

**T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**ASFALT ÜRETİM SICAKLIĞININ DÜŞÜRÜLMESİNDE
KULLANILAN KİMYASAL KATKILARIN ETKİLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Süleyman Nurullah Adahi ŞAHİN

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Metin İPEK

Aralık 2019

T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ASFALT ÜRETİM SICAKLIĞININ DÜŞÜRÜLMESİNDE
KULLANILAN KİMYASAL KATKILARIN ETKİLERİNİN
ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

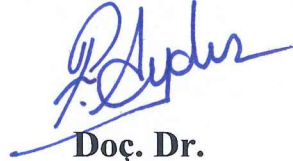
Süleyman Nurullah Adahi ŞAHİN

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 30/12/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.



Prof. Dr.
Metin İPEK
Jüri Başkanı



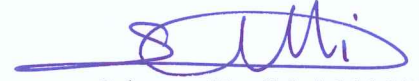
Doç. Dr.
Ferhat AYDIN
Üye



Dr. Öğr. Üyesi
Hakan ASLAN
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim



Süleyman Nurullah Adahi ŞAHİN

30/12/2019

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarımda yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Prof. Dr. Metin İPEK'e teşekkürlerimi sunarım.

Üzerimde emeği olan bütün hocalarıma, mesai arkadaşlarıma, Sakarya Büyükşehir Belediyesi Asfalt Şantiyesi çalışanlarına, deneyler noktasında her türlü desteğini ve yardımını esirgemeyen Avrasya Onduline A:Ş.'den Sayın Barış GÖKÇEK'e teşekkürlerimi sunarım. Bunun yanında, doğduğum günden bu yana bana yardımlarını esirgemeyen, her konuda yanımda olan aileme, minnetlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

BEYAN.....	iii
TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
KISALTMALAR	iv
TABLolar LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vi
ÖZET.....	viii
SUMMARY	ix

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
-------------	---

BÖLÜM 2.

İLİK KARIŞIM ASFALT	5
2.1. İKA Avantajları.....	6
2.1.1. Enerji tasarrufu.....	6
2.1.2. Ekonomik fayda	6
2.1.3. Çevresel fayda.....	6
2.1.4. Uygulama faydaları.....	7
2.1.5. İş ve işçi sağlığı.....	8
2.2. Tarihçe.....	8
2.3. Katkılar.....	11
2.3.1. Organik katkılar	11
2.3.2. Kimyasal katkılar	12
2.3.3. Köpük (WAM-FOAM) teknikleri.....	12
2.4. Dünya Uygulamaları	13
2.4.1. Çek Cumhuriyeti	13
2.4.2. Danimarka.....	13
2.4.3. Fransa	14
2.4.4. Norveç.....	15
2.4.5. Türkiye	15

BÖLÜM 3.

ASFALT	16
3.1. Asfalt Betonu Tanımı	16
3.2. Asfalt Betonu Dizaynı	17
3.2.1. Gradasyon	17
3.2.2. Bitüm.....	18
3.2.3. Asfalt betonu yapım şartları.....	19

3.2.4. Asfalt betonu için kullanılacak bitümün fiziksel özellikleri	20
---	----

BÖLÜM 4.

BİTÜM DENEYLERİ	21
4.1. Kullanılan Katkılar ve Kullanım Şekilleri	21
4.1.1. Pawma	21
4.1.2. Sasobit	22
4.1.3. MGB	24
4.1.4. LOMOT	25
4.1.5. PDL 6020	25
4.2. Katkılar Kullanılarak Modifiye Edilmiş Bitüm	26
4.2.1. Penetrasyon deneyi (TS EN 1426, ASTM D5)	28
4.2.2. Yumuşama noktası (TS EN 1427, ASTM D36)	28
4.2.3. Viskozite Deneyi (TS 117)	29
4.3. Bitüme Uygulanan Deneyler ve Sonuçları	30
4.3.1. Penetrasyon deneyi	31
4.3.2. Yumuşama noktası deneyi	32
4.3.3. Viskozite Deneyi	33

BÖLÜM 5.

İKA MARSHALL DENEYLERİ	37
5.1. Binder Tabakası	41
5.2. Aşınma Tabakası	50

BÖLÜM 6.

ENERJİ VERİMLİLİĞİ VE MALİYET	57
--	-----------

BÖLÜM 7.

TARTIŞMA VE SONUÇ	62
--------------------------------	-----------

KAYNAKLAR	65
------------------------	-----------

ÖZGEÇMİŞ	68
-----------------------	-----------

KISALTMALAR

BSK	: Bitümlü Sıcak Karışım
CO ₂	: Karbondioksit
IKA	: Ilık Karışım Asfalt
KGM	: Karayolları Genel Müdürlüğü
KTŞ	: Karayolları Teknik Şartnamesi
MCM-41	: Mezofor Silika
NO ₂	: Azotdioksit
PAHs	: Çok Halkalı Aromatik Hidrokarbon
SBB	: Sakarya Büyükşehir Belediyesi
SEPAŞ	: Sakarya Elektrik Parakende Anonim Şirketi
SO ₂	: Kükürtdioksit

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1 BSK ve İKA kullanımında ortaya çıkan gaz salınımları (de Groot vd. 2001)	7
Tablo 3.1 Binder tabakası için gradasyon limitleri (KTŞ, 2013)	18
Tablo 3.2 Aşınma tabakası için gradasyon limitleri (KTŞ, 2013)	18
Tablo 4.1 Pawma'nın çevresel etkileri	22
Tablo 4.2 Sasobit özellikleri	23
Tablo 4.3 Bitüm deney sonuçları	31
Tablo 5.1 Binder tabakası karışım reçetesi	41
Tablo 5.2 Binder tabakası gradasyonu ve şartname limitleri	41
Tablo 5.4 Marshall deney sonuçları	48
Tablo 5.5 Aşınma tabakası karışım reçetesi	50
Tablo 5.6 Aşınma tabakası gradasyonu ve şartname limitleri	51
Tablo 5.7 Aşınma tabakası fiziksel özellikler	53
Tablo 5.8 Aşınma tabakası Marshall deney sonuçları	54
Tablo 6.1 Plent enerji tüketim verileri	58
Tablo 6.2 BSK ve İKA enerji maliyetleri	59
Tablo 6.3 Binder tabakası katkı maliyetleri	60
Tablo 6.4 Aşınma tabakası katkı maliyetleri	60

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 Saf bitüm ve polimer bitüm (Ecole des Pont, Mooc).....	2
Şekil 2.1 Sıcaklık aralığına göre sınıflandırma (Ilık Karışım Asfaltı EAPA, 2016) ...	5
Şekil 2.3 Danimarka IKA uygulaması	14
Şekil 2.4 Norveç'te IKA kullanımı (IKA, EAPA, 2016)	15
Şekil 3.1 Modifiye bitümün fiziksel özellikleri (KTŞ, 2013)	20
Şekil 4.1 Pawma.....	21
Şekil 4.2 Sasobit.....	23
Şekil 4.3 MGB	24
Şekil 4.4 Lomot.....	25
Şekil 4.5 PDL6020	26
Şekil 4.6 Bitüm deney numuneleri.....	27
Şekil 4.7 Penetrasyon deneyi	28
Şekil 4.8 Yumuşama noktası deneyi	29
Şekil 4.9 Viskozite deneyi	30
Şekil 4.10 Penetrasyon deney sonuçları.....	32
Şekil 4.11 Yumuşama noktası deney sonuçları.....	33
Şekil 4.12 Viskozite deney sonuçları	34
Şekil 4.13 Viskozite düşüş yüzdeleri	35
Şekil 5.1 Asfalt betonu karışım sıcaklıkları (KTŞ, 2013).....	38
Şekil 5.2 Katkılı bitüm görünümü.....	38
Şekil 5.3 Asfalt betonu ve kalıpları.....	39
Şekil 5.4 Asfalt sıkıştırmak için kullanılan proktor cihazı	39
Şekil 5.5 Asfalt dizayn kriterleri (KTŞ, 2013).....	40
Şekil 5.6 Binder tabakası granulometre	42
Şekil 5.7 Hazırlanan bir seri numune	42
Şekil 5.8 Bir seri numune için agrega karışımı	43
Şekil 5.9 Katkılı numuneler için etüv sıcaklığı.....	43
Şekil 5.10 Referans numuneler için etüv sıcaklığı.....	44
Şekil 5.11 Karışım için kullanılan rezistanslı mikser	44
Şekil 5.12 Katkısız düşük sıcaklıkta karışımı sağlayan asfalt numunesi	45
Şekil 5.13 Düşük sıcaklıkta karışımı sağlanan asfalt numunesi	45
Şekil 5.14 Binder tabakası üç seri numune	46
Tablo 5.3 Binder tabakası asfalt numuneleri fiziksel özellikler.....	47
Şekil 5.15 Marshall deneyi.....	48
Şekil 5.16 Marshall stabilite sonuçları	49
Şekil 5.17 Marshall akma sonuçları	49
Şekil 5.18 Aşınma tabakası granulometri	51
Şekil 5.19 Aşınma tabakası serileri ve binder tabakası serisi	52
Şekil 5.20 Marshall deneyi.....	53
Şekil 5.21 Marshall stabilite sonuçları	54

Şekil 5.22 Marshall akma sonuçları	55
Şekil 5.23 Marshal deneyi yapılan asfalt numuneler	56
Şekil 6.1 ECO 4000 beninghoven modül plent.....	57
Şekil 6.2 BSK ve IKA enerji maliyeti karşılaştırması	59
Şekil 6.3 Enerji tasarrufu ve katkı maliyetleri	61



ASFALT ÜRETİM SICAKLIĞININ DÜŞÜRÜLMESİNDE KULLANILAN KİMYASAL KATKILARIN ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Dünyanın değişken ve devinim içinde olan yapısı, birçok konuda olduğu gibi İnşaat Mühendisliği alanında da kendisini göstermektedir. Asfalt sıcaklıklarının dünya üzerinde yaygınlığı gittikçe artan küresel ısınma ve çevre sağlığına etkisi neticesinde, bu eksiklikleri gidermek açısından, Ilık Karışım Asfalt (IKA) teknolojileri gayet büyük bir önem kazanmıştır. Bu sayede, Bitümlü Sıcak Karışıma (BSK) kıyasla, ısı kaynaklı tüketim ve çevreye olan zararları oldukça minimize edebilmektedir. Bu durum enerji ihtiyacı açısından önemli oranda verimlilik sağlamaktadır

Bu çalışma kapsamında, Karayolları Teknik Şartnamesi (KTŞ)'ne göre tasarım, performans ve değerlendirmeleri yapılarak IKA katkılarının uygulanabilirliği, gerekli bitüm deneyleri ve Marshall Stabilite Testi neticesinde ortaya konulmuştur. Bunun yanında tercih edilen katkılarla modifiye edilen bitümler, Dönel Viskozimetre Cihazı ile IKA için istenen ve uygun görülen sıcaklıklarda viskozite ölçümüne tabi tutulmuştur. Bu ölçümlere destek olması açısından Yumuşama Noktasına ve Penetrasyonuna bakılmıştır. Elde edilen sonuçlar, kullanılan IKA katkılarının bitüm viskozitesini, referans bitüme göre düşürdüğünü, böylelikle karışım sıcaklığını da büyük oranda düşürdüğünü göstermiştir. Marshall Stabilite sonuçları, KTŞ'de belirtilen sınırlar içerisinde kalarak, tercih edilebilme olasılığını yukarı çekmiştir. IKA'nın avantajları ve elde edilen sonuçlar, bu teknolojinin hem uygun olmayan hava koşullarında hem de daha geniş bir coğrafyada kullanılabilme potansiyelini ortaya koymuştur.

Enerji tasarrufu açısından incelenen bu yöntemle, Sakarya Büyükşehir Belediyesi Asfalt Şantiyesi bünyesinde kullanılan plent üzerinden katkı maliyetleri ve tasarruf miktarı hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar neticesinde, asfalt betonu üretiminin IKA yöntemiyle gerçekleştirilebileceği, enerjiden tasarruf edilebileceği ve gerekli performansı sağlayabileceği gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ilık Karışım Asfalt (IKA), Bitümlü Sıcak Karışım (BSK), Modifiye Bitüm, Viskozite, Penetrasyon, Yumuşama Noktası

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF CHEMICAL ADDITIVES USED IN LOWERING ASPHALT PRODUCTION TEMPERATURE

SUMMARY

The variable and dynamic structure of the world is manifested in the field of Civil Engineering as in many other subjects. As a result of the increasing global warming and environmental health effects of asphalt temperatures, Warm Mix Asphalt (WMA) technologies have gained great importance in terms of eliminating these deficiencies. In this way, compared to Hot Mix Asphalt (HMA), heat-induced consumption and environmental damage can be minimized considerably. This provides significant efficiency in terms of energy needs.

Warm Mix Asphalt (WMA) is basically to reduce the high temperatures in the production of conventional methods using additives used. Thus, it is aimed to provide great advantage by facilitating the applicability, workability and laying of asphalt. At the same time, as a return to low temperatures, it provides the ability to work comfortably. There are many additives and types of additives produced or designed with this objective. WMA technology is an energy-efficient asphalt binder with environmental advantages. Since WMA reduces the bitumen temperature by an average of 20-55°C, it reduces fuel consumption by an average of 11-35%.

In warm mix asphalt techniques applied at temperatures above 100°C, the amount of water remaining in the mixture is very low. Various techniques are used to lower the viscosity of the binder to ensure complete coating of the aggregate at low temperature and compressibility of the mixture. These techniques are created using additives. The additives can be presented in three types. The first is organic additives, the second is foam additives and finally chemical additives.

Within the scope of this study, the design, performance and evaluations were made according to the Highways Technical Specification (HTS) and the applicability of WMA additives was demonstrated as a result of necessary bitumen tests and Marshall Stability Test. Warm Mix Asphalt additive types PAWMA entering the foamy mixture group, SASOBIT entering the organic additive group and MGB entering the chemical additive group were selected. The other additives tested were PDL6020 and LOMOT Warm Mix Asphalt additives. Also, the modified bitumen with the preferred additives were subjected to viscosity measurement at the desired and suitable temperatures for WMA with the Rotational Viscometer. To support these measurements, Softening Point and Penetration were examined.

The penetration value is inversely proportional to consistency. The higher the penetration, the softer the bitumen. As viscosity increases, bitumen hardens. Since the bitumen with very softening point has a high viscosity, the hot mixing temperatures are also high. Viscosity is a measure of the viscosity of the asphalt and the resistance to flow. The viscosity value increases as the viscosity increases, i.e. as the asphalt approaches the semi-

solid state. The purpose of the viscosity test is to determine the flow properties of asphalt concrete within the temperature limits during which they are heated during application.

Samples were prepared by mixing with IKA LABORTECHNIK for 30 minutes at 180 ° C. Dosage decisions are based on brochures and instructions from the contributor manufacturers. In the light of these dosages, Viscosity values of bitumen were obtained by subjecting bitumen only at certain temperatures, except for Softening Point and Penetration test applied to bitumen. The aim will be to determine whether the heat gain can be applied following the specified criteria, as well as to examine the effect of asphalt concrete on the workability of the asphalt concrete as a result of improved fluidity.

Warm Mix Asphalt additives have been shown to affect bitumen penetration at different rates. PDW6020, LOMOT and MGB additives increased the penetration while PAWMA and SASOBIT additives decreased the penetration. Bitumen with a high softening point will show less deformation at the same air temperature. According to these results, while PDL6020 and LOMOT showed a slight increase in softening point, SASOBIT additive significantly increased softening point. While the MGB additive reduced the softening point, the PAWMA additive did not affect the softening point.

As can be seen from the viscosity tests, it was measured for three selected temperature values: 110°C, 135°C and 150°C. In these temperatures, 50/70 reference bitumen, PDL6020 with 3%, SASOBIT, LOMOT and MGB, PAWMA with 0,3% were used. When the effect of additives for each temperature was examined, it was observed that all additives decreased the viscosity at 110°C. LOMOT contributed the least decrease, while MGB and SASOBIT contributed the highest decrease. When the viscosity values were examined at 135°C, it was observed that all additives except LOMOT decreased the viscosity. SASOBIT and MGB achieved the highest decrease as well as 110°C. Finally, when the viscosity values at 150°C are examined, it is seen that LOMOT additive increases the viscosity again. All other additives, while lowering the Viscosity, showed the highest decrease in SASOBIT and MGB as in 110°C and 135°C.

According to HTS, aggregate properties are specified according to the type of coating. In this study, aggregates taken from Sakarya Metropolitan Municipality Asphalt Site were preferred. The aggregates obtained here are supplied according to both Binder and Wear TYPE 1 as coating types.

Bitumen rates, all materials and conditions SBB Asphalt will be used by the construction site, this institution will be used as a result of the rates. Performance analysis will be performed on both the Binder and Wear Layer considering only stability and yield values. Bitumen rate was determined for 4.2% Binder Layer and 4.8% Abrasion Layer.

As a result of the experiments, it was observed that the stability values of all samples were higher than the specification standards. However, the yield values of the reference sample were outside the standard. Also, yield and stability values of the samples produced by using additive showed a strength higher than expected. MGB contribution in stability yielded a good result, while Pawma gave the best results in yield values. When all parameters are examined, it is observed that the best result for the Binder Layer is MGB contribution. It can be said that it will provide great advantage both in low temperature and in the field because it provides the best strengths required.

When all parameters are examined, it is observed that the best result for the Abrasion Layer is given by the sample prepared with Sasobit additive. It can be said that the MGB

contribution, which is tested, can be considered except for the yield value. It can be stated that it will provide great advantage both in low temperature and in the field as it provides the best resistance.

Although it cannot be said in terms of Wear Layer, MGB seems to be in a very good condition as it reduces the required temperature drop due to viscosity and saves 112 TL per hour for Binder Layer. MGB is a preferable additive due to both ease of production, environmental impact and cost.

The values obtained as a result of the viscosity tests show that PAWMA, SASOBIT and MGB additives are suitable for low temperature asphalt production. It was observed that the mixture temperatures of WMA Wear and Binder Layer prepared with these additives decreased 20 - 30°C. This reduction in the mixture temperature not only saves fuel but also means a reduction in harmful gas emissions from the plant.

The results show that the WMA additives used reduce the viscosity of bitumen relative to the reference bitumen, thereby reducing the mixing temperature to a great extent. The advantages and results of WMA have demonstrated the potential for this technology to be used both in unfavorable weather conditions and in a wider geography.

With this method, which is examined in terms of energy saving, contribution costs and savings amount are calculated on the plant used in the Asphalt Construction Site of Sakarya Metropolitan Municipality. As a result of these calculations, it was shown that asphalt concrete production can be realized by WMA method, it can save energy and provide the required performance.

At this time when the whole world stands against environmental conditions, global warming and climate deterioration, testing and even applying WMA and similar technologies is of great importance and importance for our country because of its economic and environmental friendliness.

Keywords: Warm Mix Asphalt (WMA), Hot Mix Asphalt (HMA), Modified Bitumen, Viscosity, Penetration, Softening Point

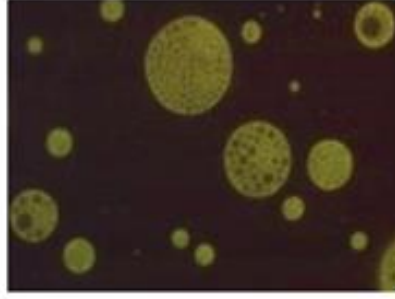
BÖLÜM 1. GİRİŞ

Dünya genelinde, ulaşım sistemlerinin hızla gelişmesi neticesinde, birçok teknoloji kendisine yer bulmakla beraber, teorikte ve pratikte bu teknolojilerin uygulama becerileri de gün geçtikçe artmaktadır. Bilimin, teknolojinin ve mühendisliğin baş döndürücü gelişiminden pek çok alanda olduğu gibi karayolu inşaatı da yöntem, malzeme ve uygulama teknikleri açısından aynı şekilde etkilenerek gelişmektedir. Bu gelişim, Türkiye’de 2015 yılında 19,254 km, ABD’de 4 milyon km, Orta ve Güney Amerika’da 64,000 km, Çin’de 2,5 milyon km, Meksika’da 178,000 km uzunluğuna erişerek, yatırımların milyar dolarla ölçülmesi olarak görülmüştür (Aytekin, 2018, s. 1).

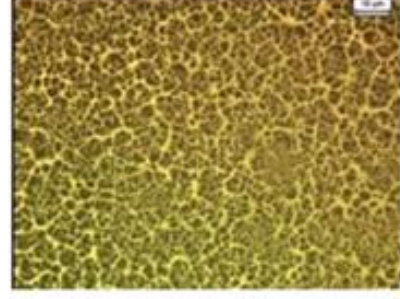
Karayolu yapımında kullanılan ana malzeme olan bitümün, dünya genelinde %90’ı bu işlem için kullanılmaktadır. Çoğunlukla, kaplamaya sahip yolların %95’i de bitüm içeren teknolojileri barındırmaktadır. Toplumumuz ve ekonomimiz, karayolu ulaşım sistemlerine yüksek oranda erişim sağlamakta ve buna ihtiyaç duymaktadır. Ulaşımın çoğunluğunun karayolu ile sağlanmasının yanı sıra, yük taşımacılığının çoğunluğu da bu yöntemle gerçekleştirilmektedir.

Son 40 yıldır, bitümün fizikokimyasal değişimi, Şekil 1.1’de de görüleceği üzere, genellikle polimer katkıların etkileriyle, saf bitüme nazaran geliştirilmiş, yüksek sıcaklıklara karşı içyapısında dayanımı artırılmış ve kaplama deformasyonlarına karşı direnci artmış, düşük sıcaklıklarda kırılabilirliği da azaltılmıştır.

POLİMER MODİFİYE BİTÜM



Ağ biçiminde olmayan Polimer
Modifiye Bitüm



Ağ biçiminde Polimer Modifiye
Bitüm

Şekil 1.1 Saf bitüm ve polimer bitüm (Ecole des Pont, Mooc)

Son zamanlarda, dünyada gittikçe yaygınlaşan ve kullanımı artan Ilık Karışım Asfalt (IKA) kaplama yöntemi, bu yönde atılan adımların önem derecesi açısından ilk sıralarda yer alan bir tekniktir. Çevresel farkındalık, dünya toplumunun yadsıyamayacağı bir gerçeklik olurken, Avrupa Birliği tarafından uygulanmakta olan Kyoto Protokolü ile çevre kirliliğini düşürme hedefi, IKA kaplama tekniğinin önemini arttırmaktadır (Kristjansdottir, 2006).

IKA, Bitümlü Sıcak Karışım (BSK) kaplama yöntemine nazaran, asfalttaki ısıyı azaltma, enerjiyi koruma ve emülsiyonun düşürülmesi, uygulamadaki zorluk ve pahalılık, Türkiye gibi enerji kaynağı açısından zorluk çeken ülkeler açısından maliyetlerin artmasına sebep olmaktadır. Bununla birlikte BSK, çevreye ve çalışan sağlığına duman, sıcaklık ve koku olarak verdiği zararlar açısından oldukça zorluk çıkarmaktadır.

Ilık Karışım Asfalt (IKA), temel olarak, geleneksel yöntemlerin üretimindeki yüksek sıcaklıkları, kullanılan katkıları sayesinde düşürmektir. Bu sayede, asfaltın uygulanabilirliğini, işlenebilirliğini ve serimini kolaylaştırarak büyük avantaj sağlaması hedeflenmektedir. Aynı zamanda düşük sıcaklıkların bir getirisi olarak, rahat çalışabilme olanağı da sağlamaktadır. Bu hedefle üretilen ya da tasarlanan birçok katkı maddesi ve katkı şekli mevcuttur. IKA teknolojisi, enerji açısından potansiyel bir çözüm ve aynı zamanda çevresel avantajlara sahip bir asfalt bağlayıcıdır.

Ilık Karışım Asfalt süreci Avrupa'da 21.yy'ın başında Harrison ve Chirstodulaki tarafından sunulmuştur. Norveç, İngiltere ve Hollanda'da büyük ölçekli saha denemeleri

de yapılan IKA, ilk aşamada köpük yöntemi kullanılarak uygulanmıştır. Daha sonrasında, IKA teknolojisinde sentetik zeolit katkısı kullanılmaya başlanmış ve zeolit oluşumu köpüğün bitümde hareket kolaylığı ve işlenebilirlik sağlamasına yardımcı olmuştur (Barthel vd. 2014).

IKA katkıları, bağlayıcının viskozitesini düşürerek, üretim ve sıkıştırma sıcaklıkları açısından, BSK'ya göre daha düşük değerlere çekebilmektedir. IKA'nın faydaları, BSK üretmek için gerekli olan yüksek sıcaklığa ulaşmadan enerji tüketimini ve sahada kullanılan yakıtların sebep olduğu gazları, kokuları ve emisyonları azaltarak, işçi sağlığı, çevre koruması ve yolun daha kısa sürede tamamlanarak trafiğe açılmasını sağlamaktır.

IKA, Amerika'da 45 eyalette ve Avrupa'nın pek çok noktasında kabul görmüştür. Şu an deneme projeleri olarak ilgi görmekte ve birçok ülkede aktif uygulama aşamasındadır. Büyük Sanayi kuruluşları gelecek 5 yıl içinde asfalt üretim tesislerinin %90'ının IKA üzerine kurulacağını tahmin etmektedir (Kim vd. 2012).

Çalışma yapılan bölümlerden birisi BSK, diğer ikisi ise katkı maddeleri kullanılan teknolojiyle üretilen IKA'lardır. 2010 yılında asfalt test bölümleri yapılmadan önce ölçülen bozulmanın, test bölümleri yapıldıktan ve ilk kış ayından sonra yapılan ölçümlere göre %2 daha az olduğu belirlenmiştir (Köroğlu vd. 2013, s.156).

Ülkemizde yeni yeni çalışmalara başlanan ve henüz uygulama aşamasına geçilmeye başlanan IKA yöntemleri ve katkılarının Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) standartlarında nasıl bir sonuç elde edeceği öngörülmekteydi. Bu tez kapsamında, KGM standartları ve BSK kaplaması aşınma ve binder tabakası dizaynı kullanılarak, bitümün çeşitli katkılarla modifiye edilmesiyle üretilmiş, deneyler gerçekleştirilmiş, bunlara performans değerlendirmesi yapılmıştır. Sonuç olarak da Karayolları Standartlarına göre değerlendirilip uygunluğu tartışılıp, sunulmuştur.

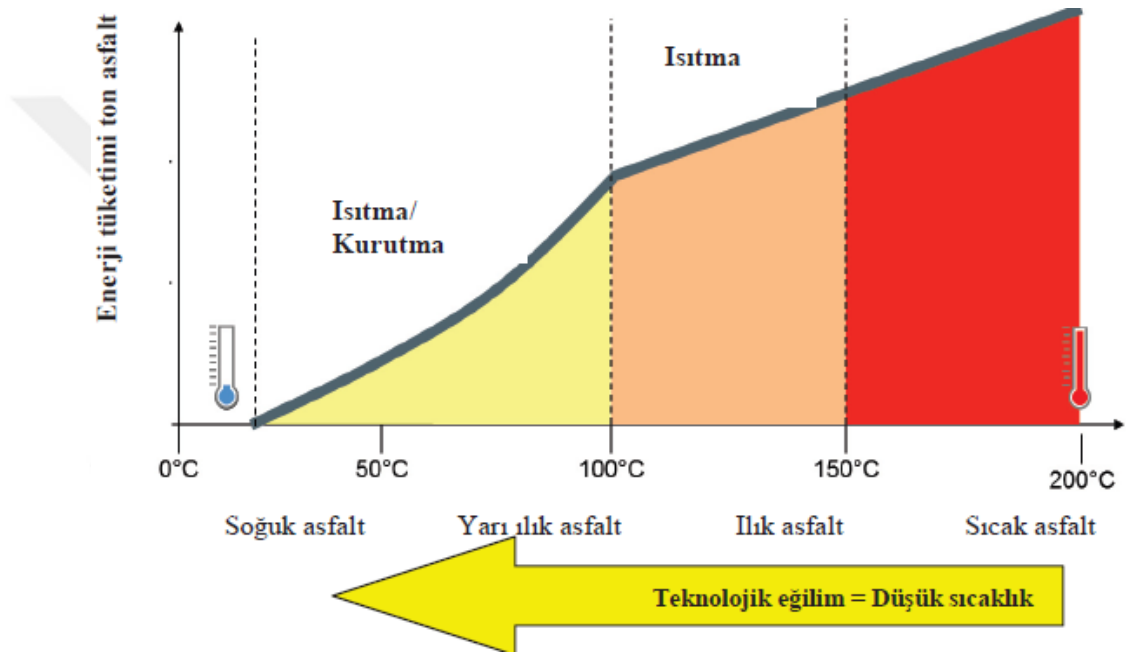
Kullanılan bitüm katkılarının fiziksel özelliklerinin belirlenmesi, sınıflandırılması ve üstyapıya uygunluğu belirlenmesi öncelik olarak ölçüttür. Bu kapsamda yapılan çalışmalar da gözlemlenerek, gerekli değerlendirmeler ortaya sunulmuştur. Bu değerlendirmeler neticesinde, uygun görülen katkıları sınıflandırılarak ayrılmıştır. Bu ayırım neticesinde toplamda üç katkı kullanılmış ve bu katkıların IKA performanslarına etkisi bitüm üzerine yapılan testler neticesinde belirlenmiştir.

Bu sayede, Türkiye’de önümüzdeki yıllarda kendisinden bahsettirecek IKA teknolojisi için, Türkiye standartlarına ve tasarım kriterine uygun altyapı çalışmaları başlatılarak, bu yeni teknolojilerin, sektör ve bilimsel alana daha hızlı entegre olabilmesi ve hayata geçirilmesi açısından önemli bir mihenk taşı olacaktır.

İlerleyen bölümlerde, öncelikle IKA teknolojisi anlatılacak, katkılardan ve yöntemlerden bahsedilecektir. Ardından gerekli IKA ile üretilen asfalt hakkında bilgi verilecek, genel anlamda uluslararası çalışmalara ve uygulamalara değinilecektir. Daha sonrasında bitüm üzerine uygulanan deneyler ve bu deneyin sonuçları ortaya konulacaktır. Modifiye edilen bitümle üretilen asfaltların, Marshall Stabilitate sonuçları ortaya konulacak ve değerlendirilecektir. Gerekli IKA performansı verildikten sonra, enerji açısından değerlendirilecek, tartışma ve sonuçlarda konu irdelenecek, gerekli öneriler sunulacak, standartlar üzerinden yorumlamalar yapılarak çalışma son bulacaktır.

BÖLÜM 2. ILIK KARIŞIM ASFALT

Şekil 2.1'de görülen düşük sıcaklıklarda asfalt üretim tekniği ilk kez 1990'lı yılların sonunda geliştirilmiştir. Katkılar Almanya'da denenmiş ve Norveç'te WAM-Foam® adıyla köpük tekniği geliştirilmiştir (Ilık Karışım Asfalt, EAPA, 2016).



Soğuk karışımlar: Isıtılmamış agrega, bitüm emülsiyonu veya köpük bitüm ile hazırlanır.

- Yarı ılık asfalt: Yaklaşık 70°C ila 100 °C arasında hazırlanır.
- Ilık karışım asfalt: 100°C ila 150°C arasındaki sıcaklıklarda karıştırılır ve üretilir.
- Sıcak karışım asfalt: Kullanılan bitüme bağlı olarak 120°C ila 190°C arasındaki sıcaklıklarda karıştırılır ve üretilir. Sıcak karışımın üretim sıcaklığı kullanılan bitüm sınıfına bağlıdır.

Ilık karışım asfalt kullanılarak sağlanan düşük karıştırma ve serim sıcaklığıyla duman ve koku emisyonları en düşük seviyelere düşer ve asfalt işçileri için daha iyi bir çalışma ortamı yaratılır. Pratikte sıcaklığın her 12°C düşüşüyle açığa çıkan duman emisyonunda

%50'lik bir azalma meydana gelir (Brandt vd. 1999). Bu da IKA açısından BSK'ya oranla büyük oranda uygulanabilirlik artışı demektir.

2.1. IKA Avantajları

2.1.1. Enerji tasarrufu

Araştırmalarda üretim sıcaklığının düşürülmesi için enerji tüketiminin en fazla %40 olabileceği görülmüştür. Bu düşüş asfalt üretiminde harcanan enerjiyi düşürmüştür ve aynı zamanda IKA sürecinde katkı maddesi ekleme zamanından, enerji tüketiminden tasarruf edilmesini sağlamıştır (Ruhl ve Lindemeier, 2006).

IKA uygulaması bitüm sıcaklığını neredeyse ortalama 20-55°C düşürdüğünden, yakıt tüketimini de neredeyse ortalama %11-%35 azaltır. Bu oran LEA veya LEAB gibi agregaların ısıtılmadığı veya kısmen ısıtıldığı düşük enerjili asfalt uygulamalarında %50 oranına çıkabilir (Aytekin, Ş. 2018).

2.1.2. Ekonomik fayda

IKA uygulaması daha düşük enerjide kaplama üretimi sağladığından yakıt tasarrufu açısından ekonomik bir getirisi varmış gibi görünse de gerek tesis kurulumu ve gerekse katkı maddelerinin fiyatları bu avantajı neredeyse yok etmektedir. Henüz yeni bir teknoloji olan IKA uygulamaları şimdilik pahalı bir seçenek gibi görünebilir. Bu ekonomik dezavantaj sadece kurulum aşamasında ortaya çıkmaktadır. Ancak çevreye olan olumlu etkileri de göz önüne alınırsa, uzun vadede daha ekonomik getirileri olduğu görülecektir. Türkiye gibi yakıtın pahalı olduğu ülkelerde ise IKA oldukça ekonomik bir uygulama olarak nitelendirilebilir (Aytekin, Ş. 2018).

2.1.3. Çevresel fayda

Ilık karışım asfalt, düşük üretim sıcaklığı nedeniyle agregayı ısıtmak için daha az yakıt gerektirdiğinden, asfalt plantinin emisyonu daha düşük olmaktadır. Sağlanan yakıt tasarrufu ve emisyonlardaki azalma birçok faktöre bağlı olup duruma göre değerlendirilmesi gerekmektedir. Literatüre göre, IKA üretilirken BSK'ya göre önemli ölçüde emisyon, koku ve duman oluşumu azalmıştır.

Ilık ve yarı ılık asfalt karışımlarında plentin baca emisyonu önemli ölçüde azalmaktadır (Warm-Mix Asphalt: European Practice, 2008). CO₂ emisyonundaki azalma %20 ila %40 ve SO₂ emisyonu %20 - %35 arasında değişmektedir. Uçucu organik bileşenlerdeki (VOC) azalma %50'ye kadar ve CO'teki azalma ise %10 ila %30 arasında olmaktadır. Toz emisyonundaki azalma ise %20 ile %55 arasında değişmektedir (Warm-Mix Asphalt: European Practice, 2008).

Üretim sıcaklığında ne kadar fazla azalma elde edilirse emisyonlarda da o kadar çok düşüş sağlanabilmektedir. Bazı araştırmacıların elde ettiği benzer verilere göre; CO₂, NO₂ ve SO₂ gibi sera gazı emisyonları, sağlanan enerji tasarrufu oranında azalmakta olup, bu oran sürece bağlı olarak %25 ila %50 arasında değişmektedir. Ayrıca, asfalt koku ve dumanlarıyla çok halkalı aromatik hidrokarbon (PAHs) çıkışında, sıcak karışım asfalta göre %30 -%50 oranında önemli azalmalar olduğu deneylerle belirlenmiştir (Warm-Mix Asphalt: European Practice, 2008). Tablo 2.1'de düşük ve yüksek sıcaklıklarda üretim sırasında gaz salınımları verilmiştir.

Tablo 2.1 BSK ve IKA kullanımında ortaya çıkan gaz salınımları (de Groot vd. 2001)

Teknoloji	BSM (mg/m ³)	PACs (mg/m ³)	TPM (mg/m ³)
BSK	0,17 – 0,49	38 – 119	1,2 – 0,93
IKA	0,005	4,9 – 2,5	0,09

2.1.4. Uygulama faydaları

Ilık karışım asfalt kullanımıyla asfaltın uygulamada işlenebilme özelliği iyileşmekte ve asfalt kaplamasında çalışan işçilere daha konforlu çalışma ortamı yaratılırken, iş yeri yakınlarında yaşayanlara daha iyi bir çevre oluşturulur. Köpük benzeri teknolojilerle, kimyasal veya organik katkılarla hazırlanan ılık karışım asfalt, klasik sıcak karışım asfalttan daha düşük sıcaklıkta istenilen karıştırma ve sıkıştırma derecesinde karıştırılıp sıkıştırılabilir.

Alternatif olarak ılık karışım tekniğiyle klasik sıcak karışım asfalt sıcaklığında üretilen karışımların uygulama (taşımaya, serme ve sıkıştırma) süresi uzamaktadır. Böylece daha uzun mesafelerden taşınan karışımların işlenebilirliği kısa mesafe taşıma yapılanlarla aynı olmakta veya aynı sıkıştırma derecesini elde edilmesinde işlenebilirlik süresi

artmaktadır. Başka bir ifadeyle, bu teknikle klasik sıcak karışım asfalt sıcaklığından daha yüksek sıkışma derecesine ulaşılabildiği belirtilebilir. Ayrıca bu yöntemle daha soğuk aylarda ve/veya gece uygulama yapılacak şekilde inşaat sezonu uzatılabilmektedir (Ilık Karışım Asfalt, EAPA, 2016).

2.1.5. İş ve işçi sağlığı

BSK'nın hem üretimi hem de serimi sırasında ortaya çıkan gazlar, tesiste ve arazide çalışan işçiler için zehirli ve kanserojen etkiler gösterebilmektedir. İKA sürecinin hem üretim hem de serim sıcaklıkları BSK'ya oranla daha düşüktür ve bu yüzden etrafa yaydıkları gazlar da daha düşük oranlardadır. Bu nedenle İKA'nın BSK'ya oranla çalışanların sağlığına olumsuz etkisi oldukça azdır (Aytekin, Ş. 2018)

2011 yılında Norveç'te, ılık karışım asfalt ile sıcak karışım asfalt uygulamalarının karşılaştırılması amacıyla yapılan bir çalışmada, ılık karışım asfaltta bitüm dumanı ve buhar maruziyetinin önemli ölçüde daha düşük olduğu saptanmıştır. Norveç'teki çalışmada aynı iş gününde yapılan 11 ılık karışım asfalt ve sıcak karışım asfalt deneme kesiminin çalışma ortamı değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, asfalt sıcaklığının ortalama 29° C düşmesiyle, asfalt dumanlarında %58 - 67 arasında değişen çok önemli azalmalar olmuştur. Duman ve koku seviyesinde sağlanan bu azalmayla işyeri çevresinde yaşayanları rahatsız eden etkenler ve olumsuz çevre koşulları da azalmaktadır (Norwegian WMA project – Low Temperature Asphalt 2011).

2.2. Tarihçe

1956'da, Prof. Dr. Ladis H. Csanyi tarafından, Iowa Eyalet Üniversitesi'nde kopuk bitümün bağlayıcı olarak kullanılma durumu araştırılmıştır. O tarihten bu yana köpük teknolojisiyle düşük sıcaklıkta karıştırma olanağı oluşturulmuş ve pek çok yerde kullanılmıştır. Sıcak karışımdaki bitüm içerisine, soğuk su yerine buhar konularak, yeni bir yöntem oluşturulmuştur. Sonraları, bitüm köpük süreci gelişerek pratik olarak uygulanır hâle getirilmiştir. 1994 yılında Maccarone'de köpük bitüm kullanımına bağlı soğuk karışım asfalt gelişmeleri araştırılmış ve yüksek emülsiyon barındıran bağlayıcı madde üretilmiştir. Yol yapımında daha fazla kabul göreceği şekilde, soğuk karışım kullanımı dünya çapında tanıtılmıştır. Bu tür sistemlerle, enerji tasarrufu sağlamıştır.

Soğuk karışımlar, özellikle hidrokarbon yaymamış ve üretimde daha az yakıt tüketmiştir. Başlangıç dayanımı, oldukça iyi olmasına karşın, soğuk karışımlar sıcak karışımlara göre, uzun vadede yeterli bir performans sergileyememiştir (Kristjansdottir, 2006).

1999'da Jenkins vd. bitümü yarı ılık köpükle karıştırarak yeni bir süreç ortaya çıkarmışlardır. Bu hususlar ayrıntısıyla araştırılmış ve 100°C altında bitümün köpüklenmesi için agreganın ısıtılmasının faydalı olduğu görülmüştür (Kristjansdottir, 2006).

IKA uygulamasının hedefi, yüksek sıcaklıkları düşürerek geleneksel asfalt karışımlarından yeni ve farklı ürünler üretmektir. Avantajları, BSK'dan daha düşük sıcaklıkta malzeme üreterek enerji tüketiminde azalma, emisyonu azaltarak çevreye ve işçi sağlığına faydalı olabilmektir.

Koenders vd. (2002), geleneksel Sıcak Karışım Asfalt (BSK) sıcaklığından daha düşük sıcaklıkta malzeme üretmek, enerji tüketimi, koku ve dumanı azaltan Ilık Karışım Asfalt (IKA) malzemesi oluşturma konusunda çalışmışlardır. Çalışma özellikle köpüklü IKA üzerinde yoğunlaşmıştır (Larsen, O.R. vd. 2004).

Hurley ve Prowel (2005), Sasobit balmumunu eritme yöntemiyle karışıma ekleme sürecini araştırmış ve hava boşluklarının diğer katkılara göre daha da azaldığını keşfetmiştir. Laboratuvar ortamında filler ve diğer malzemelerle etkileşimini incelemişlerdir. Sonuçların geleneksel yöntemle göre daha iyi olduğunu gözlemlemişlerdir.

Johannesson vd. (2005), İzlanda'da ılık karışım ile sıcak karışım uygulaması arasındaki değişimleri incelemişlerdir. Raporda ömür döngü maliyetlerine göre, ülkede kullanılan farklı kaplama türlerin ait bazı bilgi ve karşılaştırmalara yer verilmiştir. Fizibilite çalışması sonuçlarında uzun vadede ılık karışım asfaltın sıcak karışımdan daha az maliyetli bir seçenek olduğu görülmüştür.

Gandhi ve Amirkhanian (2007), bağlayıcı madde içine IKA katkı eklenmesinde iki tip süreç kullanmış ve örnek hazırlama işlemini tamamlamışlardır. İlk aşamada elle harmanlanmış Aspha-minR katkısını incelemişlerdir. İkinci aşamada ise mekanik karıştırma ile Sasobit® katkısını incelemişlerdir. Bunların kullanılabilirliği neticesinde ortaya bir karşılaştırma sunmuşlardır.

Jamshidi vd. (2012), Sasobit içeren IKA teknolojilerinin yük, şekil değiştirme ve zaman faktörü altında davranışlarını incelemişlerdir. Laboratuvarda elde edilen bulgular ve saha denemeleri değerlendirilmiştir. Aynı zamanda ömür döngüsü değerlendirmesi, Sasobitli karışımın enerji tasarrufu potansiyeli ve sera gazı emisyonunda azalma potansiyeli incelenmiştir.

Zhao ve Guo (2012), Sasobitli IKA'nın işlenebilirliğini değerlendirmek için işlenebilirlik test aracı kullanmıştır. İlk olarak asfalt harçla fizibilite çalışması yapılmıştır. Ardından IKA işlenebilirliği farklı sıcaklıklarda ve frekansta saptanmış ardından sıcak karışımla karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak Sasobitli IKA'nın karışım sıcaklığını 30°C'ye yakın düşürdüğü ve sıcak karışımdan daha iyi bir işlenebilirliğe, sıcak karışımla çok yakın bir performansa sahip olduğu kanısına varılmıştır.

Xiao vd. (2011), köpük katkısı olmayan IKA katkılarını düşük sıcaklıkta inceleyerek yüksek performans sağladıklarını gözlemlemiş, SASOBİT katkısının, kullanılan diğer katkılara oranla daha efektif ve kullanışlı olduğunu göstermişlerdir.

Mahida vd. (2015), Evothem J1 katkısını karışım dizaynı açısından, Marshall stabilite testine tabi tutarak, kullanılan katkının karışım sıcaklığını 120°C'ye düşürebildiğini, aynı zamanda nem üzerindeki etkisini inceleyerek, BSK'ya oranla düşüş sağladığını, performansının değişmediğini, hatta arttığını göstermişlerdir.

Abdullah vd. (2015), nanokil ve kimyasal IKA katkıları üzerinde yaptıkları çalışmada, uzun süreli bitüm yaşlanma testlerinde BSK'ya oranla performans artışı olduğunu, tekerlek izi ve çatlak oluşumu açısından önemli düzeyde gelişme sağlandığını ve geleneksel yöntemlere göre dayanımın arttığını ortaya koymuşlardır.

Wozzuk vd. (2018), mezofor (küçük gözenekli) silika malzemesi olan MCM-41 üzerinde yaptıkları çalışmalarda, hem çevre hem de ekonomik fayda açısından IKA katkısı olarak kullanılabilirliğini ortaya koymuşlardır. Aynı zamanda, düşük sıcaklıkta viskoziteyi düşüren bu katkının, işlenebilirlik açısından kolaylık sağladığını ortaya koymuşlardır.

Aktaş vd. (2018), Evothem M1 ve Viatop plus C25 ile modifiye edilmiş bitüme, farklı sıcaklıklarda viskozite testi uygulamış ve bu katkıların, düşük sıcaklıkta viskoziteyi önemli ölçüde düşürdüklerini gözlemleyerek, uygulanabilirlik ve işlenebilirlik açısından farklarını ortaya koymuşlardır.

Vidal vd. (2018), doğal zeolit katkısı ile geri dönüştürülmüş yol üstyapı malzemesinin kullanılabilirliğini, bununla birlikte doğal zeoliti sıcaklığı düşürücü etkisiyle, asfaltın hem işlenebilirliğini artırdığını hem de sürdürülebilir bir yol üstyapısı ortaya koyarak yüksek performans sağladığına vurgu yapmışlardır.

2.3. Katkılar

100°C üzerindeki sıcaklıkta uygulanan ılık karışım asfalt tekniklerinde karışım içinde kalan su miktarı çok azdır. Düşük sıcaklıkta agreganın tamamen kaplanmasını ve karışımın sıkıştırılabilirliğini sağlamak için, bağlayıcının viskozitesini düşüren değişik teknikler kullanılmaktadır. Bu teknikler katkı malzemeleri kullanılarak oluşturulmaktadır. Temel olarak, katkı maddeleri üç tip olarak sunulabilir. Birincisi organik katkılar, ikincisi köpük katkıları ve son olarak kimyasal katkılardır (Sheth, N. M. 2010).

2.3.1. Organik katkılar

Yaklaşık 90°C üzerindeki bir sıcaklıkta bağlayıcının (bitümün) viskozitesini düşürmek için değişik organik katkılar kullanılmaktadır. Bu tip katkıların erime noktaları, tahmin edilen servis sıcaklıklarından daha yüksek olması (aksi takdirde kalıcı deformasyonlar meydana gelebilir) ve düşük sıcaklıklarda da asfaltın kırılabilirliğini azaltacak şekilde olması gerektiğinden, seçimine özen gösterilmelidir. Genellikle parafin veya yağlı amidleri içeren organik katkılar karışıma veya bitüme ilave edilir. Organik katkılarla karışım sıcaklığında tipik olarak ortalama 20-40°C arasında bir azalma sağlanmaktadır. Ayrıca bu katkılar asfaltın deformasyona karşı direncini artıracak şekilde modifiye etmektedirler (Ilık Karışım Asfalt, EPA, 2016).

Organik katkılar sınıfından literatürde en çok kullanılan Sasobit katkısı, Sasol Wax tarafından üretilen, organik ya da balmumu esaslı katkı maddesidir. Sasobit, 98°C'den daha yüksek sıcaklıklarda bitüm içinde tamamen çözünür olan, kömür gazlaştırma işlemi ile elde edilen bir alifatik hidrokarbondur. Bitümün viskozitesini yüksek oranda azaltma yeteneğine sahiptir. Bu durum, işlenebilir sıcaklığını ortalama 15-55°C arasında azaltabilir (Zhang, Jun. 2010).

Sasobit gibi vaksların uzun zincirli alifatik hidrokarbon zincirleri vardır ve erime noktaları 98°C'den yüksektir. Yüksek sıcaklıklarda düşük viskoziteye, düşük sıcaklıklarda ise yüksek viskoziteye sahiptir. Sasobit 65°C ile 115°C arasında bitüm modifiyesinde veya doğrudan karışım sırasında erimiş olarak veya toz ya da topaklı tanecikler şeklinde katılır. Almanya'da bitüm kütlesinin %2,5'i oranında Sasobit kullanılmaktadır (D'Angelo J. vd. 2008). Bu çalışma kapsamında, üretici tarafından önerilen %3 oranı kullanılacaktır.

2.3.2. Kimyasal katkılar

Kimyasal katkılar bitümün viskozitesini değiştirmezler. Bu katkılar, agrega ile bitümün ara yüzeyinde, yüzey aktif madde olarak işlev görürler. Tipik olarak, 85°C ila 140°C aralığında, ara yüzeylerdeki sürtünme kuvvetlerini düzenlemekte ve azaltmaktadırlar. Böylece, bitüm ve agreganın düşük sıcaklıkta karıştırılması ve hazırlanan karışımın sıkıştırılması mümkün olmaktadır. Kimyasal katkılar karıştırma ve sıkıştırma sıcaklığını yaklaşık 20 - 40°C azaltabilmektedirler (Ilık Karışım Asfalt, EAPA, 2016).

Bu katkı sınıfında en çok bilinen Evotherm, Amerika'da geliştirilmiş bir katkı türüdür. Orijinal işlemde bir emülsiyon sıcak agregayla karıştırılarak ortalama 85-115°C arasında üretim yapılır. Bu emülsiyon işlenebilirliği, adezyonu, kaplamayı geliştirmek için kimyasallarla üretilmiştir. Bu kimyasal katkının %50'si yenilenebilir kaynaklardan elde edilir. Evotherm, BSK'ya oranla üretim ve yerleştirme sıcaklığını 50°C ile 75°C arasında azaltır (D'Angelo J. vd. 2008). Bu çalışma kapsamında, gerekli testlerle MBG katkısı kullanılacaktır.

2.3.3. Köpük (WAM-FOAM) teknikleri

Bitümün viskozitesini azaltmak için değişik köpüklendirme teknikleri uygulanır. Sıcak bitüme az miktarda su ilave etmek için çeşitli yöntemler mevcuttur. Sıcak bitüme verilen su, buharlaşır ve bitümün hacmi artarak kısa süreli viskozite azalması meydana gelir. Bu işlem sonucunda genişleyen bitüm düşük sıcaklıkta agregaları kaplar ve içinde kalan rutubet ise asfaltın yerinde sıkışmasını kolaylaştırır. Üretim sıcaklığı düşük olduğu için serme-sıkıştırma sıcaklıkları da düşüktür (Ilık Karışım Asfalt, EAPA, 2016).

Henüz yaygınlaşmaya ve kullanılmaya başlanan ve bu tez kapsamında kullanılması planlanan köpüklendirme teknolojisine ait Pawma Ilık Karışım Asfalt Katkısı İstanbul Teknik tarafından üretilen amidoamin türevi bir katkı türüdür. Kimyasal tanımı Alkali metallerin hidrate alümine silikatı olarak belirtilmiştir. Önceden bitüme karıştırarak kullanılır. Karışım için bitüm sıcaklığı değiştirilmez ancak agrega sıcaklığı 30°C düşürülerek karışım hazırlanır. Kullanım miktarı bitüm ağırlığının %0,2 ila %0,4 arasındadır (Aytekin, Ş. 2018). Bu çalıma kapsamında üretici tarafından önerilen %0,3 oranı tercih edilmiştir.

2.4. Dünya Uygulamaları

2.4.1. Çek Cumhuriyeti

Prag'da Çek Teknik Üniversitesinde ve Brno Teknik Üniversitesinde yapılan araştırmalar sonucu 2012 yılında Çek Ulaştırma Bakanlığı tarafından ılık karışım asfalt konusunda ulusal bir ön şartname (TP 238) yayınlanmıştır. Bu şartname düşük sıcaklıklarda mastik asfalt üretimi için de geçerlidir. Ancak ılık karışım asfalt tekniği daha çok sıkıştırılan asfalt tabakalarında kullanılmıştır (Ilık Karışım Asfalt, EAPA, 2016).

Çek Cumhuriyeti'nde yapılan ılık karışım asfalt uygulamaları 2013'de düzenlenen HAPA konferansında sunulmuştur (Fiedler J. vd. 2013). 2013 yılında Prag'da yapılan önemli bir tünelin tüm tabakaları ılık karışım asfalt ile yapılmıştır. İdare, tünelde ılık karışım asfalt kullanımını istemiştir. İlk deneme kesimi 2013 sonbaharında Fronek firması tarafından ikinci sınıf bir yolda yapılmıştır. Bu firmanın karışıma %50 kazanmış asfalt ilave edebilecek paralel sistemli durum tipi bir plenti mevcuttur. Köpük tekniğiyle uygulanan ılık karışım asfalt üretiminde sıcaklık yaklaşık 130°C'ye düşürülmüştür. Karışım dizaynı Çek Teknik üniversitesiyle ortak hazırlanmıştır (Ilık Karışım Asfalt, EAPA, 2016).

2.4.2. Danimarka

Danimarka'da NCC firması patentli bir köpüklendirme jeneratörü kullanarak, köpük bitüm tekniği ile ılık karışım asfalt üretmektedir. Eylül 2012'de firma Danimarka Yol Müdürlüğü ile Ulladulla'da 321 No.'lu otoyol üzerinde klasik asfalt üretim şartlarında bir ılık karışım asfalt uygulama çalışmasını yapmışlardır. Polimer modifiye bitümlü taş

mastik asfalt (SMA 11) üretilmiş ve üretim sıcaklığı bu teknikte yaklaşık 20°C azaltılmıştır (Ilık Karışım Asfalt, EAPA, 2016).

Uygulamada kullanılan donanım aynı olup, ılık karışım asfalt kolayca serilmiştir. Ilık karışım asfaltın sertleşmesi klasik asfalttan biraz daha düşük olmuştur. Bu çalışmada elde edilen başarıların ışığında işin devamı Şekil 2.3’de görüleceği üzere ılık karışım asfalt ile yapılmıştır. NCC birçok diğer projede "GAB II" olarak bilinen temel tabakası dâhil ılık karışım asfaltla Tuse - Vig ve Aaby - Middelfart yol kesimlerinde kaplamalar yapılmıştır (Ilık Karışım Asfalt, EAPA, 2016).



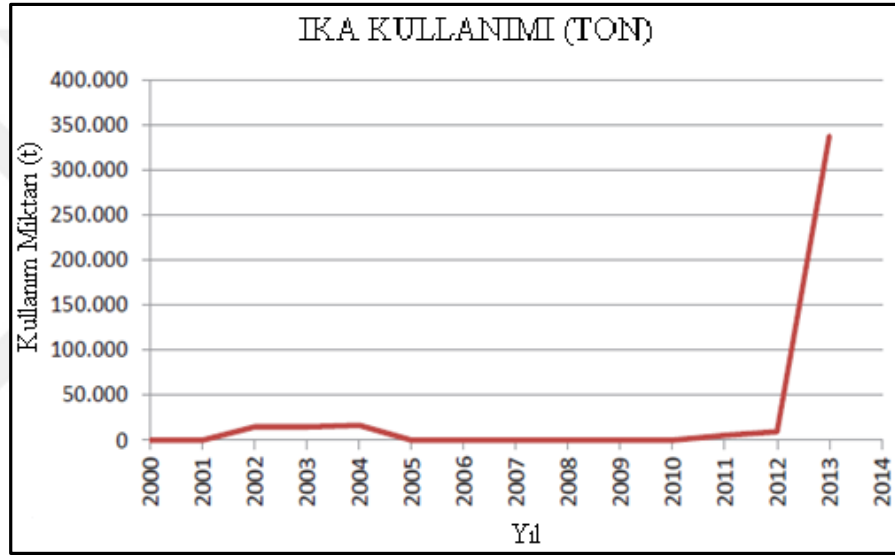
Şekil 2.3 Danimarka IKA uygulaması

2.4.3. Fransa

Fransa'da ılık karışım asfalt kullanımı gittikçe artmaktadır. 2012'de ılık karışım asfalt kullanımı toplam üretimin %7,5'una ulaşmıştır. Ayrıca Fransa'da ılık karışım asfalt kullanımını kolaylaştırmak ve gerekli bilgiler vermek üzere dokümanlar hazırlanmaktadır. Sıcaklığı azaltan tüm teknikler Fransa'da kullanılmaktadır ve yapılan farklı çalışmalarla, kullanılan tüm teknolojilerin teknik kriterleri (asfalt betonunun mekanik performansı) sağladığı saptanmıştır. Sonuç olarak, Fransa'da daha iyi bir çevre için daha çok ılık karışım asfalt üretilmekte ve geri kazanılmış asfalt üretiminde ılık karışım asfalt tekniği kullanılmaktadır (Ilık Karışım Asfalt, EAPA, 2016).

2.4.4. Norveç

Norveç'te Asfalt Üreticileri Derneği 2010 yılında “LTA-2011” düşük sıcaklıklı asfalt konulu yeni bir proje başlattı. Bu projede 6 farklı teknikle 11 deneme kesimi inşa edilerek, asfalt işçilerinin sağlığı ve asfalt kalitesi açısından konular araştırıldı. Üretim sıcaklığı yaklaşık 30°C kadar azaltıldı. Her bir kesim yanında, bir de klasik sıcak karışım asfaltla referans kesimler yapıldı. Norveç'te asfalt endüstrisi Şekil 2.4'te olduğu gibi, çevresel şartları iyileştirme sorumluluğunu alarak, IARC tavsiyeleri doğrultusunda üretim sıcaklığını düşürmek üzere Norveç Yol İdaresi ile işbirliği içinde ılık karışım asfaltı teşvik etmektedir (Ilık Karışım Asfalt, EAPA, 2016).



Şekil 2.4 Norveç'te IKA kullanımı (IKA, EAPA, 2016)

2.4.5. Türkiye

Türkiye'de karayolu teknik şartnamesi, eşdeğer performansı sağlaması koşuluyla ılık karışım asfalt tekniğinin uygulanmasına imkân sağlamaktadır. Şimdiye kadar karayollarında henüz bir uygulama gerçekleştirilmemiştir. Ayrıca, bazı üniversitelerin ulaştırma kürsülerinde ılık karışım asfalt katkıları ve köpük bitüm üzerinde araştırma çalışmaları yapılmaktadır. İstanbul'da şehir içi bir yol kesiminde, 2012 yılında zeolit kullanılarak bir deneme kesimi yapılmıştır. Yapılan deneme kesiminin performansının klasik sıcak karışım asfalt performansına eşdeğer olduğu tespit edilmiştir (Ilık Karışım Asfalt, EAPA, 2016).

BÖLÜM 3. ASFALT

3.1. Asfalt Betonunun Tanımı

Asfalt betonu, genel anlamıyla Aşınma, Binder tabakasını veya bu iki tabakadan birini kapsar. Taban zemini üzerine oturan alt temel, temel ve bitümlü kaplama tabakalarından oluşan esnek yol üstyapısının başarısı, tabakaların ve taban zeminin fiziksel özelliklerine ve uygun şekilde projelendirilip, inşa edilmesine bağlıdır. Kaplama tabakası, üstyapının trafik yüklerine doğrudan maruz kalan en üst tabakasıdır. Trafik yükleri nedeniyle oluşan basınç ve çekme gerilmelerinin en yüksek seviyede olması nedeniyle kaplama tabakası, üstyapının diğer tabakalarına göre daha yüksek elastisite modülüne sahip olmalıdır. Bitümlü karışımlar agrega ile bitümlü bağlayıcı malzemeden oluşur. Bu karışımlar serbest agrega malzemesine göre çok pahalı olduklarından yol yapımında çoğunlukla, yalnızca kaplama tabakalarının yapımında kullanılır (Morova, N. Vd. 2011).

Bir asfalt kaplama yapısı (esnek üstyapı), hazırlanmış olan taban doğal zemin üzerindeki tüm tabakalardan oluşmaktadır. En üst tabaka asfalt aşınma tabakasıdır. Bu tabaka, tasarım, yapım ve bakım gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak, 25 mm (1 inç) altından 75 mm (3 inç) üstüne kadar değişen kalınlık değerlerine sahip olabilmektedir (Morova, N. Vd. 2011).

Asfalt kaplamalarda kaplama üzerindeki trafik yükü, yerel çevre koşulları ve kaplama bileşimindeki malzemelerin birbiri ile etkileşimi çok iyi bilinmelidir. Bunlar asfalt betonunun ileriye yönelik olarak göstereceği performansta çok etkili rol oynamaktadırlar (N. Tosun, 2010).

Bitümlü Sıcak Karışım (BSK), 145-160°C sıcaklıkta kurutulmuş ve ısıtılmış agregayla, yaklaşık aynı sıcaklığa kadar ısıtılarak viskoz sıvı hale getirilmiş bitümün, karışım dizaynı oranlarına uygun olarak plentte karıştırılmasıyla elde edilen asfalt karışımlarının genel adıdır. Karışımındaki agrega ve bitüm oranları karışımın kullanılacağı tabakaya ve özelliğine bağlı olarak değişmekle birlikte, karışımın yaklaşık %95'i agrega %5'i

bitümdür. Kullanılan agrega, kırma taş, kırma çakıl veya bunların karışımından ibaret olup, bu agregaların karayolları şartnamesinde belirtilen kriterleri sağlaması gerekmektedir. Agregası, kaba, ince ve mineral filler içerecek şekilde en az 3 ayrı tane boyutu grubunun belirli oranlarda karıştırılmasıyla elde edilmektedir. Bitüm sınıflarından 40/60, 50/70 ve 70/100 penetrasyonlu bitümler kullanıldığı gibi modifiye bitümler de kullanılmaktadır (Aytekin Ş. 2018).

Geleneksel asfalt betonu aşınma tabakaları sürekli gradasyona sahiptir. Yani agregalar belirli elek aralıklarına yığılmamıştır. Her elek arasında belirli bir miktarda agrega bulunmaktadır. Bu yüzden de geleneksel asfalt karışımların boşluk oranı %4-6 aralığında değişmektedir. Tipik bir geleneksel asfalt betonu aşınma tabakası bünyesinde kaba agrega yüzdesi yaklaşık %50, ince agrega yüzdesi yaklaşık %38, filler yüzdesi yaklaşık %7 ve bitüm oranı yaklaşık %5'tir (Özay ve Öztürk, 2013).

3.2. Asfalt Betonu Dizaynı

Karayolları Teknik Şartnamesine göre Asfalt Betonu dizaynında gradasyon seçimi, bitüm özellikleri seçimi ve yapım şartları detaylı bir biçimde açıklanmıştır. Bu şartlar içerisinde binder tabakası ve aşınma tabakası için agrega gradasyonları, agrega seçimleri, bitüm oranları, en düşük Marshall stabilite değeri, akma değeri bulunmakla birlikte, asfalt betonu için, minimum ve maksimum karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları da verilmiştir. Saf bitüm haricinde kullanılacak modifiye edilmiş bitüm özellikleri de detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

3.2.1. Gradasyon

Mineral agrega; kaba agrega, ince agrega ve mineral fillerini içeren en az 3 ayrı dane grubunun düzgün bir dereceleme verecek şekilde belli oranlarda karıştırılmasından oluşacaktır. Karışımın agrega gradasyonu binder ve aşınma tabakası için Tablo 3.1 ve Tablo 3.2'de verilmiştir (KTŞ, 2013).

Tablo 3.1 Binder tabakası için gradasyon limitleri (KTŞ, 2013)

Elek Boyu mm (in, No)	% Geçen
25 (1")	100
19 (3/4")	80 – 100
12,5 (1/2")	58 – 80
9,5 (3/8")	48 – 70
4,75 (No. 4)	30 – 52
2,00 (No. 10)	20 – 40
0,425 (No. 40)	8 – 22
0,180 (No. 80)	5 – 14
0,075 (No.200)	2 - 7

Tablo 3.2 Aşınma tabakası için gradasyon limitleri (KTŞ, 2013)

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

3.2.2. Bitüm

Asfalt betonu aşınma ya da binder tabakalarının üretiminde 50/70 penetrasyonlu bitüm ve İKA katkılı bitüm kullanılacaktır. Bitümün modifiyesinde, İKA katkılarından seçilen SASOBİT, PAWMA ve MBG katkıları seçilerek kullanılacaktır.

Karışımındaki bitüme eklenecek olan katkıları, üreticiler tarafından önerilen oranlarda kullanılacaktır. Bu oranların üzerinde yapılan bitüm deneyleri gerekli şartları sağlayarak, karışım ya da bitüm oranına göre ağırlıkça katılacaktır.

Karışımında kullanılan agreganın maksimum dane boyutu, gradasyonu, absorpsiyonu, tabaka cinsi vb. hususlar göz önüne bulundurularak ön uygun değer bitüm yüzdesi tayini yapılabilmektedir. Ön uygun değer bitüm yüzdesi;

- Asfalt Enstitüsü
- Yüzey Alan
- Fransız
- TEM

metodu kullanılabilir. Asfalt Enstitüsü metodu kullanılarak ön uygun değer bitüm yüzdesi tayini 1.1 denkleminde bulunacaktır.

$$P = (0,04a + 0,07b + 0,12c)F \quad (1.1)$$

a: kaba agrega yüzdesi

b: ince agrega yüzdesi

c: filler malzeme yüzdesi

F: 1 (A. Tunç, 2001)

3.2.3. Asfalt betonu yapım şartları

Mineral agrega ve bitüm, 50/70 penetrasyonlu bitüm ile hazırlandığında, karıştırma sıcaklıklarında bitüm minimum 145°C, agrega da en az 150°C olmalıdır. Agrega ve bitüm sıcaklığı arasındaki fark 15°C den fazla olmamalıdır.

Hava sıcaklığının gölgede 5°C ya da 5°C'den az olduğu durumlarda, yağmur veya kar yağışı anında veya yol üzerinde buz ya da kar olduğu durumlarda kaplama yapılmamalıdır. 5°C'den az olduğu durumlarda serim yapılmamalıdır.

3.2.4. Asfalt betonu için kullanılacak bitümün fiziksel özellikleri

Karayolları Teknik Şartnamesine göre İKA dizaynında kullanılacak modifiye edilmiş bitümün fiziksel özellikleri Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Bu değerlerden yapılan çalışma kapsamında, penetrasyon, yumuşama noktası ve viskozite değerleri ele alınmıştır.

Sıra No	DENEY ADI	STANDARTI	BİRİMİ	PMB 58-28	PMB 64-28	PMB 70-16	PMB 70-22	PMB 70-28	PMB 76-16	PMB 76-22	PMB 76-28	PMB 82-16	PMB 82-22
1	PENETRASYON (25°C, 150g, 5sn.)	TS EN 1426	0,1mm	90-150 (8)	40-100 (5)	45-80 (4)	45-80 (4)	45-80 (4)	25-55 (3)	25-55 (3)	25-55 (3)	25-55 (3)	25-55 (3)
2	YUMUŞAMA NOKTASI	TS EN 1427	°C	≥ 45 (8)	≥ 50 (8)	≥ 60 (6)	≥ 60 (6)	≥ 55 (7)	≥ 65 (5)	≥ 65 (5)	≥ 60 (6)	≥ 70 (4)	≥ 70 (4)
3	KUVVET ÖLÇÜMLÜ DÜKÜLTİLE* (25°C, 5cm/dk)	TS EN 13589	J	≥ 0,5 (11)	≥ 0,5 (11)	≥ 0,5 (11)	≥ 0,5 (11)	≥ 0,5 (11)	≥ 0,5 (11)	≥ 0,5 (11)	≥ 0,5 (11)	≥ 0,5 (11)	≥ 0,5 (11)
4	ELASTİK GERİ DÖNME* (25°C)	TS EN 13398	%	≥ 80 (2)	≥ 80 (2)	≥ 80 (4)	≥ 70 (3)	≥ 80 (2)	≥ 80 (4)	≥ 70 (3)	≥ 80 (2)	≥ 60 (4)	≥ 70 (3)
5	PARLAMA NOKTASI	TS EN ISO 2592	°C	≥ 220 (4)	≥ 220 (4)	≥ 220 (4)	≥ 220 (4)	≥ 220 (4)	≥ 220 (4)	≥ 220 (4)	≥ 220 (4)	≥ 220 (4)	≥ 220 (4)
6	ÖZGÜL AĞIRLIK	TS EN 15326	g/cm ³										
7	DİNAMİK KESME REOMETRESİ (DSR) (G' /sinδ > 1kpa)	TS EN 14770	°C	≥ 58	≥ 64	≥ 70	≥ 70	≥ 70	≥ 76	≥ 76	≥ 76	≥ 82	≥ 82
8	DEPOLAMA STABİLİTESİ ^e	TS EN 13399											
8.1	YUMUŞAMA NOKTASI FARKI	TS EN 1427	°C	≤ 5 (2)	≤ 5 (2)	≤ 5 (2)	≤ 5 (2)	≤ 5 (2)	≤ 5 (2)	≤ 5 (2)	≤ 5 (2)	≤ 5 (2)	≤ 5 (2)
8.2	PENETRASYON FARKI	TS EN 1426	0,1mm	≤ 13 (3)	≤ 13 (3)	≤ 13 (3)	≤ 13 (3)	≤ 13 (3)	≤ 9 (2)	≤ 9 (2)	≤ 9 (2)	≤ 9 (2)	≤ 9 (2)
9	DÖNMELİ İNCE FİLM ETÜVÜ DENEYİ ^d	TS EN 12607-1											
9.1	KÜTLE DEĞİŞİMİ		%	≤ 1 (5)	≤ 1 (5)	≤ 1 (5)	≤ 1 (5)	≤ 1 (5)	≤ 0,8 (4)	≤ 0,8 (4)	≤ 0,8 (4)	≤ 0,5 (3)	≤ 0,5 (3)
9.2	YUMUŞAMA NOKTASINDAKİ ARTMA	TS EN 1427	°C	≤ 8 (2)	≤ 8 (2)	≤ 8 (2)	≤ 8 (2)	≤ 8 (2)	≤ 8 (2)	≤ 8 (2)	≤ 8 (2)	≤ 8 (2)	≤ 8 (2)
9.3	YUMUŞAMA NOKTASINDAKİ AZALMA		°C	≤ 5 (3)	≤ 5 (3)	≤ 5 (3)	≤ 5 (3)	≤ 5 (3)	≤ 5 (3)	≤ 5 (3)	≤ 5 (3)	≤ 2 (2)	≤ 2 (2)
9.4	KALICI PENETRASYON	TS EN 1426	%	≥ 50 (5)	≥ 50 (5)	≥ 50 (5)	≥ 50 (5)	≥ 50 (5)	≥ 45 (4)	≥ 45 (4)	≥ 45 (4)	≥ 40 (3)	≥ 40 (3)
9.5	DİNAMİK KESME REOMETRESİ (DSR) (G' /sinδ > 2,2kpa)	TS EN 14770	°C	≥ 58	≥ 64	≥ 70	≥ 70	≥ 70	≥ 76	≥ 76	≥ 76	≥ 82	≥ 82
10	RTFOT+PAV ile Yaşlandırılmış Modifiye Bitüme Yapılan Densiyer	TS EN 14769											
10.1	DSR (G' /sinδ < 5000kpa)	TS EN 14770	°C	≤ 19	≤ 22	≤ 31	≤ 28	≤ 25	≤ 34	≤ 31	≤ 28	≤ 37	≤ 34
10.2	KIRIŞ EĞİME REOMETRESİ (BBR) Eğilme-Süme Sertliği (S3300 MPa, m20,300)	TS EN 14771	°C	≤ -18	≤ -18	≤ -6	≤ -12	≤ -18	≤ -6	≤ -12	≤ -18	≤ -6	≤ -12

Şekil 3.1 Modifiye bitümün fiziksel özellikleri (KTŞ, 2013)

BÖLÜM 4. BİTÜM DENEYLERİ

4.1. Kullanılan Katkılar ve Kullanım Şekilleri

Yapılacak olan çalışma kapsamında kullanılmak üzere Ilık Karışım Asfalt katkı çeşitlerinden köpüklü karışım grubuna giren PAWMA, organik katkı grubuna giren SASOBİT ve kimyasal katkı grubuna giren MGB seçilmiştir. Bunun haricinde deneylere tabi tutulan diğer katkılar, PDL6020 ve LOMOT Ilık Karışım Asfalt katkılarıdır.

4.1.1. Pawma

PAWMA Ilık Karışım Asfalt katkısı İstanbul Teknik tarafından üretilen amidomin türevi bir katkı türüdür. Alkali metallerin hidrate alümine silikatı olarak kimyasal tanımı belirtilmiştir. Katkı önceden bitüme karıştırılarak kullanılır. Kullanım miktarı bitümün ağırlığına oranla %0,2 ila %0,5 arasındadır. Pawma katkısı Şekil 4.1'de gösterilmiş, çevreye etkileri de Tablo 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1 Pawma

Tablo 4.1 Pawma'nın çevresel etkileri

	Pawmasız	Pawmalı
Karışım Sıcaklığı	165°C	135°C
Tütsü (Aerosol)	170 mg/m ³	7 mg/m ³
Toplam Tütsü	350 mg/m ³	70 mg/m ³

Üretici firmanın önerisine göre, katkının dozajı uygulama cinsine, bitümün modifiyeli olup olmadığına ve ortam sıcaklığı gibi çevresel şartlara göre, sahada kararlaştırılmalıdır. Farklı oranlarda birkaç beç (batch) üretim yapılarak, dozaj sahada belirlenmelidir. Her bir uygulama, bir diğerinden farklı olacağı için standart bir dozaj önerisi mevcut olmayıp, yerel şartlar belirlemede etken rol oynayacaktır. İpek ve Şahin (2019), yaptıkları çalışmada bitüm oranına göre en uygun katkı değerini %0,3 olarak belirlemişlerdir. Bu nedenle bu çalışma kapsamında kullanılacak katkı dozajı %0,3 olacaktır.

PAWMA, soyulma önleyici katkılarda da olduğu üzere, amin bileşikleri ile üretilmiştir. Bu nedenle bitümün yapısını olumlu şekilde etkiler ve bitüm kimyasal özellikleri değişmez. Asfaltın soyulma ve indirekt çekme mukavemetini arttırabilir. Zeolit esaslı veya köpüklenme tekniğiyle çalışan katkılarda görüldüğü gibi su içermez ve suya karşı hassasiyeti söz konusu değildir.

4.1.2. Sasobit

Sasol Wax (Almanya) tarafından, Fischer-Tropsch yöntemi ile üretilen alifatik hidrokarbondur. Bu yöntem ile elde edilen alifatik hidrokarbon molekülü içerisinde 40°C ila 115°C'den daha fazla karbon atomu bulunduğu için uzun-zincir alifatik hidrokarbon olarak tanımlanır. Şekil 4.2'de görülen SASOBİT ürününün uzun zincirli molekül yapısı, karıştırıldığı bitümün özelliklerinde gelişme sağlar. Katkı önceden bitüme, ağırlığınca %3 ile %5 oranında katılarak sağlanır.



Şekil 4.2 Sasobit

IKA katkısı olarak kullanılan SASOBİT, ılık karışım özelliklerinin yanı sıra, bitümün penetrasyonunu ve yumuşama noktasını iyileştirerek asfaltın stabilitesini ve direncini arttırmaktadır. Bitüm içine 115°C'den yukarı sıcaklıkta eriyerek karışır ve bitümün viskozitesini düşürüp daha akıcı olmasını sağlar. Bu sayede, asfalt karışımı, üretimi ve uygulanması 30°C'ye yaklaşan azalmalarla sağlanabilir.

Üretici firma Teknomet'in tavsiye ettiği oranlara göre %3 oranı ile çalışılmıştır. Baz bitüme yapılan deneylerde aldıkları sonuç doğrultusunda, bu dozajda karar kılınmıştır. Yumuşama noktası, penetrasyon ve viskozite deneyleri performansı oldukça iyi olan SASOBİT tekerlek izi oluşumuna etkisi, Tablo 4.2'de görüleceği üzere, gayet olumlu bir durumdadır.

Tablo 4.2 Sasobit özellikleri

Tanım	50/70 baz bitüme %3 Sasobit	
	B 50/70	SmB 35
Orijinal Bitüm	-	50/70
Bitüm Oranı (%)	100	97
Sasobit Miktarı	-	3
Yumuşama Noktası	48 – 54	75 - 85

4.1.3. MGB

Şekil 4.3’de görülen MGB Ilık Karışım Asfalt katkıları Avrasya Onduline Kimya Şefi Barış GÖKÇEK tarafından üretilen sentetik esaslı minerallerden üretilerek oluşturulan bir katkı türüdür. Katkı önceden bitüme karıştırılarak kullanılır. Kullanım miktarı bitümün ağırlığınca %3 olarak üretici tarafından belirlenmiş olup, deney sırasında bu dozaj kullanılacaktır.

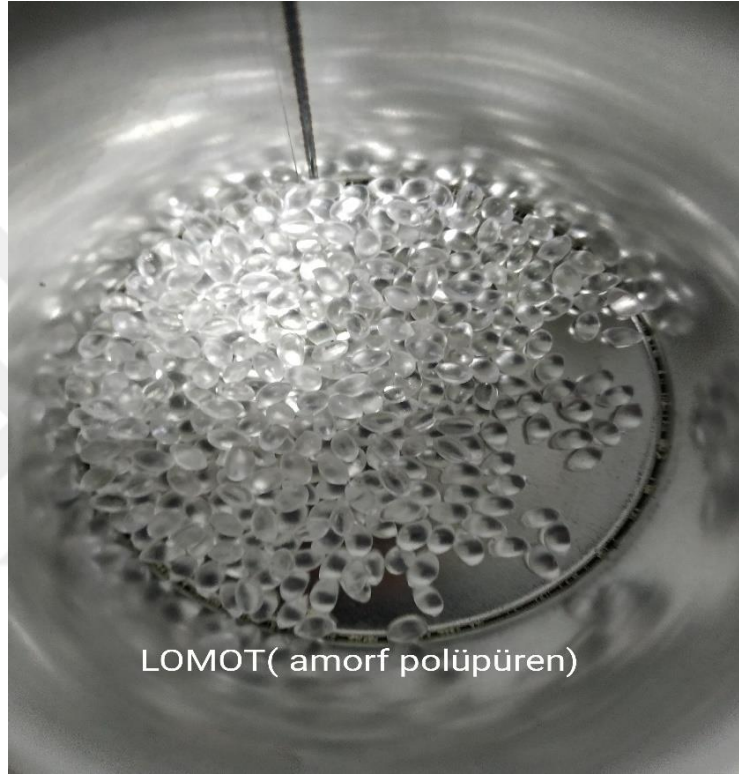


Şekil 4.3 MGB

Yumuşama noktası, penetrasyon ve viskozite deneyleri performansı oldukça iyi olan MGB soyulmaya karşı dirence etkisi de oldukça olumlu bir durumdur. Bitümün penetrasyonunu ve yumuşama noktasını iyileştirerek asfaltın stabilitesini ve direncini arttırmaktadır. Bitüm içine 110°C’den yukarı sıcaklıkta eriyerek karışır ve bitümün viskozitesini düşürüp daha akıcı bir hâle gelmesini sağlar. Bu sayede, asfalt karışımı, üretimi ve uygulanması maksimum 25°C’ye yaklaşan azalmalarla sağlanabilir.

4.1.4. LOMOT

Şekil 4.4’de görülen LOMOT Ilık Karışım Asfalt katkısı Avrasya Onduline Kimya Şefi Barış GÖKÇEK tarafından geliştirilen sentetik esaslı üretilerek oluşturulan bir katkı türüdür. Kimyasal yapısı amorf polüüren olarak tanımlanabilir. Katkı önceden bitüme karıştırılarak kullanılır. Kullanım miktarı bitümün ağırlığınca %3 olarak üretici tarafından belirlenmiş olup, deney sırasında bu dozaj kullanılacaktır.



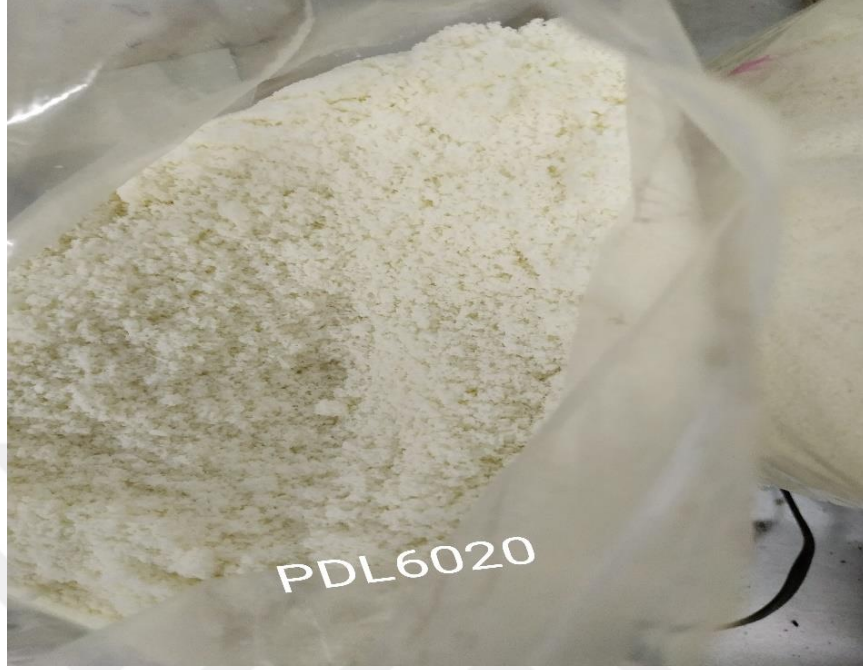
Şekil 4.4 Lomot

Deneye tabi tutulacak Ilık Karışım Asfalt katkıları arasında en düşük performansa sahip olan LOMOT katkısı, deneyler ışığında değerlendirilerek, uygulanabilirlik ve işlenebilirlik açısından incelenecektir. Bununla birlikte, sahada imalât süresini uzatıp uzatamayacağı da gözlemlenecektir.

4.1.5. PDL 6020

Şekil 4.5’de görülen PDL6020 Ilık Karışım Asfalt katkısı Avrasya Onduline Kimya Şefi Barış GÖKÇEK tarafından üretilen sentetik esaslı naftalin kullanılarak oluşturulan bir katkı türüdür. Sentetik elyaf gibi bir yapısı olan PDL6020 katkısı, önceden bitüme

karıştırılarak kullanılır. Kullanım miktarı bitümün ağırlığınca %3 olarak üretici tarafından belirlenmiş olup, deney sırasında bu dozaj kullanılacaktır.



Şekil 4.5 PDL6020

4.2. Katkılar Kullanılarak Modifiye Edilmiş Bitüm

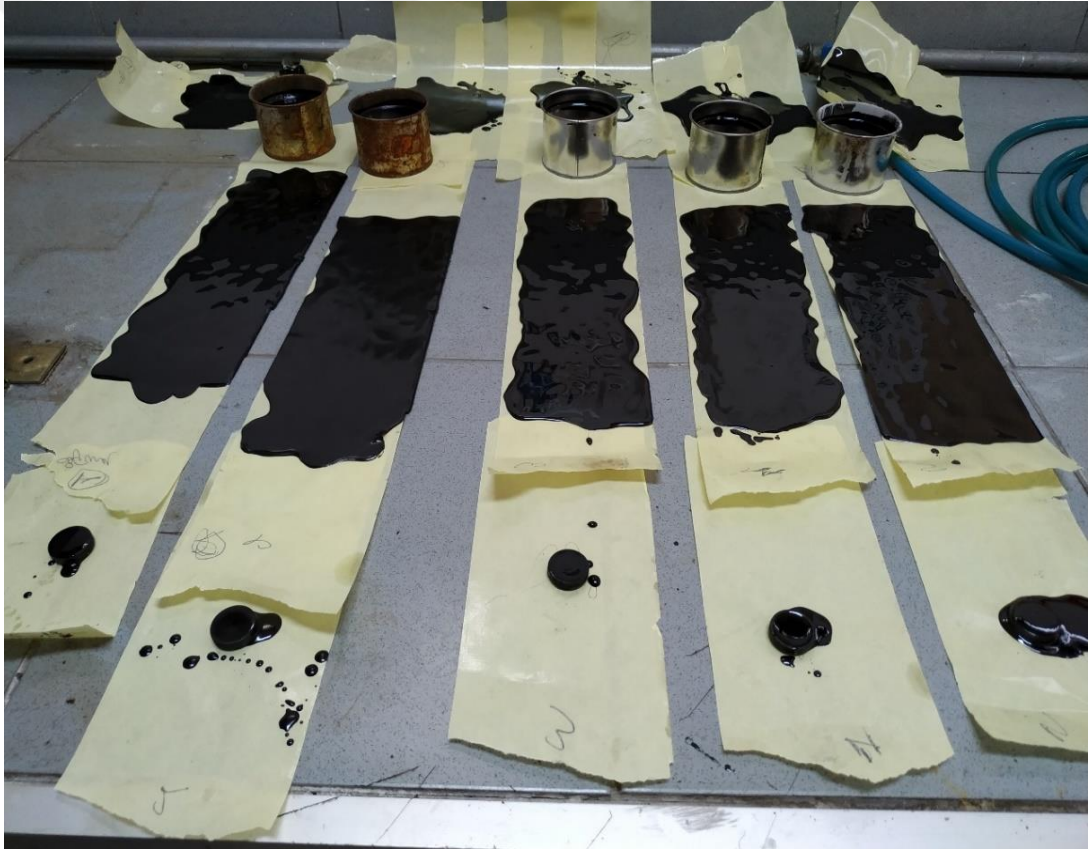
Modifiye edilmiş bitümler, normal bitüme kimyasal ve organik katkıları eklenerek ya da köpürtme (foam) yöntemi uygulanarak oluşturulan katkılarıdır. Bu şekilde hazırlandığında, bitümün kimyasal yapısının veya fiziksel ve mekanik özelliklerinin değiştirilmesi söz konusudur. Polimer Modifiye Bitüm, sahadan uzakta, merkezi bir plantte ya da özel ünitelerde, kullanımdan önce sahada üretilirler.

Modifiyeli bitümlerin ve karışımların kullanım amaçları şöyle özetlenebilir:

- Düşük sıcaklıklar için daha yumuşak karışımlar elde etmek ve çatlakları azaltmak
- Yapım sıcaklıklarında viskoziteyi düşürmek
- İşlenebilirliği ve sıkışmayı iyileştirmek
- Kaplamanın düşük sıcaklık çatlaklarını azaltmak
- Asfalt bağlayıcının ömrünü uzatmak

- Yapışmayı iyileştirmek ve asfalt çimentosunun agrega yüzeyinden soyulmasını azaltmak
- Kaplamayı ömür-döngü maliyeti azaltmak
- Kaplamaların tüm performansını geliştirmek.

Modifiye bitüm, kullanılan katkıların erime noktası üzerinde bir sıcaklıkta, bitüm ve katkının tamamen karışmasını sağlayacak uygun karıştırıcı ile homojen dağılım gösterecek şekilde karıştırılması sonucu üretilir. Belirlenen sıcaklığa kadar ısıtılmış bitüm içine, katkı malzemesi, belirlenen oranda eklenerek karıştırılır. Hazırlanan numuneler Şekil 4.6'da görüldüğü gibi, soldan sağa katkılarıyla birlikte, PDL6020, SASOBİT, LOMOT, PAWMA ve MGB katkılarıyla oluşturulmuştur.



Şekil 4.6 Bitüm deney numuneleri

Modifiye Bitüme uygulanan deneyler, hedeflenen amaç doğrultusunda, asfalt betonunun işlenebilirliği ve enerji tasarrufu açısından sahada uygulanabilirliğini arttırabilmek için şu şekilde belirtilmiştir.

- Penetrasyon
- Yumuşama Noktası
- Viskozite

4.2.1. Penetrasyon deneyi (TS EN 1426, ASTM D5)

Şekil 4.7’de görülen penetrasyon deneyi, bitümlü bağlayıcının sertlik veya kıvamlıkları belirlenir. Standard bir iğnenin belirli bir yük (100g) altında belirli bir süre (5sn) asfalt çimentosu içine dikey olarak battığı mesafe 0,1mm cinsinden bulunur. Penetrasyon değeri kıvamlilikla ters orantılıdır. Penetrasyon yükseldikçe bitüm yumuşar. Kıvamlilik artıka bitüm sertleşir.



Şekil 4.7 Penetrasyon deneyi

4.2.2. Yumuşama noktası (TS EN 1427, ASTM D36)

Şekil 4.8’de görülen yumuşama noktası deneyi, bitümlü bağlayıcının sıcaklığa karşı duyarlılığını ölçmek için (hangi sıcaklıkta bitümün akmaya başladığı) yüzük (bilye) yöntemi ile yumuşama noktası olarak ifade edilen sıcaklığı belirlenir. Yumuşama noktası çok yüksek bitümlerin, viskozitesi de yüksek olduğundan, sıcak karışım yapım sıcaklıkları da yüksek olmaktadır.



Şekil 4.8 Yumuşama noktası deneyi

4.2.3. Viskozite deneyi (TS 117)

Viskozite asfaltın kıvamlılığı ile ilgili ve akmaya karşı olan direncin bir ölçüsüdür. Kıvamlılık arttıkça, yani asfalt yarı-katı hale yaklaştıkça viskozite değeri yükselir. Viskozite deneyinin amacı, asfalt betonlarının uygulama sırasında ısıtıldıkları sıcaklık sınırları içerisindeki akma özelliğini tayin etmektedir. Saybolt-furol viskozite sıvı petrol asfaltları ve bitüm emülsiyonları için kullanılır. Viskozite deneyi ve araçları, Şekil 4.9'da verilmiştir. Bu deney için Brookfield Viskozimetre kullanılmıştır.

Bitümlerin, pompalama ve doldurma, boşaltma sırasındaki akma özelliğini belirlemek için Brookfield Viskozimetre aleti kullanılır. Ayrıca aynı aletle sıcak karışımların karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarında viskoziteye bağlı olarak bulunur. Asfaltın viskozitesinin $170 (\pm) 20$ santistok olduğu sıcaklık karıştırma sıcaklığı ve viskozitesinin $280 (\pm) 30$ santistok olduğu sıcaklık sıkıştırma sıcaklığı olarak belirlenir (KTŞ, 2013).



Şekil 4.9 Viskozite deneyi

Bu değerler, genellikle Bitümlü Sıcak Karışımlar açısından uygulandığı için, daha düşük sıcaklıkta bu değerleri yakalamak maksatlı uygulanan katkıların etkileri göz önüne alınacaktır.

4.3. Bitüme Uygulanan Deneyler ve Sonuçları

Bitüm deneylerinde, kullanılmak üzere seçilen katkılardan ayrı olarak bulunan katkıları da vardır. Bu deneyler sonucunda işlem sırasında uygulanacak katkıları, deney sonuçları neticesinde ulaşılan veriler ışığında, sahada uygulanabilirlik ve ulaşılabilirlik kapsamında seçilmiştir.

Kullanılan bitüm miktarı, her bir numune için 250 gr olarak ayarlanmıştır. Katkıları %3 dozajlı katkıları için 7,5 gr, %0,3 dozajlı katkı için 0,75gr olarak belirlenmiştir. Numuneler IKA LABORTECHNIK ile 180°C’de 30dk karıştırılarak hazırlanmıştır. Dozaj kararları, katkı üreticilerinden alınan broşürler ve talimatlar doğrultusunda belirlenmiştir. Bu dozajların ışığında bitüme uygulanan Yumuşama Noktası ve Penetrasyon deneyi hariç, bitümün Viskozite değerlerine, sadece belirli sıcaklarda tabi tutularak ulaşılmıştır. Burada

amaç ısı kazancının belirtilen kriterler doğrultusunda uygulanıp uygulanamayacağını tespit edebilmenin yanı sıra, akışkanlığın iyileşmesi neticesinde, asfalt betonlarının uygulama sırasında işlenebilirliğine etkisinin incelenmesi olacaktır. Tablo 4.3'te bitüme uygulanan bütün deneylerin sonuçları verilmiştir. Bu sonuçlar ayrı ayrı irdelenmiştir.

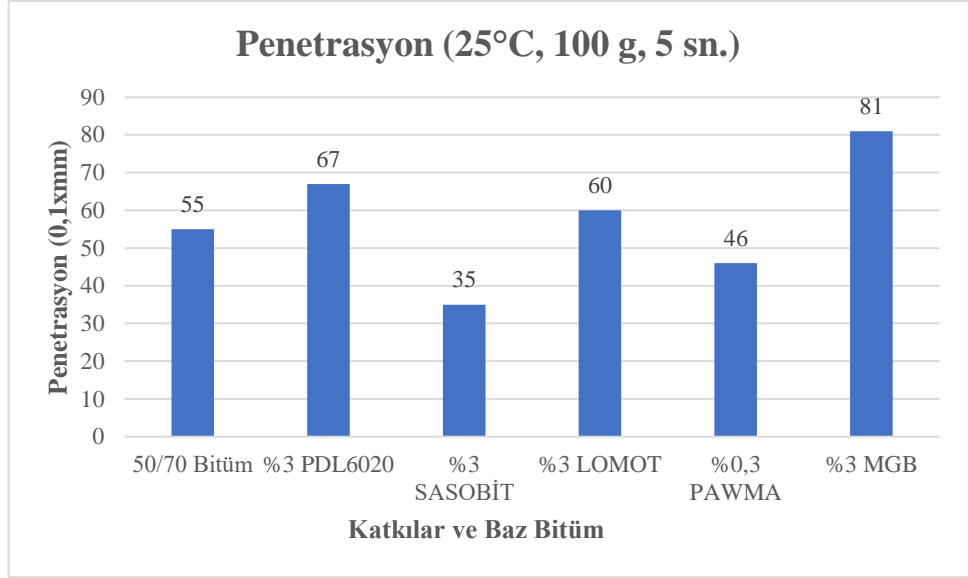
Tablo 4.3 Bitüm deney sonuçları

Katkılar	Yumuşama Noktası °C	Penetrasyon 25°C (0,1xmm)	Penetrasyon 60°C (0,1xmm)	Viskozite 110°C (Cp)	Viskozite 135°C (Cp)	Viskozite 150°C (Cp)
SAF BİTÜM	50	55	DİP	2450	562	278
PAWMA	50	46	DİP	2060	455	224
SASOBİT	83	35	DİP	1870	370	188
MGB	47	81	DİP	1700	376	198
PDL6020	51	67	DİP	2120	550	260
LOMOT	52	60	DİP	2390	584	303

4.3.1. Penetrasyon deneyi

Bu deney penetrasyon dereceli veya oksitlendirilmiş bitümlerin kıvamını ölçmede kullanılan bir deneydir. Penetrasyon deneyi, belirli boyutlara sahip bir iğnenin, belirli bir yük (100 gr) ve sıcaklık (25°C) altında, belirli bir süre boyunca (5sn) bitüm numunesine batırılması mantığına dayanır. Deney TS EN 1426 standardında belirtilen yöntemle yapılmıştır. Penetrasyon yükseldikçe bitüm yumuşar. Düşük penetrasyon derecesine sahip bitümler sıcak iklimlerde kullanılabilir. 50/70 penetrasyonlu bitüme Ilık Karışım Asfalt katkıları katılarak yapılan penetrasyon deneyine göre elde edilen sonuçlar Şekil4.10'da verilmiştir.

Ayrıca, penetrasyon deneyi, 60°C, 100g, 5sn için de yapılmıştır. Bu deney sonucunda, referans bitüm de dâhil olmak üzere, bütün katkılarla modifiye edilmiş bitümler, “dip” noktasını görmüştür. Bu nedenle buradan bir çıkarım yapmak güçtür.



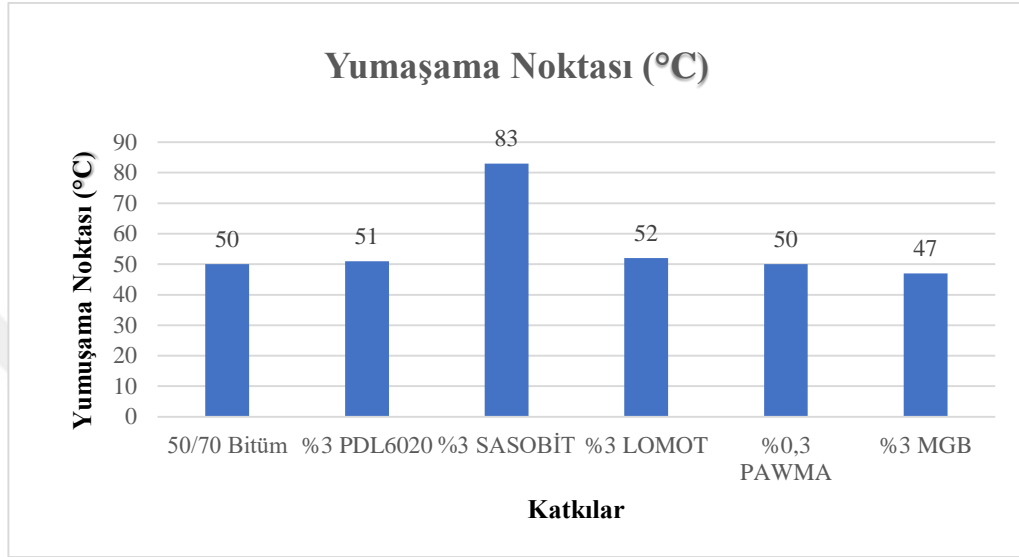
Şekil 4.10 Penetrasyon deney sonuçları

Bu sonuçlara göre, kullanılan Ilık Karışım Asfalt katkılarının bitüm penetrasyonunu farklı oranlarda etkilediği görülmüştür. PAWMA ve SASOBİT katkıları penetrasyonu düşürürken, PDL6020, LOMOT ve MGB katkıları penetrasyonu artırmıştır. Bu sonuçlara göre PAWMA ve SASOBİT katkısının sıcak iklim şartlarında, PDL6020, LOMOT ve MGB'nin soğuk iklim şartlarında kullanılabileceği ulaşılan değerler neticesinde söylenebilir. Fakat elde edilen penetrasyon sonuçlarında, Karayolları Teknik Şartnamesi sınırları olan 50-70 aralığına sadece MGB girememektedir. Onun haricinde bütün katkıları Şartname sınırları içerisinde kalarak gerekli koşul ve şartları, penetrasyon açısından sağlamaktadır.

4.3.2. Yumuşama noktası deneyi

Bitümlü bağlayıcıların yumuşaması belli bir sıcaklıkta gerçekleşmez. Bitümlü malzemelerin bu özelliği yumuşama noktası deneyi ile ölçülür. Standart kalınlık ve çapta bir yüzük içine yerleştirilen asfalt numunesi üzerine, standart çap ve ağırlıkta yerleştirilen bir bilye ile su içinde belirli bir hızda ısıtılarak bilyenin ağırlığı ile yüzük içindeki bitümün üzerinde belirli bir derinlikte çökmesini sağlayan ısı miktarı bitüm yumuşama noktasını verir. Deney TS EN 1427 standardında belirtilen yöntemle yapılmıştır. Yumuşama noktası yüksek olan bitümlerin viskozite değeri de yüksektir.

50/70 penetrasyon bitüme Ilık Karışım Asphalt katkıları katılarak yapılan yumuşama noktası deneyine göre elde edilen sonuçlar, Şekil 4.11’de verilmiştir. Yumuşama noktası yüksek bitümlerin viskozitesinde yüksek olur. Dolayısıyla sıcak karışım yapım sıcaklıkları da yüksek olmaktadır. Penetrasyonları aynı ama yumuşama noktaları farklı olan bitümlerden yumuşama noktası yüksek olanın ısıya duyarlılığı daha az olacaktır.

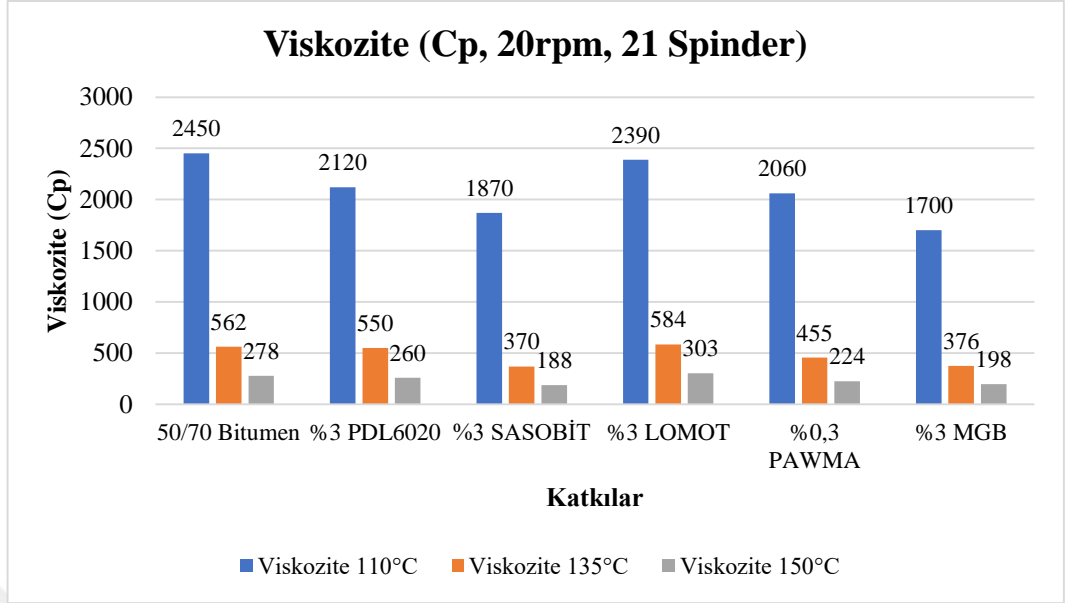


Şekil 4.11 Yumuşama noktası deney sonuçları

Yumuşama noktası yüksek olan bitüm aynı hava sıcaklığında daha az deformasyon gösterecektir. Bu sonuçlara göre, PDL6020 ve LOMOT, yumuşama noktasında çok az miktarda artış gösterirken, SASOBİT katkısının yumuşama noktasını yüksek oranda artırdığı görülmektedir. MGB katkısı yumuşama noktasını düşürürken, PAWMA katkısı yumuşama noktasına herhangi bir etkide bulunamamıştır. Bu sonuçlara göre SASOBİT katkısının yüksek sıcaklıklardaki direncinin daha fazla olacağı görülmektedir.

4.3.3. Viskozite deneyi

Brookfield Dönel Viskozimetre cihazıyla yapılan deneyde elde edilen sonuçlar Şekil 4.12’de verilmiştir. Bu sonuçlarda, karışım için minimum 0,25 Pa-s, 250 Cp, maksimum 0,31 Pa-s, 310 Cp viskozite için sıcaklık değeri; sıkıştırma için minimum 0,15 Pa-s, 150 Cp, maksimum 0,19 Pa-s, 190 Cp, viskozite için sıcaklık değeri temel alınmıştır.

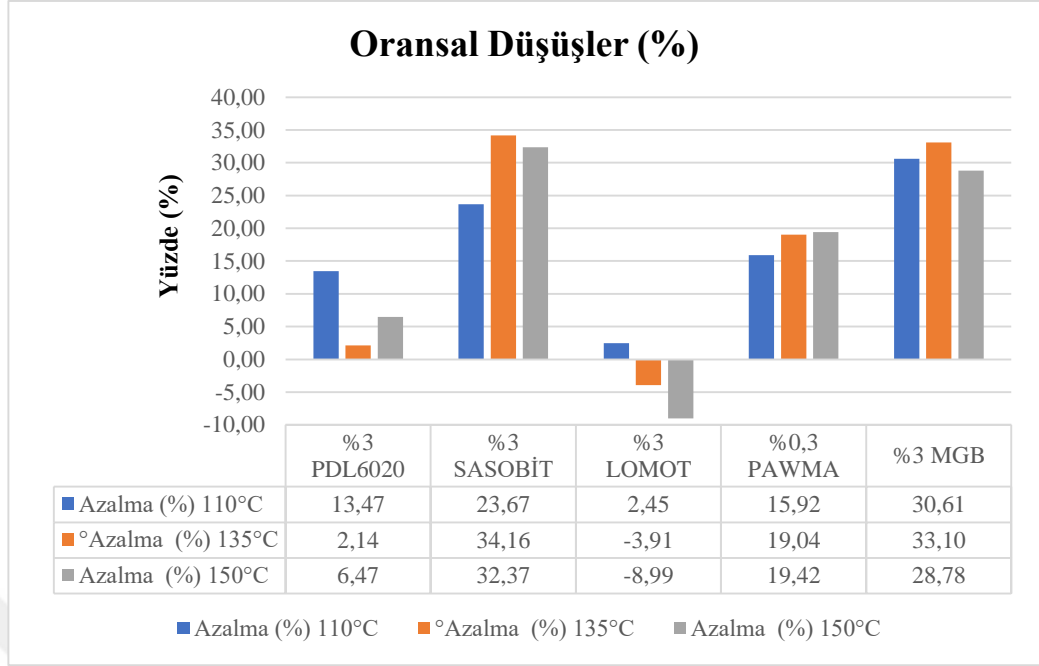


Şekil 4.12 Viskozite deney sonuçları

50/70 penetrasyonlu bitümün Karayolları Teknik Şartnamesine göre Binder ve Aşınma tabakaları için karıştırma sıcaklığı minimum 145°C, maksimum 160°C olmalıdır. Fakat bu sonuçlar genel itibari ile Bitümlü Sıcak Karışım için istenen değerlerdir. Bu netice yukarıda belirtilen Viskozite değerleri içerisinde kalması esas alınacaktır.

Yapılan viskozite deneylerinden görüleceği üzere, 110°C, 135°C ve 150°C olmak üzere seçilen üç sıcaklık değeri için ölçülmüştür. Bu sıcaklık değerlerinde, 50/70 referans bitüm, %3 oranında katkılı PDL6020, SASOBİT, LOMOT ve MGB, %0,3 oranında katkılı PAWMA kullanılmıştır. Her bir sıcaklık için katkıların etkisi incelendiğinde, 110°C'de viskoziteyi bütün katkıların düşürdüğü gözlemlenmiştir. En az düşüşü LOMOT katkısı gösterirken, en yüksek düşüşü MGB ve SASOBİT katkısı sağlamıştır. 135°C'de viskozite değerleri incelendiğinde ise, LOMOT hariç bütün katkıların viskoziteyi düşürdüğü gözlemlenmiştir. En yüksek düşüşü 110°C'de olduğu gibi SASOBİT ve MGB sağlamıştır. Son olarak 150°C'de viskozite değerleri incelendiğinde, LOMOT katkısının yine viskoziteyi artırdığı görülmektedir. Bunun haricindeki bütün katkıları, Viskoziteyi düşürürken, en yüksek düşüşü yine 110°C ve 135°C'de olduğu gibi SASOBİT ve MGB katkısı göstermiştir.

Kullanılan katkıların, referans numuneye göre viskozite değerlerindeki yüzdelik oran değişimi, her sıcaklık için katkı oranlarına göre Şeki 4.13'te verilmiştir. En iyi performansı, verilerden de anlaşılacağı üzere SASOBİT, MGB ve PAWMA sağlamıştır.



Şekil 4.13 Viskozite düşüş yüzdeleri

Hedef sıcaklık olarak belirlenen ve ayrıca Ilık Karışım Asfalt katkısı üretici firmalarının hedef sıcaklığı olan 135°C’de hem karışımın hem de sıcaklığın, üst ve alt sınırlarını hiçbir katkı maddesi sağlayamamıştır. Fakat SASOBİT ve MGB bu değerlere oldukça yaklaşarak iyi bir performans sergilemiştir. 150°C’de yapılan deneylerde, karışım aralığını sağlayan katkılar, PDL6020 ve LOMOT katkıları olmuştur. Sıkıştırma aralığını ise, SASOBİT ve MBG katkıları sağlamıştır. PAWMA katkısı tam olarak ara bir değerde kalarak iyi bir performans göstermiştir.

Bu sonuçlara göre, SASOBİT ve MGB katkılarının 50/70 katkısız kontrol numunesi bitüme göre karışım ve sıkıştırma sıcaklıklarını önemli ölçüde düşürdüğü görülmüştür. LOMOT, kontrol numunesine göre artış göstererek, istenen değerden uzakta olduğu için kullanımın uygunluğu söz konusu değildir. PAWMA ve PDL6020, kontrol numunesine oranla viskoziteyi bir miktar düşürmüştür, PAWMA katkısının PDL6020’ye oranla daha fazla verim sağladığı gözlemlenmiştir. Bu veriler ışığında, Ilık Karışım Asfalt katkılarından SASOBİT, MGB ve PAWMA katkılarının oldukça ekonomik olacağı, ısı kaybından kaynaklı enerji tasarrufu sağlayacağı ve imalat sezonunu uzatacağı öngörülebilir. Bunun yanında, sahada uygulanabilirlik ve işlenebilirlik açısından fayda sağlayacağı elde edilen değerler doğrultusunda söylenebilir.

Bu duruma istinaden, SASOBİT ve MGB katkıları, maksimum 135°C’de kullanılabilir durumda gözükürken, PAWMA katkısı maksimum 140°C’de kullanılabilir gözükmektedir. Bu nedenle, asfalt betonunun Binder ve Aşınma tabakalarında kullanımı açısından bu üç katkı, yapılan deneyler ışığında kontrol edilmek üzere seçilmiş ve bu katkılar üzerine yoğunlaşmıştır.



BÖLÜM 5. İKA MARSHALL DENEYLERİ

Marshall yöntemi, Bruce Marshall tarafından Amerika Birleşik Devletler, Mississippi Devlet Otoyolları Departmanında geliştirilerek formüle edilmiştir. Daha sonra, bu yöntem “ASTM” tarafından standartlaştırılmıştır. Bu dizayn yöntemi, penetrasyon veya viskozite derecesi belli bitümlere ve çapı 25 mm veya daha az olan agregalar kullanılarak yalnızca BSK kaplamalarına uygulanmaktadır. Ülkemizde de karayolları karışım dizaynında Marshall yöntemi kullanılmaktadır.

KTŞ’ye göre kaplamanın cinsine göre agrega özellikleri belirtilmiştir. Bu çalışma kapsamında, Sakarya Büyükşehir Belediyesi Asfalt Şantiyesinden alınan agregalar tercih edilmiştir. Buradan alınan agregalar kaplama cinsi olarak hem Binder hem de Aşınma TİP 1A’ya göre temin edilmiştir.

BSK kaplamalı yolların ömrünü, dolayısıyla hizmet seviyesi ve maliyetini karışımında kullanılan bitümlü bağlayıcının özellikleri önemli ölçüde etkilemektedir. Zira yol üstyapılarında görülen yapısal bozulmalar büyük ölçüde kullanılan bitümlü bağlayıcı içinde veya temas yüzeyinde ortaya çıkmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda tekerlek izinde oturma şeklinde görülen bozulmalar viskoz hale geçen bitümün kaplama tabakasının boşluklarına doğru akışı şeklinde olurken, orta sıcaklıklarda boyuna yönde ve/veya timsah sırtı şeklinde, düşük sıcaklıklarda ise enine yönde gelişen çatlaklar sertleşen bitümün kendi içerisinde veya temas yüzeyinden kırılmasıyla ortaya çıkmaktadır. Yine sudan kaynaklanan soyulma ve sökülme şeklinde bozulmalar da bitümün agrega temas yüzeyindeki yapışkanlığını kaybetmesine bağlı olarak meydana gelmektedir (Aytekin, Ş. 2018). Bu çalışma kapsamında, Karayolları Genel Müdürlüğü’nün Sakarya ili için tavsiye edilen bitüm sınıfı 50/70 olarak seçilmiştir.

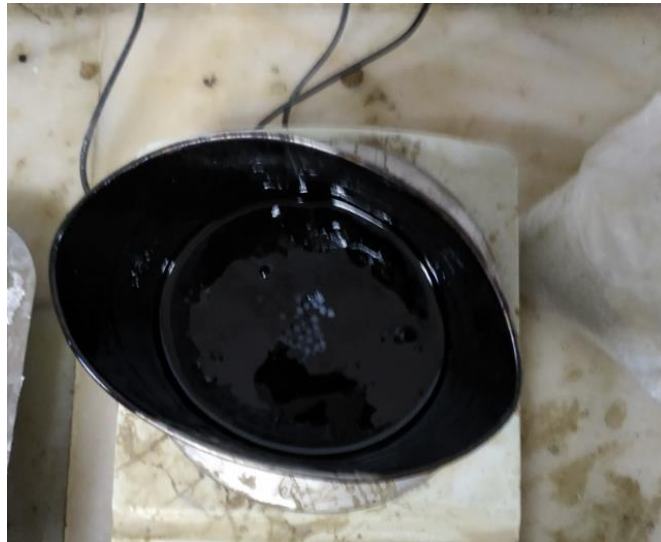
Numuneler hazırlanma aşamasında, ilk olarak agregalar sabit ağırlığa gelene kadar kurutulmuştur. 15 günlük şantiye elek analizleri kullanılarak, şartname gradasyonuna uygun karışım yüzdeleri belirlenmiş olan agregalar, SBB Asfalt Şantiyesinden temin edilerek hazırlanmıştır. Karışım gradasyonuna göre her elek aralığında 1200g’lık brikete

konulacak agrega miktarları tespit edilmiştir. Bitüm oranı ise, aynı şekilde, SBB Asfalt Şantiyesi değerlerine uygun olarak tercih edilmiş olup yeni bir dizayn ortaya koymadan, İKA üretimini sağlamak üzere seçilmiştir.

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

Şekil 5.1 Asfalt betonu karışım sıcaklıkları (KTŞ, 2013)

Her bir tabaka ve her bir katkı için en az üç numune hazırlanmak üzere malzemeler hazır edilmiştir. Asfalt betonu ve bitümün 170 (\pm) 20 santistok olduğu şekilde ısıtılacağı sıcaklık karışım sıcaklığı olacaktır. Her bir referans numune için, SBB Asfalt şantiyesi ve Şartname kriterleri göz önünde bulundurularak, karıştırma sıcaklığı 160°C olarak Şekil 5.1'e göre belirlenmiştir. Elek aralıklarına göre belirlenen agregalar tartılarak her briket için ayrı ayrı kaplara koyularak ısıtma işlemi gerçekleştirilir. Öncelikle agregalar yaklaşık 10-15 sn. kadar karıştırılır. Daha sonra, referans numuneler için sadece bitüm, katkılı numuneler için ise, bitüme eklenen katkı miktarlarıyla birlikte bitüm eklenir. Şekil 5.2'de katkılı bitüm gösterilmiştir.



Şekil 5.2 Katkılı bitüm görünümü

Agrega ve bitüm, mikserde yaklaşık iki dakika kadar karıştırılır. Numuneler, 101,6 mm (4 inç) çapında ve 76,2 mm (3 inç) yüksekliğindeki numune kalıbında, 457,2 mm (18 inç) den düşen 4536 g (10 lb) ağırlığındaki özel bir tokmakla sıkıştırılır. Hazırlanan numune



Şekil 5.3 Asfalt betonu ve kalıpları

kalıplarına örnek Şekil 5.3'te gösterilmiştir. Bu darbe sayısı karayolları teknik şartnamesinde belirtilmiş olan değerdir. Dizayn trafik yüküne bağlı olarak (hafif-orta-ağır), sıkıştırma uygulanacak numunelerin her iki yüzeyine Şekil 5.4'de görüleceği üzere 75 darbe uygulanır.



Şekil 5.4 Asfalt sıkıştırmak için kullanılan proktor cihazı

Numuneler oda sıcaklığına kadar soğuduktan sonra kalıptan kriko yardımı ile çıkarılarak 24 saat laboratuvar sıcaklığında bekletilir. Kumpas yardımıyla, üç ayrı bölgeden yükseklikleri ölçülen numunelerin 25°C suda, havada ve yüzeyi kuru suya doygun durumdaki ağırlıkları Arşimet terazisi yardımıyla yapılır. Ardından numuneler, çelik bir halkanın iki segmanı arasına yerleştirilir. Deneyde üst segman sabit olup, maksimum yüke erişinceye kadar alt segmanın hareket etmesiyle dakikada 50.8 mm'lik bir hızla yükleme yapılır.

Bitüm oranları, bütün malzeme ve koşulların S.B.B. Asphalt Şantiyesi tarafından sağlanması sebebiyle, bu kurumun oranları neticesinde kullanılacaktır. Hem Binder hem de Aşınma Tabakası üzerinde sadece stabilite ve akma değerleri göz önünde bulundurularak performans analizi ortaya konulacaktır. Bitüm oranı alınan veriler neticesinde %4,2 Binder Tabakası için, %4,8 Aşınma Tabakası için belirlenmiştir. Asphalt betonu için dizayn kriteri Şekil 5.5'te verilmiş olup, bu kriterlere bakılarak gerekli stabilite karşılaştırılmalarına bakılmıştır.

Özellikler	Binder		Aşınma TIP-1, TIP-2		Aşınma TIP-3		Deney Standardı
	min.	maks.	min.	maks.	min.	maks.	
Briket Yapımında Uygulanacak Darbe Sayısı	75		75		75		TS EN 12697-30
Marshall Stabilitesi, kg	750	-	900	-	400	-	TS EN 12697-34
Boşluk, %	4	6	3	5	5	12	TS EN 12697-8
Asfaltla Dolu Boşluk, %	60	75	65	75	-	-	TS EN 12697-8
Agregalar Arası Boşluk, (VMA) %	13	15	14	16	-	-	TS EN 12697-8
Akma, mm (10 ⁻² in)	2 (8)	4 (16)	2 (8)	4 (16)	2 (8)	4 (16)	TS EN 12697-34
Filler/Bitüm Oranı	-	1,4	-	1,5			
Bitüm (ağırlıkça, 100'e)	3,5	6,5	4,0	7,0	5,0	8,0	TS EN 12697-1
Sıkıştırılmış Bitümlü Karışımların Sudan Kaynaklanan Bozulmalara Karşı Direnci, İndirekt Çekme Mukavemeti (İÇM) Oranı, min. %	80		80		80		AASHTO T 283
Tekerlek İzinde Oturma (30.000 devirde, 60 °C'de), maks. %	-		8		-		TS EN 12697-22
Tekerlek İzinde Oturma (3.000 devirde, 60 °C'de 5 cm kalınlığında numune), maks. %					7		TS EN 12697-22

Şekil 5.5 Asphalt dizayn kriterleri (KTŞ, 2013)

5.1. Binder Tabakası

Binder Tabakası için referans numune ve katkıli numuneler olmak üzere, toplamda 12 briket hazırlanmıştır. Kullanılan katkılar sırasıyla PAWMA, SASOBİT ve MGB'dir. Tablo 5.1'de hazırlanan asfalt numunelerine ait reçete sunulmuştur. Bu reçeteye göre her numunede aynı agrega ve bitüm oranları kullanılmıştır. Değişken olarak sadece dikkate alınmıştır.

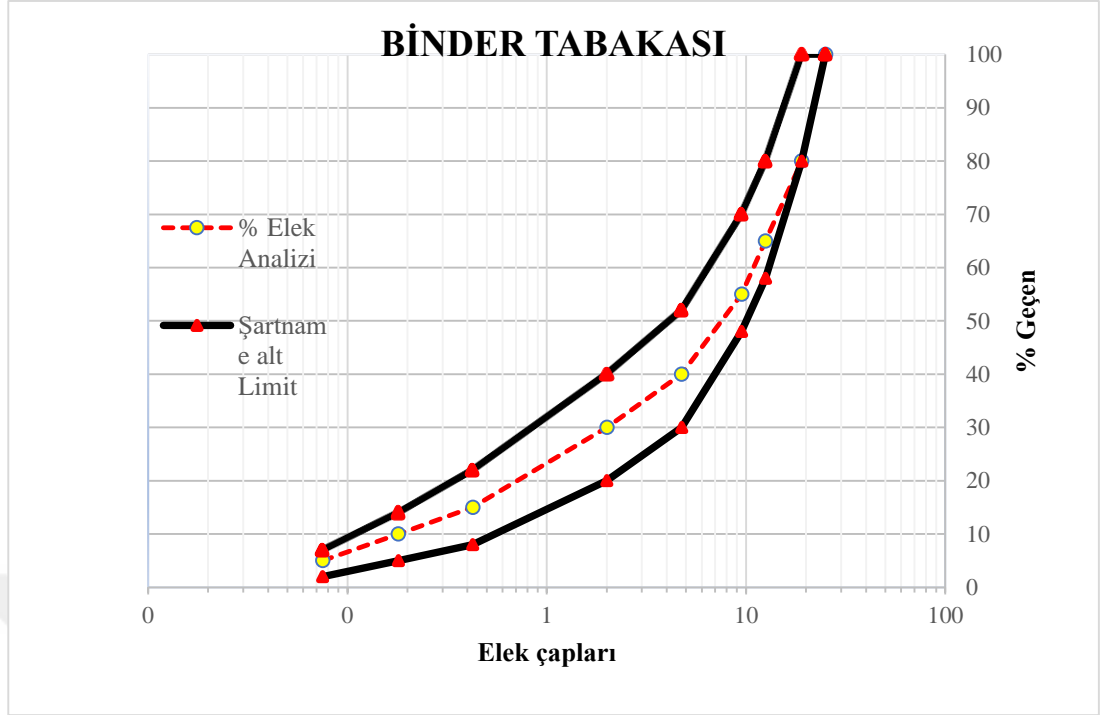
Tablo 5.1 Binder tabakası karışım reçetesi

Numune	Agrega Oranı %	Bitüm Oranı %	Katkı Oranı %
Referans Numune	0-5 (%40)	-	-
PAWMA	5-12 (%25)	%4,2	%0,3
SASOBİT	12 – 19 (%15)	%4,2	%3
MGB	19 -25 (%20)	%4,2	%3

Her bir numune için aynı agrega oranı, aynı bitüm oranı tahsis edilmiştir. Bunun sebebi olarak SBB Asfalt Şantiyesinin kullandığı oranlar üzerinden katkı oranlarının stabiliteye etkisi gözlemlenmek istenmiştir. Tablo 5.2'de agrega granulometrisi ve Şekil 5.6'da granulometri eğrisi verilmiştir.

Tablo 5.2 Binder tabakası gradasyonu ve şartname limitleri

Elek Boyu mm (in, No)	% Geçen	Şartname Alt Limit	Şartname Üst Limit
25 (1")	100	100	100
19 (3/4")	80	80	100
12,5 (1/2")	65	58	80
9,5 (3/8")	55	48	70
4,75 (No. 4)	40	30	52
2,00 (No. 10)	30	20	40
0,425 (No. 40)	15	8	22
0,180 (No. 80)	10	5	14
0,075 (No.200)	5	2	7



Şekil 5.6 Binder tabakası granulometre

Agregalara yapılan elek analizi sonuçlarından da görüleceği gibi, belirtilen alt ve üst limitler içerisinde bir eğri ortaya çıkarılmıştır. Şekil 5.7’de de görüleceği üzere, bütün deneyler bu eğriye göre hazırlanan agregalarla birlikte 3’er numunelik seriler halinde hazırlanmıştır. Binder tabakası için toplamda 4 seri numune oluşturulmuştur. Bu seriler, referans, Pawma, Sasobit ve MGB katkılı olarak ayrılmıştır. Bir seri için hazırlanan agregalar Şekil 5.8’de gösterilmiştir.



Şekil 5.7 Hazırlanan bir seri numune



Şekil 5.8 Bir seri numune için agrega karışımı

Referans numune için bitüm ve agrega 160°C'ye ısıtılarak, ısıtıcı mikserde yaklaşık 160°C'de karıştırılmıştır. PAWMA katkılı numuneler bitüm deneylerinden elde edilen sonuçlar neticesinde 140°C'de, SASOBİT ve MGB katkılı numuneler 135°C'de karıştırılmıştır. Şekil 5.9 ve 5.10'da etüv sıcaklığı, Şekil 5.11'de ısıtıcı mikser gösterilmiştir.



Şekil 5.9 Katkılı numuneler için etüv sıcaklığı



Şekil 5.10 Referans numuneler için etüv sıcaklığı



Şekil 5.11 Karışım için kullanılan rezistanslı mikser

Bunun haricinde, şartname standartlarına göre 135°C’de saf bitümle karışım yapılamadığı için, katkısız bitümle karışım denenmiş ve Şekil 5.12’de bu karışımın başarısız olduğu gösterilmiştir. Katkılı üretilen karışımların 135°C’de düzgün karışımı Şekil 5.13’te gösterilmiştir.



Şekil 5.12 Katkısız düşük sıcaklıkta karışımı sağlayan asfalt numunesi



Şekil 5.13 Düşük sıcaklıkta karışımı sağlanan asfalt numunesi

Her numune ayrı ayrı anı testlere tabi tutularak, her seri kendi içerisinde ortalama değerlere göre değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler neticesinde gerekli veriler elde edilmiş ve bu değerlere göre çıkarımlar yapılmıştır. Binder tabakası için hazırlanan 3 seri numune Şekil 5.14’te gösterilmiştir.



Şekil 5.14 Binder tabakası üç seri numune

Numuneler bir gece oda sıcaklığında bekletildikten sonra, 60°C’lik su banyosunda 60 dk. bekletilmiştir. Ölçümleri alınarak önce kuru ağırlıkları, ardından sudaki ağırlıkları tartılmıştır. Bu işlemler bittikten hemen sonrasında Marshall Stabilite cihazında teste tabi tutulmuşlardır. Briketlerden kumpas yardımıyla çap ve boy ölçümü yapılmış, havada ve sudaki ağırlıkları tartılmış ve bu ölçüm ve tartımlara göre hesaplanan özgül ağırlıklarına ait sonuçlar Tablo 5.3’te verilmiştir. Arşimet terazisi yardımıyla özgül ağırlık hesaplaması, genellikle hazırlanan numunelerin tam olarak düzgün şekillere sahip olmadığı durumlarda kullanılmaktadır. Her numune tam anlamıyla kalıplardan düzgün bir şekil ve biçimde çıkmama ihtimaline karşın bu yöntem vasıtasıyla özgül ağırlık değerleri bulunur.

Tablo 5.3 Binder tabakası asfalt numuneleri fiziksel özellikler

Numune	Bitüm Oranı (%)	Sıcaklık	Çap (mm)	Yükseklik (mm)	Hacim (cm ³)	Ağırlık (g)	Sudaki Ağırlık (g)	Özgül Ağırlık (g/cm ³)	Özgül Ağırlık (Arşimet) (g/cm ³)
Ref. Num. 1	4,2	160°C	101,09	63,27	504,75	1172,5	626,5	2,32	2,15
Ref. Num. 2	4,2	160°C	101,04	73,00	584,86	1232,5	655,0	2,11	2,13
Ref. Num. 3	4,2	160°C	101,40	67,30	536,79	1298,1	694,0	2,42	2,15
Ort.								2,28	2,14
Pawma 1	4,2	140°C	102,00	67,10	547,48	1266,7	681,5	2,31	2,16
Pawma 2	4,2	140°C	101,20	67,90	536,79	1274,0	677,5	2,37	2,14
Pawma 3	4,2	140°C	101,90	73,50	584,86	1308,0	689,0	2,24	2,11
Ort.								2,31	2,14
Sasobit 1	4,2	135°C	101,08	74,80	592,88	1277,8	670,5	2,16	2,10
Sasobit 2	4,2	135°C	101,40	70,60	560,83	1268,0	670,5	2,26	2,12
Sasobit 3	4,2	135°C	100,90	73,40	584,86	1324,0	717,0	2,26	2,18
Ort.								2,23	2,14
MGB 1	4,2	135°C	100,90	72,50	565,49	1260,0	676,0	2,23	2,16
MGB 2	4,2	135°C	101,40	71,50	568,84	1317,5	703,0	2,32	2,14
MGB 3	4,2	135°C	100,50	72,40	565,49	1297,0	696,0	2,29	2,16
Ort.								2,28	2,15

Yapılan Marshall Stabilite deneyleri Şekil 5.15'te gösterilerek, deney sonucunda elde edilen sonuçlar Tablo 5.4'te verilmiştir. Stabilite deneyleri ELE Marshall Test-E cihazında yapılmıştır.

Bu test cihazında her bir numune su banyosundan çıkarılıp, Arşimet terazisinde tartılır tartılmaz deneye tabi tutulmuştur. Bu deneylerde okunan her değer gözlemlenmiş ve not edilmiştir. Numuneler birguba ait olmak üzere üçer tane hazırlanmış ve ortalamaları hesaba katılmıştır. Yine de okunan ve elde edilen her değer, bu çalışma kapsamında paylaşılmıştır. Kıyaslamalar ve karşılaştırmalar ise ortalama değerler üzerinden ele alınmıştır.



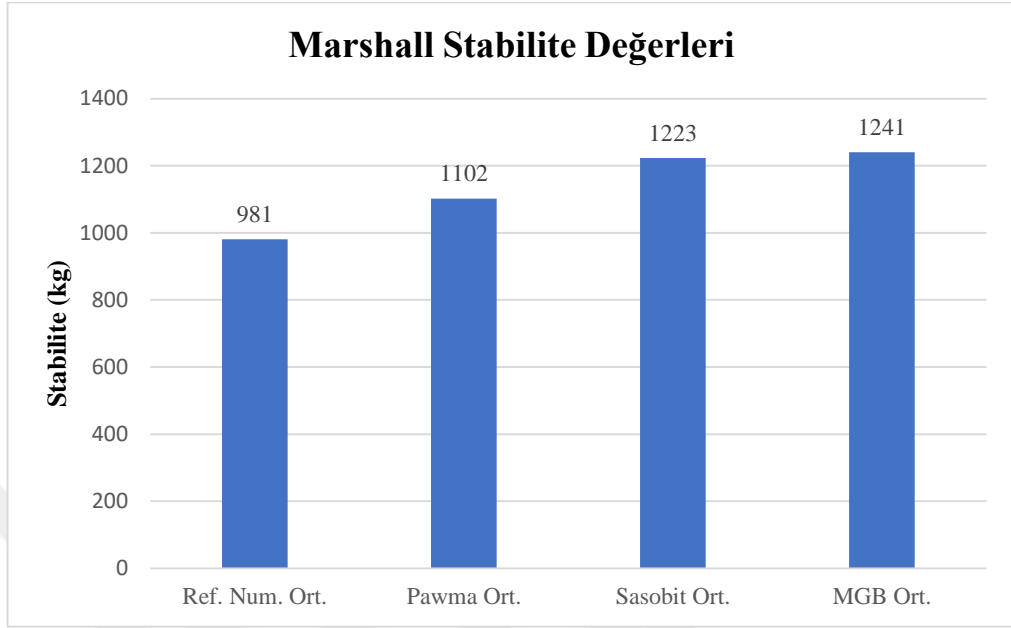
Şekil 5.15 Marshall deneyi

Tablo 5.4 Marshall deney sonuçları

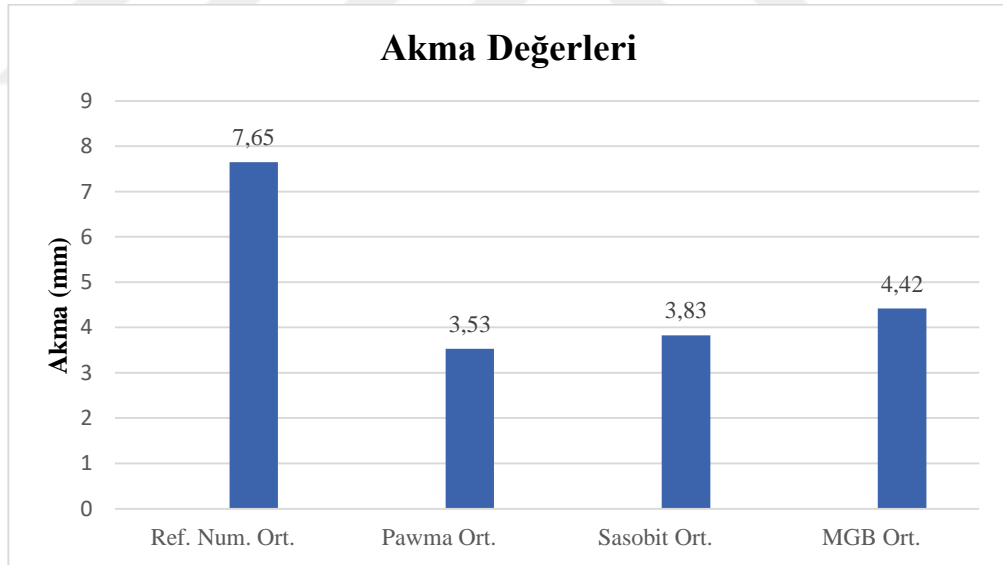
Numune	Bitüm Oranı (%)	Sıcaklık	Marshall Stabilite (kg)	Akma (mm)
Ref. Numune 1	4,2	160°C	959	11,70
Ref. Numune 2	4,2	160°C	1167	5,24
Ref. Numune 3	4,2	160°C	816	6,00
Ort			981	7,65
Pawma 1	4,2	140°C	1055	4,10
Pawma 2	4,2	140°C	1104	2,50
Pawma 3	4,2	140°C	1148	4,00
Ort			1102	3,53
Sasobit 1	4,2	135°C	1207	2,88
Sasobit 2	4,2	135°C	1227	3,20
Sasobit 3	4,2	135°C	1234	5,40
Ort			1223	3,83
MGB 1	4,2	135°C	1195	4,10
MGB 2	4,2	135°C	1259	5,00
MGB 3	4,2	135°C	1268	4,15
Ort			1241	4,42

Binder Tabakası için Marshall Stabilite ve Akma değerlerinin ortalamaları Şekil 5.16 ve 5.17'de kıyaslanarak gösterilmiştir. Şekillerden de görüleceği üzere dayanımda en iyi

değeri MGB katkılı Binder Tabakası, akma değerlerinde de PAWMA katkılı Binder Tabakası göstermiştir.



Şekil 5.16 Marshall stabilite sonuçları



Şekil 5.17 Marshall akma sonuçları

Yapılan deneyler sonucunda alınan ortalama değerlere göre, bütün numunelerin stabilite değerlerinin şartname standartlarının üzerinde olduğu gözlemlenmiştir. Ancak referans numunenin akma değerleri standardın dışında kalmıştır. Ayrıca katkı kullanılarak üretilen numunelerin akma ve stabilite değerleri beklenenin üzerinde bir dayanım göstermiştir.

Stabilite olarak MGB katkısı iyi bir sonuç verirken akma değerlerinde Pawma en iyi sonucu vermiştir. Tüm parametreler incelendiğinde Binder Tabakası için en iyi sonucu MGB katkısının verdiği gözlemlenmektedir. Hem düşük sıcaklıkta hem de gerekli dayanımların en iyisini verdiği için sahada büyük avantaj sağlayacağı söylenebilir.

5.2. Aşınma Tabakası

Aşınma Tabakası için referans numune ve katkılı numuneler olmak üzere, toplamda 12 briket hazırlanmıştır. Kullanılan katkıları sırasıyla PAWMA, SASOBİT ve MGB'dir. Tablo 5.5'te hazırlanan asfalt numunelerine ait reçete sunulmuştur. Bu reçeteye göre her numunede aynı agrega ve bitüm oranları kullanılmıştır. Değişken olarak sadece dikkate alınmıştır.

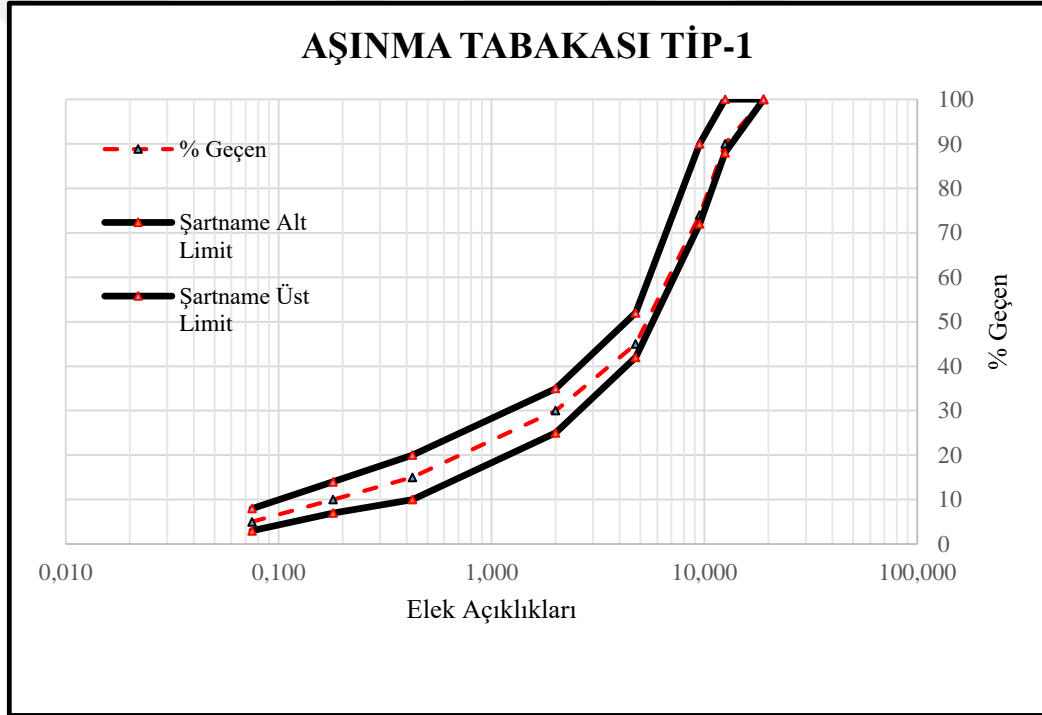
Tablo 5.5 Aşınma tabakası karışım reçetesi

Numune	Agrega Oranı %	Bitüm Oranı %	Katkı Oranı %
Referans Numune	0-5 (%45)	%4,8	%0,3
PAWMA	5-12 (%45)	%4,8	%3
SASOBİT	12 – 19 (%10)	%4,8	%3
MGB			

Her bir numune için aynı agrega oranı, aynı bitüm oranı tahsis edilmiştir. Bunun sebebi olarak SBB Asfalt Şantiyesinin kullandığı oranlar üzerinden katkı oranlarının stabiliteye etkisi gözlemlenmek istenmiştir. Tablo 5.6'da agrega granulometrisi ve Şekil 5.18'de granulometri eğrisi verilmiştir.

Tablo 5.6 Aşınma tabakası gradasyonu ve şartname limitleri

Elek Boyu mm (in, No)	% Geçen	Şartname Alt Limit	Şartname Üst Limit
19 (3/4")	100	100	100
12,5 (1/2")	90	88	100
9,5 (3/8")	74	72	90
4,75 (No .4)	45	42	52
2,00 (No. 10)	30	25	35
0,425 (No. 40)	15	10	20
0,180 (No. 80)	10	7	14
0,075 (No.200)	5	3	8



Şekil 5.18 Aşınma tabakası granulometri

Binder Tabakasında yapılan bütün işlemler burada da aynı olduğu için Bölüm 5.2’de verilen şekillerin yeterli olacağı öngörülmüştür. Binder ve aşınma tabakası arasındaki tek fark, kaba agreganın (19 - 25 mm) aşınma tabakasında kullanılmamasıdır. Karışım, sıkıştırma ve numune hazırlanması süreçleri tamamıyla aynıdır.

Agregalara yapılan elek analizi sonuçlarından da görüleceği gibi, belirtilen alt ve üst limitler içerisinde bir eğri ortaya çıkarılmıştır. Bütün deneyler bu eğriye göre hazırlanan

agregalarla birlikte 3'er numunelik seriler halinde hazırlanmıştır. Aşınma tabakası için toplamda 4 seri numune oluşturulmuştur. Hazırlanan 4 seri numune ile birlikte ilk üretime yetiştirmeyen Binder Tabakasına ait bir seri solda olmak üzere, Şekil 5.19'de gösterilmiştir. Referans numune için bitüm ve agrega 160°C'ye ısıtılarak, ısıtıcılı mikserde yaklaşık 160°C'de karıştırılmıştır. PAWMA katkılı numuneler bitüm deneylerinden elde edilen sonuçlar neticesinde 140C'de, SASOBİT ve MGB katkılı numuneler 135°C'de karıştırılmıştır. Numuneler bir gece oda sıcaklığında bekletildikten sonra, 60°C'lik su banyosunda 60 dk. bekletilmiştir. Ölçümleri alınarak önce kuru ağırlıkları, ardından sudaki ağırlıkları tartılmıştır. Bu işlemler bittikten hemen sonrasında Marshall Stabilite cihazında teste tabi tutulmuşlardır. Briketlere yapılan ölçüm, tartım ve özgül ağırlıklarına ait sonuçlar Tablo 5.7'de verilmiştir.



Şekil 5.19 Aşınma tabakası serileri ve binder tabakası serisi

Tablo 5.7 Aşınma tabakası fiziksel özellikler

Numune	Bitüm Oranı (%)	Sıcaklık	Çap (mm)	Yükseklik (mm)	Hacim (cm ³)	Ağırlık (g)	Sudaki Ağırlık (g)	Özgül Ağırlık (g/cm ³)	Özgül Ağırlık (Arşimet) (g/cm ³)
Ref. Num. 1	4,8	160°C	100,6	67,10	526,22	1241,0	672,0	2,36	2,18
Ref. Num. 2	4,8	160°C	100,7	72,00	526,22	1307,0	685,0	2,48	2,10
Ref. Num. 3	4,8	160°C	101,4	70,50	526,22	1286,5	680,0	2,44	2,12
Ort								2,43	2,13
Pawma 1	4,8	140°C	101,4	70,50	560,83	1268,2	662,4	2,26	2,09
Pawma 2	4,8	140°C	101,8	74,40	560,83	1396,0	717,5	2,49	2,06
Pawma 3	4,8	140°C	101,0	73,20	560,83	1314,2	675,6	2,34	2,06
Ort								2,36	2,07
Sasobit 1	4,8	135°C	101,4	72,10	576,85	1354,0	704,0	2,35	2,08
Sasobit 2	4,8	135°C	101,5	71,70	576,85	1325,1	691,7	2,30	2,09
Sasobit 3	4,8	135°C	101,3	72,05	576,85	1305,3	676,9	2,26	2,08
Ort								2,30	2,08
MGB 1	4,8	135°C	101,0	70,80	560,83	1318,2	691,5	2,35	2,10
MGB 2	4,8	135°C	101,0	73,10	560,83	1377,2	714,3	2,46	2,08
MGB 3	4,8	135°C	101,8	70,70	560,83	1279,1	663,0	2,28	2,08
Ort								2,36	2,09

Hazırlanan bu numunelere ait Marshall Stabilite deneyleri Şekil 5.20’de gösterilerek, sonuçlar Tablo 5.8’de verilmiştir. Stabilite deneyleri ELE Marshall Test-E cihazında yapılmıştır.

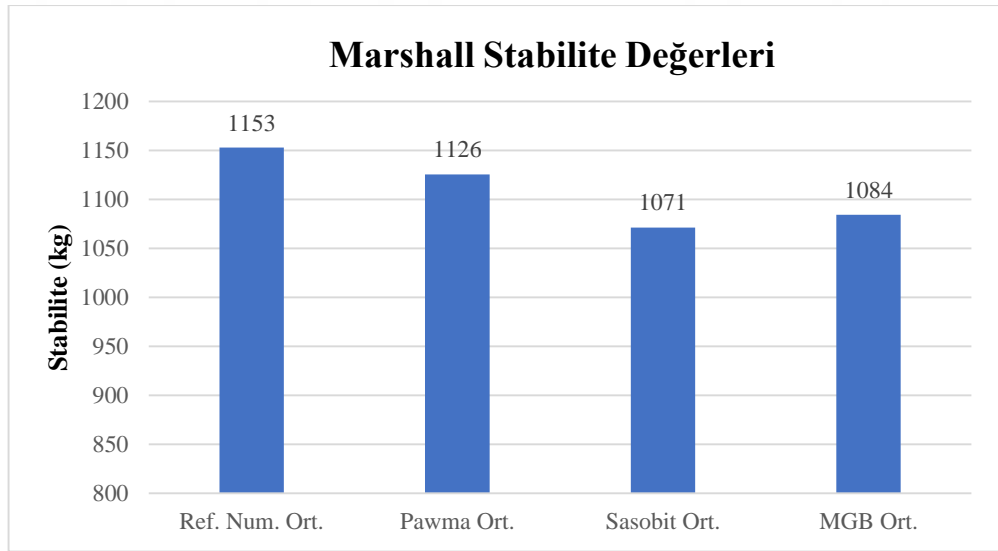


Şekil 5.20 Marshall deneyi

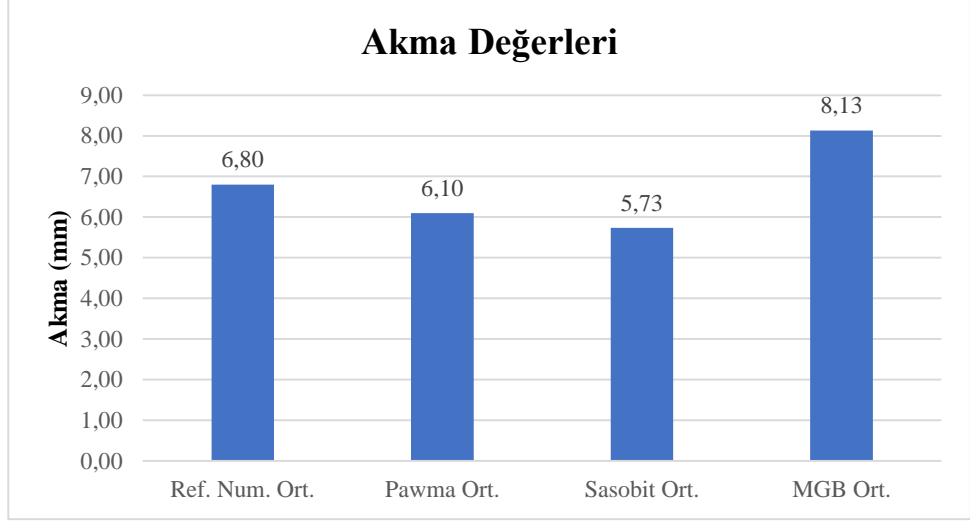
Tablo 5.8 Aşınma tabakası Marshall deney sonuçları

Numune	Bitüm Oranı (%)	Sıcaklık	Marshall Stabilite (kg)	Akma (mm)
Ref. Numune 1	4,2	160°C	1139	7,20
Ref. Numune 2	4,2	160°C	1121	4,00
Ref. Numune 3	4,2	160°C	1199	9,20
Ort			1153	6,80
Pawma 1	4,2	140°C	1063	9,80
Pawma 2	4,2	140°C	1179	3,40
Pawma 3	4,2	140°C	1135	5,10
Ort			1126	6,10
Sasobit 1	4,2	135°C	985	6,10
Sasobit 2	4,2	135°C	1119	4,60
Sasobit 3	4,2	135°C	1110	6,50
Ort			1071	5,73
MGB 1	4,2	135°C	1078	7,30
MGB 2	4,2	135°C	1066	9,50
MGB 3	4,2	135°C	1109	7,60
Ort			1084	8,13

Aşınma Tabakası için Marshall Stabilite ve Akma değerlerinin ortalamaları Şekil 5.21 ve 5.22'de kıyaslanarak gösterilmiştir. Şekillerden de görüleceği üzere dayanımda en iyi değeri Referans Numune sağlamıştır. Katkılı üretilen Aşınma Tabakası Asfaltında en iyi dayanımı salayan PAWMA katkıli numune olmuştur. Akma değerinde ise en iyi performansı Sasobit katkıli Aşınma Tabakası asfaltı göstermiştir.



Şekil 5.21 Marshall stabilite sonuçları



Şekil 5.22 Marshall akma sonuçları

Yapılan deneyler sonucunda alınan ortalama değerlere göre, bütün numunelerin stabilite değerlerinin şartname standartlarının üzerinde olduğu gözlemlenmiştir. Ancak bütün numunelerin akma değerleri standartın dışında kalmıştır. Standarta en yakın akma değerini Sasobit katkıli numune sağlamıştır. Stabilite değerleri referans numunesinde en iyi performansı gösterse de katkıli numunelerin şartname değerleri üzerinde bir dayanım göstermiştir. Bu değerler göz önüne alındığında düşük sıcaklık faktörü nedeniyle katkıli numunelerin değerlendirilerek kullanılabilceği öngörülmektedir. Stabilite olarak Pawma katkısı iyi bir sonuç verirken akma değerlerinde Sasobit en iyi sonucu vermiştir. Tüm parametreler incelendiğinde Aşınma Tabakası için en iyi sonucu Sasobit katkısıyla hazırlanan numunenin verdiği gözlemlenmektedir. Teste tabi tutulan MGB katkısının da akma değeri haricinde göz önünde bulundurulabileceği söylenebilir. Hem düşük sıcaklıkta hem de gerekli dayanımların en iyisini verdiği için sahada büyük avantaj sağlayacağı belirtilebilir. Deneye tabi tutulan bütün numuneler Şekil 5.23'te gösterilmiştir.



Şekil 5.23 Marshal deneyi yapılan asfalt numuneler

BÖLÜM 6. ENERJİ VERİMLİLİĞİ VE MALİYET

Asfalt betonuna hem Binder hem Aşınma Tabakası için yapılan deneyler sonucunda görüldüğü gibi düşük sıcaklıklarda asfalt betonu üretimi, bitüme yapılan deneyler ışığında seçilen katkılarla mümkün kılınmıştır. Karışım sıcaklığında 25°C'lık bir düşüş elde etmek, birçok açıdan fayda sağlayacaktır. İşlenebilirlik, çalışabilirlik, kötü gaz ve koku salınımlarının yanında, hava şartlarının yağmurlu olmadığı zamanlarda dahi asfalt uygulanabilir hale gelecektir.

Özellikle enerji verimliliği açısından da oldukça fayda sağlayacak olan düşük sıcaklıktaki asfalt üretimi için, yine SBB Asfalt Şantiyesi içerisinde bulunan Şekil 6.1'de gösterilen Plente göre, üretici tarafından alınan kaba bilgiler ışığında bir verimlilik hesabı yapılacaktır. Bu verimlilik hesabının yanında katkıların maliyetleri kendi aralarında karşılaştırılacak ve bu karşılaştırma sonucunda gerekli önerilerde bulunulacaktır.



Şekil 6.1 ECO 4000 beninghoven modül plent

SBB Asfalt Şantiyesi tarafından kullanılan bu Plent, ECO 4000 320 Benninghoven Modül Plent Modeli olarak adlandırılmaktadır. Bu asfalt üretim sistemi, %4 agrega nem oranında, maksimum kapasitesi 320ton/saat bitümlü sıcak karışımı 160°C’de üretebilecek şekilde tasarlanmıştır.

SBB Asfalt Şantiyesinden Plent firmasıyla sağlanan görüşme sonucunda, bu modül sistemin verileri genel Avrupa normlarına göre temin edilmiştir. Firma tarafından verilen bilgiler, şirket gizliliği açısından gizli tutulmak zorunda olduğu için kapsamlı bilgilere ulaşılamamıştır. Bu bilgiler Tablo 6.1’de verilmiştir.

Tablo 6.11 Plent enerji tüketim verileri

Miktar ve Sıcaklık	Harcanan Enerji	Enerji Tasarrufu (25°C için)	Tasarruflu Harcanan Enerji
1ton Asfalt	2,5 - 3,5 kWh	% 13,5	2,16- 3,02 kWh
1 ton Asfalt için 160°C (Agrega 952 - 958kg)	74 kWh	% 13,5	64 kWh
1 ton Asfalt için 160°C (Bitüm 42 – 48kg)	74 kWh	% 13,5	64 kWh
1 ton Asfalt için 135°C (Bitüm ve Agregası)	64 kWh	-	-

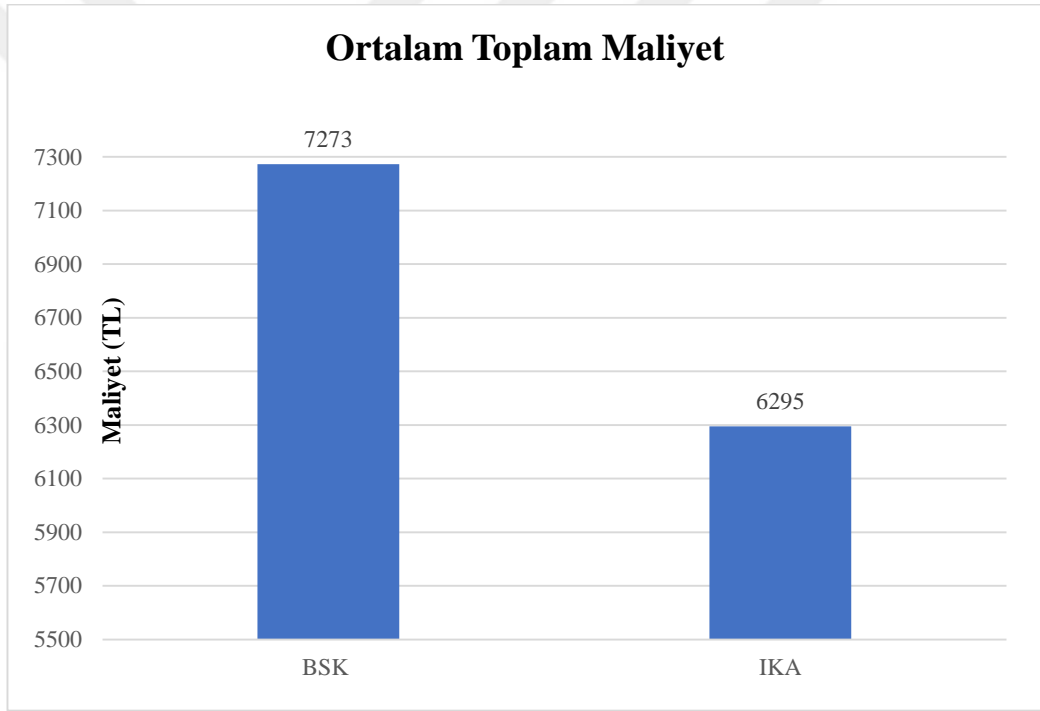
Plentten alınan veriler ışığında yaklaşık %13,5’lik bir enerji tasarrufu olduğu bilgisi edinilmiştir. Bu hem 1 ton asfalt üretimi için gerekli enerjiden hem de agrega ve bitüm sıcaklıklarının ısıtılması için gerekli olan enerjiden düşüş sağlamaktadır. Bu düşüş oranı ilk bakışta düşük olarak gözükebilir fakat birim fiyat hesaplamaları yapıldığında, uzun vadede büyük oranda tasarruf sağlayabileceği düşünülmektedir.

Birim fiyatlar Sakarya ili çevresinde SEPAŞ’ın internet sitesinden temin edilerek, Tek Zamanlı – Ticarethane olarak seçilmiştir. Bu tarife fiyatları Enerji Piyasası düzenleme Kurumu (EPDK) tarafından ulusal düzeyde belirlenmektedir ve birim fiyatı vergiler dâhil 0,9445 TL olarak belirlenmiştir. Bu birim fiyat üzerinden, SBB Asfalt Şantiyesi tarafından ortalama 100 ton/saat üretim yaptığı göz önünde bulundurularak hesaplamalar yapılmıştır. Ayrıca, sıcaklık maliyeti hem agrega hem de bitüm için ayrı ısıtma sağlanacağı için iki katı değer verilmiştir. Bu hesaplamalar yine saatlik bazda BSK ve İKA üretimine göre Binder ve Aşınma ortalaması olarak Tablo 6.2’de verilmiştir.

Tablo 6.2 BSK ve IKA enerji maliyetleri

Üretim Şekli	100 t/s Asphalt Maliyet	100 t/s Isıtma Maliyeti (Agrega)	100 t/s Isıtma Maliyeti (Bitüm)
BSK	236,25 – 330,58/s	6675 TL/s	314,5 TL/s
IKA	204 – 285,24 TL/s	5773 TL/s	272,3 TL/s

Görüleceği üzere toplamda 1 saatlik üretimde 100 ton için ortalama 976,45 – 992 TL arasında bir enerji tasarrufundan kabaca söz edilebilmektedir. Bu değerler günlük, aylık hatta yıllık bazda düşünüldüğünde ortaya çok büyük fiyatlar çıkacağı kaçınılmazdır. Şekil 6.2’de de görüleceği üzere BSK ve IKA üzerinden ortalama enerji maliyetleri farkı sunulmuş olup, bu değerler saatlik 100 ton üzerinden hesaplanmıştır.



Şekil 6.2 BSK ve IKA enerji maliyeti karşılaştırması

Enerji verimliliğinden elde edilen bu fiyatları katkıların birim fiyatlarıyla birlikte karşılaştırmak gerekmektedir. Çünkü kullanılacak katkılarında maliyetleri hesaba katılmalı, bu hesaplar doğrultusunda daha gerçekçi sonuçlar elde edilmelidir. Katkıların avantajı, direkt bitüme eklenebileceği için ayrı bir istasyon kurulumu gerektirmemesidir. Bu nedenle katkıların kullanım miktarları ile birim fiyatları çarpılarak sonuçlar elde edilecektir. 100 ton asphalt üretiminde gerekli bitüm miktarı, Binder Tabakası için 4200 kg, Aşınma Tabakası için ise 4800 kg’dır. Gerekli katkı miktarları ve fiyatları Binder

Tabakası için Tablo 6.3’de, Aşınma Tabakası için Tablo 6.4’de detaylı bir şekilde verilmiştir.

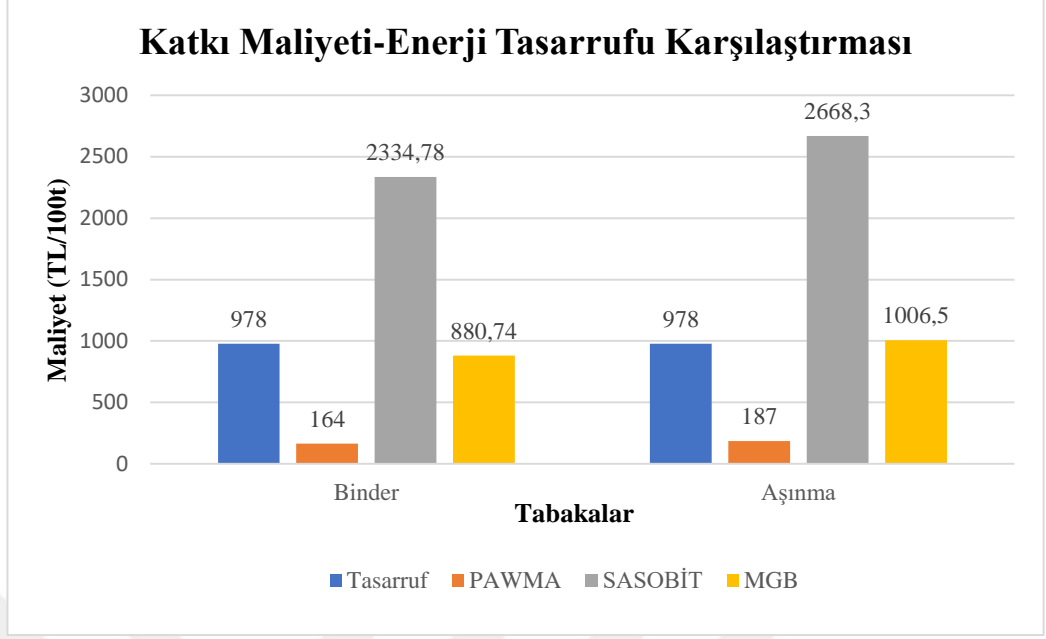
Tablo 6.3 Binder tabakası katkı maliyetleri

Katkılar	Bitüm Miktarı (kg)	Katkı Oranı (%)	Katkı Miktarı (kg)	Katkı Birim Fiyatı (TL)	Katkı Maliyeti (TL)
PAWMA	4200	0,3	12,6	12,99	164
SASOBİT	4200	3	126	18,53	2334,78
MGB	4200	3	126	6,99	880,74

Tablo 6.4 Aşınma tabakası katkı maliyetleri

Katkılar	Bitüm Miktarı (kg)	Katkı Oranı (%)	Katkı Miktarı (kg)	Katkı Birim Fiyatı (TL)	Katkı Maliyeti (TL)
PAWMA	4800	0,3	14,4	12,99	187
SASOBİT	4800	3	144	18,53	2668,3
MGB	4800	3	144	6,99	1006,5

Bu değerler ışığında, Şekil 6.3’de enerji tasarrufu açısından 100 ton asfalt için saatlik katkı maliyetleri karşılaştırılmıştır. En büyük maliyet kazancının Pawma katkısına ait olduğu, hem kullanım oranına hem de birim fiyatına bağlı olarak görülmektedir. Sasobit katkısı, yurtdışı kaynaklı bir katkı olduğu için maliyeti oldukça arırmakta, MGB katkısı ise Binder Tabakası için dayanım ve kullanım kolaylığı açısından gayet iyi durumdadır.



Şekil 6.3 Enerji tasarrufu ve katkı maliyetleri

Değerlerden de görüleceği üzere, Sasobit yurtdışı kaynaklı bir katkı olması sebebiyle, birim fiyatı Euro olduğu için oldukça yüksek maliyetler ortaya çıkarmaktadır. Pawma katkısı, maliyet açısından katkı oranı düşük olduğu için en az maliyeti sağlamaktadır. Fakat Pawma kullanıldığı zaman maksimum ısı düşüklüğü yaklaşık 15°C olmakta ve yukarıda yapılan enerji maliyetlerini, 25°C'ye oranla daha yüksek meblağlara çekmektedir.

Bu durumda, Aşınma Tabakası açısından söylenemese de gerekli sıcaklık düşüşünü viskoziteye bağlı olarak azaltması ve Binder Tabakası için saatte 112 TL tasarrufu sağlaması bakımından MGB oldukça iyi bir durumda gözükmektedir. Hem üretim kolaylığı hem çevreye etkisi hem de maliyetten kaynaklı olarak MGB tercih edilebilir bir katkı durumundadır.

BÖLÜM 7. TARTIŞMA VE SONUÇ

Dünya üzerindeki çevre kirliliği ve doğal kaynaklar sorunu sebebiyle, bütün ülkeler bu konu üzerine eğilmeye başlamışlardır. İklimin ve çevre koşullarının iyileştirilmesi neticesinde, çalışmaların hız kazandığı göz ardı edilemez bir gerçek haline gelmiştir. Aynı zamanda enerji verimliliği ve enerji tasarrufu da bu durum içinde bulunmaktadır. Bu nedenle IKA teknolojisinin önemli bir gelişme olduğu söylenebilir.

Dokandı vd.(2014), yaptıkları çalışmada, organik katkıların bitüm ve asfalt üzerindeki etkilerini incelemiştir. Deneysel çalışmalarla destekledikleri bu incelemeleri, asfalt yaşlanma açısından uygulama eğilimine bakmış olsalar da, IKA teknolojisinin BSK tekniğine alternatif olabileceğini ve IKA'nın daha düşük sıcaklıklarda uygulanabileceğini belirtmişlerdir.

Aytekin (2018), yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında birçok katkı maddesinin IKA teknoloji ile uygulanmasını Taş Mastik Asfalt üretimi açısından incelemiş, bu incelemelerde performans değerlerinden çok, asfalt betonu tasarımına yoğunlaşmıştır. Bu tasarımlar sonucunda elde ettiği veriler, IKA teknolojisinde kullanılan katkıların bir alternatif olabileceğini göstermekle birlikte, tasarım aşamasında bitüm oranını yükseltmiştir. Yine de sıcaklığın düşürülmesinde büyük etki gösteren IKA katkıları, BSK yöntemine önemli bir alternatif sağlamaktadır.

Bu tez kapsamında IKA katkılarının KTŞ'ye göre mevcut durum üzerinden performans ve enerji verimliliği değerlendirmeleri yapılmıştır. Bu değerlendirmeler, geleneksel asfalt kullanımı açısından, daha yoğun kullanımı olan Binder ve Aşınma Tabakası üzerinde test edilmiş olup, katkı oranları neticesinde Marshall değerlerine göre kıyaslanmıştır. Bu kıyaslamalar, katkıların kullanımı ve enerji verimliliği açısından da değerlendirilerek ortaya çıkan sonuçlar ışığında değerlendirilmiştir.

Laboratuvar ortamında yapılan deneylerde, 50/70 penetrasyonlu bitüme IKA katkısı olan PAWMA, SASOBİT, LOMOT, PDL6020 ve MGB katılarak deneyler yapılmış ve sonuçları değerlendirmeye alınmıştır. Bu deneyler sonucunda, viskozite açısından düşük

sıcaklıkta üretimi sağlayabilecek katkılar belirlenmiş ve Asfalt Betonu üretimine uygunluğuna göre tercih edilmiştir. Tercih edilen katkılar, SBB Asfalt Şantiyesinden temin edilen agregalar ve bitüm oranlarına göre, PAWMA, SASOBİT ve MGB katılarak, Aşınma ve Binder Tabakası için SBB Asfalt Şantiyesi değerlerine göre Marshall briketleri hazırlamak için kullanılmıştır. Hazırlanan bu briketler, katkıların düşük sıcaklıklarda performans değerleri incelenmek üzere referans numunesiyle kıyaslanmıştır. Çıkan sonuçlar eşliğinde, SBB Asfalt Şantiyesinde kullanılan Plentin özelliklerine göre enerji verimliliği hesaplanmıştır.

KGM bitüm seçim yöntemine göre Sakarya bölgesi için tercih edilen 50/70 pentrasyonlu bitüme IKA katkılarıyla yapılan modifikasyon sonucunda, her katkının bitüm özelliklerini farklı biçimde etkilediği gözlemlenmiştir. Yapılan bitüm deneyleri sonucunda SASOBİT ve PAWMA katkısının penetasyonu düşürdüğü, diğer katkıların ise artırdığı gözlemlenmiştir. Yumuşama noktası açısından, PAWMA'nın değeri değiştirmedeği, PDL6020 ve LOMot'un çok az artırdığı, MGB'nin bu değeri çok az düşürdüğü görülmüştür. SASOBİT ise yumuşama noktası değerini oldukça yükseltmiştir. Bu sonuçlar eşliğinde, SASOBİT katkısının sıcak iklim bölgelerinde kullanılmasının oldukça uygun olabileceği görülmüştür. Bu sonuçlar, yine de bütün katkıların soğuk iklimlerde kullanılmasına engel olmamakla birlikte, daha düşük sıcaklıklarda da asfalt üretimini kolaylaştıracağını göstermektedir. Özellikle, MGB katkısı soğuk iklim koşullarında, penetasyon değerlerine göre, kullanılabilir durumdadır.

Viskozite deneyleri sonucunda elde edilen değerler, PAWMA, SASOBİT ve MGB katkılarının düşük sıcaklıkta asfalt üretimine uygun olduğunu göstermektedir. Bu katkılarla hazırlanan IKA Aşınma ve Binder Tabakası karışım sıcaklıklarının 20 - 30°C düştüğü görülmüştür. Karışım sıcaklığındaki bu düşüş, yakıt tasarrufu sağladığı gibi aynı zamanda plentte zararlı gaz salınımının düşmesi anlamına gelmektedir. Kullanılan bu katkıların, SBB Asfalt Şantiyesinde kullanılan bitüm oranına göre performansı değerlendirildiği için, bitüm oranında bir artış olmamasıyla birlikte, gerekli verim sağlanmıştır. Sağlanan yakıt tasarrufu, enerji verimi ve karışımın düşük sıcaklıklarda işlenebilirliğinin artması, mevsim açısından geniş aralıklarda çalışmaya olanak sağlayacaktır. En önemlisi, çevreye olan zararlı etkiyi azaltarak, işçi sağlığını da gözetmesiyle uzun vadede ekonomik ve çevresel avantaj sağlayacaktır.

Aşınma ve Binder Tabakası üzerinde yapılan deneyler neticesinde Marshall performansları da oldukça iyi olan katkıli karışımların dayanım ve stabilite açısından gayet iyi durumda olduğu görülmektedir. Tüm bu sonuçlara göre, İKA katkılarının KGM standartları ve SBB Asfalt Şantiyesi üretim sınırları içerisinde kullanılmasının oldukça faydalı olduğu görülmektedir. Karışım sıcaklığının tercih edilen diğer katkılara nazaran 5°C fazla olduğu PAWMA, ekonomik açıdan yüksek avantaj sağlasa da, MGB hem ekonomik hem de performans bakımından oldukça kullanışlı durumda gözükmektedir. Özellikle Sakarya bölgesi için yapılan bu çalışma neticesinde bu sonuçlara varılmıştır. Her bölgenin kendisine göre farklı uygulama değerleri olacağı göz önünde bulundurularak, gerekli değerlendirmeler, bulunulan bölgeye göre test edilip deneyerek uygulanmalıdır.

Tüm dünyanın, çevresel koşulları, küresel ısınmayı ve iklim bozulmalarına karşı durduğu bu zamanda, İKA ve buna benzer teknolojilerin denenmesi hatta uygulanması ülkemiz açısından da ekonomik ve çevre dostu olması nedeniyle büyük fayda ve önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

- Abdullah, M. E., Zamhari, K. A., Hainin, M. R., Oluwasola, E. A., Hassan, N. A., & Yusoff, N. I. M. (2016). Engineering properties of asphalt binders containing nanoclay and chemical warm-mix asphalt additives. *Construction and Building Materials*, 112, 232-240.
- Aytekin, Ş. (2018). *Ilık Asfalt Üretiminde Kullanılan Katkıların Performans Değerlendirmeleri Ve Bu Katkılarla KGM Şartnamelerine Göre Asfalt Kaplama Dizaynları*. (Yüksek Lisans Tezi) Kayseri Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri
- Aktaş, B., Aytekin, Ş. And Aslan, Ş. (2018). Effects of Selected Warm Mix Asphalt Additives on Viscosity Properties of Binder. *6th ISITES 2018*, Antalya
- Barthel, W., J.P. Marchand, M. Von Devivere. Warm asphalt mixes by adding a synthetic zeolite. Eurovia. www.asphamin.com. Accessed November 2005.
- Bernier A. K., 2012. *Laboratory and Field Evaluation of Two Warm-Mix Additives in Connecticut Validation of an Alternative Moisture Susceptibility Test*. University Of Connecticut, Master's Theses, USA, 54 pp.
- Brandt HCA, de Groot PC, A Laboratory Rig for Studying Aspects of Worker Exposure to Bitumen Fumes, *American Industrial Hygiene Association Journal* 60:182–190 (1999)
- de Groot, P.C., Bowen C., Koenders B.G., Stoker D.A., Larsen O., Johansen J., 2001. A Comparison Of Emissions From Hot Mixture And Warm Asphalt Mixture. *IRF World Meeting* (2001): 9 pp., Paris.
- D'Angelo J., Harm E., Bartoszek J., Baumgardner G., Corrigan M., Cowsert J., Harman T., Jamshidi M., Jones W., Newcomb D., Prowell B., Sines R., and Yeaton B., 2008. Warm-Mix Asphalt: European Practice. Interim Report, *National Cooperation Highway Research Program*, Washington, DC, USA, 72 pp.
- EAPA (Avrupa Asfalt Üstyapı Birliği), *Ilık kArışım Asfalt*, Şubat 2016, çev. Zeliha TEMREN, Türkiye Asfalt Müteahhitleri Derneği
- Fiedler J., Kašpar J., Valentin J. WMA specifications and experience with this mix type in the Czech Republic, *HAPA Conference*, Hungary, 2013).
- Gandhi, T. and Amirkhanian, S. (2007). *Performance Evaluation of Sbs Modified Asphalt Mixtures Using Warm Mix Technologies*, Department of Civil Engineering, Clemson University.

- Hurley, G.C. and B.D. Prowell. *Evaluation of SasobitR for use in warm mix asphalt*. NCAT Report 05-06 (b). National Center for Asphalt Technology, Auburn University, USA, June 2005.
- Jamshidi, A., Hamzah, M. O., & Aman, M. Y. (2012). Effects of Sasobit® content on the rheological characteristics of unaged and aged asphalt binders at high and intermediate temperatures. *Materials Research*, 15(4), 628-638.
- Johannesson, A., I. Arnason, OS. Hjartarson, S. Sigurdsson, Th. Thorsteinsson. Samanburdur a ardsemi malbiks og klaedingar a thjodvegum. Report no. 05-05. Icelandic Building Research Institute. Reykjavik, March 2005.
- Kristjánsdóttir, O., 2007. Warm Mix Asphalt Technology Adoption. *NVF 33 Annual Meeting* (June 2007): 9 pp., Trondheim, Norway.
- Kim Y., Lee J., Baek C., Yang S., Kwon S., Suh Y., 2012. Performance Evaluation of Warm and Hot-Mix Asphalt Mixtures Based on Laboratory and Accelerated Pavement Tests. *Hindawi Publishing Corporation Advances in Materials Science and Engineering*, 2012 (1): 1-9.
- Köroğlu J., Monkul Ö., Sarıoğlu Ş., Öz H., Şimşek E., Gül F., Ataç Ö., Temel S., Ateş M., Erpek C., Baykan A., Güngör G., Orhan F., Demir B., Sağlık A., Kaşak S., Demircan N., Kardeş M., 2013. *İlık Karışım Asfalt Katkıları ve Teknolojileri*. TÜBİTAK-MAM Kimya Enstitüsü ve Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara, 156 s.
- Kristjánsdóttir, O., 2007. Warm Mix Asphalt Technology Adoption. *NVF 33 Annual Meeting* (June 2007): 9 pp., Trondheim, Norway.
- KTŞ. *Karayolları Teknik Şartnamesi*. 2013. Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara
- Larsen, O.R., Q. Moen, C. Robertus, B.G. Koenders. WAM Foam asphalt production rd at lower operating temperatures as an environmental friendly alternative to HMA. *3 Eurasphalt & Eurobitume Congress*, Vienna, 2004.
- Mahida, S., Mishra, C.B., Umrigar, N.F. and Sangita, (2015). Evaluating the Repercussion of Evotherm J1 as Warm Mix Bond Booster with VG 10 in Mix Design. *International Journal of Current Engineering and Technology* Vol.5, No.6
- Morova, N., Serin, S., & Terzi, S. (2011). Bitüm Miktarının Asfalt Betonuna Dayanımına Etkisinin Bulanık Mantık Yaklaşımıyla Değerlendirilmesi. In *6th International Advanced Technologies Symposium*, Elazığ
- Norwegian WMA project – *Low Temperature Asphalt 2011*; Main report (in Norwegian with English Summary), FAV, 2012, Norway.
- N. Tosun, *Bitümlü Kaplamalar Uygulama Kitabı*, İnternet Erişim Tarihi: 14.07.2010)
- Orhan, F., 2012. *Bitümlü Karışımlar Laboratuvarı Çalışmaları*. Karayolları Genel Müdürlüğü Araştırma Geliştirme Dairesi Başkanlığı Üstyapı Geliştirme Şubesi Müdürlüğü, Ankara

- Özay O., Öztürk E. Arıkan, 2013. Farklı Modifiye Katkılarla Hazırlanan Poroz Asfalt. *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28 (3): 577- 586.
- Ruhl, R. and B. Lindemeier, Ed. “Progress Report 2006, *The German Bitumen Forum.*” Heinrich Lauck GmbH, Germany, 2006.
- Sheth, N. M., 2010. *Evaluation of Selected Warm Mix Asphalt.* University of Iowa, Civil and Environmental Engineering, Master of Science Thesis, Iowa, USA, 108 pp.
- ŞAHİN, S. N. A., & İPEK, M, (2018). *The Effect of Pawma Addition on Bitumen Viscosity, Penetration and Softening Point from Warm Mix Asphalt Additives.* ICOCEM e-Book pp 708-715.
- Tunç, A., (2001). *Asfalt Malzemelei Uygulamaları*, Atlas Yayın Dağıtım. İstanbul, 835s.
- Valdes-Vidal, G., Calabi-Floody, A., & Sanchez-Alonso, E. (2018). Performance evaluation of warm mix asphalt involving natural zeolite and reclaimed asphalt pavement (RAP) for sustainable pavement construction. *Construction and Building Materials*, 174, 576-585.
- Warm-Mix Asphalt: European Practice; International Technology Scanning Program, FHWA-PL- 08-007, February 2008, FHWA-HPIP, U.S. Department of Transportation, Washington, DC, USA. (www.international.fhwa.dot.gov)
- Woszuk, A., Panek, R., Madej, J., Zofka, A., & Franus, W. (2018). Mesoporous silica material MCM-41: Novel additive for warm mix asphalts. *Construction and Building Materials*, 183, 270-274.
- Xiao, F., Punith, V. S., & Amirkhanian, S. N. (2012). Effects of non-foaming WMA additives on asphalt binders at high performance temperatures. *Fuel*, 94, 144-155.
- Zhang, Jun., 2010. *Effects of Warm-mix Asphalt Additives on Asphalt Mixture.* University of Nebraska, Civil Engineering Theses, Dissertations, and Student Research, Lincoln, USA, 89 pp.
- Zhao, G. J., & Guo, P. (2012). Workability of Sasobit warm mixture asphalt. *Energy Procedia*, 16, 1230-1236.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Süleyman Nurullah Adahi Şahin
Doğum Tarihi ve Yeri : 01.10.1993
E-posta : adahisahin@subu.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2016, Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnş. Müh.

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2017 Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nde yüksek lisans eğitimine başladı
- 2018 yılında Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi'nde Arş. Gör. olarak işe başladı.

YÜKSEK LİSANS TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **ŞAHİN, S. N. A., & İPEK, M.** 2019, The Effect of Pawma Addition on Bitumen Viscosity, Penetration and Softening Point from Warm Mix Asphalt Additives. 4. International Conference on Civil, Environmental, Geology and Mining Engineering, April 20-22, 2019 Trabzon, Turkey