek ve bitümlü ılık karışımların performansının kanıtlanması için laboratuarlarda çok iyi değerlendirilmesine imkan sağlayan deney yöntemlerinin geliştirilmesi şarttır.
- Bitümlü ılık karışımların üretilmesinde ve uygulanmasında daha iyi yöntemlerin geliştirilmesi sağlanmalıdır.

Bu çalışmada sadece bir tür bitümlü bağlayıcı ile iki farklı tür katkı (FT – Parafin ve polietilen vaks) maddesi kullanılmış olup daha sonraki çalışmalarda bitümlü bağlayıcı ve katkı maddelerinin arttırılması ve termal performanslarının belirlenmesi, Türkiye için uygulanabilirliği açısından faydalı olacaktır.

KAYNAKLAR

1. T.C. Başbakanlık İstatistik Kurumu verileri, <http://www.die.gov.tr>.
2. Uluçaylı, M., Modifiye Bitüm ve Modifikasyon Katkılarının Kullanımı, 2. Ulusal Asfalt Sempozyumu, 15 – 19, Ankara, 1998.
3. Uluçaylı, M., Superpave ve Fransız Bitüm Şartnameleri, 2. Ulusal Asfalt Sempozyumu, 118 – 129, Ankara, 1998.
4. Hurley, GC., Prowell, BD., Evaluation of Sasobit For Use in Warm Mix Asphalt. NCAT Report 05-06, 2005.
5. Fındık, FS., Karayolu Esnek Üstyapıları Alttemel Tabakasının Stabilizasyonunda Hafif Agregaların Kullanabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 2005.
6. Avcı, E., Sıcak İklimli Bölgelerde Kullanılan Asfalt Betonlu Karışım Değişkenlerinin Kaplama Tabakası Performansına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 2009.
7. Alataş, T., et al., Bitümlü Sıcak Karışımlarda Kullanılan Agregaların Cinsinin Kaplamanın Fiziksel Özelliklerine Etkisi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 2006.
8. Çetin, S., Afyon Karahisar Bölgesi Volkanik Kayaçlarının Sıcak Karışım Asfalt Kaplamalarında Agregaların Kullanılabilirliğinin Araştırılması, A.K.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Afyon, 2007.
9. Gezer, BB., Mersin İli Çelebili Köyü İçmeler Mevkiinde Yüzeyleyen Kireç Taşlarının Beton ve Asfalt Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, 2009.
10. Ilıcalı, M., et al., Asfalt ve Uygulamaları, İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İSFALT, İstanbul, 2001.
11. Taşdemir, Y., Esnek Yol Üst Yapılarının Projelendirilmesi, Bozok Üniversitesi, Yozgat.
12. Ağar, E., ve Umar, F., Yol Üstyapısı, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 1991.
13. Terzi, S., Mermer Toz Atıkların Asfalt Betonunda Filler Malzemesi Olarak Kullanılmasının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 2000.
14. Tosun, N., Bitümlü Kaplamalar Uygulama Kitabı, Bursa.
15. Kök, BV., Bitümlü Sıcak Karışımların Üretiminde Yeni Bir Karıştırma Yönteminin Araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 2007.

16. Temren, Z., Yollar Türk Milli Komitesi, 5. Ulusal Asfalt Sempozyumu, 50 - 60, Ankara, 2009.
17. Taşdemir, Y., et al., Rheological Effects of Commercial Waxes And Polyphosphoric Acid in Bitumen 160/220-High and Medium Temperature Performance, Construction and Building Materials, 21(10),1899-1908, 2007.
18. Butz, T., et al., Modifikation Von Strassenbitumen mit Fischer-Tropsch-Paraffin. Bitumen, Heft 3, 91-96, German, 2000.
19. Damm, KW., et al., Asphaltverflüssiger als "Intelligenter Füller" Für den Heisseneinbau – Ein Neues Kapitel in der Asphaltbauweise – Teil 1. Bitumen, Heft 1, 19-24, German, 2002.
20. Taşdemir, Y., et al., Rheological Effects of Commercial Waxes and Polyphosphoric Acid in Bitumen 160/220-Low Temperature Performance, Fuel, 85, 989-997, 2006.
21. Taşdemir, Y., et al., Effects of Commercial Waxes on Asphalt Concrete Mixtures Performance at Low And Medium Temperatures, Cold Regions and Science Technology, 45(1), 31-41, 2006.
22. Taşdemir, Y., et al., Influence of Commercial Waxes and Polyphosphoric Acid on Bitumen and Asphalt Concrete Performance at Low and Medium Temperatures, Materials and Structures, 39 (291), 725-737, 2006.
23. Baubar GmbH, <http://www.tr.baubar-strasse.de>.
24. Ahmetzade, P., et al., Bitümlü Sıcak Karışımlarda Kullanılan Agregata Cinsinin Kaplamanın Fiziksel Özelliklerine Etkisi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 2006.
25. Damm, KW., et al., Asphaltverflüssiger als "intelligenter Füller" für den Heisseneinbau – Ein Neues Kapitel in der Asphaltbauweise – Teil 2. Bitumen, Heft 2, 55-61, German, 2006.
26. Önal, A., Kahramangil, M., Bitümlü Karışım Laboratuvar El Kitabı, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara, 1993.

ÖZGEÇMİŞ

1980 yılında Yozgat'ın Aydıncık İlçesinde doğan Adem ÜNVERMEZ, orta ve lise öğrenimini sırasıyla Aydıncık İlkokulu, Aydıncık Ortaokulu ve Ankara Etlik Kanuni Lisesinde tamamlamıştır. 1999 yılında kazandığı Erciyes Üniversitesi Meslek Yüksek Okulu İnşaat Bölümünü 2002 yılında tamamlamıştır. 2003 yılında Fırat Üniversitesi Mimarlık-Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne dikey geçiş yaparak 2006 yılında İnşaat Mühendisliği bölümünü başarıyla bitirmiştir.

Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Programını 2009 yılında kazanarak yüksek lisansa başlamıştır. Doç. Dr. Yüksel TAŞDEMİR danışmanlığında "Bitümlü Ilık Karışımların Mekanik Etüdü" başlıklı tezini hazırlamaktadır.

2008 yılından beri Şefaati İlçe Özel İdare Müdürlüğü'nde İnşaat Mühendisi olarak çalışmakta olan Adem ÜNVERMEZ, evli ve 1 çocuk babasıdır.

İletişim Bilgileri

Adres: Özel İdare Müdürlüğü

66800 ŞEFAATLİ / YOZGAT

Tel iş : (354) 564 10 19

Cep Tel : 0544 670 10 95

Faks : (354) 564 10 19

E-posta : dunyam_adem66@hotmail.com