

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

Yüksek Lisans Tezi

**VERMİKÜLİT İÇEREN BİTÜMLÜ İLİK KARIŞIMLARIN
YAŞLANMASININ DOLAYLI ÇEKME TESTİ İLE İNCELENMESİ**

Çağrı KOÇER

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Yüksel TAŞDEMİR**

Yozgat 2019

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

Yüksek Lisans Tezi

**VERMİKÜLİT İÇEREN BİTÜMLÜ İLİK KARIŞIMLARIN
YAŞLANMASININ DOLAYLI ÇEKME TESTİ İLE İNCELENMESİ**

Çağrı KOÇER

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Yüksel TAŞDEMİR**

Bu çalışma, Yozgat Bozok Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından 6601 FBE 17-62 kodu ile desteklenmiştir.

Yozgat 2019

T.C.
YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEZ ONAYI

Enstitümüzün İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Tezli Yüksek Lisans Programı 70110715003 numaralı öğrencisi Çağrı KOÇER'in hazırladığı “**Vermikülit İçeren Bitümlü Ilık Karışımların Yaşlanması Dolaylı Çekme Testi İle İncelenmesi**” başlıklı tezi ile ilgili tez savunma sınavı, Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri gereğince 04/02/2019 Pazartesi günü saat 10:00'da yapılmış, tezin onayına oy birliği ile karar verilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Yüksel TAŞDEMİR
(Danışman)



Jüri Üyesi : Doç. Dr. Bekir AKTAŞ



Jüri Üyesi : Dr. Öğr. Üyesi Yuşa ŞAHİN



ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulu'nun 07.../02.../19 tarih ve 7... sayılı Enstitü Yönetim Kurulu Kararı ile onaylanmıştır.

07.../02.../2019



Prof. Dr. Mustafa SAÇMACI
Müdür

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
ŞEKİLLERLİSTESİ	iv
TABLolar LİSTESİ	v
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	vi
1. GİRİŞ	1
2. BETON ASFALT KAPLAMALAR	3
2.1. Beton Asfalt Kaplama Özellikleri.....	3
2.2. Beton Asfalt Üretimi	4
2.3. Beton Asfalt Üretiminde Kullanılan Malzemeler	5
2.3.1. Agrega	5
2.3.2. Bitümlü Bağlayıcı	5
2.3.2.1. Bitümlü Bağlayıcıların Yaşlanmasını Etkileyen Faktörler	6
2.3.3. Katkı Malzemesi	6
3. BİTÜMLÜ İLİK KARIŞIMLAR	8
3.1. Bitümlü İlık Karışımların Üstünlükleri.....	8
3.1.1. Viskozitenin Azalması.....	9
3.1.2. Ekonomik ve Çevresel Faydalar.....	9
3.1.3. Kaplama ve Kullanım Faydaları.....	10
3.2. Bitümlü İlık Karışımların Olumsuz Yönleri.....	11
3.3. Bitümlü İlık Karışımların Üretim Teknikleri.....	11
3.3.1. Kimyasal Katkılarla Üretim.....	11
3.3.2. Organik Katkılarla Üretim.....	12
3.3.2.1. Fischer-Tropsch – Parafin (Sasobit).....	12
3.3.2.1.1. Fischer-Tropsch – Parafin Modifikasyonunun	
Üstünlükleri.....	13
3.3.3. Köpüklendirme Tekniğiyle Üretim.....	13
4. VERMİKÜLİT	15
4.1. Vermikülitin Beton İçerisinde Kullanımı.....	17
4.2. Vermikülitin Bitümlü Bağlayıcılarda Kullanımı.....	18

5. DENEYSSEL ÇALIŞMA	20
5.1. Kullanılan Malzemeler.....	20
5.1.1. Bitümlü Bağlayıcı ve Kullanılan Katkı Maddeleri.....	20
5.1.1.1. Sasobit İle Modifiye Edilen Bitümüm Hazırlanması.....	21
5.1.1.2. Vermikülit İçeren Modifiye Bitümlerin Hazırlanması.....	22
5.1.2. Agregası.....	22
5.1.2.1. Elek Analizi.....	22
5.2. Bitümlü Karışımlar.....	25
5.2.1. Marshall Tokmağı ile Bitümlü Karışımların Sıkıştırılması.....	26
5.2.2. Bitümlü Karışımların Yaşlandırılması.....	27
5.3. Bitümlü Bağlayıcı Üzerine Uygulanan Deneyler.....	28
5.3.1. Penetrasyon Testi.....	28
5.3.2. Yumuşama Noktası Testi.....	28
5.4. Bitümlü Karışımlar Üzerine Uygulanan Deneyler.....	28
5.4.1. Dolaylı Çekme Testi.....	28
5.4.1.1. Deneyin Yapılışı.....	29
5.5. Bitümlü Bağlayıcı Üzerine Uygulanan Deneylerin Sonuçları.....	29
5.6. Bitümlü Karışım Üzerine Uygulanan Deneylerin Sonuçları.....	31
5.6.1. Dolaylı Çekme Testi Sonucu.....	31
SONUÇLAR	38
KAYNAKLAR	40
ÖZGEÇMİŞ	42

VERMİKÜLİT İÇEREN BİTÜMLÜ ILIK KARIŞIMLARIN YAŞLANMASININ DOLAYLI ÇEKME TESTİ İLE İNCELENMESİ

Çağrı KOÇER

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

2019

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Yüksel TAŞDEMİR

ÖZET

Ülkemizde kilometrelerce asfalt kaplama, yaşlanmanın etkisi ile düşük sıcaklık çatlakları ve yorulma çatlaklarının erken oluşması nedeniyle servis yeteneğini kaybetmekte ve yenilenmektedir. Bu bozulma, karışımın üretilmesi esnasında önlem alınmadığı için gereksiz bakım harcamalarının yapılmasına ve karayolunun konforunun azalmasına neden olmaktadır. Bitümlü bağlayıcılar içerisinde vermikülit kullanılması bitümlü bağlayıcıların yaşlanmaya karşı direncini arttırdığı bazı araştırmacılarca belirlenmiştir. Bu çalışmada, bitümlü ılık karışım katkı maddeleri ile modifiye edilip, bitümlü bağlayıcılara vermikülit ilave edilerek hazırlanan bitümlü ılık karışımların uzun dönem yaşlanmaları dolaylı çekme testi ile incelenmiştir.

Çalışmanın sonucunda vermikülitin katkı maddesi olarak kullanılmasının, bitümlü karışımın penetrasyon değerini azaltıp ve yumuşama noktası değerini arttırdığı görülmüştür. Penetrasyon değerinin az olması vermikülit katkılı bitümlü karışımların yüksek sıcaklıktaki uygulamalarda kullanılmasının fayda sağlayabileceği anlamına gelmektedir. Vermikülit katkılı bitümlü karışımlar daha yüksek dolaylı çekme dayanımına sahip olduğu da belirlenmiştir. Böylelikle, vermikülit katkılı bitümlü karışımlar, çatlamalara karşı daha iyi bir direnç gösterebilecek ve içsel sürtünme direnci nedeni ile tekerlek izi oluşumunu azaltabilecektir.

Anahtar Kelimeler: Bitümlü Ilık Karışım, Vermikülit, Dolaylı Çekme Testi

INVESTIGATION OF THE AGING OF BITUMINOUS MIXTURES CONTAINING VERMICULITE WITH INDIRECT TENSILE TEST

Çağrı KOÇER

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

2019

Thesis Supervisor: Prof. Dr. Yüksel TAŞDEMİR

ABSTRACT

In our country, kilometers of asphalt pavement loses its service ability due to premature formation of low temperature cracks and fatigue cracks due to the effect of aging. This deterioration leads to unnecessary maintenance costs and decreases the comfort of the highway, as no precautions are taken during the production of the mixture. It has been determined by some researchers that the use of vermiculite in binders has increased the aging resistance of binders. In this study, long-term aging of the warm mix asphalt mixtures prepared by adding warm mix asphalt additives and vermiculite to the binders has been investigated by indirect tensile strength test.

As a result of the study, it was seen that the use of vermiculite as an additive decreased the penetration value of the bituminous mixture and increased the softening point value. The low penetration value means that the use of vermiculite involved bituminous mixtures in high temperature applications can be beneficial. It has also been found that vermiculite increases the indirect tensile strength of the bituminous mixtures. Thus, vermiculite involved bituminous mixtures may exhibit a better resistance to cracking and may reduce the occurrence of rutting due to internal friction resistance.

Keywords: Warm mix asphalt mixture, vermiculite, indirect tensile strength

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın planlanması ve yrtlmesinde benden destek ve ilgisini esirgemeyen, bilgi ve nerilerinden yararlandığım danışman hocam Sayın Prof. Dr. Yüksel TAŞDEMİR'e sonsuz saygı ve Őkranlarımı sunarım.

İnşaat Mhendisliği Öğr. Gör. Sayın Mehmet BAYAZİT'e, Hayrullah GÜLER ve çalışmada bana yardımcı olan arkadaşım Mustafa DURSUN, abim Tolga KOÇER ve bütün aileme teşekkür ederim.

ağrı KOÇER

Yozgat 2019

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 : Asfalt plenti.....	4
Şekil 5.1 : Karışımın mikser yardımı ile hazırlanması	21
Şekil 5.2 : Elek analizinde kullanılan elekler	23
Şekil 5.3 : Kullanılan agreganın gradasyon eğrisi	24
Şekil 5.4 : Agregada ve modifiye bitümün karışımının yapılması	26
Şekil 5.5 : Marshall Tokmağı ile numunelerin sıkıştırılması	26
Şekil 5.6 : 5 gün boyunca 85 °C de yaşlandırmaya tabii tutulan numuneler	27
Şekil 5.7 : Dolaylı Çekme Testi cihazı	29
Şekil 5.8 : Vermikülit yüzdesine göre numunelerin dolaylı çekme testi sonuç grafiği.....	32
Şekil 5.9 : Vermikülit + Sasobit içerik yüzdesine göre numunelerin dolaylı çekme testi sonuç grafiği	33
Şekil 5.10 : +%V İçerikli uzun dönem yaşlanmaya tabii tutulmuş bitümlü karışımların AI değerleri.....	34
Şekil 5.11 : +%VS İçerikli uzun dönem yaşlanmaya tabii tutulmuş bitümlü karışımların AI değerleri.....	35
Şekil 5.12. : +%V ve +%VS içerikli numunelerin 5 günlük yaşlanma indisi değerleri.....	36
Şekil 5.13. : +%V ve +%VS içerikli numunelerin 25 günlük yaşlanma indisi değerleri.....	36

TABLolar LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 3.1 : BSK'nın üretimine göre BIK Teknolojisinde Emisyon Azalması..	10
Tablo 5.1 : BSK'nın üretimine göre BIK Teknolojisinde Emisyon Azalması..	20
Tablo 5.2 : Vermikülitin elek analizi sonucu.....	21
Tablo 5.3 : Elek analizi sonuçları, karışım gradasyonu ve şartname değerleri..	23
Tablo 5.4 : Agregâ özellikleri.....	24
Tablo 5.5 : Hesaplanan ve ölçülen karışım özellikleri ile tasarım kriterlerine göre karşılaştırmaları.....	25
Tablo 5.6 : Katkısız ve modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcıların penetrasyon ve yumuşama noktası değerleri.....	30
Tablo 5.7 : Yaşlandırılmamış ve 85 ° C de 5 gün ve 25 gün yaşlandırılmış numunelerin fiziksel özellikleri ve elde edilen dolaylı çekme dayanımı değerleri.....	31
Tablo 5.8 : Uzun dönem yaşlandırılmış bitümlü karışımların yaşlanma indisi değerleri	34

SİMGELER VE KISALTMALAR

AI	: Yaşlanma İndisi
ASTM D4123	: Standard Test Method for Indirect Tension Test for Resilient Modulus of Bituminous Mixtures
BIK	: Bitümlü Ilık Karışım
BSK	: Bitümlü Sıcak Karışım
CTAB	: Setiltrimetil Amonyum Bromür
D	: Numunenin Ortalama Çapı, mm
Dt	: Maks. Teorik Özgül Ağırlık
Dp	: Hacim Özgül Ağırlık
EVMT	: Genleştirilmiş Vermikülit
FT	: Fischer-Tropsch Vaks
Hort	: Yükseklik Ortalaması
P	: Dolaylı Çekme Cihazında Okunan Maksimum Değer, kgf
PAV	: Basınçlı Yaşlandırma Kabı Deneyi
SBS	: Stiren-Butadien-Stiren
S	: Sasobit
S_t (ITS)	: Çekme Dayanımı, Mpa
OEVMT	: Organik Genleştirilmiş Vermikülit
ODBA	: Oktadesil Dimetil Benzil Amonyum Klorür
R²	: Belirleme Katsayısı
RTFOT	: Dönmeli İnce Film Fırın Etüv Deneyi
UV	: Ultraviyole
V_h	: Hava Boşluğu Oranı
V	: Vermikülit Katkılı Bitümlü Karışım
VS	: Vermikülit ve Sasobit Katkılı Bitümlü Karışım
VAI	: Viskozite Yaşlanma İndeksini
t	: Numunenin Ortalama Yüksekliği, mm
WMA	: Bitümlü Ilık Karışım

1. GİRİŞ

Kaplama tabakasında kullanılan bağlayıcı cinsine göre yol üstyapıları; esnek ve rijit olmak üzere iki ana sınıfa ayrılmaktadır. Bağlayıcı olarak bitümlü malzemelerin kullanıldığı üstyapı çeşidine esnek yol üstyapısı denilmektedir. Üstyapı tabakalarının en uygun şekilde tasarımı; güvenlik, konfor ve ekonomi bakımından büyük bir önem arz etmektedir. Üstyapı kaplama tabakalarının servis ömrü, trafiğe açılışından iyileştirme veya yeniden yapım gerekinceye kadar geçen dönem olarak tanımlanmaktadır. Üstyapının ömrü; yapısal tasarım şartlarına, malzeme karakteristiklerine, tabaka kalınlıklarına, bakım aktivitelerine veya kabul edilen bozulma kriterlerine göre değişiklik göstermektedir [1].

Ülkemizde en çok kullanılan üstyapı cinsi esnek üstyapılardır. Esnek üstyapı kaplama, temel ve alt temel olmak üzere üç tabakadan oluşmaktadır. Esnek üstyapı kaplama malzemesi olarak dünyada ve ülkemizde Bitümlü Sıcak Karışımlar (BSK) önemli ölçüde tercih edilmektedir. Kaplama tabakasını oluşturan bitümlü karışımlar, yüke ve dış etkilere maruz kalarak zamanla bozulmakta ve onarıma ihtiyaç duymaktadır. Onarım için kullanılan BSK'nın üretimi, taşıt sayılarının artmasına bağlı olarak giderek artmaktadır. Ancak BSK'nın üretiminde gerekli olan sıcaklığı (160-180°C) elde etmek için harcanan enerji, yüksek maliyet oluşturmakta, hem ısıtma işlemi için gerekli yakıtın yanmasından hem de karışımın ısıtılmasından dolayı açığa çıkan gaz salınımı çevreyi olumsuz olarak etkilemektedir. Bu sorunlar göz önünde tutularak BSK'ya oranla yaklaşık 20-30°C daha düşük sıcaklıklarda üretilen ve BSK ile aynı özelliklere sahip Bitümlü Ilık Karışımlar (BIK) geliştirilmiştir. BIK, karıştırma sıcaklığı azaldığı için hem maliyeti düşürmekte hem de gaz salınımını azaltmaktadır [2].

Kaplamanın öngörülen ömür ve konfor düzeyinin sağlanması büyük ölçüde karışımlarda kullanılan bitümlü bağlayıcının özelliklerine bağlıdır. Bu özelliklerin en önemlilerinden biri yaşlanma olup özellikle oksidasyon nedeni ile asfaltın sertleşmesi, kırılma hale gelmesi ve bağlayıcılık özelliğinin kaybolması olarak tanımlanmaktadır. Bitümlü bağlayıcının yaşlanma özelliğinin bilinmesi bahsedilen bozulma özelliklerinin daha iyi anlaşılmasını sağlayacaktır [3].

Zhang ve arkadaşları tarafından, bitümlü bağlayıcıların yaşlanması üzerinde vermikülitin etkisi hakkında araştırmalar yapmışlardır. Çalışmalarında geliştirilmiş vermikülitin, özellikle %1 geliştirilmiş vermikülit ile %3 oranında nano çinko oksitin birlikte kullanımının, bitümlü bağlayıcının yaşlanmaya karşı direncini artıracaklarını göstermişlerdir [4-7]. Geliştirilmiş vermikülit ve bitümlü ılık karışım katkı maddesi (sasobit) içeren bitümlü bağlayıcıların yaşlanma direnci üzerine Liu vd. çalışma yapmış olup çalışma sonucunda %3 oranındaki geliştirilmiş vermikülitin etkin bir şekilde bitümlü ılık karışım katkı maddesi içeren bitümlü bağlayıcıların yaşlanma direncini artırabileceğini belirlemişlerdir [8].

Vermikülit bir çeşit trioktahedral mika minerali olarak bilinir. Hızlı ısıtma ile yapraklara ayrılır ve küçük kurtçuklara benzeyen bir şekil alır. Doğada; oluşumuna ve bulunduğu ortamlara göre toprak, otojenik, metamorfik ve makroskopik olmak üzere dört tipine rastlanmıştır ve yeşil, sarımsı kahve ve siyah renkte olabilir [9].

Bu tez çalışmasında bitümlü ılık karışım içerisine % 1, 2, 3, 4, 5 oranlarında vermikülit ilave edilerek elde edilen numunelerin yaşlanmaya karşı direnci dolaylı çekme testi ile incelenmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında; kullanılacak olan 50/70 penetrasyonlu bitümlü bağlayıcıya; %4 oranında sasobit eklenmiştir. Hazırlanan modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcılara %1, 2, 3, 4 ve 5 oranlarında vermikülit ilave edilerek bitümlü bağlayıcı karışımlarının penetrasyon ve yumuşama noktası değerleri belirlenmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında ise; öncelikle katkısız bitümlü bağlayıcı kullanılarak Marshall tasarım yöntemi ile optimum bitümlü bağlayıcı oranı tespit edilmiştir. Daha sonra vermikülit ilave edilen bitümlü bağlayıcılarla 6 tip bitümlü sıcak karışım üretilmiştir. Ayrıca vermikülit ilave edilen sasobit ile modifiye edilmiş 6 tip bitümlü ılık karışım hazırlanmıştır. Bitümlü karışımların her birinden 9'ar adet numune olmak üzere toplam 108 adet numune hazırlanmıştır. Bu numunelerden 36 adeti 85 ° C'de 5 gün ve 36 adeti 85 ° C'de 25 gün uzun dönem yaşlanmaya tabi tutulmuştur. Geriye kalan 36 adet numune yaşlandırmaya tabi tutulmamıştır.

2. BETON ASFALT KAPLAMALAR

Karayolu, her türlü kara taşıtı ve yaya ulaşımını sağlayan, kamunun yararlanmasına açık olan arazi şerididir. Karayolunun trafik ile temasta bulunan kaplama yüzeyi birçok şekilde inşa edilebilmektedir. Yayaların ve araçların güvenli seyrini sağlayan, çevre görüntüsünü bozmadan, gürültü kirliliğini azaltmış, uygulama ve bakımındaki kolaylıklar nedeniyle beton asfalt kaplamalar, yol inşaatında uygulanan kaplama çeşitlerinin başında gelmektedir [10]. Tabakalar halinde inşa edilen beton asfalt kaplamaların bu özellikleri sayesinde bakımlarının yapılması ve yenilenmeleri daha kolaydır. Ayrıca tabakalı yapısından dolayı beton asfalt kaplamalar, uygulama esnasında önemli derecede ekonomik çözümler sağlamaktadır.

Ülkemizde yük taşımacılığının % 91,38'i ve yolcu taşımacılığının % 95,02'si karayolları aracılığı ile yapılmaktadır. Bu nedenle ülkemiz için karayolları, inşa edilmesinden, bakımına kadar birçok konuda büyük önem taşımaktadır. Ülkemizde en çok inşası yapılan karayolu tipi esnek yol üst yapılarıdır [10].

2.1. Beton Asfalt Kaplama Özellikleri

Beton asfalt uygulama sahasına finişer yardımı ile karıştırılıp serilerek, serme işleminin ardından silindirlerle sıkıştırma işlemi yapılarak yol kaplaması elde edilir. Yol kaplamasının yapımı esnasındaki bu karıştırma, serme ve sıkıştırma işlemlerinin yapımında herhangi bir zorluk yaşanmamalıdır. Beton asfaltın işlenebilirliği olarak tanımlanan bu özellik, agreganın gradasyonu, bitüm yüzdesi, agreganın maksimum dane büyüklüğü, şekli ve yüz yapısına, kısacası beton asfaltın tasarımına bağlıdır.

Beton asfaltın yol kaplamalarında tercih edilmesinin en önemli sebepleri hızlı ve kolay bir şekilde yapımının sağlanmasıdır. Beton asfalt kaplamaları üretim esnasında, beton kaplamalar gibi kür gerektirmediği için çabuk bir şekilde serilerek, sıkıştırma işlemi tamamlandıktan kısa bir süre sonra trafiğe açılabilir [10].

Esneklik özelliği sayesinde trafik yüklerini tabana yayarak yüksek dayanıma sahip olan beton asfalt kaplamalar, beton gibi rijit bir özelliğe sahip olan diğer kaplamalara nispeten daha ince tabakalar halinde uygulanabilmektedir.

Geçirimsiz olma özelliğinden dolayı beton asfalt kaplamalarda suyun üstyapıya girişi engellenmekte ve bu sayede üstyapının dondan etkilenmesi, yüzeyde suyun birikerek trafikte tehlike yaratması gibi sakıncalı durumlar önlenmektedir. Beton asfalt kaplamaların elastik ve kalıcı deformasyonlara karşı direnci diğer kaplamalara göre daha yüksek olduğu için uzun vade de performansları daha yüksektir [10].

2.2. Beton Asfalt Üretimi

Dünyada birçok ülkede yol kaplaması olarak kullanılan beton asfalt, özel üretim tesisleri olan asfalt plantlerinde, belli gradasyondaki agregayı istenilen sıcaklığa kadar brülör aracılığıyla (genelde 160 °C) ısıtıp, bitüm ve filler ile tambur içerisinde karıştırılarak elde edilir. Üretim aşamasında agreganın ısıtılmasındaki amaç taş ocağından çıkarılarak gelen malzemenin kurutulmasını sağlamak, bitümün ısıtılmasındaki amaç ise işlenebilirliği arttırmaktır. Asfalt plantleri, gelişmiş bir teknolojinin ürünü olarak tasarlanmış ve uygulanacak proje için hazırlanan tasarıma uygun olarak sıcak asfaltın hazırlanmasını kolaylaştıran ve üretim miktarına (ton/saat) göre Şekil 2.1’de görüldüğü gibi çeşitli büyüklüklerdeki tesislerdir.



Şekil 2.1 Asfalt planti

2.3. Beton Asfalt Üretiminde Kullanılan Malzemeler

Beton asfalt üretiminde kullanılan malzemeleri, agregalar, bitümlü bağlayıcılar ve uygulanacak olan güzergâhın taşıt hacmine göre tasarımı yapılan binder veya aşınma tabakasının türüne göre kullanılan katkı malzemeleri olarak üç grupta inceleyebiliriz.

2.3.1. Agregata

İnşaatlarda ana malzeme olarak kullanılan agregata, yol inşasında da üst yapının ağırlıkça ve hacimce önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Aynı zamanda yola etkileyen yüklerin oluşturduğu gerilmelerin karşılanmasında da önemli bir rol oynar. Hem yükleri karşılamakta hem de yol inşaatlarının içeriğinde büyük oranda yer almasından dolayı agregata, mühendisler tarafından dikkat edilmesi gerekli olan önemli bir malzemedir [11].

2.3.2. Bitümlü Bağlayıcı

Bitümlü bağlayıcı, beton asfalt içerisinde agregata arası bağlayıcı özelliği ve beton asfalta sağladığı esneklik sayesinde birçok avantaj kazandıran, katı, yarı katı ya da sıvı halde olabilen, hidrokarbonlu yapıya sahip bir malzemedir. Bitümlü bağlayıcı, göl ya da kayalardan doğal halde elde edilebileceği gibi, ham petrolün damıtılmasından da elde edilebilir. Yol üst yapılarında kullanılan en yaygın bağlayıcı tipi, ham petrolün rafine edilmesi sonucu elde edilen asfalt çimentolarıdır. AC ile gösterilen asfalt çimentoları, 10-300 arasında değişen penetrasyon değerlerine göre sınıflandırılır [11].

Bitümlü bağlayıcıların dayanıklılığı, sertleşmeye karşı gösterdiği dirençle ölçülmektedir. Bitümlü bağlayıcıların maruz kaldığı çeşitli etkenlerden dolayı sertleşmesi yaşlanma olarak adlandırılmaktadır. Yaşlanmayı başka bir şekilde ifade edebilecek olursak kaplamanın yapım aşaması dâhil olmak üzere, servis ömrü boyunca asfaltın birleşenlerinin kimyasal reaksiyonlara maruz kalmasıdır. Yaşlanma iki aşama halinde incelenmektedir. İlk olarak sıcak bitümlü karışımın depolanma, plente taşınma, plente karıştırma, uygulama yerine taşınması, serilmesi ve sıkıştırması işlemleri sırasında meydana gelen kısa dönem yaşlanmadır. İkinci olarak ise kısa dönem yaşlanma sırasındaki etkiler de dâhil olmak üzere, yolun servis ömrü

boyunca maruz kaldığı etkiler sonucu meydana gelen uzun dönem yaşlanma olarak adlandırılmaktadır [3].

2.3.2.1.Bitümlü Bağlayıcıların Yaşlanmasını Etkileyen Faktörler

Yaşlanmayı etkileyen faktörler 1903 yılında Dow tarafından yapılan bir çalışma sonucu ortaya çıkarılmıştır. Daha sonra 1961 yılında Traxler tarafından bu faktörler; oksidasyon, buharlaşma, polimerizasyon ve yoğunlaşma polimerizasyonu olmak üzere 4 sınıfa ayrılmıştır. Traxler daha sonraki yaptığı çalışmalarda yaşlanmayı etkileyen faktörleri 15'e çıkarmıştır. 1984 yılında Petersen, karışımların yaşlanmasına ilişkin faktörleri 3 ana grupta incelemiştir. Bu faktörler; moleküler yapının tiksotropik etkileri, oksijen ile reaksiyona giren bağlayıcı yapısındaki kimyasal değişme, buharlaşma sonucu asfalt içindeki yağ parçacıklarındaki azalma olup daha sonraki yapılan çalışmalarda bu üç faktör esas alınmıştır [3].

Bitümlü bağlayıcılarda kısa dönem yaşlanma Dönmeli İnce Film Fırın Etüv (RTFOT) deneyinde bitümün 163 ° C'de 80 dakika bekletilmesi ile temsil edilmektedir. Uzun dönem yaşlanması ise Basınçlı Yaşlandırma Kabı (PAV) deneyinde 2,2 MPa basınç altında 100 ° C'de 20 saat bekletilmesi ile temsil edilmektedir.

Bitümlü karışımlarda kısa dönem ve uzun dönem yaşlanmaların her ikisi de AASHTO R30-02 şartnamesi takip edilerek laboratuvarında temsil edilebilmektedir. Laboratuvarında kısa dönem yaşlandırmayı temsil etmek için sıkıştırılmamış bitümlü karışım 154 ° C'de 2 saat veya 135 ° C'de 4 saat etüvde bekletilmektedir. Uzun dönem yaşlanma ise, kısa dönem yaşlandırılmış numunenin sıkıştırılmış halde 85 ° C'lik etüvde 5 gün bekletilmesi ile temsil edilmektedir.

2.3.3. Katkı Malzemesi

Yol üst yapısında karşılaşılan bazı durumlara önlem almak için bitüm içerisine ilave edilen malzemeleridir. Bunlardan bazıları, vestoplast, tnac, kraton, viatop, vaks, elvaloy gibi katkılardır [2]. Katkı malzemelerinin kullanım yöntemleri genel olarak iki şekilde yapılabilmektedir. Birinci yöntemde, katkı maddesi bitüme katılarak 'modifiye bitüm' elde edilir. İkinci yöntemde ise katkı maddesi asfalt plentinde

doğrudan doğruya karışıma katılarak, ‘modifiye karışım’ elde edilir. Modifiye bitüm genel olarak asfalt çimentolarının özelliklerini iyileştirmek ve ısı hassasiyetlerini azaltmak amacıyla, katkılarla elde edilen bitümlü bağlayıcıdır. Bitümün modifiye edilmesi için genellikle ek malzemeler gerekmekte ve hazırlanan modifiye edilmiş bitümün depolanması, taşınması gibi çeşitli sorunlar ortaya çıkmaktadır. Karışım modifikasyonunda katkı maddeleri asfalt plentinde doğrudan doğruya karışıma katılabildiği için ek karışım ekipmanlarına ihtiyaç duyulmamakta ve depolama, taşıma gibi sorunlar ortaya çıkmamaktadır. Fakat bu durumda karışımdan modifiye bitüm numunesi alınarak özelliklerinin belirlenmesi ve değerlendirilmesi uygun olmamaktadır. Bitüm de kullanılan katkı maddelerinde aranan özellikleri aşağıdaki gibi sıralayabiliriz;

- ✓ Kolay elde edilebilmeli
- ✓ Asfaltın karışım sıcaklığı sırasında özelliklerini kaybetmemeli
- ✓ Asfalt ile homojen olarak karışabilmeli
- ✓ Asfaltın, akışkanlığa karşı direncini arttırmalı
- ✓ Düşük sıcaklıklarda asfaltın çok kırılğan ya da sert olmamasını sağlamalı
- ✓ Maliyet açısından ekonomik olmalıdır [2].

Bu çalışmada katkı maddesi olarak vaks kullanılmaktadır. Bu nedenle katkı malzemesi olarak vaks içeren bitümlü ılık karışımlar bir sonraki bölümde detaylı olarak incelenecektir.

3. BİTÜMLÜ İLİK KARIŞIMLAR

Bitümlü Sıcak Karışımlar (BSK), kaplama malzemesi olarak kullanılmakta ve bu malzemenin performansını geliştirmek için çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Karışımların performansının geliştirilmesinin yanında, üretimde enerji tasarrufunun sağlanması ve çevreye verdiği zararlı etkilerin azaltılması da amaçlanmaktadır. Daha düşük maliyetli ve çevreye daha az zararlı bitümlü karışımlar hazırlamak amacıyla dünyada çeşitli teknolojiler geliştirilmiş ve bitümlü karışımların karıştırma sıcaklıkları düşürülmüştür. Bitümlü sıcak karışımlara kıyasla daha düşük sıcaklıklarda hazırlanan bu karışımlar Bitümlü Ilık Karışımlar (BIK) olarak adlandırılmaktadır [2].

Bitümlü Ilık Karışımlar, Bitümlü Sıcak Karışımlara göre 25 – 55 °C daha düşük sıcaklıklarda yaklaşık olarak 100 – 140 °C civarında üretilmektedir. Düşük sıcaklıklarda bitümlü karışım tekniği ilk kez 1990 yılında Almanya’da geliştirilmiş ve uygulamada katkı maddeleri kullanılmıştır. Daha sonra Norveç’te köpük tekniğiyle BIK üretimi gerçekleştirilmiştir. BIK tekniği ilk kez 2000 yılında 2. Euraspfalt 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 [8].

3.1. Bitümlü Ilık Karışımların Üstünlükleri

Bitümlü Ilık Karışımların kullanımının pek çok üstünlükleri mevcuttur. BIK’ın üstün yönleri; bitümün viskozitesini azaltması, ekonomik ve çevresel faydalar, kaplama faydaları ve üretime yapmış olduğu katkılar olarak ana başlıklar altında incelenebilir [2].

3.1.1. Viskozitenin Azalması

Bitümlü sıcak karışımlar hazırlanırken, bitümün optimum viskozitesinin karışım için 0.17 ± 0.02 Pa-s, sıkıştırma için 0.28 ± 0.03 Pa-s olması istenmektedir [12]. BIK, Bitümlü Sıcak Karışımın üretimi için gerekli olan sıcaklıktan daha düşük bir sıcaklıkta, bitümün viskozitesini azaltarak agreganın tamamen bitümle kaplanmasını sağlamaktadır. Üretim ve serme sıcaklığı aralığındaki viskozitenin azalması, bitümlü karışımların daha iyi işlenmesine ve sıkıştırılmasına olanak sağlamaktadır. Ayrıca karışım düşük sıcaklıkta üretilebildiğinden içindeki bitümlü bağlayıcı daha az yaşlanarak termal ve yorulma çatlaklarına karşı daha dirençli olmaktadır [12]. Viskozitenin azalmasına bağlı olarak, karışımların kaplama sezonunun genişleyebileceği, taşıma mesafelerinin artabileceği ve gerekli silindir sıkıştırmasının azalabileceği de mümkün olabilmektedir.

3.1.2. Ekonomik ve Çevresel Faydalar

Dünyada emisyonların artmasına bağlı olarak sera gazı etkisi artmakta ve bu durum çevreyi olumsuz yönde etkilemektedir. Çevresel tedbirleri almak üzere ülkeler arasında çeşitli anlaşmalar imzalanmaktadır. 1997'de imzalanan Kyoto Protokolü ile emisyonların azaltılarak 1990 yılındaki seviyesine düşürülmesi amaçlanmış, emisyonları düşürebilmek için önlemler almaya başlayan ülkeler, enerji tüketimini azaltmaya başlamışlardır. Çevresel tedbirlerin alınmasına bağlı olarak geliştirilen Bitümlü Ilık Karışımlar düşük sıcaklıklarda hazırlandığı için hem yakıtın azalmasına hem de emisyonların azalmasına katkı sağlamaktadır [2, 13].

Enerji tüketimindeki azalma, BIK'ların en belirgin faydasıdır. Yapılan çalışmalar, yakıt tüketimindeki azalmanın BSK'ya kıyasla %20-35 arasında olduğunu göstermektedir [2]. Enerji tüketimindeki azalma, üretilen karışımın maliyetini düşürürken BIK teknikleri için kullanılan modifikasyon ekipmanları ve kullanılan katkıları karışımın maliyetini artırır [2, 13, 14]. Bu katkıların maliyetinin ne kadar olacağı kullanılan BIK metotlarına bağlıdır. Üretim sıcaklıklarındaki azalmanın bir diğer faydalı yönü ise, karıştırma tesisinin daha az aşınması ve yıpranmasıdır.

BIK teknolojisinde, BSK'da beklenen tipik emisyonlara göre Tablo 3.1'de belirtildiği gibi önemli azalmalar olmaktadır. Emisyonlardaki düşüş oranları, birçok faktöre bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Sıcaklık düşüşünün yüksek olduğu teknolojilerde, emisyonlardaki azalma miktarı da o derece yüksek olmaktadır [12].

Tablo 3.1. BSK'nın üretimine göre BIK Teknolojisinde Emisyon Azalması [12, 15]

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

3.1.3. Kaplama ve Kullanım Faydaları

Bitümlü karışımlara katılan akışkan geliştirici katkıların, sıkışmaya fayda sağlayarak kolaylaştırdığı bilinmektedir. BIK 'ta, düşük sıcaklıklarda bitümün viskozitesi azaldığı için karıştırma ve sıkışmaya fayda sağlamaktadır. Ayrıca yolun servis ömrü boyunca viskozite arttığı için kaplamaya fayda sağlamaktadır [2, 16].

BSK'nın karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları yüksektir. Karıştırma sıcaklığı, sıkıştırma sıcaklığına düştüğü an, taşıma süresi ve mesafesi de sonlandırılmaktadır. Taşıma mesafesini artırmak için karıştırma sıcaklığının artırılması bitümü olumsuz etkilemektedir. Bitümlü Ilık Karışımlarda karıştırma ve sıkıştırma sıcaklığı BSK'ya göre daha düşük olmaktadır ve karıştırma sıcaklığı artırılarak taşıma mesafeleri artırılabilir. Karıştırma sıcaklığının artması BSK'nın karıştırma sıcaklığının altında kaldığı için bitüm sıcaklıktan olumsuz etkilenmemektedir [2].

Bitümlü Ilık Karışımların karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarının düşük olması daha soğuk havalarda yol inşasında kullanımına imkan sağlar. Ortamın sıcaklığı ve karışımın sıcaklığı arasındaki farkın az olmasından dolayı kaplama sezonu da genişlemektedir. Ayrıca azalan sıcaklık farkı, yol inşasını ve yolun servise açılma zamanını kısaltmaktadır. Bu durum, özellikle yüksek trafik kapasiteli şehir caddelerinde önem teşkil etmektedir [2, 17, 18].

3.2. Bitümlü Ilık Karışımların Olumsuz Yönleri

Bitümlü Ilık Karışımlar, yeni olmalarından dolayı kullanımları üzerine belirsizlikleri mevcuttur [2]. Çünkü karışımlar deneme ve düzenleme aşamasındadır. Bu karışımlar; uygulama alanlarındaki veri eksikliğinden ve karışımların neme karşı hassasiyetinden dolayı uygulamada henüz istenilen seviyede kullanılamamaktadır [2, 17, 19].

3.3. Bitümlü Ilık Karışımların Üretim Teknikleri

Bitümlü ılık karışımları üretmek için düşük viskozite gereklidir. Karışımların üretim ve sıkıştırma sıcaklık aralığında viskoziteyi azaltmayı sağlayan farklı ürünler geliştirilmiştir. Mevcut teknolojilere göre BIK aşağıda belirtilen 2 farklı metoda göre sınıflandırılmaktadır.

Sıcaklık azaltma derecesine göre sınıflandırma: Karışım sıcaklığına göre bu tip karışımlar, “Bitümlü Ilık Karışım” ve “Yarı – Ilık Karışımı” olarak sınıflandırmak mümkündür [12].

Üretim tekniklerine göre sınıflandırma: Bitümlü Ilık Karışımlar üretim tekniklerine göre kimyasal madde katkılı ılık karışımlar, organik madde katkılı ılık karışımlar ve köpük asfalt olmak üzere 3 şekilde sınıflandırılmaktadır [12].

3.3.1. Kimyasal Katkılarla Üretim

Kimyasal katkıların kullanımını içeren BIK sistemleri, bitümün viskozitesini azaltmak yerine, düşük karışım sıcaklıklarında bitümün kaplama performansını geliştirmeyi hedeflemektedirler. Genellikle kullanılan kimyasal katkılar Evoterm, Cecabase RT, Rediset, Revix, Iter Low T örnek verilebilir. Soyulmaya karşı

kullanılan katkılara benzer şekilde bitüme eklenen kimyasallar, bitüm hacminin % 0.3' ü kadar düşük bir orandadır [2, 16]. Ayrıca kimyasal katkıların yardımı ile karışım sıcaklığı en az 30 °C azaltılabilmekte ve karışım 140 °C ile 85 °C arasındaki sıcaklıklarda hazırlanabilmektedir [12].

3.3.2. Organik Katkılarla Üretim

Bitüme katkı eklenerek hazırlanan Bitümlü Ilık Karışımlarda, katkı olarak organik vaks kullanılmaktadır. Genel olarak kullanılan organik katkıların vaks olarak Fischer-Tropsch Vaks, Montan Vaks ve Yağ Asidi Amidi örnek olarak verilebilir. Sıcaklık, vaksın erime sıcaklıklarının üzerine çıktığı zaman, genellikle bitümde viskozite azalması oluşmaktadır [2]. Ancak yolda beklenen servis sıcaklığından daha yüksek olması gerekmektedir, aksi takdirde kalıcı deformasyon oluşabilmektedir [2, 17]. Doğru vaksın seçilmesi, düşük sıcaklıklarda asfaltın gevrekleşmesini en az seviyeye indirmektedir.

Organik katkıların, karışımda kullanılan bitümün sertliğine bağlı olarak karışımın sıcaklığının 20 – 30 °C düşmesini sağlayarak, yaklaşık 130 °C civarında karışımın üretilmesine imkan sağlamaktadır [12, 15]. Bu çalışmada FT – Parafin (Sasobit) katkı maddesi kullanıldığından dolayı alt başlıklarda daha detaylı açıklanmıştır.

3.3.2.1. Fischer-Tropsch – Parafin (Sasobit)

FT - Parafin, Fischer-Tropsch sentezi kullanılarak kömürün gazlaştırılmasından üretilen ince kristalli, uzun zincirli alifatik polietilen hidrokarbondur. 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 [12]. Böylelikle hem üretim hem de uygulama sıcaklıkları 30 °C kadar düşürülebilmektedir. FT – Parafin, 140 °C üzerinde bulunan bitümlü bağlayıcı içerisinde tamamen erimekte ve yaklaşık 150 °C'de karıştırılmaktadır [12, 20, 21].

3.3.2.1.1. Fischer-Tropsch – Parafin Modifikasyonunun Üstünlükleri

FT–Parafin ilavesi bitümlü bağlayıcının performansını belirgin bir şekilde artırmaktadır. FT-Parafin ilavesi bitümlü bağlayıcı miktarının sadece % 3,0 – 6,0 gibi düşük kullanım oranlarında fazla miktarda avantaj sağlamaktadır [12]. Bu avantajlar;

- Daha iyi sıkıştırma
- Belirgin biçimde artan taşıma gücü
- Tekerlek izinde azalma
- BSK sıcaklığının 30 ° C'e kadar düşürülmesi
- Trafiğe daha erken açma
- Sıkıştırmaya karşı direncin azaltılması
- Enerji tasarrufu ve CO2 emisyonlarının azaltılması
- Geri dönüşüm asfaltların soğuk ve sıcak ilave miktarlarının artırılması

gibi sıralanabilir [12].

FT-Parafin kimyasal yapısından dolayı hem kendi başına uygulanabilen hem de komodifikatör olarak kullanılabilen bir katkı malzemesidir. FT – Parafin katkılı bitümlü karışımlar, her türlü bitümlü sıcak karışımlarda, hava alanlarında, mastik asfaltlarda ve liman bölgelerinde kullanılabilir [12, 22].

3.3.3. Köpüklendirme Tekniğiyle Üretim

Bitümlü Ilık Karışımların köpürtülerek elde edilmesi iki şekilde yapılmaktadır. Bu yöntemlerden bir tanesi bitüme ilave edilen mineral esaslı katkıların bitümde köpük etkisi yaratması, diğer yöntem ise özel ekipmanlar kullanılarak bitümün köpürtülmesi olmaktadır.

Mineral katkılı köpürtme tekniklerinde, köpürtmeyi yapabilmek için Aspha-Min, Advera gibi katkıları kullanılmaktadır [2, 17]. Sentetik zeolit, alüminyum silikatlerin bir birleşimi olup kristalleştiği zaman yaklaşık %20 oranında su içermektedir [2, 23]. Sentetik Zeolit, 130-150 °C' de ısıtılan agrega ile karıştığı zaman bünyesindeki suyu serbest bırakarak bitümde köpürtme etkisi oluşturmaktadır [2]. Zeolitin serbest bıraktığı su, az miktarda olduğu için kontrollü bir köpürtme etkisi yaratmakta,

bitümün hacminin artmasına yol açmakta ve böylece bitümün akışkanlığı artmaktadır. Genellikle karışım ağırlığının % 0.3' ü oranında eklenen zeolit, bitümle aynı zamanda veya bitümden çok kısa süre önce karışıma eklenmektedir [2, 23].

Enjeksiyon ile köpürtme tekniğinde Double Barrel Gren, Ultrafoam GX, LT Asphalt şirketleri soğuk su kullanarak bitümün köpürtülmesini sağlamaktadırlar. Köpürtme etkisini yaratmak için gerekli olan su, özel püskürtme uçlarıyla sıcak bitüm içine doğrudan enjekte edilmektedir [2, 17]. Farklı şirketlerin geliştirdikleri ve uyguladıkları farklı köpürtme teknikleri de mevcuttur.



4. VERMİKÜLİT

Mineralojik olarak vermikülit, endüstriyel alanda genişleme özelliğine sahip mika gruplarını temsil etmektedir. Vermikülit yeşil, sarımsı, kahve ve hatta siyah renkte olabilir. Vermikülit yüksek sıcaklıklarda ani ısıya tabi tutulduğunda yaprak şeklinde katmanlara ayrılmakta ve uzama göstermektedir. Bu genişlemenin nedeni yapısında bulunan kristal suyun ani olarak buharlaşması sonucu oluşan buhar basıncından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu genişleme olayının sebebinin henüz tam olarak açıklanamamasının nedeni ise ağırlıkça aynı miktarda su içeren numunelerin dahi farklı oranlarda genişleme göstermesidir. Genleşme sonucunda malzemenin yoğunluğu, yaklaşık 10 kat azalarak, $0,8 \text{ g/cm}^3$ 'den $0,08 \text{ g/cm}^3$ 'e kadar düşmektedir. Yoğunluğundaki bu düşüşün nedeni, vermikülitin kalitesine ve geliştirilmesinin yapıldığı fırının performansına bağlıdır [9].

Dünya vermikülit üretimi mevcut yataklardan açık ocak işletmeciliği ile gerçekleştirilmektedir. Üretim aşamasında kalite ve miktar bakımından ekonomik sınırlar içinde kalan cevher zenginleştirme ünitesinde gerekli zenginleştirme ve arkasından genişletme işlemine tabi tutulur. Ocaktan çıkarılan malzeme, beslemenin depolandığı bunkerlere taşınmaktadır. Cevher çekiçli kırıcıya girmeden önce tanelere basınçlı su sıkılarak killi malzeme cevherden ayrıştırılmakta ve kırma işleminden sonra malzeme taraklı sınıflandırıcıya gönderilerek sınıflara ayrılmaktadır. Daha sonra elde edilen ürün çubuklu değirmenlerde öğütülerek ve yaş eleme yöntemi ile farklı tane boyutlarına ayrılmaktadır. Ayrılan bu malzemenin çoğuna başka herhangi bir uygulama yapmaya gerek görülmemektedir [9].

Vermikülitin piyasada satışa sunulmasından önceki son aşama geliştirilmesidir. Maksimum genişletmeyi elde etmek açısından fırın sıcaklığı ve bekleme süresi çok önemli olmaktadır. Genelde fırın sıcaklığı 1000°C ile 1800°C arasında bulunmakta, bekleme süresi ise 4 ila 8 saniye olacak şekilde ayarlanmaktadır. Genel olarak dikey, içi tuğla ile kaplı ve alttan ateşlemeli fırınlar kullanılmakta ve besleme yukardan yapılmakta, malzeme fırın içindeki plakalardan düşerken alevle karşılaşmaktadır. Genleşen taneler ve tozlar bir fan vasıtasıyla çekilmekte ve daha sonra siklon ile

birbirlerinden ayrılmaktadır. Genleşmiş ürün kâğıt veya plastik torbalarda ambalajlanarak tüketiciye ulaştırılmaktadır [9].

Vermikülitler kullanım alanına göre değişiklik göstermekle birlikte, işlenmiş malzemede aranan genel özellikleri şu şekilde sıralamak mümkündür;

- Düşük yoğunluğa sahip olarak yapının ölü yükünü azaltmalı ve fiziksel taşıma işlerine yardımcı olmalı,
- Isı ve ses yalıtım özellikleri son derece yüksek olmalı,
- Malzeme ateşe karşı dayanıklı olmalı ve erime noktası altındaki alev sıcaklıklarında fiziksel değişikliklere uğramamalı,
- Malzeme dayanıklı olmalı ve kullanım yerine ulaşıncaya kadar mekanik özellikleri bozulmaya uğramamalıdır [9].

Genleşmiş malzeme en yaygın olarak ısı ve ses yalıtımı amaçlı ve zirai uygulamalarda kullanılmaktadır. Vermikülit bütün killerle son derece iyi kompozit malzeme oluşturduğundan, yapılarda ateşe dayanıklı eleman, ses yalıtkanı, nem ve su yoğunlaşmasına karşı koruyucu, panel duvar, beton duvar ve tavanlarda dekoratif malzeme olarak kullanılmaktadır. Genleştirilmiş malzeme sıcaklığa ve ani ısı değişimine karşı son derece dayanıklı olduğundan beton, çelik ve ahşap yapı elemanlarının yangına karşı korunmasında da kullanılabilir. İri taneli malzemenin, akkor haldeki sıcak dökümlerin taşınmasında erimiş metalin örtülmesinde, kırılmayı önlemek amacıyla paketleme ve taşımacılıkta, buhar boru ve kazanlarının yalıtımında, döküm elemanları yapımı sırasında haddeleme işleminde kuru bağlayıcı olarak kullanım alanları da bulunmaktadır. İnce taneli ürünler ise, toprak düzenleyici malzeme olarak, bitki yetiştirmede, tarımda, ormancılık gibi değişik uygulamalarda da vermikülitten yararlanılmaktadır. Toprak yüzeyinden az bir miktar derine gömülen genleşmiş vermikülit malzemesi hem toprağın su ve gübre tutma süresini artırmakta hem de yabancı bitki ve zararlı böcekler için yapılan zirai ilaçlamanın daha etkili olmasını sağlamaktadır [9].

Tane boyuna göre kullanım alanları da şöyle sıralanabilir:

- **12.5 - 0.74 mm:** Konutlarda yalıtım malzemesi, akustik sıvalar, tavan kubbe kaplamaları, boru kaplamalarında.
- **0.74 - 0.37 mm:** Buzdolabı, otomobil ve uçaklarda yalıtım malzemesi, yangın söndürücüler, fitreler, soğutucu depolarda.
- **0.37 - 0.12 mm:** Yer muşambaları, çatı kaplamalarında,
- **0.12 - 0.074 mm:** Motor yağları, plastik ürünlerde.
- **0.074 - 0.054 mm:** Duvar kâğıtları, dış cephe boyalarında kullanılmaktadır [9].

Vermikülitin yukarıdaki kullanım alanları haricinde beton içerisinde ve beton asfalt üretiminde kullanımı üzerinde de çalışmalar yapılmaktadır.

4.1. Vermikülitin Beton İçerisinde Kullanımı

Doğal malzemelerden olan vermikülit yardımı ile düşük yoğunluklu beton üretimi söz konusudur. Ayrıca dökme beton üretiminde vermikülitin inanılmaz derecede değerli olmasını sağlayan birçok özelliği vardır.

- Yanmaz
- Ekonomik
- Kokusuz
- Toksin dumanlar yaymaz
- Bozulmaz veya parçalanmaz

Bu özellikleri sayesinde vermikülitin beton içerisinde kullanım alanı çok geniştir [24].

Duvar yapısının, oyuk iskeletinin gözenekleri ve boşluklarının yangın derecelendirmeleri ve akustik performansının artırılması vermikülitin kullanımı ile gerçekleştirilebilmektedir. Çatı katlarını izole etmek için püskürtülebilir vermikülit kullanılabilir. Vermikülit, inşaat malzemelerinde contalar, kaynak perdeleri, bariyer

kaplamalar için yüksek sıcaklık kaplamalarında veya bağlayıcılarda kullanılır. Diğer dolgu maddeleri ile kombine edildiğinde öğütülmüş vermikülit ve bir 'boya tipi' bağlayıcı, ıslak spreyci uygulanmış bir anti-drumming bileşiği olarak kullanılabilir. Vermikülit mimari panellerin titreşimlerini hafifletmek için ya da demiryolu istasyonları ve tünellerde kaplama olarak kullanılabilir. Vermikülit, alçı içerisinde perlit gibi diğer agregalar ile de kullanılabilir [24].

4.2. Vermikülitin Bitümlü Bağlayıcılarda Kullanımı

Zhang ve ark. çalışmalarında, setiltrimetil amonyum bromür (cetyltrimethyl ammonium bromide-CTAB) ve oktadesil dimetil benzil amonyum klorür (octadecyl dimethyl benzyl ammonium chloride-ODBA) kullanarak organik geliştirilmiş vermikülitler (OEVMT) hazırlamışlardır. OEVMT ilave edilmesinin SBS modifiyeli bitümlü bağlayıcının fiziksel ve yaşlanma özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır [5].

Zhang ve ark., OEVMT'lerin, SBS modifiyeli bitümlü bağlayıcıların fiziksel özellikleri üzerinde geliştirilmiş vermikülitlerden (EVMT) daha etkili olduğunu göstermişlerdir. EVMT'lerin eklenmesiyle SBS modifiyeli bitümlü bağlayıcıların yumuşama noktası ve viskozite değerleri artarken penetrasyon ve düktilesi azalmıştır, bu etkiler OEVMT ilavesi EVMT ile SBS arasında uygunluk sağladığı için daha belirgin olmuştur. İnce film halinde etüv deneyi sonuçlarına göre, SBS modifiyeli bitümlü bağlayıcıların viskozite yaşlanma indisi EVMT ve OEVMT ilave edilmesiyle azalmıştır. ODBA kullanılarak hazırlanan geliştirilmiş vermikülitlerin SBS modifiyeli bitümlü bağlayıcılardaki yaşlanma direncine etkisi, CTAB kullanılarak hazırlanan geliştirilmiş vermikülitlerden daha iyi olduğu araştırmacılarca belirtilmektedir [5].

Zhang ve ark. tarafından yapılan diğer bir çalışmada ise OEVMT ve nano-çinko oksidin, termal oksidasyon ve ultraviyole (UV) yaşlanma üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Organik geliştirilmiş vermikülit bitümlü bağlayıcının termal oksidasyon direncini arttırırken nano çinko oksit ise bitümlü bağlayıcının UV yaşlanma direncini belirgin şekilde iyileştirmiştir [6].

Zhang ve ark. tarafından yapılan diğer bir çalışmada ise EVMT ve u tip inorganik nano parçacık kullanarak gerçekleştirilen bitüm modifikasyonu değerlendirilmiştir. EVMT ve inorganik nano parçacıkların bitümlü bağlayıcının fiziksel ve uzun dönem yaşlanma özellikleri üzerine olan etkisini araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlar, nanomalzeme ilave edilmesinin bitümlü bağlayıcının fiziksel özelliklerini çok az etkilediğini göstermiştir. Nanomalzemelerin bitümlü bağlayıcının termal ve UV yaşlanma direncini aynı şekilde geliştirdiği çalışma sonucunda grlmştir. Ayrıca, bu iyileşmenin inorganik nanopara tipine bağlı olduğu saptanmıştır. %1 EVMT ve %3 nano çinko oksit içeren bitümlü bağlayıcıların nano silika ve nano titanyom dioksitle modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcılardan daha düşük viskozite yaşlanma indisi değerine dolayısıyla daha yüksek uzun dönem yaşlanma direncine sahip olduğu belirlenmiştir [7].

Liu ve ark. tarafından yapılan çalışmada ise genleştirilmiş vermikülit ve bitümlü ılık karışım katkı maddesi (sasobit) içeren bitümlü bağlayıcıların yaşlanma direnci üzerine incelenmiştir. Çalışma sonucunda %3 oranındaki genleştirilmiş vermikülitin belirgin bir şekilde bitümlü ılık karışım katkı maddesi (sasobit) içeren bitümlü bağlayıcıların yaşlanma direncini artırabileceğini belirlemişlerdir [8].

5. DENEYSEL ÇALIŞMA

5.1. Kullanılan Malzemeler

5.1.1. Bitümlü Bağlayıcı ve Kullanılan katkı maddeleri

Bu çalışmada Kayseri Karayolları Genel Müdürlüğü 21. Şubesinin Kırıkkale Rafinerisinden Kırşehir-Nevşehir, Nevşehir-Kayseri, Kırşehir-Kayseri illeri arası yol üst yapısı yapım işi için temin ettiği 50-70 penetrasyonlu bitümlü bağlayıcı kullanılmıştır. Bitümlü bağlayıcının özellikleri Tablo 5.1’de belirtilmektedir.

Tablo 5.1. Deneysel çalışmada kullanılan bitümlü bağlayıcının özellikleri

Bitümlü Bağlayıcının Özellikleri		Deney Standardı
Özgül Ağırlığı	1,030	TS 1087
Penetrasyonu	57	TS EN 1426
Yumuşama Noktası	49	TS EN 1427

Çalışmada bitümlü bağlayıcı içerisine katkı maddesi olarak ilave edilen FT parafin (ticari ismi ile sasobit), Fischer-Tropsch yöntemi ile üretilen alifatik hidrokarbondur. Erime sıcaklığı 85 °C – 115 °C olan sasobit, 115 °C’den daha yüksek sıcaklıklarda eriyip, bitüm ile homojen karışım sağlar [25]. Ayrıca sasobit bitüm içinde örgü yapısı oluşturarak asfaltın stabilitesini ve direncini ciddi oranda artırır.

Çalışma sırasında bitüm içerisine katılan diğer bir katkı maddesi ise geliştirilmiş vermikülitir. Vermikülit, hidratlı bir magnezyum alüminyum silikat mineralidir. Çalışmada kullanılan geliştirilmiş vermikülitin gradasyonu Tablo 5.2’de verilmiştir.

Tablo 5.2. Çalışmada kullanılan geliştirilmiş vermikülitin gradasyonu

Elek Açıklığı (mm)	Geçen, %
1	91,2
0,5	60,0
0,25	41,3
0,125	21,2
0,075	12,1
0,063	3,1

5.1.1.1. Sasobit İle Modifiye Edilen Bitümün Hazırlanması

Yaklaşık olarak 650 gr ağırlığındaki bitümlü bağlayıcı, 175 ° C'deki etüve yerleştirilip, akışkan bir hale gelene kadar 3 saat boyunca etüvde bekletilmiştir. Akışkan hale gelen bitüm içerisine bitümün ağırlığının % 4'ü kadar sasobit ilave edilerek, Şekil 5.1 'de görüldüğü üzere bir mikser yardımı ile 2000 dev/dak hızda 30 dakika boyunca karıştırılıp Sasobit içeren bitümlü bağlayıcı karışımı elde edilmiştir.



Şekil 5.1. Karışımın mikser yardımı ile hazırlanması

5.1.1.2.Vermikülit İçeren Modifiye Bitümlerin Hazırlanması

Katkısız ve sasobit katkılı bitüm, 155 °C'deki etüve yerleştirilip, akışkan bir hal alana kadar 3 saat boyunca etüvde bekletilmiştir. Etüvden çıkarılan bitümün içerisine, bitümün ağırlığının % 1, 2, 3, 4 ve 5' i kadar genişletilmiş vermikülit ilave edilmiştir. Daha sonra bitümlü karışım mikser yardımı ile 120 dakika boyunca 2000 dev/dak. sabit hızda karıştırılmıştır. Bu şekilde bitüme farklı oranlarda vermikülit eklenerek, vermikülit (+%V) ve sasobit + vermikülit (+%VS) içeren bitümlü bağlayıcı karışımları elde edilmiştir.

5.1.2. Agregaya

Karışımında kullanılan agregaya, Kırşehir-Nevşehir, Nevşehir-Kayseri, Kırşehir-Kayseri illeri arası yol üst yapısı yapım işinde kullanılan Çalış (Çopurlar) Kalker Taş Ocağından üretilen agregaya Kayseri Karayolları Genel Müdürlüğünden temin edilmiştir. Ocaktan alınan agregaya elek analizi uygulanmıştır.

5.1.2.1. Elek Analizi

Eleme, tanelerin belirli büyüklükteki açıklıklardan geçebilme veya geçememe özelliğine dayanarak yapılan boyuta göre sınıflandırma olarak açıklayabiliriz. Elek analizi, farklı büyüklükteki tanelerden oluşan öğütülmüş malzemenin tane boyutu dağılımını belirlemek için yapılmaktadır. Tane boyutu dağılımı, bir numunede tanelerin boyutları ile miktarları arasındaki ilişkiyi belirtmektedir. Malzemenin boyut dağılımının bilinmesinin önemli derecede yararları vardır. Bunlar:

- a) Boyut küçültme işlemlerinin denetimini sağlama
- b) Bir cevherin çeşitli tane boylarında mineral serbestleşme derecelerini saptama
- c) Cevherlerin kırılma derecelerini saptama
- d) Kırılmış veya öğütülmüş malzemenin ortalama tane boyutunu bulma

Elek analizinde yeterli miktarda numune, Şekil 5.2'de görüldüğü üzere elek açıklıkları birbirinden farklı olan bir dizi elekten geçirilir. Eleme işlemine delik

açıklığı en büyük olan elekten başlanır ve gittikçe küçülen delik açıklıklı eleklerle devam edilir. Eleme işleminde kullanılan elekler, açıklıklarına göre sınıflandırılır. Eleme işlemi, elle yapılabileceği gibi otomatik olarak da yapılabilir. El ile elemelerde, elekler teker teker kullanılır. Otomatik elemelerde ise bir elek sarsma makinesinden yararlanır. Eleme işlemi sonunda her bir eleğin üstünde kalan miktarlar ayrı kaplar içerisinde toplanıp, tartılır ve o tane boyuna ait ağırlık yüzdesi toplam malzeme miktarına oranla hesaplanır. Elde edilen sonuçlar grafiksel olarak değerlendirilir.

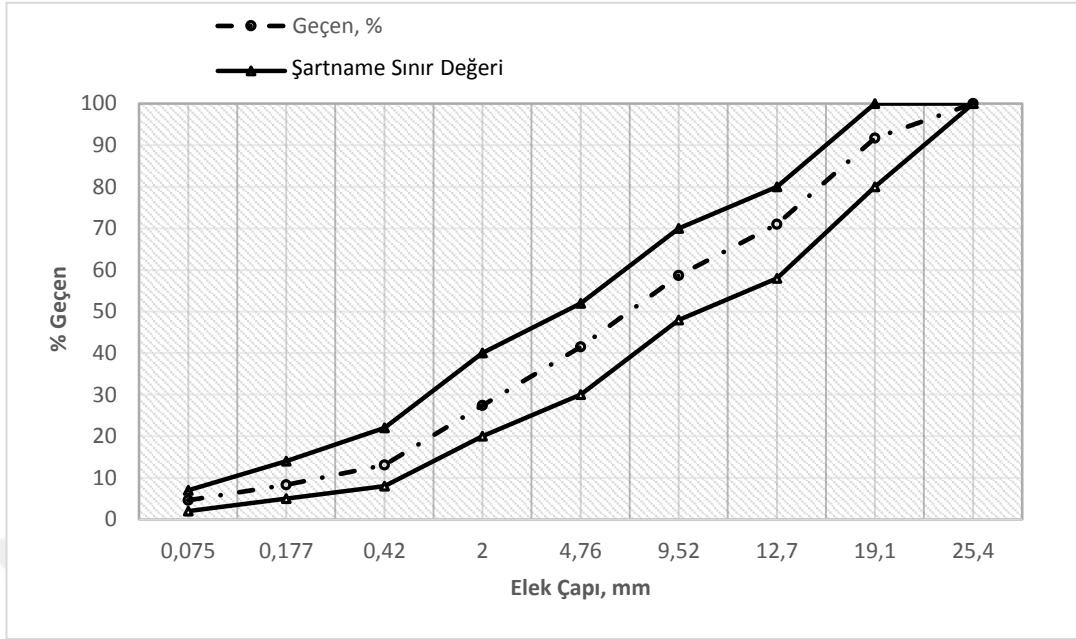


Şekil 5.2. Elek analizinde kullanılan elekler

Kullanılan agreganın elek analizi sonuçları Tablo 5.3'te ve karışımda kullanılan agrega gradasyonu eğrisi ise Şekil 5.3'te verilmektedir.

Tablo 5.3. Elek analizi sonuçları, karışım gradasyonu ve şartname değerleri

Kullanım Oranları	% 15	% 18	% 25	% 42	Karışım Gradasyonu	Karayolları Teknik Şartnamesi (KTS)-2013 Binder Tabakası Şartname Değerleri		
	25-19 mm	19-12 mm	12-5 mm	5-0 mm				
Elek Açıklığı (mm)	% Geçen							
25,4	100	100	100	100	100	100	100	
19,1	47,5	98	100	100	91,8	80	100	
12,7	1,0	24,7	98	100	71	58	80	
9,52	0,5	1,1	67,2	100	58,7	48	70	
4,76	0,3	0,5	4,7	97,0	41,5	30	52	
2	0	0	0,6	66,6	27,4	20	40	
0,42	0	0	0	33,3	13,1	8	22	
0,177	0	0	0	21,9	8,3	5	14	
0,075	0	0	0	13,2	4,6	2	7	



Şekil 5.3. Kullanılan agreganın gradasyon eğrisi

Kullanılan agreganın özellikleri, agreganın temin edildiği Karayolları 6. Bölge Müdürlüğü tarafından belirlenmiş olup Tablo 5.4'te verilmektedir.

Tablo 5.4. Agregada özellikleri

	Kaba agregada	İnce agregada	Filler	Deney Standartı
Hacim Özgül Ağırlığı	2,788	2,788	-	TS EN 1097-6
Zahiri Özgül Ağırlığı	2,833	2,849	2,84	BS-812-PART 2
Absorbsiyon %	0,56	0,76	-	ASTM C127
Agregada Karışımı				
İnce tanelerin tayini-Metilen mavisi deneyi (gr/kg)			0,75	TS EN 933-9
MgSO4 donma kaybı (%)			2	TS EN 1367-2
Los Angeles Aşınma Kaybı (%)			25	TS EN 1097-2
Yassılık İndeksi (%)			9,8	TS EN 933-3
Soyulma Mukavemeti Sade (%)			15-20	KTŞ kısım 403 Ek-A

5.2. Bitümlü Karışımlar

Kullanılan agrega gradasyonu için optimum bitümlü bağlayıcı oranı Marshall yöntemi ile tespit edilmiş olup %3,9 olarak bulunmuştur. Karışım tasarımı yalnızca katkısız bitümlü bağlayıcı için yapılmış ve vermikülit oranının etkisini anlamlı şekilde karşılaştırabilmek için tüm karışımlarda aynı optimum bitümlü bağlayıcı oranı kullanılmıştır. Hesaplanan ve ölçülen karışım özellikleri ile tasarım kriterlerine göre karşılaştırmaları Tablo 5.5'te verilmiştir. Tablo 5.5'te görüldüğü gibi karışımın tüm özellikleri binder tabakası için şartname limitleri içerisinde.

Tablo 5.5. Hesaplanan ve ölçülen karışım özellikleri ile tasarım kriterlerine göre karşılaştırmaları

	Tasarım	KTŞ-2013 Binder Tabakası Şartname Değerleri
Optimum Bitüm	3,9	3,5-6,5
Pratik Özgül Ağırlık	2,505	-
Stabilite, Kg	1200	min 750
Boşluk, %	5	4-6
Asfalt Dolu Boşluk (V.F.A), %	63,0	60-70
V.M.A, %	13,8	13-15
Akma, mm	3	2-4

Numunelerin hazırlanması sırasında agregalar 4 saat boyunca 165 °C derecedeki hava sirkülasyonlu etüve konulmuş, bitümlü bağlayıcılar ise 3 saat boyunca 155 °C dereceye ayarlanmış etüv içerisine yerleştirilip akışkan hale getirilmiştir. Daha sonra etüvlerden çıkarılan malzemeler Şekil 5.4 görüldüğü gibi mikser yardımı ile karıştırılmıştır. Elde edilen bitümlü karışım, kalıpların içine dökülüp Marshall Tokmağı ile sıkıştırma işlemi yapılmıştır.



Şekil 5.4. Agrega ve modifiye bitümün karışımının yapılması

5.2.1. Marshall Tokmağı ile Bitümlü Karışımların Sıkıştırılması

Şekil 5.5'deki Marshall otomatik tokmağı kullanılarak, bitümlü karışımların ilgili EN standartlarına uygun olarak homojen bir şekilde sıkıştırılması sağlanmıştır. Cihaz, 4535 g \pm 15 g ağırlığındaki tokmağı, 457 mm \pm 5 mm yüksekliğe kaldırıp otomatik olarak serbest bırakmaktadır. Numunelerin her iki yüzüne 75 darbe uygulanmıştır. Hazırlanan numuneler kalıptan çıkarıldıktan ve 24 saat oda sıcaklığında bekletildikten sonra kumpas yardımı ile numunelerin iki farklı noktasından çapları ve dört farklı noktasından yükseklikleri ölçülmüştür.



Şekil 5.5. Marshall Tokmağı ile numunelerin sıkıştırılması

Yükseklileri ölçülen numunelerin kuru ağırlıkları, sudaki ağırlıkları ve suya doymun yüzey kuru ağırlıkları tespit edilerek hacimsel özgül ağırlıkları hesaplanmıştır. Daha sonra hacimsel özgül ağırlıklar ve yine Karayolları 6. Bölge Müdürlüğünden alınan maksimum teorik özgül ağırlıklar yardımı ile numunelerin boşluk oranları (V_h) hesaplanmıştır.

$$V_h = \frac{(D_t - D_p) \times 100}{D_t} \quad (5.1)$$

D_t = Maks. Teorik Özgül Ağırlık

D_p = Hacim Özgül Ağırlık

5.2.2. Bitümlü Karışımların Yaşlandırılması

Hazırlanan 108 numunenin 72 adeti laboratuvar ortamında yaşlandırmaya tabi tutulmuştur. Numunelerin alt ve üst yüzeylerinde eşit oranda yaşlanmayı sağlamak amacıyla 40x70 ebatlarında bir tava içerisindeki kumun üzerine bir ızgara konularak numuneler bu ızgaranın üzerine yerleştirilmiş ve 2 güne bir alt kısmı üste, üst kısmı alta getirilecek şekilde çevrilmiştir. Numunelerin 36 adeti yaşlandırmaya tabi tutulmadan oda koşullarında hava almayacak şekilde bekletilmiş, 36 adeti 5 gün 85 °C deki etüvde, diğer 36 adeti ise 25 gün 85 °C deki hava sirkülasyonlu etüvde bekletilmiştir. Şekil 5.6'da 5 gün boyunca 85 °C deki etüve bırakılmış numuneler görülmektedir.



Şekil 5.6. 5 gün boyunca 85 °C de yaşlandırmaya tabii tutulan numuneler

5.3. Bitümlü Bağlayıcı Üzerine Uygulanan Deneyler

5.3.1. Penetrasyon Testi

Bitümlü bağlayıcıların sertlik ve kıvamı belirlenmektedir. Penetrasyonun kelime anlamı, batma ve içe girme demektir. Standart bir iğnenin belirli bir yük altında ve belirli bir süre içinde, bitümlü bağlayıcı numunesi içerisine dikey olarak batma mesafesidir. Genellikle tersi belirtilmedikçe, malzeme 25 °C de 100 gr yükü ve 5 saniye süre ile penetrasyona uğratılır. Penetrasyon birimi 1/10 mm' dir.

5.3.2. Yumuşama Noktası Testi

Yumuşama noktası testi, bir su banyosu içerisine yerleştirilmiş ve üzerinde bir bilye bulunan standart bir kalıp içerisindeki bitümlü maddenin belirli bir hızda ısıtılmasıyla, yumuşayan malzemenin tabana değdiği andaki termometrede okunan sıcaklıktır. Halkalar üst yüzeylerinden 5 cm yüksekliğe kadar saf su ile doludur. Deneyin başlangıcında suyun sıcaklığı 5 °C'dir. 25 dakika sonra halkaların her birinin tam merkezine önceden 5 °C soğutulmuş çelik bilye konur, sonra sıcaklık dakika da 5 °C arttırılır. Yumuşayan bitümlü bağlayıcının tabana değdiği anda termometreden okunan sıcaklık bitümlü bağlayıcının yumuşama noktasını vermektedir.

5.4. Bitümlü Karışımlar Üzerine Uygulanan Deneyler

5.4.1. Dolaylı Çekme Testi

Aynı doğrultuda birbirlerinden uzaklaşan zıt yönlerdeki kuvvetlerin oluşturduğu gerilmeye "Çekme Gerilmesi" denir. Dolaylı çekme testi, daha çok kaplamanın çatlama özelliğiyle ilgili olarak asfalt betonunun çekme özelliğini belirlemek için kullanılmaktadır. Bu deney, karşılıklı iki yükleme çubuğu yardımı ile yapılmaktadır. Bu testte Marshall tokmağı ile elde edilen sıkıştırılmış bitümlü karışım numuneleri kullanılabilir. Yüzey bozuklukları, sonucu önemli derecede etkilememektedir ve deney sonucunun varyasyon katsayısı düşüktür. Deney ekipmanı olarak Marshall stabilitesi deney aleti ve dolaylı çekme gerilmesi deney donanımı (ASTM D4123) kullanılmıştır. Yaşlandırılmış veya yaşlandırılmamış numuneler üçerli gruplar halinde 20 °C sıcaklıkta deneye tabi tutulmuştur (Şekil 5.7). Her bir karışım için üç

numunenin dolaylı çekme mukavemeti değerinin ortalaması alınarak değerlendirme yapılmıştır.



şekil 5.7. Dolaylı Çekme Testi cihazı

5.4.1.1. Deneyin Yapılışı

Sıkıştırılmış bitümlü karışım numunesi, çelik çeneli aygıt içerisine, her ikisinin donme eksenleri çakışacak şekilde yerleştirilmiştir. Bu durumda yk, numunenin alt ve st yüzeylerine dik olarak ve çapı boyunca uygulanabilmektedir. Daha sonra numune üzerine düşey yük devamlı ve sabit bir yükleme hızıyla uygulanmıştır. Numunenin kırıldığı andaki yük değeri okunarak kayıt edilmiştir. Bazı durumlarda, ilk kırılmadan sonra çatlamış numunenin hala yüke dayandığı ve yükün artmaya devam ettiği gozlenmiştir. Bu yüzden ilk kırılma anının tespiti gerçek değerinin bulunması adına onemlidir.

5.5. Bitümlü Bağlayıcı zerine Uygulanan Deneylerin Sonuçları

Katkısız ve modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcıların penetrasyon ve yumuşama noktası değerleri Tablo 5.6'da verilmiştir.

Tablo 5.6. Katkısız ve modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcıların penetrasyon ve yumuşama noktası değerleri

Karışım Türü	Karışımlar	Penetrasyon, dmm	Yumuşama Noktası, °C
BSK	Katkısız	48,17	49,2
	+%1 V	29,4	59,8
	+%2 V	28,1	63,4
	+%3 V	28	66,3
	+%4 V	27,8	61,2
	+%5 V	27,4	59,4
BIK	+%4 S	26,97	83,9
	+%1 VS	24,8	85,7
	+%2 VS	24,2	86,3
	+%3 VS	23,8	78,1
	+%4 VS	23,3	82
	+%5 VS	23	80

Katkısız ve modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcıların Tablo 5.6’da penetrasyon değerlerini incelediğimizde bitüm içerisindeki vermikülit (+%V) oranı arttıkça bitümlü bağlayıcının penetrasyon değeri azalmıştır. Vermikülit (+%V) içerikli bitümlü bağlayıcı ile vermikülit ile sasobit (+%VS) içeren bitümlü bağlayıcı karşılaştırıldığında ise +%VS içerikli bitümlü bağlayıcıların daha düşük penetrasyona sahip olduğu görülmüştür. Bitümlü bağlayıcının penetrasyon değerinin azalması demek bağlayıcının sertliğinin artması demektir. Tablo 5.6’da en sert bitümlü bağlayıcının +%5 VS ile modifiye edilmiş, en yumuşak bitümlü bağlayıcının ise katkısız bitümlü bağlayıcı olduğu görülmektedir. Bu nedenle çok yüksek sıcaklıktaki uygulamalarda vermikülitin katkı maddesi olarak kullanılması faydalı olabilecektir.

Tablo 5.6’da bitümlü bağlayıcıların yumuşama noktası testi sonuçları incelendiğinde bitümlü bağlayıcı içerisine +%3V ve +%2VS ilave edilmesi durumlarında en yüksek yumuşama noktası elde edilmiştir. Yumuşama noktası değerinin artması bitümlü karışımın yüksek sıcaklığa daha dayanıklı olduğunun göstergesidir. Belirtilen değerlerden daha yüksek oranlarda vermikülit ilave edilmesi durumlarında yumuşama noktası değerleri küçülmüştür. Tablo 5.6’da vermikülit katkılı bitümlü

karışımlarda +%4V, +%5V ve Vermikülit+Sasobit katkılı bitümlü karışımlarda +%3, 4, 5 VS ilavesinde yumuşama noktası değerleri azalmıştır. Bu sonuçlar, optimum bir vermikülit oranı olduğunu göstermektedir.

5.6. Bitümlü Karışım Üzerine Uygulanan Deneylerin Sonuçları

5.6.1. Dolaylı Çekme Testi Sonucu

Hazırlanan numunelere dolaylı çekme testi uygulanmış ve dolaylı çekme dayanımı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır;

$$S_t = (2 \times P) / (\pi \times t \times D) \quad (5.2)$$

S_t = Çekme dayanımı, ITS, MPa

P = Cihazda okunan maksimum değer, kgf

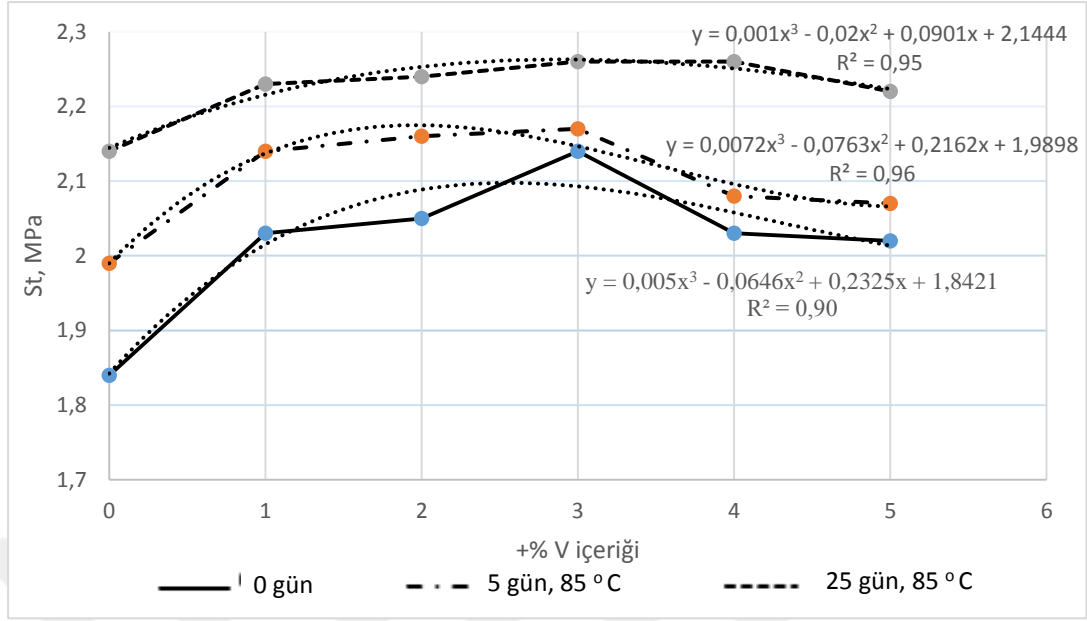
t = Numunenin ortalama yüksekliği, mm

D = Numunenin ortalama çapı, mm

Yaşlandırılmamış ve 85 °C de 5 gün ve 25 gün yaşlandırılmış numunelerin fiziksel özellikleri ve elde edilen dolaylı çekme dayanımı değerleri aşağıda Tablo 5.7’de görülmektedir. Tablo 5.7’ de, V_h hava boşluğu yüzdesini ifade etmektedir.

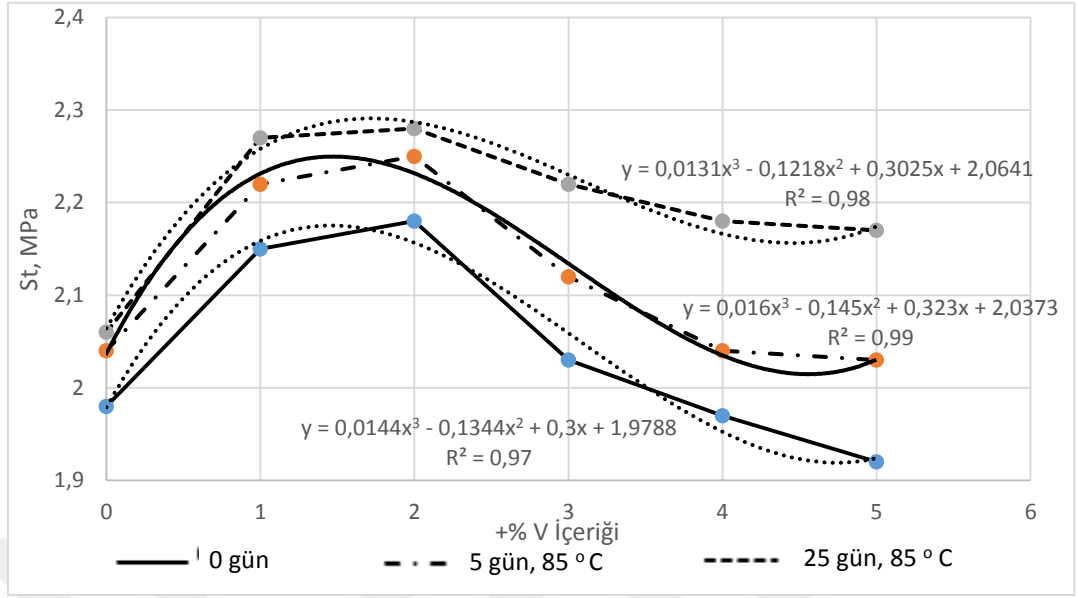
Tablo 5.7. Yaşlandırılmamış ve 85 ° C de 5 gün ve 25 gün yaşlandırılmış numunelerin fiziksel özellikleri ve elde edilen dolaylı çekme dayanımı değerleri

Karışım İçeriği	0 gün		5 gün, 85 °C		25 gün, 85 °C		0 gün St, MPa	5 gün, 85 °C St, MPa	25 gün, 85 °C St, MPa
	t	V _h	t	V _h	t	V _h			
Katkısız	59	5,2	61	5,86	60	5,73	1,84	1,99	2,14
+%1 V	61	6	60	5,99	59	5,97	2,03	2,14	2,23
+%2 V	62	6,2	61	6,4	60	5,95	2,05	2,16	2,24
+%3 V	61	6,5	61	6,1	61	5,8	2,14	2,17	2,26
+%4 V	59	5,83	61	5,84	60	6,1	2,03	2,08	2,26
+%5 V	60	5,3	62	5,5	60	5,7	2,02	2,07	2,22
Sasobit	60	5,1	60	6	60	5,9	1,98	2,04	2,06
+%1 VS	61	5,95	61	6,3	61	6,1	2,15	2,22	2,27
+%2 VS	61	6,5	60	6,4	62	6,8	2,18	2,25	2,28
+%3 VS	60	6,4	60	6,2	62	6,3	2,03	2,12	2,22
+%4 VS	61	6,4	61	5,8	61	6	1,97	2,04	2,18
+%5 VS	60	5,5	6,1	5,3	60	4,7	1,92	2,03	2,17



Şekil 5.8. Vermikülit yüzdesine göre numunelerin dolaylı çekme dayanımı grafiği

Şekil 5.8’de belirleme katsayısı olan R^2 değerlerinin 0,90’ın üzerinde olduğu görülmektedir. R^2 değerinin büyük olması dolaylı çekme dayanımı ile vermikülit oranı arasında sıkı bir ilişki olduğunu göstermektedir. Dolaylı çekme dayanımları incelendiğinde vermikülit içeren bitümlü karışımların dolaylı çekme dayanımının katkısız bitümlü karışımlardan daha yüksek olduğu ve dolaylı çekme dayanımının 0, 5 ve 25 günlük yaşlandırmaya tabii tutulmuş numunelerde en yüksek değer in +%3 V içerikli bitümlü karışım da olduğu daha sonrada dolaylı çekme dayanımının azaldığı görülmüştür. +%3 V içeren bitümlü karışımın kırılma öncesinde daha büyük çekme şekil değiştirme yeteneğine sahip olduğu ve içsel direnci dolayısıyla diğer bitümlü karışımlara göre tekerlek izi oluşumuna karşı direncinin daha yüksek olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 5.9. Vermikülit + Sasobit içerik yüzdesine göre numunelerin dolaylı dayanımı grafiği

Şekil 5.9'da R^2 değerlerine bakıldığında değerlerin 0,97'nin üzerinde olduğu ve değişkenler arasında çok iyi bir ilişki olduğu görülmektedir. Dolaylı çekme dayanımlarına bakıldığında ise %1 ve %2 vermikülit içeren bitümlü karışımların dolaylı çekme dayanımlarının vermikülit içermeyen bitümlü karışımlardan daha yüksek olduğu, %3 ve yukarısında ise daha düşük olduğu belirlenmiştir. +% 2 VS içerikli bitümlü karışımın en yüksek dolaylı çekme dayanımına sahip olduğu görülmektedir. Yani +%2 VS içeren bitümlü karışımın daha büyük çekme şekil değiştirme yeteneğine sahip olabilecek ve tekerlek izi oluşumuna karşı direnci daha yüksek olabilecektir.

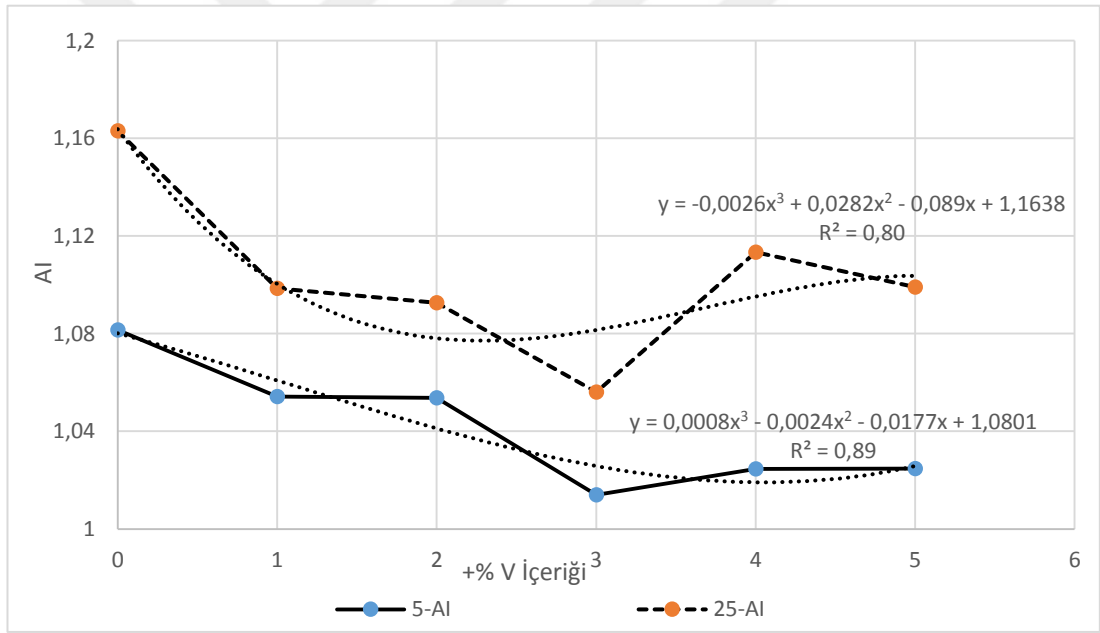
Tablo 5.8'de uzun dönem yaşlandırılmış bitümlü karışımların yaşlanma indisi değerleri verilmektedir. Yaşlanma indisi (AI) değeri;

$$AI = \frac{\text{Yaşlandırılmış bitümlü karışımın St değeri}}{\text{Yaşlandırılmamış bitümlü karışımın St değeri}}$$

şeklinde hesaplanır. Tablo 5.8'deki 5-AI değerleri 5 günlük, 25-AI değerleri 25 günlük yaşlandırmaya tabii tutulmuş bitümlü karışımların yaşlanma indisini temsil etmektedir.

Tablo 5.8. Uzun dönem yaşlandırılmış bitümlü karışımların yaşlanma indisi değerleri

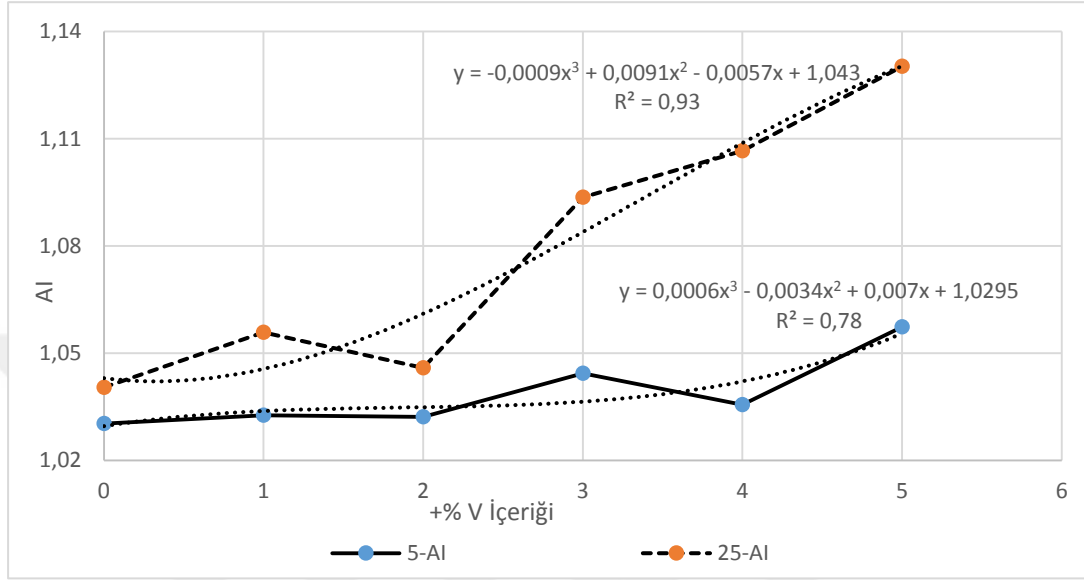
Karışım Türü	Karışım İçeriği	5-AI	25-AI
BSK	Katkısız	1,08	1,16
	+%1V	1,05	1,10
	+%2V	1,05	1,09
	+%3V	1,01	1,06
	+%4V	1,02	1,11
	+%5V	1,02	1,10
BIK	Sasobit	1,03	1,04
	+%1VS	1,03	1,06
	+%2VS	1,03	1,05
	+%3VS	1,04	1,09
	+%4VS	1,04	1,11
	+%5VS	1,06	1,13



Şekil 5.10. +%V İçerikli uzun dönem yaşlanmaya tabi tutulmuş bitümlü karışımların AI değerleri

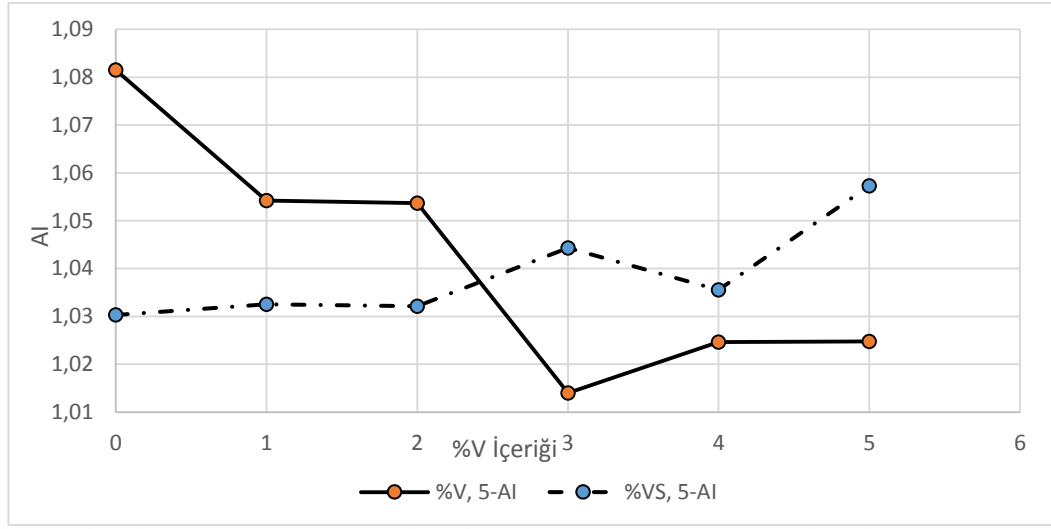
Şekil 5.10'na baktığımızda R^2 değerleri 0,80'in üzerindedir. Şekilde +%V içerikli bitümlü karışımların 5 ve 25 günlük yaşlanma indisi değerlerini incelediğimizde vermikülitin katkı maddesi olarak kullanımının bitümlü karışımların yaşlanma indisi değerini genel olarak düşürdüğü görülmektedir. Bir bitümlü karışımın düşük yaşlanma indisi değerine sahip olması, bitümlü karışımın yaşlanmaya karşı daha dirençli olduğunun göstergesidir. Şekil 5.10'da hem 5 hem de

25 günlük +%V içerikli bitümlü karışımlar da en düşük yaşlanma indisi değeri +%3 V içerikli karışımda görülmektedir. Yani +%3 V ilavesi bitümlü bağlayıcının uzun dönem yaşlanma direncini arttırabilecektir.



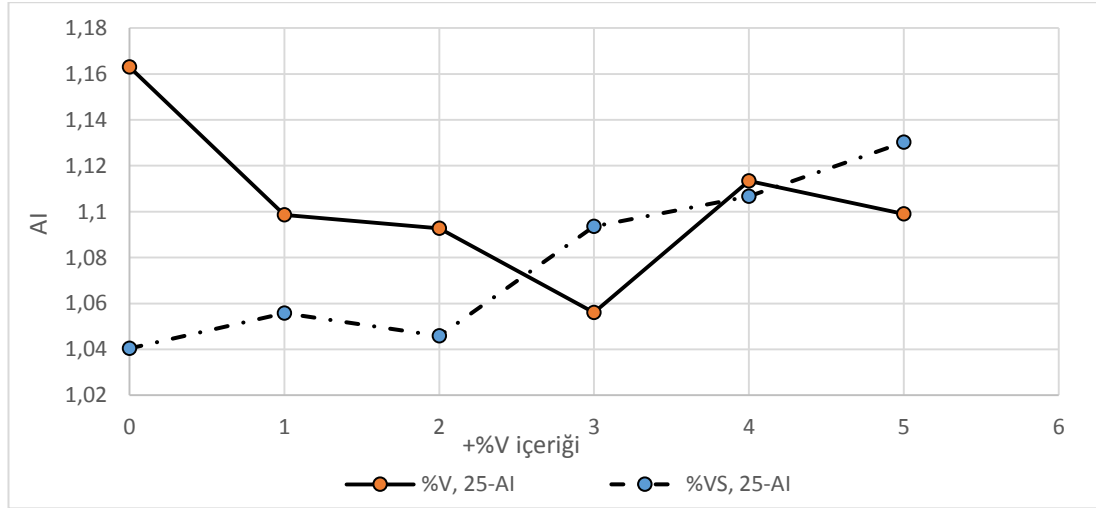
Şekil 5.11. +%VS İçerikli uzun dönem yaşlanmaya tabii tutulmuş bitümlü karışımların AI değerleri

Şekil 5.11’de ise 25 günlük yaşlandırmada R^2 değeri 0,78 iken 5 günlük yaşlandırmada 0,90’nın üzerindedir. Bu da 5 günlük yaşlandırma indisi değerleri ile vermikülit oranı arasında iyi bir ilişki olduğunun göstergesidir. Şekilde +%VS içerikli bitümlü karışımların 5 ve 25 günlük yaşlanma indisi değerlerini incelediğimizde ise katkısız bitümlü bağlayıcının yaşlanma indisi değerinin daha az olduğu görülmektedir. +%VS ilavesinin bitümlü bağlayıcının uzun dönem yaşlanma direncine karşı olumlu bir etkisinin olmadığı sonucuna varılabilir.



Şekil 5.12. +%V ve +%VS içerikli numunelerin 5 günlük yaşlanma indisi değerleri

Şekil 5.12’de 5 günlük yaşlandırmaya tabi tutulmuş numunelerin yaşlanma indisi değerleri karşılaştırıldığında +%V içerikli bitümlü karışımda, +%VS içerikli karışıma göre yaşlanma indisi değerinde belirgin bir azalma görülmektedir. %2 vermikülit oranına kadar +%VS içerikli karışımlar daha düşük yaşlanma indisi değerlerine sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 5.13. +%V ve +%VS içerikli numunelerin 25 günlük yaşlanma indisi değerleri

Şekil 5.13’de 25 günlük yaşlandırmaya tabi tutulmuş numunelerin yaşlanma indisi değerleri karşılaştırılmıştır. Yine %2 vermikülit oranına kadar +%VS içerikli karışımlar daha düşük yaşlanma indisi değerlerine sahip olduğu görülmektedir.

+%VS içeren bitümlü karışımın yaşlanma indisi değeri vermikülit oranı arttıkça büyürken, +%V içerikli bitümlü karışımın yaşlanma indisi, %3 vermikülit oranına kadar azalmakta daha sonra ise tekrar büyümektedir.



SONUÇLAR

Yapılan çalışmada 50/70 penetrasyona sahip katkısız ve %4 sasobit ilave edilmiş bitümlü bağlayıcı içerisine %1, 2, 3, 4 ve 5 oranlarında vermikülit katılması ile elde edilen modifiye bitümlerle üretilen bitümlü karışım numuneleri laboratuvar ortamında uzun dönem yaşlandırmaya tabii tutulmuştur. Daha sonra bu bitümlü karışım numunelerinin dolaylı çekme dayanımları belirlenmiştir. Ayrıca katkısız bitümlü bağlayıcı ve modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcılara penetrasyon ve yumuşama noktası testi uygulanmıştır.

Bitümlü bağlayıcıların penetrasyon değerleri incelediğinde vermikülitin katkı maddesi olarak kullanılmasının bitümlü bağlayıcının penetrasyon değerini azalttığı görülmüştür. Bu da yüksek sıcaklıktaki uygulamalarda vermikülitin katkı maddesi olarak kullanımının faydalı olabileceği anlamına gelebilmektedir.

Bitümlü bağlayıcıların yumuşama noktası testi sonuçları incelendiğinde bitümlü bağlayıcı içerisine +%3V ve +%2VS ilave edilmesi durumlarında en yüksek yumuşama noktası değerleri elde edilmiştir. Belirtilen değerlerden daha yüksek oranlarda vermikülit ilave edilmesi durumlarında yumuşama noktası değerlerinde azalma olduğu gözlenmiştir. Vermikülit katkılı bitümlü karışımlarda +%4V, +%5V ve Vermikülit + Sasobit katkılı bitümlü karışımlarda +%3, 4, 5 VS ilavesinde yumuşama noktası değerleri azalmıştır. Bu optimum bir +%3V ve +%2VS vermikülit oranı olduğunu göstermektedir.

Yaşlandırılmış ve yaşlandırmaya tabii tutulmamış bitümlü karışımların dolaylı çekme dayanımları karşılaştırıldığında vermikülit katkılı bitümlü ılık karışımların dolaylı çekme dayanımlarının daha yüksek olduğu görülmüştür. Vermikülit katkılı bitümlü karışımların dolaylı çekme dayanımının daha yüksek çıkması vermikülitin katkı maddesi olarak kullanımının çatlamlara karşı daha iyi bir direnç gösterebileceği ve içsel direnci dolayısıyla tekerlek izi oluşumunu azaltabileceği anlamına gelmektedir.

Uzun dönem yaşlandırmaya tabii tutulmuş bitümlü karışımların dolaylı çekme dayanımları incelendiğinde uzun dönem yaşlandırmada +% 3'ten sonra bitümlü

karışımlar içerisindeki vermikülit içeriği arttıkça dolaylı çekme dayanımının azaldığı görülmüştür. Bundan dolayı belli bir değerden sonra vermikülitin bitümün kimyasal veya fiziksel yapısına olumsuz bir etkide bulunduğu söylenebilir.

Bitümlü karışımların uzun dönem yaşlanma indisi değerleri incelendiğinde ise vermikülitin katkı maddesi olarak kullanımının bitümlü karışımların uzun dönem yaşlanmaya karşı direncini arttırabileceği saptanmıştır.

Bitümlü karışımlar içerisinde vermikülit kullanılmasının yaşlanmaya etkisi bu çalışmada dolaylı çekme testi ile incelenmiştir. İleriki çalışmalarda farklı gradasyon ve tipteki agregalar ile kraton, viatop, elvaloy gibi farklı katkı maddeleri içeren modifiye edilmiş bitümlerin içerisine vermikülit ilave edilerek elde edilen bitümlü karışımların performansları incelenebilir. Vermikülit içeren bitümlü karışımların soyulmaya karşı direnci ve düşük sıcaklıklardaki davranışı araştırılabilir.

KAYNAKLAR

1. Ahmedzade, P., Yılmaz, M., Stiren-Butadien-Stiren Modifikasyonunun Bitümlü Bağlayıcıların Isı Duyarlılığı, Rijitlik ve Yaşlanma Özellikleri Üzerindeki Etkisi, Süleyman Demirel Üniv. Fen Bil. Der., 11(3), 232-238, 2007.
2. Bayazit M., Bitümlü Ilık Karışımların Neme Karşı Hassasiyetlerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Bozok Üniversitesi, Yozgat, 2012
3. Şengöz B., Asfalt Film Kalınlığının Bitümlü Karışımların Yaşlanmasına ve Suya Duyarlılığına Etkisi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2003
4. Henglong Zhang, et al, Effect of Expanded Vermiculite on Aging Properties of Bitümen, Construction and Building Materials, 26, 244-248, 2012
5. Henglong Zhang, et al, Effect of Expanded Vermiculite on Microstructures and Aging Properties of Styrene-Butadiene-Styrene Copolymer Modified Bitümen, 40, 224-230, 2013
6. H. B. Zhang, et al, The Effect Of Different Nanomaterials on The Long-Term Aging Properties of Bitümen, Petroleum Science and Technology, 33(4), 388-396, 2015
7. H. L. Zhang, N. X. Ke, C. Z. Zhu, Long-Term Aging Properties of Bitümen with Expanded Vermiculite and Different Inorganic Nanoparticles, Petroleum Science and Technology, 33 (17-18), 1557-1562, 2015
8. Jun Liu, Kezhen Yan ve Xiaowen Zhao, Rheological and Aging Properties of Warm Mix Asphalt Binders Containing Expanded Vermiculite, Petroleum Science and Technology, 34 (11-12), 1042-1047, 2016
9. Toksoy F., Vermikülit: Mineraloji, Jeolojik Oluşum, Endüstriyel Kullanım ve Türkiye'deki Durumu, Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 16-17 Mum 1W İzmir, Türkiye, 2014
10. Büyüksaraçoğlu Y. , Asfalt Yol İnşaatının Tedarik Zincirinin Simülasyon Tabanlı Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2009
11. Ilıcalı M., 2001, İsfalt Asfalt ve Uygulamaları, İstanbul, Türkiye.
12. Ünvermez A., Bitümlü Ilık Karışımların Mekanik Etüdü, Yüksek Lisans Tezi, Bozok Üniversitesi, Yozgat, 2011

13. Kristjansdottir O., Warm Mix Asphalt For Cold Weather Paving, Master of Science in Civil Engineering, University of Washington, Washington, 2006.
14. D'Angelo, et al., Warm-Mix Asphalt: European Practice, Report No: FHWAPL- 08-007, International Technology Scanning Program, American Association of State Highway and Transportation Officials, 2008.
15. Temren Z., Yollar Türk Milli Komitesi, 5. Ulusal Asfalt Sempozyumu, 50 - 60, Ankara, 2009.
16. Croteau, J-M., Tessier, B., Warm Mix Asphalt Technologies: A Road Builders's Perspective, "Warm Asphalt Technology as A Sustainable Strategy for Pavements", Annual Conference of The Transportation Association, Canada, 2001.
17. Rubio M.C., Warm Mix Asphalt: An Overview, Journal of Cleaner Production, 24, 76-84, 2012.
18. Vaitkus A., et al., Analysis and Evaluation of Possibilities for The Use Of Warm Mix Asphalt in Lithuania, The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering, 2, 80-86, 2009.
19. Chowdhury, A., Button, J.W., A Review of Warm Mix Asphalt, Texas Transportation Institute – Technical Report 473700-00080-1, USA, 2008
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. Ahmetzade P., et al., Bitümlü Sıcak Karışımlarda Kullanılan Agregata Cinsinin Kaplamanın Fiziksel Özelliklerine Etkisi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 2006.
23. Harnischfeger S., Aspha-Min Retrospectives and Prospects, Bast, Presentation To WMA Scan Team, Germany, 2007.
24. <http://Msmadencilik.Com.Tr/Insaat>
25. <http://teknomet.com.tr>

ÖZGEÇMİŞ

Çağrı KOÇER, 1989 yılında Kayseri'nin Pınarbaşı İlçesinde doğmuştur. İlk, orta ve lise öğrenimini sırayla Atatürk İlköğretim Okulu, Atatürk Orta Okulu ve Mimarsinan Anadolu Öğretmen Lisesinde tamamlamıştır.

2008 yılında Aksaray Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü kazanmış ve 2013 yılında mezun olmuştur. 2013 yılında özel sektör de İnşaat Mühendisi olarak göreve başlamıştır. 2015 yılında Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim dalında Prof. Dr. Yüksel TAŞDEMİR' in danışmanlığında yüksek lisansa başlamıştır.

KOÇER, ÖZTAŞLAR İnş. Aş. Firmasında İnşaat Mühendisi olarak görev yapmaktadır.

İletişim Bilgileri

Adres	:	Mimarsinan Demokrasi Mah. Türkyurdu Kümevler C2-2 No:20 MELİKGAZI/ KAYSERİ
Telefon	:	0553 804 09 68
e-mail	:	cagri_kocer@hotmail.com