

T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**SAF VE MODİFİYELİ BİTÜMLÜ BAĞLAYICILARDA
KARIŞTIRMA VE SIKIŞTIRMA SICAKLIKLARININ
BELİRLENMESİNDE KULLANILAN YÖNTEMLERİN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Mohammed Ihsan Abbas ALDAKUKY

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Kasım-2018
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Mohammed Ihsan Abbas ALDAKUKY tarafından hazırlanan “SAF VE MODİFİYELİ BİTÜMLÜ BAĞLAYICILARDA KARIŞTIRMA VE SIKIŞTIRMA SICAKLIKLARININ BELİRLENMESİNDE KULLANILAN YÖNTEMLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ” adlı tez çalışması .../.../..... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından ~~oy birliği~~ / oy çokluğu ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. Osman Nuri ÇELİK

Danışman

Prof. Dr. Osman Nuri ÇELİK

Üye

Doç. Dr. Cahit GÜRER

Üye

Dr. Öğr. Üy. Deniz ARSLAN (OLUMSUZ GÖRÜŞ)

İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Yakup KARA
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

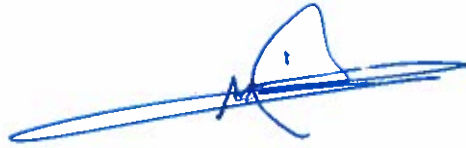
Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Mohammed Ihsan Abbas ALDAKUKY
Tarih: 14.11.2018



ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SAF VE MODİFİYELİ BİTÜMLÜ BAĞLAYICILARDA KARIŞTIRMA VE SIKIŞTIRMA SICAKLIKLARININ BELİRLENMESİNDE KULLANILAN YÖNTEMLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Mohammed Ihsan Abbas ALDAKUKY

**Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Osman Nuri ÇELİK

2018, 65 Sayfa

Jüri

Danışman: Prof. Dr. Osman Nuri ÇELİK

Doç. Dr. Cahit GÜRER

Dr. Öğr. Üy. Deniz ARSLAN

Günümüzde artan trafik hacmi ve yükü nedeniyle, asfalt karışımının üretiminde modifiyeli bağlayıcının kullanılması gerektiği sonucuna varılmıştır. Modifiyeli bağlayıcının kullanılmasının tam faydası, sadece, karıştırma ve sıkıştırma sıcaklığının seçilmesindeki karmaşıklık anlaşıldığında elde edilebilmektedir. Bu sıcaklıkları tahmin etmek için, bitümün viskozitesine bağlı olan farklı yöntemler kullanılmaktadır. Ayrıca, bitümün viskozitesi, bu sıcaklıkların belirlenmesinde büyük bir rol oynamaktadır. Bazı polimer modifiyeli bağlayıcılarda yüksek karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları tespit edilmiştir. Bu yüksek sıcaklıklar bitümde erken yaşlanmalara, asfalt kaplamasında bozulmalara ve üretim sırasında toksik dumanlara neden olmaktadır. Son yıllarda, bitümlü sıcak karışımın üretilmesinde daha düşük karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları elde etmek için ılık karışım asfalt (IKA) katkı maddelerinin kullanılmasına başlanmıştır. Bu çalışmada 50/70 bitüm sınıfı, %2 ve %4 oranlarında Stiren-Butadien-Stiren (SBS) ile ve %3 oranında Sasobit IKA katkı maddesiyle laboratuvar ortamında yüksek parçalayıcı karıştırıcı kullanarak karıştırılmıştır. Elde edilen farklı modifiyeli bitümlere karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarını belirlemek için ASTM tarafından önerilen Eş-viskozite ve Shell firması tarafından önerilen Bitüm Testi Veri Grafiği (BTDC) yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, BTDC yöntemini kullanarak saf ve SBS katkılı bitüm için Eş-viskozite yöntemine kıyasla nispeten daha düşük karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları belirlenmiştir. Hâlbuki Sasobit katkılı bitüm için ASTM yönteminin bu sıcaklıkların belirlenmesinde kullanılması daha uygun olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Modifiye Bitüm, SBS, IKA, Karıştırma Sıcaklığı, Sıkıştırma Sıcaklığı

ABSTRACT

MS THESIS

EVALUATION OF METHODS USED IN DETERMINATION OF MIXING AND COMPACTING TEMPERATURE FOR NEAT AND MODIFIED ASPHALT BINDERS

Mohammed Ihsan Abbas ALDAKUKY

**THE GRADUATE SCHOOL OF EDUCATION
KONYA TECHNICAL UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN CIVIL ENGINEERING**

Advisor: Prof. Dr. Osman Nuri ÇELİK

2018, 65 Pages

Jury

**Advisor: Prof. Dr. Osman Nuri ÇELİK
Assoc. Prof. Dr. Cahit GÜRER
Asst. Prof. Dr. Deniz ARSLAN**

Nowadays, due to increasing in traffic volume and load, it is concluded that modified binder should be used in the production of asphalt mixture. The full benefit of using the modified binder can be fully achieved only when the complexity of selecting the mixing and compaction temperature is understood. To estimate these temperatures, different methods are used depending on the viscosity of the bitumen. Furthermore, the viscosity of the bitumen plays a major role in determining these temperatures. High mixing and compaction temperatures have been reported in some polymer modified binders. These high temperatures cause early aging in bitumen, distresses in the asphalt pavements and toxic gases during production. In recent years, warm mix asphalt (WMA) additives have been used to produce lower mixing and compaction temperatures in the production of bituminous hot mixture. In this study, the 50/70 bitumen grade was blended using 2% and 4% styrene-butadiene styrene (SBS) and 3% WMA additive (Sasobit) in a laboratory using a high shear mixer. In order to determine the mixing and compaction temperatures of different modifying composites, the Equi-viscous method proposed by ASTM and the Bitumen Test Data Chart (BTDC) method proposed by Shell were used. According to the results, relatively low mixing and compaction temperatures using the BTDC method were obtained for neat and SBS modified bitumen compared to the Equi-viscous method. However, for Sasobit modified bitumen, it's approved the ASTM method is more suitable for the determination of these temperatures.

Keywords: Modified bitumen, SBS, WMA, Mixing temperature, Compaction temperature

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının hazırlanma aşamasında engin bilgi ve tecrübesiyle beni yönlendiren ve yol gösteren çok değerli Hocam Prof. Dr. Osman Nuri ÇELİK' e, Deneysel çalışmalarda bana teknik destek sağlayan Doktora Adayı Saadoon Obaid Eyada'ya, çok kıymetli Hocam Öğr. Gör. Dr. Mehmet Ali LORASOKKAY' a, Araş. Gör. Mevlüt AKMAZ' a, Manevi olarak hiçbir zaman benden desteğini esirgemeyen aileme en kalbi duygularıyla teşekkür ederim.

Mohammed Ihsan Abbas ALDAKUKY
KONYA-2018



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
ÇİZELGELER LİSTESİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Asfalt Karışımların Karıştırma ve Sıkıştırılması	3
2.2. Karıştırma Sıcaklığının Asfalt Karışımın Davranışına Etkisi.....	4
2.3. Sıkıştırma Sıcaklığının Asfalt Karışımın Davranışına Etkisi	5
2.4. Ilık Karışım Asfalt (IKA)	5
2.5. Kaynak Taraması	6
2.6. Bitümün Viskozitesi ve Diğer Özellikleri İçin Temel Terminoloji	12
2.6.1. Viskozite	12
2.7. Bitümün Karıştırma ve Sıkıştırma Sıcaklıklarının Belirlenmesinde Kullanılan Yöntemler	17
2.7.1. Bitümün viskozite-sıcaklık grafiği (eş viskozite yöntemi)	17
2.7.2. Bitüm testi veri grafiği yöntemi (BTDC)	19
2.8. Bitüm	21
2.8.1. Bitümlü Bağlayıcıların Kimyasal Özellikleri	21
2.8.2 Bitüm Modifikasyonu	23
2.8.3. Polimer ile modifikasyon.....	24
2.8.4. İyileştirme kriterleri	26
2.8.5. Stiren-Butadien-Stiren (SBS)	26
2.8.6. Sasobit® (SB)	27
2.8.7. Bitüm katkı maddesinin sınıflandırılması.....	28
2.9. Sıcaklık Duyarlılığı.....	30
2.9.1. Penetrasyon indeksi (Pen/R & B)	30
2.9.2. Penetrasyon-viskozite sayısı (PVN)	32
2.9.3. Viskozite-sıcaklık duyarlılığı (VTS)	33
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	34
3.1. Materyal	34
3.2. Yöntem.....	34
3.2.1. Polimer modifiyeli bitüm üretimi	34
3.2.2. Viskozite Deneyi.....	36

3.2.3. Penetrasyon deneyi	38
3.2.4. Yumuşama Noktası.....	40
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	43
4.1. Viskozite Deney Sonuçları	43
4.2. Eş Viskozite Yöntemi Sonuçları.....	46
4.3. Penetrasyon Deney Sonuçları	49
4.4. Yumuşama Noktası Deney Sonuçları	51
4.4. Bitüm Deney Verileri Grafiği (BTDC) Yöntem Sonuçları	52
4.5. Bitümün Sıcaklığa Karşı Duyarlılığı	55
4.5.1. Penetrasyon indeksi	55
4.5.2. Penetrasyon - viskozite sayısı	56
4.5.3. Viskozite-sıcaklık duyarlılığı.....	56
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	58
5.1 Sonuçlar	58
5.2 Öneriler	60
KAYNAKLAR	61
ÖZGEÇMİŞ	65

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Kısaltmalar	Açıklama
KGM	Karayolları Genel Müdürlüğü
SBS	Stiren-Butadien-Stiren
BSK	Bitümlü Sıcak Karışım
IKA	Ilık Karışım Asfalt
SB	Sasobit
BTCD	Bitüm testi veri grafiği
PI	Penetrasyon indeksi
PVN	Penetrasyon Viskozite Sayısı
VTs	Viskozite Sıcaklık Duyarlılığı
ASTM	Amerikan test ve materyaller topluluğu
RV	Dönel Viskometre
DSR	Dinamik kesme reometresi
SUPERPAVE	Yüksek Performanslı Asfalt Kaplama
η	Viskozite katsayısı
τ	Kayma Gerilimi
dy/dt	Hız Değişimi
PE	Polietilen
PP	Polipropilen
PVC	Polivinil klorid
EPDM	Etilen-propilen- diyen terpolimer
EVA	Etilen vinil asetat
FHWA	ABD federal karayolu idaresi
RPM	Dakikadaki devir sayısı
CRM	Kırıntı kauçuk modifiyeli bitüm
SHRP	Stratejik Karayolu Araştırma Programı
cSt	Senti stok
Pa.s	Paskal Saniye
VFA	Bitüm ile dolu boşluk oranı
VMA	Mineral agregalar arası boşluk oranı
VTM	Toplam karışımın boşluk oranı
PMB	Polimer modifiye bitümler
VG	Viskozite sınıfı
G*	Kompleks modülü
MEPDG	Mekanistik Ampirik Kaplama Dizayn Metodu

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Farklı karışımların üretim sıcaklığına göre sınıflandırılması (D'Angelo ve ark., 2008).	3
Şekil 2.2. Viskozitenin temsili (Hoiberg, 1964)	13
Şekil 2.3. Akışkan davranışlarının şeması (Sherman, 1994)	14
Şekil 2.4. Newton tipi akışların reolojik özelliklerini gösteren genelleştirilmiş eğriler (Irgens, 2014)	15
Şekil 2.5. Newton tipi olmayan akışların reolojik özelliklerini gösteren genelleştirilmiş eğriler (Irgens, 2014)	16
Şekil 2.6. Karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarının belirlenmesi (ASTM, 2009)	18
Şekil 2.7. Bitüm testi veri grafiği (BTDC) (Heukelom, 1969)	19
Şekil 2.8. Farklı bitüm sınıfı için BTDC karşılaştırması (Heukelom, 1969)	20
Şekil 2.9. Farklı Ülkelerde Kullanma oranları ve Uygulamaları Kaynak: (Institute, 2008)	21
Şekil 2.10. MARINI modiFALT polimer modifiye bitüm (PMB) plenti	25
Şekil 2.11. Asfalt plentinde modifiyeli bitüm üretim aşamaları	25
Şekil 2.12. SBS katkı maddesi (Kraton)	27
Şekil 2.13. Sasobit katkı maddesi (Sasol)	28
Şekil 2.14. PI değerinin belirlenmesi için kullanılan nomograf (Read ve Whiteoak, 2003)	31
Şekil 2.15. Bitüm için yaklaşık Pen-Vis değerlerin belirlenmesi kullanılan grafik (Wysong, 2004)	32
Şekil 3.1. Laboratuvar ortamında kullanılan bitüm modifiye mikseri	35
Şekil 3.2. Çalışma prosedür şeması	35
Şekil 3.3. Brookfield termosel viskometre	36
Şekil 3.4. Yarı otomatik penetrometre aleti	38
Şekil 3.5. Yumuşama noktası aleti	41
Şekil 4.1. SBS katkı maddesinin saf bitüm viskozitesine etkisi	45
Şekil 4.2. Sasobit katkı maddesinin saf ve %2 SBS modifiyeli bitüm viskozitesine etkisi	45
Şekil 4.3. Sasobit katkı maddesinin saf ve %4 SBS modifiyeli bitüm viskozitesine etkisi	46
Şekil 4.4. Saf ve SBS katkılı bitüm için karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarının belirlenmesi	46
Şekil 4.5. Saf ve SBS katkılı bitümlü bağlayıcının karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları	47
Şekil 4.6. Saf, SBS ve SB katkılı bitümlü bağlayıcı için karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarının belirlenmesi	48
Şekil 4.7. Saf, SBS ve SB katkılı bitümlerin karıştırma sıcaklıkları	49
Şekil 4.8. Saf, SBS ve SB katkılı bitümlerin sıkıştırma sıcaklıkları	49
Şekil 4.9. Saf ve katkılı bitümler için penetrasyon deney sonuçlarının grafiği	50
Şekil 4.10. Saf ve katkılı bitümler için yumuşama noktası deney sonuçlarının grafiği	51
Şekil 4.11. Saf ve SBS katkılı Bitüm için BTDC grafiği	52
Şekil 4.12. Saf, SBS ve sasobit katkılı Bitüm için BTDC grafiği	53
Şekil 4.13. Saf ve SBS katkılı bitümün karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları	54
Şekil 4.14. Saf, SBS ve SB katkılı bitümün karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları	54
Şekil 4.15. Saf ve katkılı bitümler için Penetrasyon indeksi, Penetrasyon-viskozite sayısı ve Viskozite sıcaklık duyarlılık değerleri	57

ÇİZELGELER LİSTESİ

Tablo 2.1. 100 pen bitümün içeriğindeki dört grubunun tipik element analizi (Read ve Whiteoak, 2003).....	23
Tablo 2.2. Bitüm modifikasyon türleri (Lu ve ark., 2003), (Robert, 1996)	28
Tablo 3.1. TS EN 1426'ye göre bitümün penetrasyon limitleri	40
Tablo 4.1. Viskozite deney sonuçları	44
Tablo 4.2. Saf ve SBS katkılı bitümün karıştırma ve sıkıştırma sıcaklık aralıkları	47
Tablo 4.3. Saf, SBS ve SB katkılı bitümün karıştırma ve sıkıştırma sıcaklık aralıkları	48
Tablo 4.4. Saf ve katkılı bitümler için penetrasyon deney sonuçları	50
Tablo 4.5. Saf ve katkılı bitümler için yumuşama noktası deney sonuçları	51
Tablo 4.6. Saf ve SBS katkılı bitümün karıştırma ve sıkıştırma sıcaklık değerleri	52
Tablo 4.7. Saf, SBS ve SB katkılı bitümün karıştırma ve sıkıştırma sıcaklık değerleri	54
Tablo 4.8. Saf ve katkılı bitümler için PI değerleri.....	55
Tablo 4.9. Saf ve katkılı bitümler için pen-vis değerleri.....	56
Tablo 4.10. Saf ve katkılı bitümler için VTS değerleri.....	56

1. GİRİŞ

Türkiye Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) 2018 yılı toplam bütçesi 18 Milyar TL olarak belirlenmiştir. Bu bütçenin 9,5 Milyar TL'den fazlası ulaştırma (Otoyol, Devlet ve İl) yollarına ayrılmıştır. Türkiye'de yol ağının genişlemesinden dolayı 2015 yılı bütçesine göre % 250 oranında bir artış gözlenmektedir. Ulaştırma bütçesinden neredeyse %9 olan 0.85 Milyar TL bu yolların bakımı ve onarması için ayrılmıştır (URL1).

Yıllık bütçenin büyük bir kısmı yeni yolların inşası için değil mevcut asfalt kaplama ağının bakımı için harcanmaktadır. Asfalt kaplamanın bozulmaya karşı direncini arttıran veya kaplama ömrünü uzatabilen herhangi bir malzeme, teknik veya yöntem, önemli yıllık tasarruflarla sonuçlanacaktır. Asfalt modifikasyonu, çok sayıda denenmiş ve test edilmiş bir iyileştirme yöntemidir. Asfalt bağlayıcının fiziksel özelliklerini iyileştirmek için modifiye edicilerle bitümün temel özelliklerini değiştirmek, şu anda mevcut en etkin yöntemlerden birisidir. Polimer modifikasyonu, asfalt kaplamalarında tekerlek izi, yorulma hasarı, soyulma ve termal çatlamaya karşı daha iyi direnç gibi kanıtlı etkilerinden dolayı, asfalt kaplama endüstrisinde çok önemli faktör haline gelmiştir (Chen ve ark., 2002; Punith, 2005; Vlachovicova ve ark., 2007).

Bitümlü bağlayıcılar, plentte karıştırma, yola serme ve sıcak karışım sıkıştırma sırasında gerekli olan yüksek sıcaklıklarda yeterince akışkan veya işlenebilir kalmalıdır ve bu işlemler sırasında bağlayıcı yeterli akışkanlığı sağlayan sıcaklıklara erişmelidir (Kandhal ve ark., 1996).

Geleneksel şartnameler, modifiyeli bitüm için yüksek karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları belirlediklerinden dolayı, asfalt kaplama tasarım yöntemleri tarafından dikkate alınmamakta ve dolayısıyla kullanım için özel bir şartname bulunmamaktadır. Mevcut standart, modifiyeli bağlayıcılar için tedarikçiler tarafından belirlenen talimatlara uymaktır (Khatri ve ark., 2001).

Saf bitümlü bağlayıcılar, Newton tipi akışkanlar gibi davranmaktadırlar ve bu malzemeler için viskozite yüksek sıcaklıklarda kayma oranına bağlı değildir (Tang ve Haddock, 2006). Fakat modifiyeli bitümlü bağlayıcıların viskozite değerleri kayma oranına bağlı olduğu durumlarda, bu bağlayıcılar genellikle kayma incilmesi diye bilinen ve görünüşte plastik olarak bir görünüme göstermektedirler. Böylece Newton tipi olmayan akışkanlar gurubuna katılmaktadırlar (Yildirim, 2000).

Asfalt bağlayıcı viskozitesi, beklenen kaplama ömrünü ve maliyetleri kuvvetle etkileyebilmektedir ve dolayısıyla sözleşme ve inşaat yönetiminde dikkate alınması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır (Praticò ve ark., 2010).

Pek çok polimer modifiyeli bağlayıcı için (örneğin SBS (Stiren-Butadien-Stiren) katkılı bitümler) bağlayıcı çok yüksek sıcaklıklara ısıtıldıkça istenilen viskozitelere ulaşamamaktadır. Modifiyeli bağlayıcıların kullanılmasıyla ilgili ana sorunlardan biri, karıştırma ve sıkıştırma için belirtilen viskozitenin elde edilmesi için bu bitümlü bağlayıcıların çoğunun ısıtılması gereken yüksek sıcaklıklardır. Yüksek dereceli modifiyeli bitümlü bağlayıcıların büyük çoğunluğu 165°C'yi aşan sıcaklıklarda bu gerekenleri elde edebilir ve bu da aşağıdaki sorunlara neden olabilmektedir:

- Asfalt kaplamasında oluşan termal bozulmalar
- Yüksek toksik dumanlardan kaynaklanacak sağlık sorunları
- Artan yakıt tüketimi nedeniyle daha yüksek bir ekonomik maliyet
- Kısa dönem yaşlanmada artma

Son yıllarda, bitümlü sıcak karışımın üretilmesinde daha düşük karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklar elde etmek için ılık karışım asfalt (IKA) katkı maddeleri ortaya çıkmıştır. Ancak, yapılan bazı çalışmalara göre bu katkı maddelerinin, asfalt karışımının performansını etkilemediğini bildirmiştir (Zhang, 2010; Rashwan, 2012; Dai, 2016). IKA katkı maddelerin en yaygını, Sasobit katkı maddesidir.

Yapılan bir çalışmaya göre, bitümde katkı maddenin reolojik özelliklerini karakterize ederek optimum katkı maddesi oranı %7'yi aşmaması uygun görülmüştür. (Chen ve ark., 2003)

Bu çalışmanın amacı, saf bitümün karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarının belirlenmesinde kullanılan yöntemlerin arasında karşılaştırma yaparak, polimer katkılı bitümlere uygunlaşmasıdır. Bu uygunlaşma polimer katkı bitümlerin yüksek sıcaklık viskozitesini düşürerek gerçekleştirilmektedir. Viskozitelerin ölçümü için dönel vizkozimetre cihazı kullanılmıştır. SBS kraton katkı maddesi %2 ve %4 oranlarında Kırıkkale Rafinesinden elde edilen 50/70 penetrasyon sınıfı bitümlü bağlayıcı, SBS modifiye edici ile modfiye mikseri kullanarak karıştırılmıştır. Ayrıca Sasobit maddesi, üretici firma tarafından önerilen %3 oranında tüm SBS oranlı bitümlerle karıştırılmıştır. Elde edilen viskozite değerleri ile bitümün karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları, eş viskozite ve BTDC yöntemleri kullanarak karşılaştırılmıştır. Aynı zamanda SBS, Sasobit, SBS/Sasobit kompoze katkılı bitümlerin sıcaklık değişimine karşı hassasiyetleri araştırılmıştır.

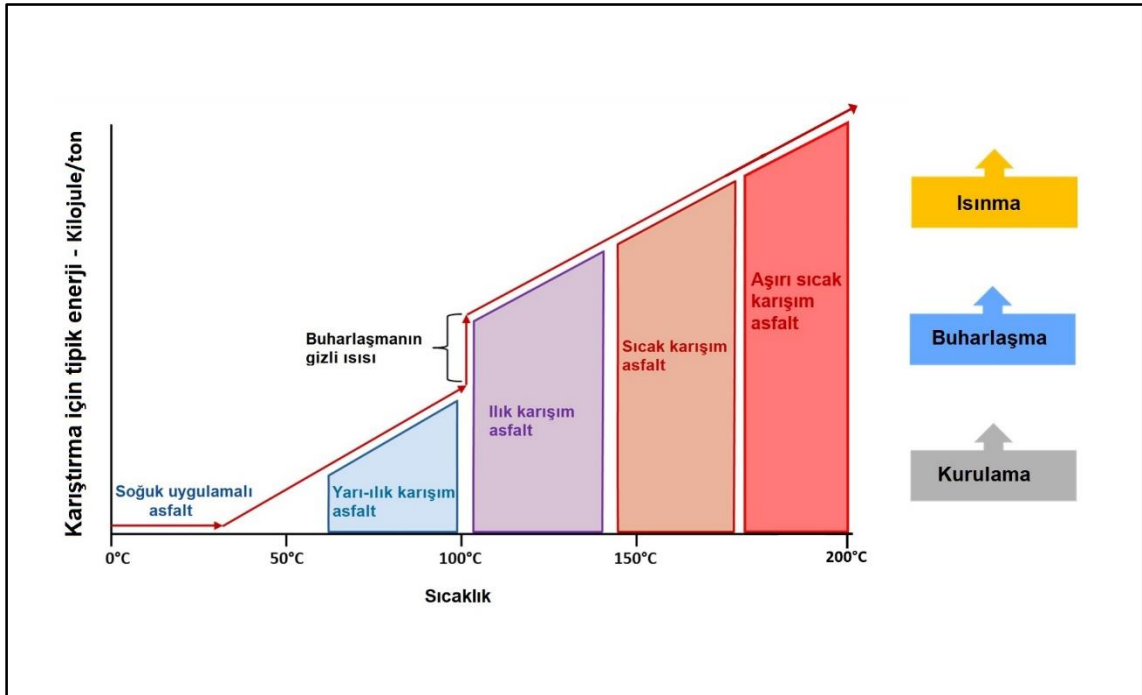
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Asfalt Karışımların Karıştırma ve Sıkıştırılması

Bitüm, viskoelastik bir malzemedir. Viskoelastik terimi, sıcaklık ve yükleme zamanı gibi değişkenlere bağlı olarak, bitümün hem viskoz hem de elastik davranışı gösterdiği anlamına gelmektedir. Yüksek sıcaklıklarda bitüm, viskoz bir sıvı gibi, düşük sıcaklıklarda ise elastik bir katı gibi davranır. Orta derece sıcaklıklarda, bitüm hem viskoz hem de elastik özellik göstermektedir. Bitüm ısıtıldığında, bağlayıcı maddenin agregayla karışmasına imkân vererek bir yağlayıcı olarak işlev görmektedir. Soğutmadan sonra, bitüm, agregaları bir arada tutmak için yapıştırıcı gibi davranmaktadır (D'Angelo ve ark., 2008).

Asfalt karışımları, üretim sıcaklığına göre aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır (Şekil 2.1):

- Soğuk Asfalt Karışım (0–30°C)
- Yarı Ilık (65–10°C)
- Ilık (110–140°C)
- Sıcak (145-170°C).
- Aşırı Sıcak Karışım (175-200°C) (Taş Mastik Asfalt)



Şekil 2.1. Farklı karışımların üretim sıcaklığına göre sınıflandırılması (D'Angelo ve ark., 2008).

Karıştırma işleminde, farklı agrega boyutları ilk önce karıştırılmakta, ısıtılmakta ve kurutulmaktadır. Sonradan, agregalar ve bitümlü bağlayıcısı karıştırma sıcaklığına kadar ısıtılmaktadır. Daha sonra agrega ve bağlayıcı karıştırılmaktadır. Bu işlem için, asfalt bağlayıcısı, üniform bir karıştırma için yeterli akışkanlık derecesinde olmalıdır. Bu malzemelerin karıştırmada nispi oranları, karışımın fiziksel özelliklerini ve karışım, asfalt kaplama olarak bitirildiğinde nasıl performans göstereceğini belirleyecektir.

Karıştırma işleminden sonra karışım, sıkıştırma sıcaklığında sıkıştırılmaktadır. Sıkıştırmanın amacı optimum hava boşluğu içeriğine ulaşmaktır. Sıkıştırma işlemi sırasında asfalt karışımı, agregaların yoğun bir konfigürasyona hareket etmesine izin vererek bir yağlayıcı görevi görecektir kadar akışkan bitüm bağlayıcısı içermelidir. Sıkıştırma sıcaklığı soğuduğunda asfalt çok sertleşmekte ve sıkıştırma son derece zorlaşmaktadır (Kandhal ve ark., 1996). Sıkıştırma sıcaklıklarının belirlenmesi, karıştırma sıcaklıklarına göre daha zor olmaktadır. Bu sıcaklıklarda bitüm Newton tipi olan davranıştan, Newton tipi olmayan davranışlı bir sıvıya geçiş göstermekte ve dolayısıyla herhangi belirli bir sıcaklıkta viskozitenin ölçülmesi sabit değildir (Priyadharshini ve ark., 2013).

2.2. Karıştırma Sıcaklığının Asfalt Karışımının Davranışına Etkisi

Günümüzde, Asfalt plantini daha düşük karıştırma sıcaklığında çalıştırmak için bir trend vardır. Daha düşük sıcaklıkta karıştırmak, esas olarak karışımın üretilmesinde gereken enerjiyi azaltmak için başlıca nedenlerden biridir. Daha düşük karıştırma sıcaklığı, daha düşük işletme maliyeti demektir. Bu düşük sıcaklıklar genellikle asfalt karışımların üretimi için daha az enerji gerektiren tamburlu karıştırıcının kullanılmasına yol açmaktadırlar. Çok düşük sıcaklıklarda karıştırmak, agrega etrafını saran bitümlü film tabakasının kalın olmasına neden olmaktadır. Üretim ve yapım sırasında asfaltın yüksek sıcaklıklara ısıtılması, karışımlarda kullanılan bağlayıcıların buharlaşmasına ve oksitlenmesine neden olur. Buharlaşma ve oksidasyon, bağlayıcıların sertliğini ve çatlamaya karşı hassasiyeti artırarak, kaplamanın fonksiyonel ve yapısal performansını olumsuz bir şekilde etkileyerek asfalt kaplamalarının bozulmasına neden olmaktadır. Yüksek üretim sıcaklığından dolayı oluşan buharlaşma ve oksidasyon ile asfalt bağlayıcıların bozulmaları kısa dönem yaşlanma olarak bilinmektedir (Lolly, 2013).

2.3. Sıkıştırma Sıcaklığının Asfalt Karışımın Davranışına Etkisi

Sıkıştırma sıcaklığının etkisi kalite kontrol / kalite güvence testi sırasında değerlendirilmektedir. Sıkıştırma sıcaklığının yanlış kontrolü çok belli edici bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Sıkıştırılmış BSK yoğunluğunun sıcaklığa çok fazla bağlı olduğu varsayılmıştır. Çalışmalar, sıkıştırma sıcaklığının 80°C dereceden 160° C dereceye arttırıldığında Marshall tokmağı ile elde edildiği hava boşluklarının yüzdesi yaklaşık 10,3'ten 7,1'e düştüğünü göstermiştir (Huner ve Brown, 2001). Diğer bir çalışmada ise sıkıştırma sıcaklığı, belirlenen sıcaklıktan 14°C arttırılmasıyla, VTM'de 5.5 % ve VMA'da %3 düşüş ve VFA'da %1 artış gözlenmiştir. Belirlenen sıcaklıktan 14°C düşürmesiyle ise VTM'de %7 ve VMA'da %2 artış ve VFA'da %2 düşüş belirlenmiştir (Yaqob, 2009).

2.4. Ilık Karışım Asfalt (IKA)

Son yıllarda, Ilık karışım asfalt (IKA) üretimine ve kullanımına olan ilgi artmıştır. IKA malzemeleri, ılık katkı maddelerinin eklenmesiyle bağlayıcının viskozitesini azaltabilir; Böylece, üretim ve sıkıştırma sıcaklıkları, geleneksel BSK için gerekli olanlara göre daha düşük olabilmektedirler. IKA katkı maddelerini tanıtarak, IKA üretmek için üç temel yol vardır: köpüklendirme teknikleri, organik veya balmumu katkı maddeleri ve kimyasal katkıları. Sasobit, en yaygın kullanılan IKA katkı maddelerinden birisidir. Bu katkı maddesi bağlayıcının, daha düşük bir üretim sıcaklığında, yüksek sıcaklıklarda BSK ile elde edilen aynı veya benzer viskozite seviyesine ulaşmasını sağlamaktadır. Bir asfalt karışımının üretim sıcaklığının azaltılması, büyük faydalar elde etmek demektir, Bunlar da (Van Den Heever, 2014) ;

- Kyoto Protokolü tarafından belirlenen Sera gazı emisyonların azaltılması
- Gelişmiş çalışma şartları ve sağlık anlamına gelen toksik dumanların azaltılması
- Dünya kaynaklarının tükenmesi açısından daha ekonomik ve sürdürülebilir olan daha düşük yakıt ve enerji tüketimi
- IKA'da, geri dönüşüm bitüm, BSK'dan daha fazla kullanılabilir
- Daha düşük soğutma hızından dolayı daha uzun mesafelere taşınabilir
- Gerekli sıkıştırma enerjisinin azaltılması
- Hedef yoğunluğu elde ederken daha düşük sıcaklıklarda serilmeye izin verir

- Daha uzun serilme süresi

Çalışmalara göre Sasobit, normal Asphalt karışım performansını etkili bir şekilde iyileştirmemiştir. Yapılan çalışmada Sasobit ılık karışım katkı maddesi incelenmiştir. Virginia'da uygulanan deneme kesitleri ile laboratuvar test sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Çalışmada değerlendirilen BSK ve IKA kesitlerinin, ilk iki hizmet yılı içinde benzer sonuç verdiklerini görmüşlerdir. IKA ve BSK kesitlerinin performansı, nem hassasiyeti, tekerlek izi potansiyeli ve yorulma direncine göre benzerlik göstermiştir. Ayrıca deneme kesitleri için uzun dönem performansı ve bozulmaları tahmin etmek için Mekanistik Ampirik Kaplama Dizayn Metodu (MEPDG) kullanılmıştır. (Diefenderfer ve Heaton, 2008)

2.5. Kaynak Taraması

(Yıldırım ve ark., 2000) tarafından yapılan bir çalışmaya göre, karıştırma ve sıkıştırma sıcaklığını belirlemek için geleneksel viskozite ve sıcaklık (eş viskozite) yönteminin kullanılması, modifiyeli bağlayıcılar için değil katkısız bağlayıcılar için uygundur. Saf bağlayıcıların temelde Newton tipi davranış gösterdikleri ve viskozitelerin kayma oranına bağlı olmadığını ileri sürmüşlerdir. Belirli sıcaklıklarda modifiye edilmiş bağlayıcıların viskoziteleri, kayma oranına bağlı olduğunu kayma incelenmesi veya yalancı plastiklik olarak adlandırılan bir özellik sergileme eğiliminde olduklarını belirtmişlerdir. Dönel viskometresindeki kayma oranı, sıkıştırma sırasında bir Gyratory Kompaktör içindeki kayma oranlarını simüle etmediğini öne sürmüşlerdir. Bu çalışma ile, Superpave gyratory kompaktör içindeki kayma oranının önceden hesaplanması gerektiği ve daha sonra sıcaklık-viskozite grafiği üzerindeki noktaların bu kayma oranlarında viskozitenin ölçülmesiyle elde edilmesi gerektiği sonucuna varmışlardır. İki noktada viskozite değeri elde edildikten sonra, viskozite-sıcaklık grafiği ile karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları belirlenebilir. Bu çalışmada, Superpave Gyratory Compactor'un içindeki kayma oranı 490 s^{-1} olarak hesaplanmış ve karıştırma, sıkıştırma sıcaklıklarının, $(0.275 \pm 0.03 \text{ Pa.s}$ ve $0.550 \pm 0.06 \text{ Pa.s})$ viskozite aralıklarıyla 6.8 s^{-1} yerine 490 s^{-1} dikkate alınarak belirlenmesi gerektiği belirtmiştir. Bu yöntem Yüksek Kayma Oranı Viskozitesi olarak belirlenmiştir.

Bitümlü sıcak karışımda modifiyeli bitüm kullanımı, son yirmi yılda çok büyük bir hızla artmıştır. Modifiyeli bitüm için karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarının belirlenmesinde kullanılan geleneksel (eş viskozite) metodu, genellikle modifiye bağlayıcılar durumunda aşırı yüksek sıcaklıklara neden olan, bitümün basit viskozite ölçümlerine dayanmaktadır. Yapılan çalışmada, stiren-butadien-stiren (SBS) ve etilen vinil asetat (EVA) ile % 3, 5 ve 7 oranlarda modifiye edilmiş saf bitüm, Dinamik Kesme Reometresi (DSR) kullanılarak test edilmiştir. Karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarının belirlenmesi için iki yeni yöntem, İstikrarlı kayma akışı (SSF) ve Faz açısı yöntemi kullanılmıştır. Yapılan deneylerde, hem İstikrarlı kayma akışı (SSF) hem de Faz açısı yöntemi, eş viskozite yöntemine göre modifiyeli bitüm için daha düşük karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları verdiği sonucuna varılmıştır (Singh ve Kumar, 2015).

Modifiyeli asfalt kullanımı son yirmi yılda çok daha yaygın hale gelmiştir. Asfalt kaplamaların performansını, çeşitli iklim ve yükleme koşullarında arttırmak için birçok modifiye çeşidi kullanılmıştır. Geri dönüştürülmüş parçalanmış lastik, uzun yıllar boyunca çok başarılı bir şekilde bitümlü bağlayıcı katkı maddesi olarak kullanılmıştır. Genel olarak, kırıntı kauçuk modifiyeli (CRM) bağlayıcı üretiminde, bağlayıcı viskozitesinin ölçülmesiyle karıştırma ve sıkıştırma sıcaklığı belirlenmektedir. Saf bitümlü bağlayıcının viskozite ölçümü için kullanılan genel yöntem, CRM bağlayıcı için çok yüksek bir Karıştırma ve Sıkıştırma Sıcaklığına yol açmaktadır. Bu çalışmanın amacı, bağlayıcı ile CRM'nin karıştırılması için güvenilir bir laboratuvar yaklaşımı geliştirilmesi, belirlenmesi ve hakkında bazı tavsiyelerin verilmesidir. Aynı zamanda parçalanmış lastik modifiyeli bitüm bağlayıcının karıştırma ve sıkıştırma sıcaklığının optimizasyonu için uygun laboratuvar test yöntemlerinin tanıtılmasıdır (Mohammadi ve Khabbaz, 2013).

Polimer modifiye bitümler (PMB'ler), geleneksel bitümlü bağlayıcıların performans özelliklerini birçok yönden geliştirme yeteneğine sahiptir. Bir polimerin bitüme ilavesinden etkilenen bir özellik, modifiye bitümün viskozite-sıcaklık karakteristiğidir. Yapılan çalışmada, PMB'lerin viskozite-sıcaklık karakteristilerinin belirlenmesinde Bitüm Test Veri Grafiği (BTDC) ve geleneksel bağlayıcı özelliklerinin uygunluğunun değerlendirilmesi açıklanmaktadır. Çalışmada kullanılan test metodolojisi, dinamik bir kesme reometresi (DSR) ile ölçülen temel reolojik verilerle ampirik tabanlı test parametrelerini (Penetrasyon, Yumuşama Noktası ve viskozite) aynı grafikte göstermektir. Stratejik Karayolu Araştırma Programı (SHRP) kapsamında ve

Puzinauskas tarafından 1960'larda geliştirilen iki teknik, BTDC'de birleştirmek için, DSR parametrelerini (kompleks viskozite, faz açısı ve gerilme hızı) sıfır kayma viskozitesine dönüştürmek düşünülmüştür. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, BTDC'nin yüksek sıcaklık viskozitesinin arttırılması açısından polimer modifikasyonunun avantajlarını gösterebilmesine rağmen, grafik, geleneksel viskozite - sıcaklık grafiklerinden bulunanlara ek herhangi bir bilgi sağlamadığını göstermektedir. Sonuçlar ayrıca, Yumuşama Noktası gibi ampirik bazlı bağlayıcı testlerinin, yüksek oranda modifiye edilmiş PMB'lerin performansının belirlenmesinde uygun olmadığını göstermektedir (Airey, 2001).

Hunter, (2000) ayrıca, karışımın üretimi ve serilmesi sırasında belli kilit noktalarda bitüm viskozitesi hakkında bilgi sahibi olmanın, özellikle agreganın kaplanması ve karışımın sıkıştırılması sırasında, önemli olduğunu belirtmiştir, zira düşük sıcaklıktaki bitümün fiziksel hali serttir ve yüksek viskoziteye sahiptir. Bu madde, katı ve gevrek bir yapıya benzemektedir, ancak daha yüksek sıcaklıkta sıvı ve düşük viskoziteli bir maddeye dönüşmektedir (Hunter, 2000).

Son yıllarda, düşük karıştırma sıcaklıklarında çalışan asfalt tesislerine doğru bir eğilim olmuştur. Bu düşük sıcaklıklar temel olarak karışımların üretilmesi için enerji tasarrufuna duyulan ihtiyaçtan kaynaklanmaktadır. Daha düşük sıcaklıklarda karıştırmak, daha düşük sıkıştırma sıcaklıklara sonuçlanmaktadır. Bu düşük sıkıştırma sıcaklıklarının performans üzerindeki etkisi henüz belirlenmemiştir, ancak laboratuvar çalışmaları, ele alınması gereken bazı sorulara yol açmıştır. Bu çalışmanın amacı, Teksas Ulaştırma Araştırmaları Merkezi'nde yürütülen laboratuvar çalışmalarını özetlemek ve mühendislik özelliklerine göre daha düşük sıkıştırma sıcaklıklarının etkisini incelemek için asfalt karışımlarının saha incelemesini yapmaktır. Saha çalışması, karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları, çalışma kontrol laboratuvarı numunelerinin yoğunluğunu ve Hveem stabilite analizini değerlendirmek için yapım kayıtlarını içermektedir. Ayrıca, gözlenen bozulmaların doğasını ve kapsamını belirlemek için bir durum araştırması yapılmıştır. Laboratuvar çalışması, Hveem stabilitesini, kuru ve ıslak statik çekme mukavemetlerini belirlemek için bir sonraki testler ile sahada gözlemlenen yoğunluk ve farklı sıkıştırma sıcaklığı kombinasyonları altında örneklerin hazırlanmasını içermiştir. Çalışmada sunulan sonuçlar, sıkıştırma kontrol parametreleri ve bozulma oluşumu arasındaki etkileşimin bir tartışmasını içermektedir. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar, düşük

karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarının, sıcak asfalt karışımın mühendislik özellikleri üzerinde olumsuz etkiler yaptığını göstermektedir (Kennedy ve ark., 1984).

(Stuart, 2002) tarafından yapılan bir araştırmaya göre, belirli bir bitümün karışım sıcaklığının belirlenmesinin avantajı, makul bir işletme maliyetinde iyi kalitede bir karışımın üretilmesidir. Aşırı yüksek sıcaklıkların bitümlü bağlayıcıya zarar verebileceği, toksik dumanlar oluşturabileceği, bitümlü bağlayıcının akmasına neden olabileceği ve dolayısı ile bazı karışımlarda, düşük bitüm içeriğine yol açabileceğini göstermektedir. Bağlayıcının çok yüksek sıcaklıkta sıkıştırılması ayrıca mikro çatlaklara ve karışımın yığılmasına, çok düşük sıcaklıkta sıkıştırılması halinde, agregaya ile bağlayıcı arasındaki bağların kopması veya agreganın ezilmesine neden olabilmektedir. Sıkıştırma sıcaklığının belirlenmesi, bitüm viskozitesinin kontrol edilmesine yardımcı olmakta ve bu da, bitümün agregayı kaplama kabiliyetini, agregaların kayması için yeterli yağlamayı sağlamasını ve sıkıştırma sırasında yoğun kütleye dönüşmesini etkilemektedir.

Ticari katkı maddesi olan Sasobit katkı maddesinin (SB), 60/70-penetrasyon sınıfı bitümün viskozite özellikleri üzerindeki etkisi henüz tam olarak anlaşılamamıştır. Bitümün viskozitesi, işlenebilirliği etkileyen akmaya karşı direncinin, karışımın deformasyonuna karşı direncinin ölçüsüdür. Çalışmada, bir modifiye edici olarak SB kullanılmasıyla, ılık karışım asfalt (IKA) teknolojisi konusunda bitümün modifikasyon işlemi ile kontrol edilmiştir. Çalışmada, Brookfield viskozimetresi kullanılarak modifiye bitümün viskozite ölçümleri incelenmiştir. Çeşitli (SB) yüzdeleri ile (%1, 2, 3, 4 ve 5) modifiye edilmiş bağlayıcı araştırılmıştır. Bu çalışma, düşük sıcaklıkta bağlayıcının dinamik viskozitesini arttırmaya ve yüksek sıcaklıkta kinematik viskoziteyi azaltmaya olan (SB) katkı maddesinin etkisi hakkında değerli bir bilgi sağlamıştır. Bağlayıcıda S katkı maddesinin olması, bağlayıcının, yüksek hidrokarbon moleküler içermesine neden olmaktadır, bunun da, modifiyeli bağlayıcının viskozite özelliklerini geliştirmesi ve ılık asfalt karışımlarında kullanıldığında deformasyona karşı direncini arttırması beklenmektedir (Yero ve Hainin, 2011).

Polimer içerik / yapı ve bitüm tipinin stiren-butadien-stiren (SBS) polimer modifiye bitümlerin viskozite özelliklerine etkileri araştırılmıştır. Çalışma, SBS polimerlerinin etkisiz katkı maddeleri olmadıklarını ve modifiyeli bitümlerin kinematik ve dinamik viskozitelerindeki artışların polimer içeriği ile doğru orantılı olmadıklarını

göstermiştir. Polimer içeriği, modifiye bitümün ağırlığınca %3'den %6'ya arttığında belirgin bir viskozite artışı gözlenmiştir. Yeterince yüksek polimer muhtevası ile modifikasyon da, bitümlerin Newton tipi olmayan davranış derecesini arttırmıştır. Saf bitüm ve %3 SBS modifiyeli bitümler, esasen kayma oranından bağımsız olarak gözlenirken, %6 veya %9 SBS içerenler, kayma-incelmesi davranışı sergilemiştir (Hızın artmasıyla viskozitenin düşmesi olayına kayma incelmesi denir). Doğrusal SBS ile modifiye edilmiş bitümlere kıyasla, farklı kimyasal yapıları SBS'ye sahip olan modifiye edilmiş bitümler, daha yüksek bir kayma incelmesi davranışı sergilemiştir. Bu etkiler, kayma oranı ve sıcaklığa bağlılardır. Newton tipi olmayan davranışların artan derecesinin kinematik ve dinamik viskoziteler arasındaki korelasyonu etkiledikleri gözlenmiştir (Lu ve Isacsson, 1997).

Ilık karışım asfalt (IKA), enerji tasarrufu ve çevresel faydalar nedeniyle son yıllarda artan bir popülerlik kazanmaktadır. IKA'nın mekanizması, bitümün viskozitesini azaltmak ve bitümlü bağlayıcıların reolojik davranışlarını değiştirmek ve böylece karışımın işlenebilirliğini daha düşük sıcaklıkta iyileştirmek için bazı katkı maddeleri veya teknolojiler kullanmaktır. Bu çalışmada, viskoziteyi düşürmek ve böylece ılık karışım asfalt üretimi sırasında karıştırma ve sıkıştırma sıcaklığını azaltmak için parafin bazlı bir katkı maddesi Sasobit kullanılmıştır. Çalışmada, VG 30 (30 dereceli viskozite) sınıf bitüm bağlayıcı kullanılmıştır. Sasobit, bağlayıcı ağırlığınca %2, %3 ve %4 oranında eklenmiştir. Brookfield viskozimetre, 90, 120, 150 ve 180°C test sıcaklıklarında sasobit içeren ve içermeyen bağlayıcıların viskozitesini belirlemek için kullanılmıştır. Dinamik Kesme Reometresi, saf ve modifiyeli bağlayıcıların reolojik davranışlarını incelemek için kullanılmıştır. Çalışma, bağlayıcıya Sasobit eklendiğinde, karıştırma, serme ve sıkıştırma sıcaklıklarının önemli ölçüde azaltılabileceğini göstermektedir. Serme ve sıkıştırma sıcaklığı, %4 sasobit eklendiğinde VG-30 bitüm ile 80°C kadar düşük olabilmektedir ve bu nedenle bu düşük sıcaklıkta bitümlü karışım üretildiği zaman, kirletici emisyon miktarında genel bir azalma olacaktır (Behl ve ark., 2013).

Yapılan bir araştırmada IKA katkı maddesini içeren bağlayıcıların uzun dönem yaşlanma karakterizasyonu değerlendirilmiştir. 60/80 penetrasyon sınıfı bitüm ve SBS modifiyeli bağlayıcı, IKA katkı maddesi ile modifiye etmek üzere, bu iki tip bitüm saf bitüm olarak varsayılmıştır. IKA katkısı Sasobit, %2, %3, %4 ve %5 oranlarında saf bitüm ile karıştırılmıştır. Ilık modifiye edilmiş bağlayıcılar, dönen ince film etüvü

(RTFO) ve basınçlı yaşlandırma kabı (PAV) vasıtasıyla yaşlandırılmıştır. Penetrasyon, Dönel viskozimetre (RV), dinamik kesme reometresi (DSR) ve eğilme kırışı reometresi (BBR) gibi bir dizi laboratuvar çalışması, hem saf bağlayıcılar hem de uzun dönem yaşlandırılmış bağlayıcılar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bağlayıcının yaşlanma oranları hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, ılık asfalt katkı maddesi ile modifiye edilmiş bağlayıcı özelliklerin ve kolloid yapılarının belirlenmesinde, saf bitümlü bağlayıcıların önemli bir rol oynadığını göstermiştir. Bununla birlikte, Saf ve ılık modifiyeli bağlayıcıların yaşlanma düzenlemesine kıyasla Sasobit, ılık modifiyeli bağlayıcıların uzun dönem yaşlanma karakterizasyonu üzerinde (saf bağlayıcı türünden etkilenecek) çok az olarak olumlu etkiye sahiptir (Ji ve ark., 2013).

Polimer modifikasyonu, bitümün eksikliklerini gidermek ve böylece asfalt karışımlarının performansını arttırmak için bir çözüm sunmaktadır. Asfalt bağlayıcıların modifikasyonu birkaç amaca hizmet edebilmektedir. Bağlayıcının yüksek ve düşük bozulma sıcaklık derecelerinin arasındaki aralığı genişleterek bir bağlayıcının genel performansını artırabilmektedir. Bu çalışmada VG30 bitüm ve iki polimer: Stiren Butadien Stiren (SBS) blok kopolimer ve Etilen Vinil Asetat (EVA) polimerleri modifiye edici olarak kullanılmıştır. SBS kopolimerler, kendi kuvvet ve esnekliklerini, moleküllerin fiziksel ve çapraz bağlamasından üç boyutlu ağlara dönüştürmektedir. SBS içeriğinin arttırılması, polimer sünmesinin artmasıyla sonuçlanmakta, bu da sırasıyla asfalten'de artış ve malten içeriğinde bir azalış ile sert ve viskoz kıvam oluşmasına neden olmaktadır. Hâlbuki EVA, oluşabilen deformasyonlara direnmek için güçlü, üç boyutlu, rijit bir ağ oluşturması ile bitümün özelliklerini iyileştirmektedir. Penetrasyon, yumuşama noktası, penetrasyon indeksi ve kütle kaybı gibi fiziksel özelliklerdeki değişim incelenmiş ve modifikasyon öncesi ve sonrası karşılaştırılmıştır. Dinamik kayma reometresi kullanılarak modifikasyon öncesi ve sonrası kompleks modül ve faz açısı gibi reolojik parametreler incelenmiştir. Sonuçlar, polimer modifikasyonunun penetrasyon değerinde azalmaya, yumuşama noktasında ve tekerlek izi parametresinde ($G' / \sin \delta$) artışa neden olduğunu göstermektedir (Singh, 2012).

2.6. Bitümün Viskozitesi ve Diğer Özellikleri İçin Temel Terminoloji

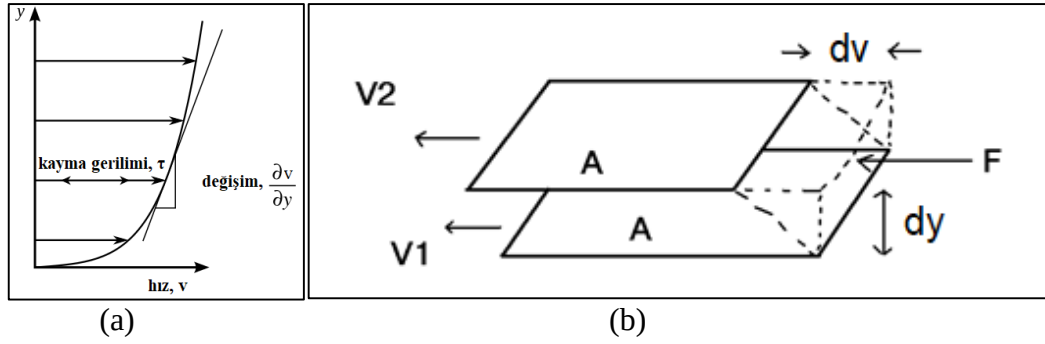
Reoloji, maddenin akışı veya deformasyonu ile ilgilenen bir bilimdir. Bitümlü bağlayıcı reolojisi hem yüksek hem de düşük sıcaklıklarda özelliklerini içermektedir. BSK'da bitümlü bağlayıcının deformasyonu, BSK'nın kaplama performansının belirlenmesinde önemlidir (Michon ve ark., 1997).

Asfalt karışımı, karıştırma ve uygulama süresinde yüksek sıcaklıklara maruz kaldığından dolayı, bitümlü bağlayıcının reolojik özellikleri yüksek sıcaklıklarda ölçülmektedir. Ayrıca, hizmet sürecinde düşük sıcaklıklara maruz kaldığından dolayı, bu özellikler düşük sıcaklıklarda da ölçülmektedir. Soğuk havalarda bitümlü bağlayıcılar elastik katı maddeler gibi davranmaktadır. Orta sıcaklıklarda ise bitümlü bağlayıcılar, hem viskoz sıvıların hem de elastik katıların özelliklerini sergilemektedir. Bitümün geniş bir sıcaklık aralığında (örneğin, -20 ila 180 °C) değerlendirilmesi için tek bir alet kullanılmamaktadır (Institute, 1989). Asfalt bağlayıcının reolojik özellikleri sıcaklıkla değiştiği için, reolojik karakterizasyon iki önemli faktör içermektedir (Speight, 2015).

Farklı bitümlü bağlayıcıları karşılaştırmak için bu bağlayıcıların reolojik özellikleri bazı ortak referans sıcaklıklarda ölçülmelidir. Bir bitümlü bağlayıcıyı tam olarak karakterize etmek için, reolojik özellikleri, hizmet ömrü boyunca karşılaşılabileceği sıcaklık aralığında incelenmelidir.

2.6.1. Viskozite

Viskozite, bir akışkanın iç sürtünmesinin ölçüsüdür. Bu sürtünme, bir akışkanın tabakası başka bir tabakaya göre hareket ettiğinde ortaya çıkmaktadır (Şekil 2.2). Sürtünme ne kadar büyük olursa, bu harekete neden olmak için gerekli olan kuvvet miktarı da o kadar büyüktür ki buna kayma denilmektedir. Kayma, bir sıvının dökme, yayılma, püskürtme veya karıştırması sırasında olduğu gibi fiziksel olarak hareket ettirildiğinde gerçekleşmektedir. Yüksek viskoziteli akışkanlar, daha düşük viskoziteli akışkanlara göre hareket etmek için daha fazla kuvvet gerektirmektedir. Laminer akış ve basit viskoz sıvılar ile bu kuvvet, hareket ettirilen yüzeyin alanı ve hareketin diğer yüzeye göre hızıyla doğru orantılıdır Şekil 2.2 (a). Hâlbuki bu kuvvet, yüzeyler arasındaki mesafeyle ters orantılıdır (Yildirim ve ark., 2000). Böylece,



Şekil 2.2. Viskozitenin temsili (Hoiberg, 1964)

$$F = \eta A (dv / dy) \quad 2.1$$

$$\text{Veya } \tau = F / A = \eta (dv / dy) \quad 2.2$$

Burada

dv/dy = hız değişimi,

F = direnç gücü (N),

A = yüzey alanı(m^2),

d = yüzeyler arasındaki mesafe (m),

V = rölatif hız (m/s) ve

τ = kayma gerilimi (Pa).

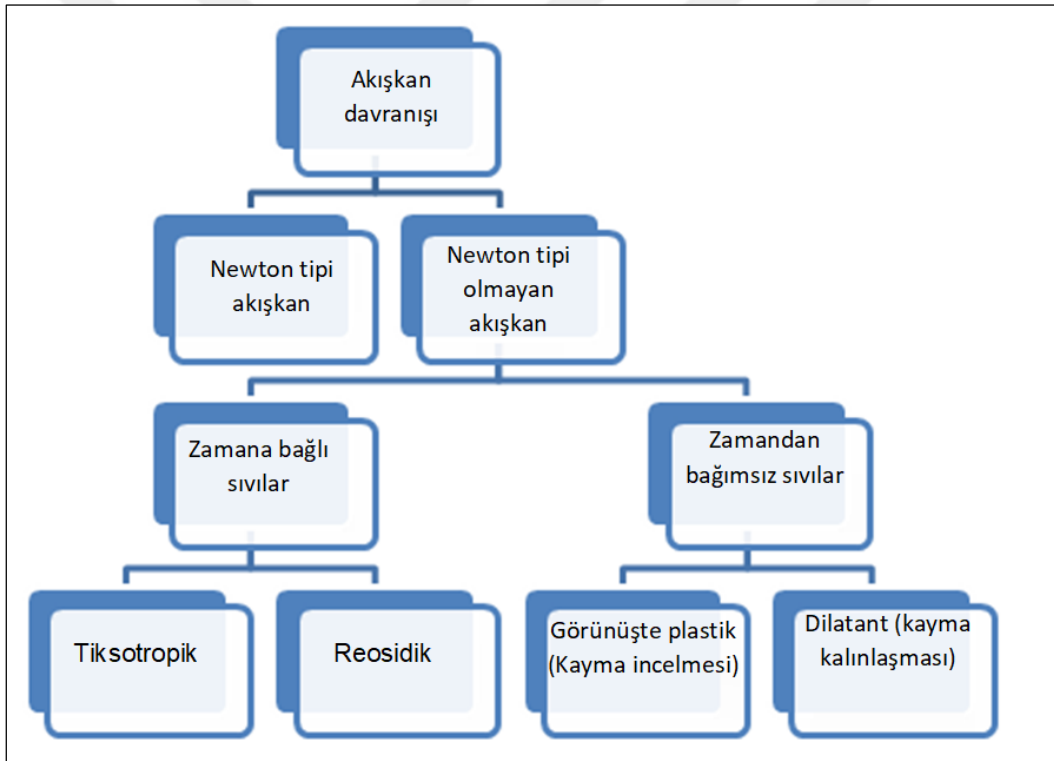
η Faktörü viskozite katsayısı olarak adlandırılmaktadır. Hız değişimi, dv / dy , ara tabakaların birbirine göre hareket ettiği hızın bir ölçüsüdür Şekil 2.2 (b). Hız değişimi, sıvının kaymasını tanımlamakta ve kayma oranı olarak adlandırılmaktadır. F / A terimi, kayma eylemini üretmek için gereken birim alandaki kuvveti göstermektedir. Aynı zamanda kayma gerilmesi olarak da anılmaktadır. Bu basitleştirilmiş terimleri kullanarak, viskozite aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$\eta = \text{kayma gerilimi} / \text{kayma oranı}$$

Dinamik viskozite, uzunluk, kütle ve zamanın temel birimlerinde ölçülen bir akışkanın kendi parçacıklarının relatif hareketine karşı direnci tanımlamaktadır. Mutlak veya dinamik viskozite birimi, ($g \cdot cm^{-1} \cdot s^{-1}$) bir boyutlarına sahip olan poise'dir veya ($kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$) boyutlarında Pa.s'dir (Levy 1962).

Bitümlü bağlayıcıların reolojik özelliklerini etkileyen çeşitli parametreler vardır. Sıcaklık, bitümlü bağlayıcının reolojik davranışı üzerinde etkili olabilecek en belirgin faktörlerden biridir. Bitümlü bağlayıcı büyük sıcaklık değişimlerine maruz kaldığından dolayı, sıcaklığın viskozite üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi gereklidir (Wegan ve Brûlé, 1999).

Kayma oranı, modifiye asfalt bağlayıcıların reolojik davranışlarının değerlendirilmesinde dikkate alınması gereken önemli bir faktördür. Bu bağlayıcılar genellikle Newton tipi olmayan, psödoplastik (görünüşte plastik) akış davranışı göstermektedir. Bitümlü bağlayıcılar, inşaat sırasında çeşitli kayma oranlarına maruz kalmaktadır. Bu kayma oranı değerleri belirlenmemiş ise bir tahmin yapılmalıdır. Viskozite ölçümleri, tahmin edilen değerlere mümkün olduğunca yakın olmalıdır. Numune ve çevresinin durumu, ölçümlerin sonuçları üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilmektedir. Kayma koşullarında geçen süre, tiksotropik ve reosidik malzemeleri açıkça etkilemektedir (Sherman, 1994). Şekil 2.3’de akışkan davranışlarına göre akışkan tipleri gösterilmiştir.

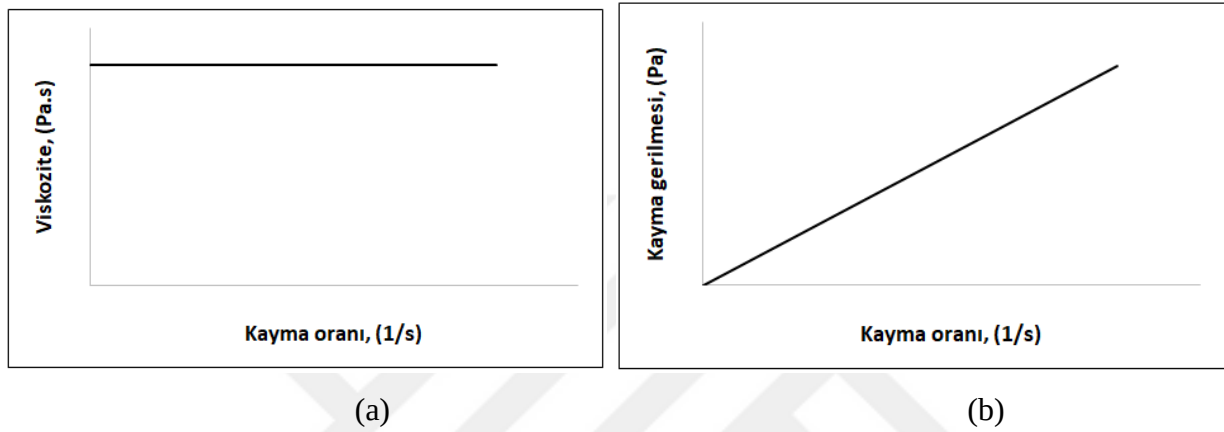


Şekil 2.3. Akışkan davranışlarının şeması (Sherman, 1994)

Bir viskozite ölçümünden önce bitüme hangi kaynaktan alındığı ve hangi sınıfta olması önemli ölçüde sonucu etkileyebilmektedir. Böylece, yaşlanma etkisini en aza indirmek için depolama koşulları ve örnek hazırlama teknikleri tasarlanmalıdır. Polimerler ve çözücüler gibi katkı maddelerin miktarı, bitümlü bağlayıcıların viskozitesini etkileyen bir başka faktördür.

2.6.1.1 Newton tipi akışkanlar

Newton tipi akışkan davranışı, çeşitli akış davranışlarından biridir. Bir Newton tipi akışkan, Şekil 2.4'de grafiksel olarak temsil edilir. Şekil 2.4 (a), kayma gerilimi ve kayma oranı arasındaki ilişkinin düz bir çizgi olduğunu göstermektedir. Şekil 2.4 (b), akışkanın viskozitesinin, kayma oranı veya kesme gerilimi değiştikçe sabit kaldığını gösterir.



Şekil 2.4. Newton tipi akışkanların reolojik özelliklerini gösteren genelleştirilmiş eğriler (Irgens, 2014)

Modifiye edilmemiş bitümlü bağlayıcılar, yüksek sıcaklıklarda Newton tipi akışkanlar gibi davranmaktadır. Pratikte bunun anlamı, orta ve yüksek sıcaklıklarda bir Newton tipi akışkanının viskozitesi, onu ölçmek için hangi viskozimetre modelinin veya deformasyon oranının kullanıldığına bakılmaksızın sabit kalacağıdır.

2.6.1.2. Newton tipi olmayan akışkanlar

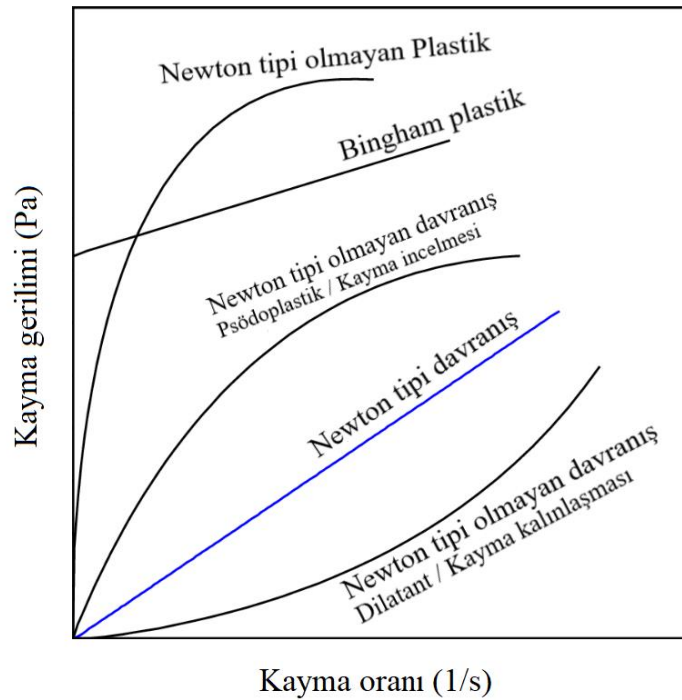
Bir akışkanın kayma gerilimi/kayma oranı ilişkisinin sabit olmadığı durumda bu akışkan yaygın olarak Newton tipi olmayan akışkan olarak tanımlanmaktadır. Diğer bir deyişle, kayma oranı değiştiğinde, kayma gerilimi aynı oranda değişmemektedir. Bu nedenle, bu tür bir akışkanın viskozitesi, kayma oranı değiştikçe değişecektir.

Viskozimetre modelinin deneysel parametreleri ve deformasyon oranları, Newton tipi olmayan akışkanların viskozitesi üzerinde bir etkiye sahiptir. Bu viskoziteye akışkanın görünür viskozitesi denir ve sadece belirgin deneysel parametreler sağlandığında ve doğru bir şekilde yapıldığında hatasız belirlenebilmektedir (Yıldırım ve ark., 2000).

Newton tipi olmayan akış mekaniksel bir sorundur. Simetrik olmayan nesneler birbirinden geçerken, akış sırasında olduğu gibi, onların boyutları, şekilleri ve birbirine sürtünmeleri, onları taşımak için ne kadar güç gerektiğini belirlemektedir. Farklı bir kayma oranı, parçacıkların konumlandırmaları farklı olabilmekte ve hareketin sürdürülmesi için az ya da çok kuvvet gerekebilmektedir. Simetrik olmayan nesneler, büyük moleküller, kolloidal parçacıklar ve kil polimerler gibi diğer asılı parçacıklardır (Sherman, 1994).

Her biri akışkan viskozitesinin, kayma oranındaki değişime karşılık olarak değişme şekli ile karakterize edilen, birkaç Newton tipi olmayan akış davranışı çeşidi vardır. Newton tipi olmayan akışkanların en yaygın türleri psödoplastik (görünüşte pilastik), dilatan ve Bingham-plastiktir.

Psödoplastik (görünüşte pilastik): Bu tip bir akışkan, Şekil 2.5'de gösterildiği gibi artan bir kayma oranıyla azalan bir viskozite göstermektedir. Çoğu modifiyeli bitüm bağlayıcılar, bu tür davranışları göstermektedir. Psödoplastiklik ayrıca kayma incelmesi akış davranışı olarak da adlandırılmaktadır (Irgens, 2014).



Şekil 2.5. Newton tipi olmayan akışkanların reolojik özelliklerini gösteren genelleştirilmiş eğriler (Irgens, 2014)

2.7. Bitümün Karıştırma ve Sıkıştırma Sıcaklıklarının Belirlenmesinde Kullanılan Yöntemler

Viskozite, bir akışkanın iç sürtünmesinin bir ölçüsüdür. Buna göre, karıştırma ve sıkıştırma sırasında önemli bir faktördür. Viskozite çok yüksek ise, istenen yoğunluğu elde etmek çok zor olacak ve numune uygun şekilde karıştırılmayacak ve sıkıştırılmayacaktır. Viskozite çok düşük ise, agrega yapısı boyunca asfalt bağlayıcının düzgün dağılımını sağlamak zor olabilmektedir. Sıcaklık viskozite üzerinde önemli bir etkiye sahiptir, bu nedenle karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları viskozite tarafından kontrol edilmektedir (Hensley ve Palmer, 1998). Belirli bir bitümlü bağlayıcının karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarının belirlenmesi için viskozitenin kullanılması, farklı derecelerde sıcaklık duyarlılığına sahip olan bitümler arasındaki işlenebilirlik farklılıklarını ortadan kaldırmaya yöneliktir (Von Quintus, 1991).

Eş viskozite sıcaklık aralığı, karışım tasarımları ve saha üretimi için karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarının belirlenmesinde uzun süredir kullanılmaktadır. Bu yöntem, aynı agrega granülometrisine sahip iki karışımın, benzer bitüm viskozitesinde, yumuşak veya sert bağlayıcı ile karıştırıldıkları sürece, benzer hacimsel özellikler sergilediklerini varsaymaktadır.

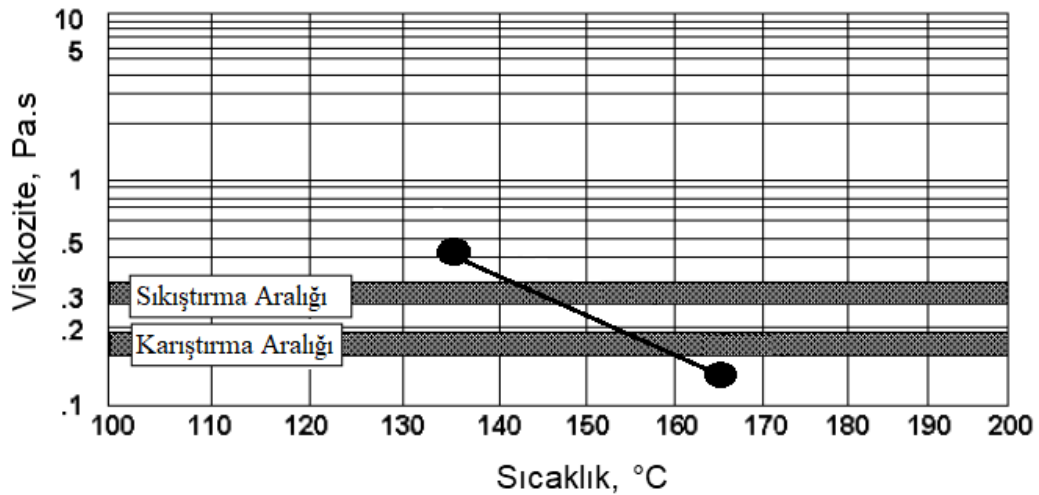
2.7.1. Bitümün viskozite-sıcaklık grafiği (eş viskozite yöntemi)

Asfalt Enstitüsü, 1962 yılında “Asfalt Betonu ve Diğer Sıcak Karışım Tipleri için Karışım Tasarım Yöntemleri” yayınında bitümün viskozitesine dayanan laboratuvar karıştırma ve sıkıştırma sıcaklık aralıkları için ilk tavsiyeyi sunmuştur. Bu yöntemle göre, bitümün ısıtılması gereken, sırasıyla, 85 ± 10 saniye ve 140 ± 15 saniye Saybolt Universal viskoziteleri üretecek sıcaklık, karıştırma ve sıkıştırma sıcaklığı olarak alınmalıdır. Saybolt-Furol viskozitesi, belirli bir miktarda sıvının belirtilen boyutlardaki bir delikten akması için geçen süreye göre ölçülen bir sıvının viskozitesidir.

1974 yılında Asfalt Enstitüsü, Viskozite ölçümlerini, Saybolt-Furol birimlerinden sentistok (cSt) birimlerine değiştirmiştir (Hveem, 1974). Bu prosedüre göre, 60°C sıcaklıkta poise cinsinden kinematik viskozite ve 135°C 'de cSt cinsinde mutlak viskozite ölçülür. 60°C 'de mutlak viskozite daha sonra, viskoziteyi 60°C 'deki bitümün özgül ağırlığına bölerek kinematik viskoziteye (cSt) dönüştürülür. Elde edilen İki kinematik viskozite noktası daha sonra bir log-log sentistok ölçeğinde viskozite ve logaritmik

ölçüsündeki sıcaklık ile bir viskozite - sıcaklık grafiği üzerinde çizilir. İki nokta düz bir çizgi olarak birleştirilir. Çizgi oluştuktan sonra, Marshall karışım tasarımı yapılırken, karıştırma sıcaklığı için 170 ± 20 cSt ve sıkıştırma sıcaklığı için 280 ± 30 cSt viskozite aralıkları önerilmiştir.

Superpave'le, temel eş viskozite karıştırma ve sıkıştırma kavramı aynı kalmıştır. Bununla birlikte, viskozite ölçüm birimleri cSt'den Pascal saniye'ye (Pa.s) değişmiş ve viskozite değerleri 135°C ve 165°C 'de bir Dönel Viskometre kullanılarak belirlenmektedir. Bu sıcaklıklarda, yarı logaritmik grafiği üzerindeki iki viskozite değeri bilindiğinde, sıcaklık-viskozite ilişkisi kurulur. Grafik üzerinde çizgi oluşturulduktan sonra, karıştırma sıcaklığı için 0.17 ± 0.02 Pa.s, sıkıştırma sıcaklıkları için ise 0.28 ± 0.03 Pa.s viskozite aralığı Superpave karışım tasarımı sırasında kullanılır (Gudimettla ve ark., 2003).



Şekil 2.6. Karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarının belirlenmesi (ASTM, 2009)

Şekil 2.6, mevcut prosedürü göstermektedir. Bu grafikte, viskozite (log-log ölçeği) ve sıcaklık arasındaki doğrusal bir ilişki, sadece iki veri noktasına sahip olmak suretiyle oluşturulmuştur. Karıştırma sıcaklığının belirlenmesi için 0.170 ± 0.020 Pa.s ve sıkıştırma sıcaklıkları için 0.280 ± 0.030 Pa.s kullanarak karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları belirlenebilmektedir (ASTM, 2009).

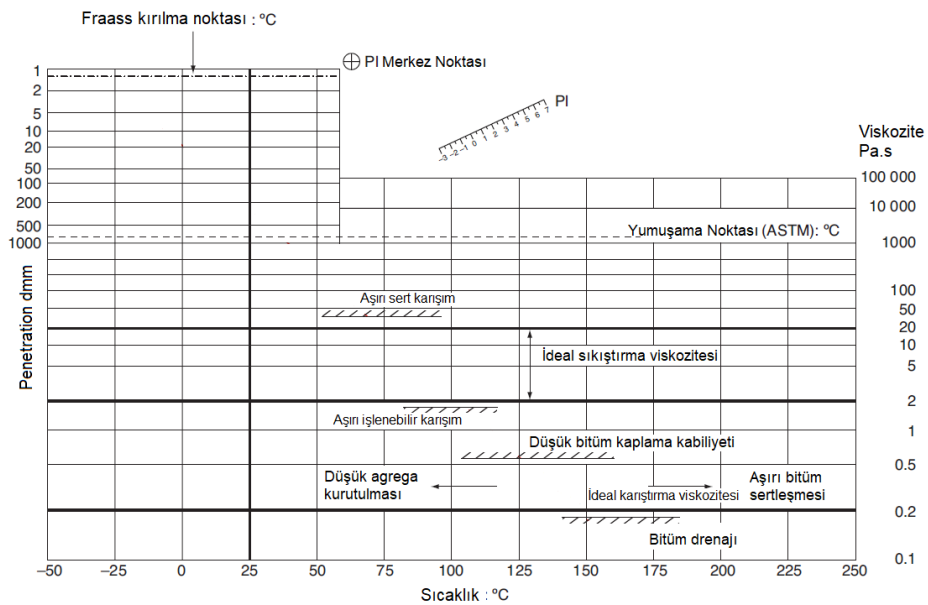
Şekil 2.6'daki örnek, viskozite ve sıcaklık arasındaki ilişkiyi kuran 135°C ve 165°C 'de iki ölçümü göstermektedir. İlişki kurulduktan sonra, karıştırma ve sıkıştırma sıcaklığının sırasıyla 152°C ila 158°C ve 140°C ila 145°C arasında olduğu bulunmuştur. Bu yöntem, saf ve modifiye edilmemiş bitümlü bağlayıcılar için iyi çalışır iken,

modifiyeli bitümlü bağlayıcılar için çok yüksek karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarına yol açabilmektedir. Bitümlü bağlayıcılar bu tür yüksek sıcaklıklara ısıtılmamalıdır, zira bu tür ısıtımlar, güvenlik riskleri ve yanma ve dumanlama ile ilgili problemler yaratabilmektedir.

Tarihçe, karışım tasarımı için laboratuvarında karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarını belirlemek için kullanılması gereken standartlaştırılmış prosedürler, birçok modifiyeli asfalt karışımı için mantıklı sıcaklıklar sağlamamıştır. Bir sıcak karışım asfalt tesisinin temel olarak sıcaklığını ayarlamak için yanlış bir laboratuvar karıştırma ve sıkıştırma sıcaklığının kullanılması sahada önemli sorunlara neden olmuştur (Stuart, 2002).

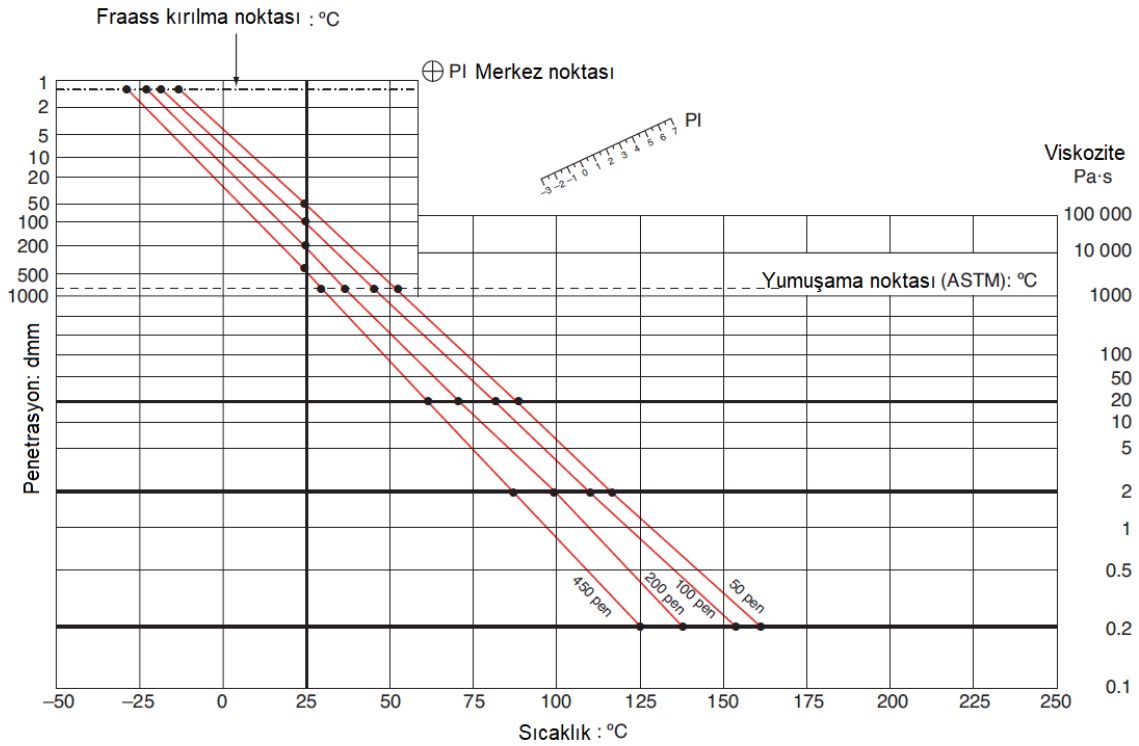
2.7.2. Bitüm testi veri grafiği yöntemi (BTDC)

1960'ların sonlarında Heukelom, tek bir grafikte sıcaklığın fonksiyonu olarak penetrasyon, yumuşama noktası, Fraass kırılma noktası ve viskozite verilerini tanımlanabilecek bir sistem geliştirmiştir (Heukelom, 1969). Bitüm testi veri grafiği (BTDC) olarak bilinen bu yöntem Shell firması tarafından önerilmektedir (Read ve Whiteoak, 2003). Grafik, sıcaklık için bir yatay ölçek ve penetrasyon ve viskozite için iki dikey ölçekten oluşmaktadır. Sıcaklık ölçeği lineer ve penetrasyon ölçeği logaritmiktir. Viskozite ölçeği ise, 'normal' sıcaklık duyarlılığına veya penetrasyon indekslerine sahip penetrasyon dereceli bitümler düz çizgi ilişkileri verecek şekilde tasarlanmıştır (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. Bitüm testi veri grafiği (BTDC) (Heukelom, 1969)

BTDC, bir bitümün viskozitesinin sıcaklığa nasıl bağlı olduğunu göstermekte, ancak yükleme süresini dikkate almamaktadır. Bununla birlikte, penetrasyon, yumuşama noktası ve Fraass kırılma noktası testleri için yükleme süreleri benzer olduğundan, bu test verileri Şekil 2.7'de gösterildiği gibi BTDC'de viskozite testi verileri ile çizilebilmektedir. Saf bitüm için bu grafik üzerindeki test sonuçları düz bir çizgi ilişkisi oluşturduğca, yalnızca penetrasyon ve yumuşama noktası kullanılarak çok çeşitli sıcaklıklarda bir penetrasyon dereceli bitümün sıcaklık - viskozite karakter özelliklerini öngörmek mümkündür.



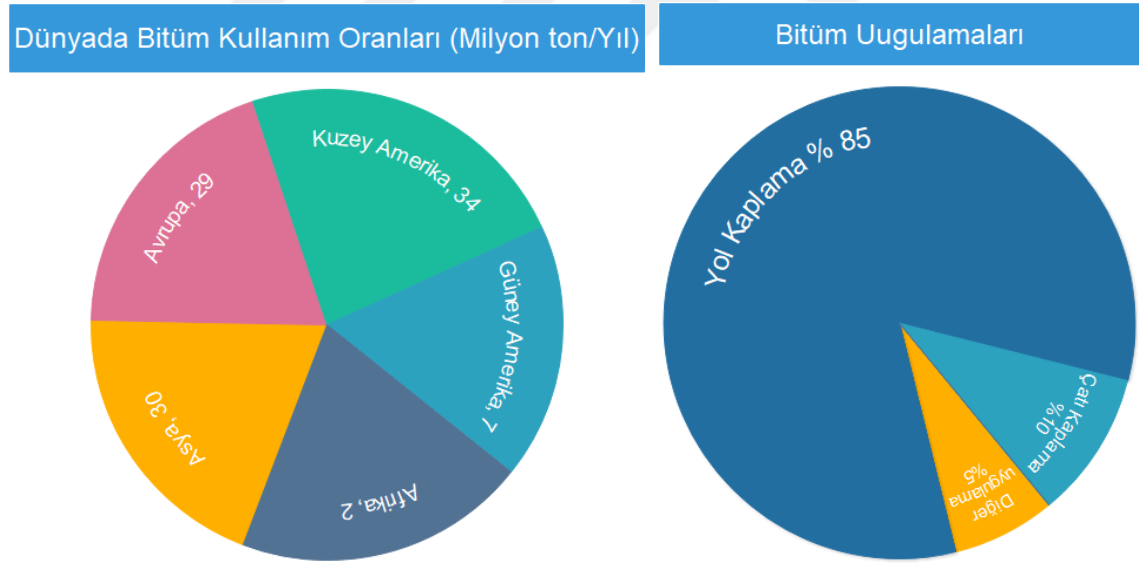
Şekil 2.8. Farklı bitüm sınıfı için BTDC karşılaştırması (Heukelom, 1969)

Bir asfaltın üretim ve sıkıştırılması sırasında, bitüm viskozitesini belirlemek çok önemlidir. Bu, 50, 100, 200 ve 450 penetrasyon dereceli bitümler kullanılarak Şekil 2.8'de gösterilmiştir. Bitümün viskozitesi, karıştırma sırasında çok yüksek ise, agregaya, düzgün bir şekilde kaplanmayacak, viskozite çok düşük olduğunda bitüm agregayı kolayca kaplayacaktır. Ancak depolama veya nakliye sırasında agregaya drenaj yapabilmektedir. Tatmin edici bir agregaya kaplaması için viskozite yaklaşık 0,2 Pa.s olmalıdır (Read ve Whiteoak, 2003).

Sıkıştırma sırasında, viskozite çok düşük olduğunda, karışım aşırı derecede akışkan olacak ve malzemenin sıkıştırma sırasında silindirin önüne itilmesine neden olacaktır. Yüksek viskoziteler, karışımın işlenebilirliğini önemli ölçüde azaltacak ve daha az miktarda sıkıştırma sağlanacaktır. Sıkıştırma için optimum bitüm viskozitesinin 2 ila 20 Pa.s arasında olduğu yaygın olduğu öğrenilmiştir.

2.8. Bitüm

Bitüm, petrol esaslı bir maddedir. Rafineri işlemi sırasında ağır ham petrolden daha hafif fraksiyonları (sıvı petrol gazı, benzin ve dizel gibi) çıkararak üretilen yarı katı bir hidrokarbon ürünüdür. Bazı bölgelerde (kuzey Amerika gibi) bitüm genellikle “asfalt çimentosu” veya “asfalt” olarak bilinmektedir. Diğer bölgelerde ise “asfalt”, agrega, filler ve bitüm karışımı olarak bilinen ve yol kaplama malzemesi olarak kullanılan bir terimdir. Asfalt karışımı, yaklaşık %5 oranında bitüm içermektedir. Ortam sıcaklıklarında bitüm, istikrarlı ve yarı-katı bir maddedir



- Toplam: Yılda 102 Milyon Ton

Şekil 2.9. Farklı Ülkelerde Kullanma oranları ve Uygulamaları Kaynak: (Institute, 2008)

2.8.1. Bitümlü Bağlayıcıların Kimyasal Özellikleri

Bitüm, hakim durumdaki hidrokarbon molekülleri ile az miktarda, sülfür, nitrojen ve oksijen atomları içeren fonksiyonel grupların kompleks bir kimyasal karışımıdır. Çeşitli

bitümlerin analiz sonuçları aşağıdaki elementleri içerdiğini göstermiştir(Read ve Whiteoak, 2003);

Karbon : %82-88

Hidrojen : %8-11

Sülfür : %0-6

Oksijen : %0-1.5

Nitrojen : %0-1

Bitümün kimyasal kompozisyonu oldukça karmaşık olduğundan malzemenin tam bir kimyasal analizi oldukça yoğun incelemeler gerektirmekte ve sonuçta reolojik özelliklerle korelasyonu imkânsız hale getirecek miktarda çok veri ortaya çıkmaktadır. Fakat bitümü asfaltenler ve maltenler olarak adlandırılan iki geniş kimyasal gruba ayırmak mümkündür. Maltenler de ayrıca, doyunlar, aromatikler ve reçineler olarak alt gruplara ayrılırlar (Read ve Whiteoak, 2003).

Asfaltenler: Karbon ve hidrojenden oluşan ve bir miktar nitrojen, sülfür ve oksijen içeren, siyah veya kahverengi amorf katılardır. Asfaltenler genel olarak, oldukça yüksek molekül ağırlığına sahip, polar (elektriksel yüke sahip) ve karmaşık aromatik maddelerdir. Asfalten miktarı bitümün reolojik özellikleri üzerinde önemli etkilere sahiptir. Asfalten miktarının artırılması ile daha düşük penetrasyon ve daha düşük yumuşama noktasına sahip, daha sert ve sonuç olarak daha yüksek viskoziteli bir bitüm elde edilmektedir. Asfaltenler, bitümün %5~25'ini oluşturmaktadır.

Reçineler: Reçineler, asfaltenler gibi geniş oranda hidrojen ve karbondan oluşmakta ve az miktarda oksijen, sülfür ve nitrojen içermektedir. Koyu kahverengi renkte, katı ya da yarı katı olan reçineler elektriksel olarak oldukça yüklüdür. Bu özellikleri reçinelerin güçlü bir yapışkan olmalarını sağlamaktadır.

Aromatikler: Aromatikler, bitüm içerisindeki en düşük moleküler ağırlıklı naftenik aromatik bileşenlerden oluşmakta ve bitüm içerisine dağılmış asfaltenlerin yayılımları için gereken ortamın büyük kısmını teşkil ederler. Aromatikler, toplam bitümün %40~65'ini oluşturan koyu kahverengi, viskoz sıvılardır.

Doygunlar: Bunlar, saman rengi veya beyaz renkteki polar olmayan viskoz yağlardır. Bitümün, %5~20'sini oluşturmaktadır. Tablo 2.1'de 100 pen. bitümden elde edilen yukarıdaki 4 grubun analiz sonuçları ayrıntılı bir şekilde görülmektedir.

Bitümü oluşturan doyunlar, aromatikler, reçineler ve asfalten oranlarının sistematik karışımı, bitümün reolojisinin yapısına bağlı olduğunu göstermiştir. Reoloji, malzemelerin sıcaklık ve yüklemenin etkisiyle zaman içerisindeki davranışının incelenmesidir. Asfalten içeriğini sabit tutarak, diğerlerinin içeriği değiştirildiğinde (Ilıcalı ve ark., 2001);

- Sabit bir doyun ve reçine oranında aromatik içeriği artırıldığı zaman kayma mukavemetindeki küçük miktardaki bir azalmadan başka bir etki oluşmaz.
- Reçine ve aromatiğin oranı sabit tutulup doyunların içeriği artırıldığında bitüm yumuşar.
- Reçine eklendiğinde bitüm sertleşir, penetrasyon indeksi azalır ancak viskozite yükselir.

Tablo 2.1. 100 pen bitümün içeriğindeki dört grubunun tipik element analizi (Read ve Whiteoak, 2003)

	Bitümdeki oranı	Karbon	Hidrojen	Nitrojen	Sülfür	Oksijen	Atomik Oranı
Asfaltenler	5,7	82	7,3	1	7,8	0,8	1,1
Reçineler	19,8	81,6	9,1	1	5,2	-	1,4
Aromatikler	62,4	83,3	10,4	0,1	5,6	-	1,5
Doygunlar	9,6	85,6	13,2	0,05	0,3	-	1,8

2.8.2 Bitüm Modifikasyonu

Trafik hacimleri ve dingil yükleri yıllar boyunca artmaya devam ettikçe yol yapımında kullanılan daha yüksek kaliteli bitümlere yönelik talepler de artmaktadır. Bir otoyoldaki bitümün, yolun performansında en önemli etken olduğu bilinmektedir.

bağlayıcı,

- Trafik gerilmelerini sönümleyecek ve yorulma çatlamasını önleyecek kadar esnek olmalı.
- Mineralleri birbirine bağlayacak kadar kohesif olmalı

- Mineral aşınmasını önleyecek kadar adhesif olmalı
- Geniş bir servis sıcaklık aralığına sahip olmalıdır.

Trafik hacimleri ve yükleri arttıkça, saf bitümün (bazen “direkt destilasyon ürünü bitüm” olarak adlandırılan) bu gerekenleri karşılayamadığı görülmüştür. Bu nedenle, daha yüksek bir performans seviyesine sahip olan bitümlerin geliştirilmesi ihtiyacı duyulmuştur.

Bu bölümde, bitümün termoplastik, viskoelastik bir malzeme olduğu ve dolayısıyla sıcaklık, yükleme gerilmesi ve frekansın etkilerine duyarlı olduğu belirtilmiştir. Özetle, sıcaklık arttıkça, yükleme sıklığı azaldıkça veya yükleme gerilmesi arttıkça bitüm, daha yumuşak hale gelmektedir (Hunter, 2000). Düşük frekansta ve yüksek strete görülen bu 'yumuşaklık', bir kaplamanın, ağır ve yavaş hareket eden trafikte tekerlek izi oluşum eğiliminde artışa yansımaktadır (Hunter, 2000).

2.8.3. Polimer ile modifikasyon

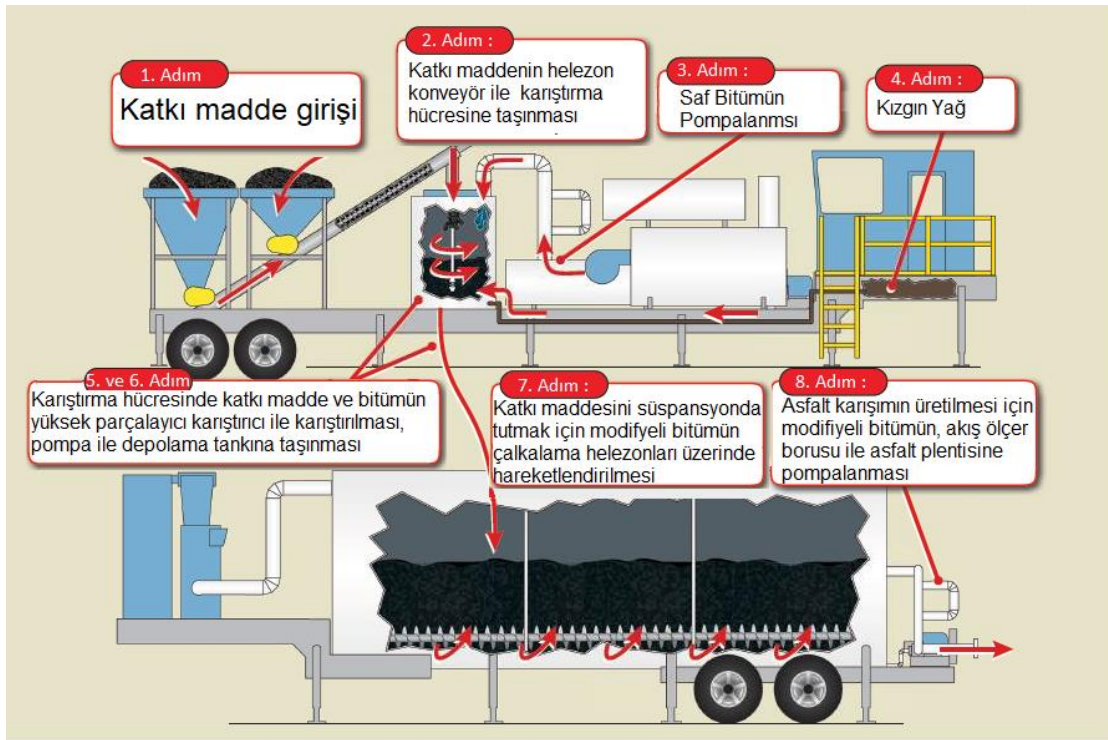
Asfalt kaplamanın ısıya duyarlılığındaki bir azalmanın, performansın ve hizmet ömrünün artmasına neden olması mantıklı görünmektedir. Bitümün sıcaklık duyarlılığını azaltmanın en yaygın yöntemi polimerlerin eklenmesidir, bu da aşağıdaki etkilere neden olmaktadır.

- Yumuşama noktasında artış
- penetrasyonda bir azalma
- Fraass kırılma noktasının düşürülmesi
- Orta sıcaklıklarda viskozitede artış.

Büyük miktarda bitümleri modifiye etmek için polimer modifiyeli asfalt plentleri, asfalt müteahhitleri tarafından kullanılmaktadır. Bu plentler büyük hacimde ısıtma, mil ile karıştırma ve pompalama ünitelerinden oluşmaktadır (Şekil 2.10 ve 2.11).



Şekil 2.10. MARINI modiFALT polimer modifiye bitüm (PMB) plenti



Şekil 2.11. Asfalt plentinde modifiye bitüm üretim aşamaları

Polimer modifikasyonunun faydaları, sıcaklık duyarlılığında bir azalma ile sona ermemekte; esneklik, işlenebilirlik, kohezyon, düktilite ve sertlikte geliştirmeler de meydana gelebilmektedir. Yıllar boyunca, birçok çalışmada farklı polimerler değerlendirilmiş ve bitümün performansını arttırdığı bulunmuştur. Çeşitli polimerleri Tablo 2.2'de gösterilmiştir. Bu katkı maddeler nispeten az sayıda ticari olarak üretilmiştir.

Genel olarak polimer katkı maddeler, bitümün reoloji özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Bunların çoğu bitümün sertleşmesine neden olmakta aynı zamanda viskoziteyi arttırmaktadır. Yüksek viskoziteli bitümün agregayla karıştırılacak uygun hale gelmesi için daha fazla sıcaklık ve enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu da üretim maliyetinin daha yüksek olmasına neden olmaktadır. Aynı zamanda bu tip bitümlerin yüksek sıcaklıklarda ısınırken çevreye daha fazla oranda zarar verecek karbon ve toksik maddeler salınmaktadır.

2.8.4. İyileştirme kriterleri

Genel olarak, bitümlü bağlayıcı, aşağıdaki tipteki iyileştirmeleri gerçekleştirmek için modifiye edilmelidir (Kandhal ve ark., 1996):

(i) Yapım ile ilgili, yüksek sıcaklıklarda daha düşük sertlik (veya viskozite).

Bu bitümlü bağlayıcının pompalanmasını ve ayrıca BSK'nın karıştırılmasını ve sıkıştırılmasını kolaylaştırır.

(ii) Yüksek servis sıcaklıklarında daha yüksek sertlik.

Bu, tekerlek izi ve ondülasyon azaltacaktır.

(iii) Düşük servis sıcaklıklarında daha düşük sertlik ve daha yüksek esneklik özellikleri.

Bu, bitümlü bağlayıcının agregadan soyulma ihtimalini azaltacaktır.

(iv) Bitümlü bağlayıcı ile agrega arasında yapışma.

Bu da, soyulma olasılığını azaltacaktır.

2.8.5. Stiren-Butadien-Stiren (SBS)

Stiren-Butadien-Stiren (SBS), bitümün esnekliğini artıran bir blok kopolimerdir. (Becker ve ark., 2001)'ye göre asfalt modifikasyonu, için rejenere lastik kauçuğundan sonra gelen en uygun ve yaygın kullanılan polimerdir (Şekil 2.12). Bu katkı maddesi, farklı çeşitlerle farklı firmalar tarafından üretilmektedir. SBS maddesinin büyük üreticileri Firestone, GoodYear, Kraton, Lanxess, SIS Zeon, Kraton ve JSR firmalarıdır. Bağlayıcı ve SBS arasındaki kritik bir ağın oluşması, bitümün kompleks modülü (G^*) katsayısını artırarak tekerlek izi direncindeki artışla sonuçlanmaktadır.

2004 yılında Florida Ulaştırma Bölümü ve FHWA, SBS'nin mikro hasar biriktirme oranını azaltarak çatlama direncine faydası olduğunu bildirmiştir (Roque ve ark., 2004). Bununla birlikte, SBS'nin eklenmesi, ekonomik ve teknik sınırlar açısından bazı dezavantajlara sahiptir. SBS, bitümün düşük sıcaklık esnekliğini artırabilmekte, ancak bazı araştırmacılar daha yüksek sıcaklıkta dayanımın ve penetrasyona karşı direncin azaldığını bildirmektelerdir (Yildirim, 2007).



Şekil 2.12. SBS katkı maddesi (Kraton)

2.8.6. Sasobit® (SB)

Sasobit, Fischer - Tropsch prosesi kullanılarak kömür buharlaştırmasından elde edilen uzun zincirli bir alifatik hidrokarbondur (40 ila 115 zincir uzunluklu karbon atomları) (Şekil 2.13). Fischer-Tropsch prosesi, karbon monoksit ve hidrojenin çeşitli formlardaki sıvı hidrokarbonlara dönüştürülmüş ve demir ve kobaltın katalizör olarak varlığında katalizlenmiş bir kimyasal reaksiyondur. Sasobit'in erime noktası yaklaşık 85 ila 115°C'dir (185 ila 240°F). Üretici firma (Sasol) tarafından önerilen optimum Sasobit dozajı, bitümün toplam ağırlığının % 3'üdür. Sasobit, bitüm ile karıştırılarak homojen bir çözelti oluşturmakta ve bitümlü bağlayıcının viskozitesini azaltmak için çok miktarda sıvı oluşturmaktadır. Asfalt karışımının karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarında yaklaşık 25 ila 50°C bir düşüş üretici tarafından bildirilmiştir (URL2).



Şekil 2.13. Sasobit katkı maddesi (Sasol)

2.8.7. Bitüm katkı maddesinin sınıflandırılması

Bitüm katkısının ve modifiye edicinin genel sınıflandırması aşağıdaki gibidir:

Tablo 2.2. Bitüm modifikasyon türleri (Lu ve ark., 2003), (Robert, 1996)

Modifikasyon Tipi	Genel Amaç veya Kullanım	Örnekleri
I. Katkı (polimer olmayan) Modifikasyon		
1. Dolgu maddeleri (Filer)	-Boşlukları doldurmak ve bu nedenle optimum bitüm içeriğini azaltmak -Agrega gradasyon özelliklerini karşılamak -Stabiliteyi artırmak Bitüm ve agrega arasındaki bağı iyileştirmek	Mineral dolgu, kırıcı tozu, kireç, Portland çimentosu, uçucu kül, Karbon siyahı
2-Soyulmaya karşı katkılar	Bitümlü bağlayıcının agregalardan soyulmasını azaltmak	Organik aminler ve amidler
3- Genişletici Maddeler	Gereken bağlayıcı miktarını azaltmak için, bitümün bir kısmının yerine geçmek (tipik olarak toplam bitümlü bağlayıcının ağırlıkça % 20 - %35 arasında olmaktadır).	Lignin, Sülfür

4- Antioksidan katkı maddeleri	Oksidasyonunu geciktirerek, BSK karışımlarının dayanıklılığını artırmak	Çinko antioksidanlar, kurşun antioksidanlar, fenolikler, aminler
5- Oksitleyici madde	BSK'nın, serildikten sonra, sertliğini artırmak	Mangan tuzları
II. Polimer Modifikasyonu 1. Plastik a. Termoplastik	-Yüksek servis sıcaklıklarında BSK'nın sertliğini artırmak -Yorulma çatlamasına direnmek için orta servis sıcaklıklarında BSK'nın esnekliğini artırmak -Termal çatlamaya karşı dayanımı artırmak için, düşük sıcaklıklarda BSK'nın sertliğini azaltmak	Polietilen (PE), Polipropilen (PP), Polivinil klorid (PVC), Etilen-propilen- diyen terpolimer (EPDM)
b. Termosetler		Etilen vinil asetat (EVA)
2. Elastomerler a. Doğal kauçuk		
b. Sentetik elastomerler		Stiren-Butadien-Stiren (SBS) Blok Kopolimerleri
3. Geri dönüşümlü lastikler		Eski oto lastiklerden parçalanmış lastik
4. Elyaf lar	-BSK'nın çekme mukavemetinin arttırmak. -BSK'nın kohezyonunun iyileştirmek -Bitümün akışında önemli bir artış olmadan daha yüksek asfalt içeriğine izin vermek.	Polyester lifleri Polipropilen lifleri Fiberglas

2.9. Sıcaklık Duyarlılığı

Sıcaklık duyarlılığı, bitümlü bağlayıcının viskozitesinin (veya kıvamının), sıcaklık değişimi ile değişiminin hızıdır. Sıcaklık duyarlılığı fazla olan bitümler, yüksek kaplama sıcaklıklarında tekerlek izine, düşük sıcaklıklarda ise kaplamanın çatlamasına neden olabilmektedir (Kandhal ve ark., 1996).

Bununla birlikte, laboratuvarında, karıştırma ve sıkıştırma işlemi nispeten hızlı bir şekilde gerçekleştiği için, sıcaklık duyarlılığının işlenebilirlik üzerindeki etkisi muhtemelen küçüktür (Von Quintus, 1991).

Bitümlü bağlayıcının sıcaklığa karşı duyarlılığı, yol üzerinde asfalt karışımının sıkıştırılmasında daha büyük bir etkiye sahiptir çünkü sıkılaştırma işlemi daha uzun bir süre boyunca gerçekleşmektedir (Von Quintus, 1991).

Penetrasyon indisi (PI) ve penetrasyon-viskozite sayısı (PVN) gibi sıcaklık duyarlılık parametreleri sertlik sınırını veya kritik sıcaklığını tahmin etmek için rijitlik monografileri ile bağlantılı olarak kullanılmıştır. Bitümün sıcaklık duyarlılığını ölçmek için kullanılabilecek üç parametre vardır:

Penetrasyon indeksi (PI), penetrasyon-viskozite sayısı (PVN) ve viskozite-sıcaklık duyarlılığı (VTS)

2.9.1. Penetrasyon indeksi (Pen/R & B)

Penetrasyon indeksi, (PI) olarak bilinen bir parametre, penetrasyon ve yumuşama noktası arasındaki ilişkiyi tanımlamak için sıklıkla kullanılmaktadır. Bir bitümün yumuşama noktası sıcaklığında yaklaşık 800 penetrasyona sahiptir. Dolayısıyla, yumuşama noktası sıcaklığı, 25°C sıcaklıkta penetrasyonla birlikte bitümün sıcaklık duyarlılığını (A değerini) belirleyebilmektedir (Read ve Whiteoak, 2003):

$$A = \frac{\log(\text{pen at } 25^\circ\text{C}) - \log(800)}{25 - \text{Yumuşama Noktası}} \quad 2.3$$

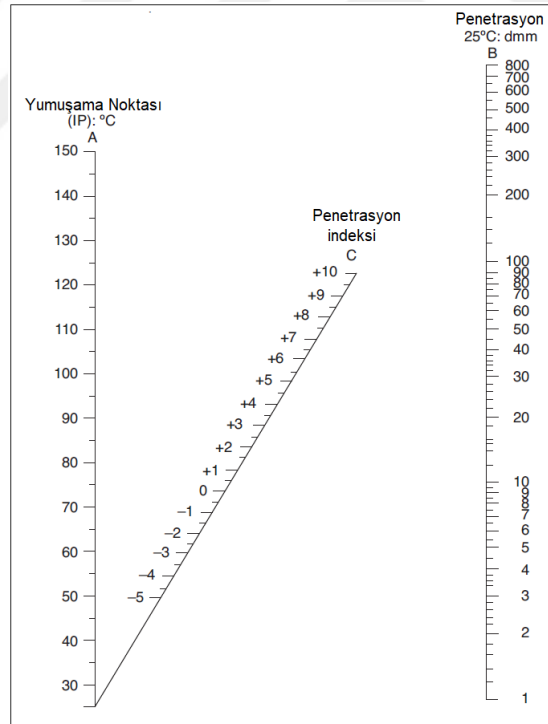
Yumuşama noktasında 800 dmm'lik bir penetrasyon değerinin varsayımı tüm bitümler için sıcaklık geçerli değildir. Bu nedenle T1 ve T2 gibi iki sıcaklıkta penetrasyon kullanarak sıcaklık duyarlılığın hesaplanması tavsiye edilmektedir.

$$A = \frac{\log \text{pen } T_1 - \log \text{pen } T_2}{T_1 - T_2} \quad 2.4$$

Bu şekilde hesaplanan sıcaklık duyarlılığı A, daha sonra bir Penetrasyon İndeksini (PI) aşağıdaki gibi hesaplamak için kullanılabilir:

$$PI = \frac{(20 - 500 A)}{(1 + 50 A)} \quad 2.5$$

PI, bir bitümün sıcaklıkla etkilenmesinin bir göstergesi olarak bilinmektedir. -2'den küçük olan PI değeri, bitümün güçlü bir bağa sahip olduğunu gösterir; Bu da Newton tipi karakteristiğini yansıtmaktadır. +2'den yüksek değerlere sahip daha yüksek bir PI, daha düşük bir sıcaklık duyarlılığı ve Newton tipi olmayan karakteristiğini göstermektedir (Ithnin, 2008). Yollar için kullanılan saf bitüm, genellikle 1 ila +1 aralığında PI değerlerine sahiptir. Modifiye bitümler için ise PI değeri, katkı maddesine göre değişmektedir. Şekil 2.14'de gösterilen nomograf, yumuşama noktasını ve 25°C sıcaklığındaki penetrasyonu kullanarak yaklaşık PI değerini sağlamaktadır.



Şekil 2.14. PI değerinin belirlenmesi için kullanılan nomograf (Read ve Whiteoak, 2003)

Yumuşama noktası sıcaklığındaki penetrasyonun gerçek değerinin yayılmasından dolayı, bir penetrasyon ve bir yumuşama noktasından hesaplanan PI değeri, iki farklı

penetrasyondan hesaplanan kesin değerdan farklılık gösterebilmektedir. Bununla birlikte, 25°C'deki penetrasyon ve yumuşama noktası genellikle bitüm şartname kontrolü için belirlendiğinden, bu nomografin kullanılması daha yaygındır.

2.9.2. Penetrasyon-viskozite sayısı (PVN)

Bir başka sıcaklık duyarlılık parametresi, 1976 yılında McLeod tarafından önerilen Pen-Vis Sayısı'dır (PVN). Bu parametre, bitümlü bağlayıcılar için genellikle gerekli olan veriler olan 25°C'de penetrasyona ve 135°C'de viskoziteye dayanmaktadır. PVN aşağıdaki denklemden belirlenmektedir:

$$PVN = \frac{\log(L) - \log(X)}{\log(L) - \log(M)} (-1,5) \quad 2.6$$

Burada;

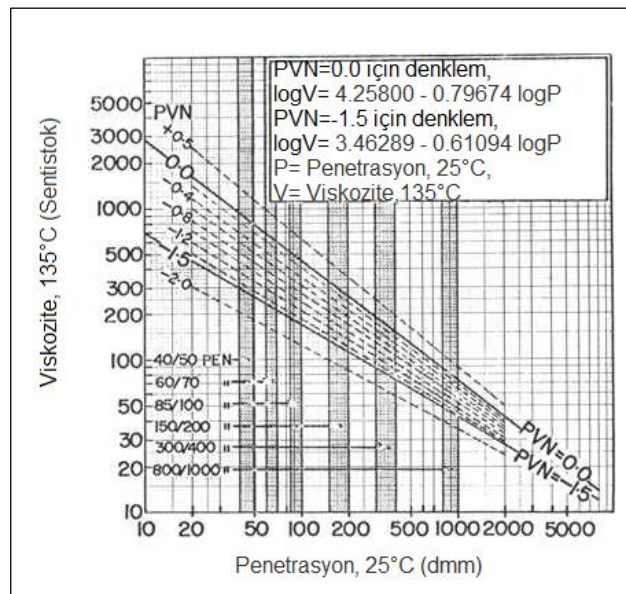
X=25°C penetrasyon ve 135°C' santistok biriminde viskoziteye karşılık gelen PVN değeri

L = 25°C'de aynı penetrasyon için, (PVN = 0,0 veya = 4,25800 – 0,79674 logP)'e karşılık gelen 135°C'de santistoktaki viskozite,

M = 25°C'de aynı penetrasyon için, (PVN = -1,5 veya = 3,46289 – 0,61094 logP)'e karşılık gelen 135°C'de santistoktaki viskozite,

P= PVN değerinin gerekli olduğu bitümün, 25°C'de penetrasyonu

L ve M değerleri, McLeod tarafından geliştirilen "tipik" bitümler için 135°C'de viskoziteye karşı 25°C'de penetrasyonu çizen bir grafikten okunabilmektedir. Bu grafik, 0,0 ve -1,5 PVN değerlerine ayrılmış iki çizgi içermektedir Şekil 2.15.



Şekil 2.15. Bitüm için yaklaşık Pen-Vis değerlerin belirlenmesi kullanılan grafik (Wysong, 2004)

Bitümlü bağlayıcının PVN değeri ne kadar düşükse, sıcaklık duyarlılığı o kadar yüksektir. Bitümün çoğunluğu +0,5 ile -2,0 arasında bir PVN sahiptir. PI ve PVN arasındaki dikkate değer bir fark, PI'nın yaşlanma sırasında değişmesidir, fakat PVN nispeten aynı kalmaktadır(Wysong, 2004).

2.9.3. Viskozite-sıcaklık duyarlılığı (VTS)

Sıcaklık duyarlılığı, sıcaklık değişimi ile bitümlü bağlayıcı viskozitesinin değişiminin bir ölçüsüdür. Aşağıdaki denklem, Viskozite-Sıcaklık Duyarlılığını (VTS) hesaplamak için yaygın olarak kullanılmıştır.

$$\text{Viskozite – Sıcaklık duyarlılığı(VTS)} = \frac{\text{Log}[\log(\eta T_2)] - \text{Log}[\log(\eta T_1)]}{\text{Log}(T_2) - \text{Log}(T_1)} \quad 2.7$$

T1 ve T2, bağlayıcının belirli sıcaklıklarıdır; ηT_1 ve ηT_2 , belirli sıcaklıklardaki bağlayıcının viskoziteleridir (cP). VTS'nin ölçüsü, bağlayıcının sıcaklığa duyarlılığı ile doğru orantılıdır. VTS'nin tipik değerleri -3,36'dan -3,98'e kadardır. VTS ne kadar düşükse, sıcaklık duyarlılığı da o kadar yüksek olmaktadır(Raouf ve Williams, 2009).

Bu çalışma, polimer modifiye bitümlerin karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarının belirlenmesinde kullanılan yöntemlerin farklı modifiye bitümler için ve her yöntem için sıcaklık sınırlarını belirlemiştir. Böylece, Bu sıcaklıkları belirlemek kullanılan modifiye veya bitüm tipini dikkate alarak bu yöntemlere göre asfalt karışımı hazırlanmalıdır. Ayrıca, farklı yapıya sahip olan SBS ve Sasobit katkı maddelerin hem tek hem de birleşmiş durumda bitümün viskozite ve sıcaklık davranışlarını karakterize etmiştir. Bu da, iki farklı katkı maddenin asfalt karışımına etkisinin araştırılmasına bir zemin oluşturmaktadır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu çalışmada, hem viskozite arttırıcı hem de viskozite düşürücü katkı maddeleri kullanarak iki farklı karıştırma ve sıkıştırma sıcaklığı belirleyen yöntem karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışmada bağlayıcı olarak 50/70 penetrasyon'lu bitüm Kırıkkale Rafinerisinden, SBS ise Dolder Kimya Dış Tic. A.Ş. firmasından, Sasobit ise Teknomet Mühendislik Temsilcilik ve Ticaret LTD. ŞTİ. firması tarafından temin edilmiştir.

Yapılan deneysel çalışmalar Konya Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Ulaştırma Anabilim Dalı Laboratuvarlarında yapılmıştır. SBS %2 ve %4 oranlarda 50/70 dereceli bitüme eklenmiştir. Sasobit ise %3 oranında SBS katkılı bitümlerle karıştırılmıştır. Aynı zamanda Sasobit katkı maddesinin SBS katkılı bitüme etkisi olup olmadığını araştırmak için %3 Sasobit diğer iki SBS katkılı bitüm ile karıştırmıştır. Elde edilen numunelerin karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları eş viskozite ve BTDC yöntemleri ile kıyaslanmıştır. BTDC yöntemi bitümün penetrasyon ve yumuşama noktasının belirlenmesini gerektirir. Tüm numuneler için penetrasyon ve yumuşama noktası sonuçları kıyaslanmıştır. Ayrıca modifiye bitümler için, bitüm sıcaklık duyarlılığı ölçen yöntemler karşılaştırılmıştır.

3.2. Yöntem

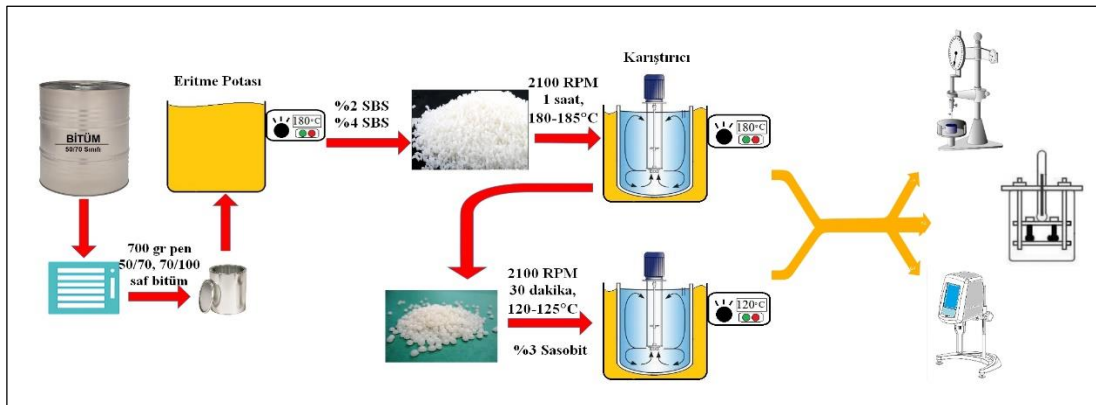
3.2.1. Polimer modifiyeli bitüm üretimi

Laboratuvar ortamında polimer modifiyeli asfalt plentine benzetilen bir karıştırıcı kullanılmaktadır. Konya Teknik Üniversitesi Ulaştırma Laboratuvarında proter firması tarafından tasarlanmış bir mikser kullanarak tüm modifiye işlemleri yapılmıştır. Bu mikser, 2100 hız kapasitesinde dönen mile sahiptir (Şekil 3.1). Bitüm numunesinin ısıtılması için 300°C dereceye kadar ısıtılabilen bir yağ banyosu bulunmaktadır.



Şekil 3.1. Laboratuvar ortamında kullanılan bitüm modifiye mikseri

SBS ve Sasobit maddelerinin bitüm içinde viskozite etkilerini incelemek için 5 farklı oran seçilmiştir. Bu katkı oranları (%2 SBS, %2 SBS + %3 SB, %4 SBS, %4 SBS + %3 SB, % 3SB) olarak belirlenmiştir. (%2 SBS) ve (%2 SBS +%3 SB) Modifikasyon işlemi iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada önceden ayrılmış 500 gr saf bitüm numunesi, %2 SBS ile 180-185 °C derece sıcaklıkta 1 saat süreyle (URL3) karıştırıldıktan sonra yumuşama noktası, penetrasyon ve RV deneyleri için numune ayrılmıştır. Kalan SBS'li numune 120 °C dereceye gelmesi beklenmiş ve %3 SB ile 30 dakika karıştırıldıktan sonra aynı şekilde 3 deney için diğer kalıplara elde edilen bitüm numunesi dökülmüştür. (%4 SBS) ve (%4 SBS +%3 SB) oranları için ise aynı prosedür izlenmiştir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Çalışma prosedür şeması

3.2.2. Viskozite Deneyi

ASTM D4402 şartnamesine göre, Brookfield termosel viskometre yüksek sıcaklıklarda bitümlü bağlayıcının viskozitesini ölçmek için kullanılmaktadır (Şekil 3.3). Bu çalışmada Dönel Viskometre (RV), bitümlü bağlayıcının viskozitesini orta ve yüksek sıcaklıklarda (90°C - 180°C arasında) belirleyerek, bitüm katkı maddelerinin etkisini araştırmak ve bağlayıcının pompalama ve karıştırma için yeterince akışkan olmasından emin olmak için kullanılmıştır. RV, kapiler viskozimetreye kıyasla modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcıların test edilmesine daha uygundur, zira kapiler viskozimetre, kısmen tıkanarak düzgün akış engellenmektedir(NGUONG, 2008). Bu viskozite ölçüm yöntemi, ASTM D4402, “Dönel viskometre Kullanarak Yüksek Sıcaklıklarda Bitüm Viskozitesinin Tayini için Standart Test Yöntemi” yayınında ayrıntılı olarak verilmiştir. Dönel viskozite, sabit bir sıcaklıkta bir bitümlü bağlayıcıya batırılırken, bir silindirik milin sabit bir dönme hızını (0-200 rpm arasında) korumak için gerekli dönme momenti ölçülerek belirlenmektedir. Ölçülen dönme momenti, viskometre tarafından otomatik olarak hesaplanan ve görüntülenen, bitümlü bağlayıcı numunenin viskozitesi ile doğrudan ilgilidir. Çoğu bitümlü bağlayıcı, sadece iki mil ile test edilebilmektedir: No. 21 ve 27. Deneylerde en yaygın kullanılan ise mil No.27'dir (NGUONG, 2008).



Şekil 3.3. Brookfield termosel viskometre

3.2.2.1. Kullanılan aletler

- Standart Brookfield Viskometre (RV) kullanarak Brookfield Termosel Yüksek Sıcaklık Viskozite Ölçüm Sistemi.
- Brookfield Viskometre için mil No.27
- Termo Konteyner, Numune haznesi, SCR kontrol edici ve duyargadan oluşan Termosel Sistemi.
- Kronometre

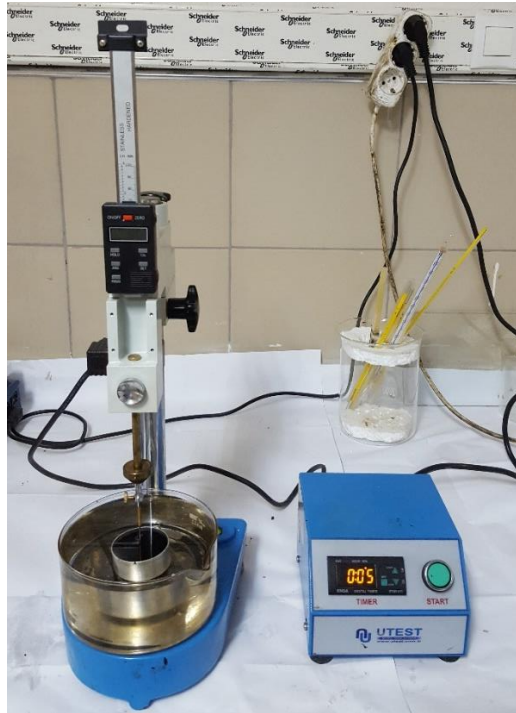
3.2.2.2. Deneyin yapılışı

1. Cihaz elektroniği, herhangi bir kalibrasyon veya analiz yapmadan önce en az beş dakika ısınmaya bırakılır.
2. Sıcaklık kontrol cihazı istenen test sıcaklığına kadar ayarlanır.
3. Seçilen hızda cihaz kapasitesinin %10 ila %98'i arasında dirençli bir tork geliştirecek bir mil seçilir. Genel olarak, ölçümlerin, daha yüksek tork değerlerinde yapılması daha doğru olacaktır.
4. Numune haznesi ve seçilen mil en az 15 dakika boyunca, sıcaklık dengesi elde edilene kadar önceden ısıtılır.
5. Kullanılacak mil için üretici tarafından belirtilen numune hacmi, numune haznesine eklenir. Yaklaşık 8 ila 10 ml arasında olmaktadır.
6. Seçilen önceden ısıtılmış mil, haznede sıvıya sokulur ve viskometreye bağlanır.
7. Bitüm numunesi, ölçüm başlamadan önce en az 10 dakika boyunca istenen test sıcaklığında dengelenmeye bırakılır.
8. Viskometrenin motor dönüşü, tam ölçekli cihaz kapasitesinin %10 ila %98'i arasında olan dirençli bir tork geliştirecek bir hızda başlatılır. Bu hızı muhafaza ettikten sonra, numune 5 dakika daha dengelenmeye bırakılır. Sıcaklık, bu koşullandırma süresi boyunca $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$ 'den fazla sapmamalıdır.
9. Toplam üç dakika boyunca 1 dakikalık aralıklarla viskozite cihaz tarafından otomatik olarak ölçülür.
10. Test sıcaklığının değişmesi amaçlandığında, bitüm numunesi 30 dakika içinde istenilen sıcaklığa getirilir ve yeni test sıcaklığı için tekrar 8, 9 ve 10 basamakları tekrarlanır.

11. Tork deęerleri, en dūřuk deney sıcaklıęında cihaz kapasitesinin %98'inin ūzerinde olduęunda, milin dōnūř hızı azaltılır ve deneye devam edilir.
 12. Tork deęeri, en yūksek test sıcaklıęında cihaz kapasitesinin %10'unun altında olduęunda, milin dōnūř hızı artırılır.
- ❖ Newton tipi olmayan bitūm durumunda seğilen belirli hız ve sıcaklıkta bir ōlęme yapılır, tork değeri %10 veya %10'un altındaysa deney daha dūřuk sıcaklıklarda yapılır ve tork değerinin %10'u aşması izlenecek.

3.2.3. Penetrasyon deneyi

Penetrasyon deneyi, bitūmlū baęlayıcının kıvamını ōlęmek ięin kullanılan ampirik bir deneydir. Deney (TS EN 1426) řartnamesine gōre yapılır. Genellikle penetrasyon, BSK kaplamalarının ortalama servis sıcaklıęına yaklařan 25°C'de ōlęūlmektedir. Bu sıcaklıkta, viskozitenin tercih edilen ōlęūm řekli olmasına raęmen, bitūmlū baęlayıcının, viskozite aęısından kıvam ōlęmek ięin řu anda basit bir deney yōntemi mevcut deęildir. Yarı otomatik penetrasyon deney aleti řekil 3.4'de gōsterilmiřtir.



şekil 3.4. Yarı otomatik penetrometre aleti

Penetrasyon deneyi, standart bir iğnenin belli bir yüklem, zaman ve sıcaklık şartlarında bitüm numunesine dikey batma derinliğini 0,1 mm cinsinde ölçerek bitümün sertlik veya yumuşaklık derecesinin ölçüsüdür. Yarı katı ve katı bitümlü malzemenin derecesi genellikle penetrasyon ile belirlenmektedir. Deney sıcaklığında, iğne boyutunda, iğneye yerleştirilen yükte ve deney sıcaklığında yapılan hataların, penetrasyon değerini büyük bir şekilde etkiledikleri tespit edilmiştir(Gambhir ve Jamwal, 2014).

3.2.3.1. Kullanılan aletler

- Penetrasyon aleti: Kalibre edilmiş, şartnamelere uygun, otomatik veya yarı otomatik penetrasyon aleti (Şekil 3.6).
- İğne: 55mm boyunda ve 1,0-1,02 mm çapında paslanmaz çelikten yapılmış ve temperlenmiş iğne.
- Numune kabı: Metal ya da camdan yapılmış silindirik kap. Derinlik 35 mm' nin altında, iç çapı 55-70 mm arasında olmalıdır.
- Aktarma kabı: Numune doldurulan kabın etrafını tamamen su ile çevirecek boyutlarda olmalıdır.
- Zaman ölçer: 0,1 sn hassasiyetli ölçüm yapabilecek alet.
- Su havuzu: En az 10 litre kapasiteli ve $25 \pm 0,1$ °C sıcaklığı koruyabilen bir su havuzu.
- Termometre: maksimum 0,1 °C ölçek hatasına sahip, kalibre edilmiş, cam içinde sıvı ve uygun aralıklarda bir termometre.

3.2.3.2. Deneyin yapılışı

1. Numune, tahmini yumuşama noktası + 60 °C dereceye dikkatle ısıtılır, dökülecek sıvı hale gelene kadar ve bölgesel aşırı ısınmayı önlemek için mümkün olan en kısa sürede karıştırılır. Numunelerde kabarcıklar bulundurmamaya dikkat edilir.
2. Temiz numune kabı, iğnenin tahmin edilen girme miktarından en az 10 mm fazla olacak şekilde doldurulur.
3. Numune, tozdan korunmak için örtülür ve 45 dk ila 1 ½ saat süreyle 15°C ile 30°C arasında oda sıcaklığında soğumaya bırakılır.

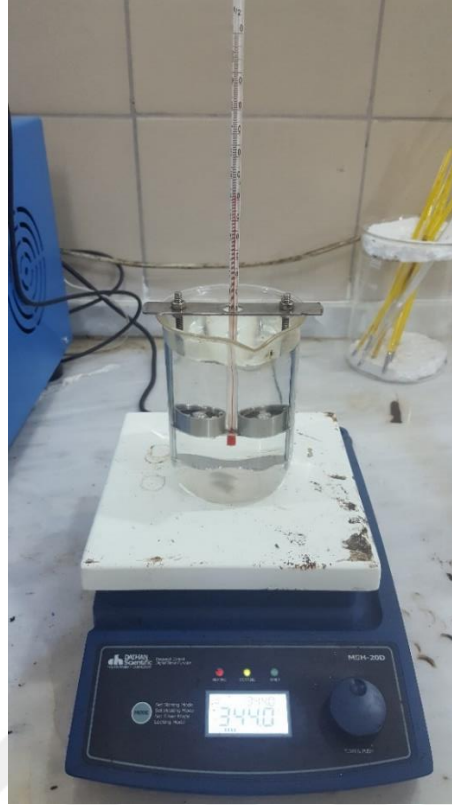
4. Numune soğuduktan sonra taşıma kabı ile beraber su banyosunda 1 ila 1,5 saat süreyle 25°C’de muhafaza edilir.
5. İğne tutucusu ve kılavuzu, su ve diğer harici maddelerde eksiklik veya kirlenmemiş olup olmadığı yönünde kontrol edilir.
6. Penetrasyon iğnesi bir uygun çözücü ile temizlenir, temiz bir bezle kurutulur ve iğne, penetrometreye yerleştirilir.
7. Penetrasyon iğnesi, ucu sadece numune yüzeyi ile temas edene kadar yavaşça indirerek yerleştirilir.
8. Penetrasyon iğnesi, ucu sadece numune yüzeyi ile temas edene kadar yavaşça indirerek yerleştirilir ve penetrometre okuma ekranı kontrol edilir ve sıfıra getirilir.
9. İğne tutucu, belirtilen süre boyunca hızlı bir şekilde serbest bırakılır ve cihaz, milimetrenin ondalıklı batma mesafeyi ölçmek üzere ayarlanır.
10. Numune kabı hareket ederse ölçüm dikkate alınmaz. Numune kabı kenarlarından en az 10 mm mesafede ve birbirlerine 10 mm’ den yakın olmayan noktalardan en az üç geçerli ölçüm yapılır ve her ölçümde iğne temizlenir.
11. Ölçümler arasındaki fark aşağıdaki çizelgede verilen değere karşılık gelen değeri aşmadığında deneyler geçerli sayılır ve üç değerın ortalaması dikkate alınır.

Tablo 3.1. TS EN 1426'ye göre bitümün penetrasyon limitleri

Penetrasyon değeri	0 – 49	50 – 149	150 – 249	250 ve yukarı
En yüksek ve en düşük değer arasındaki maksimum farklar	2	4	12	20

3.2.4. Yumuşama Noktası

Yumuşama noktası TS EN 1427'ye göre halka ve bilye (R & B) yöntemi ile ölçülür (Şekil 3.5). Bitümlü bağlayıcının bir çelik bilyenin ağırlığını destekleyemediği ve akmaya başladığı sıcaklık olarak tanımlanabilir. Amacı, bitümlü bağlayıcıda bir durum değişikliğinin meydana geldiği sıcaklığı belirlemektir. Genel olarak Yumuşama noktası, bir maddenin belirtilen test koşulları altında belirli bir yumuşaklık seviyesine ulaştığı sıcaklıktır. Sıcaklık arttıkça bitümlü bağlayıcı katı halden sıvı hale gelmekte ve bitümlü bağlayıcı sertliği buna göre azalmaktadır.



Şekil 3.5. Yumuşama noktası aleti

3.2.4.1. Kullanılan Aletler

- Isıtıcı: dakikada, sıcaklığı 5°C arttıran ve manyetik karıştırıcı özelliğine sahip otomatik veya yarı otomatik bir ısıtıcı.
- Bilyeler: İki adet 9,53 mm çapında ve $3,50 \pm 0,05$ gr ağırlığında çelik bilye.
- Halkalar: İki adet, uygun ebatlarda, pirinçten yapılmış.
- Bilye tutucu: İki adet uygun ebatlarda bilye merkezleme kılavuzu.
- Halka tutucu: İki halkayı düzenli bir şekilde tutacak alt tabanlı platform
- Su: Damıtılmış ve yeni kaynatılmış.
- Beherler: Isıya dayanıklı ve 600 ya da 800 ml hacminde beher.
- Karıştırıcı: beherin içindeki suda homojen ve düzenli bir sıcaklık sağlamak için, beherin alt kısmında dönecek bir manyetik karıştırıcı.
- Termometre: -2 ila +80°C bir aralığa sahip ve 0,5 ölçeğinde cıvalı bir termometre.

3.2.4.2. Deneyin yapılışı

1. Numune, dökülecek seviyede sıvı hale getirmek için 2 saat etüvde ısıtılır ve bölgesel aşırı ısınmayı önlemek için mümkün olan en kısa sürede karıştırılır. Numunelerde kabarcıklar bulundurmamaya dikkat edilir.
2. İki halka yaklaşık olarak numune ile aynı sıcaklıkta ısıtıldıktan sonra cam levha üzerine yerleştirilir ve halka, tepesinin üzerinde bir fazlalık verecek şekilde numune ile doldurulur.
3. Halka, oda sıcaklığında en az 30 dakika süreyle soğumaya bırakılır ve daha sonra herhangi bir fazla numune, sıcak bir bıçak ile kaldırılır, böylece deney numuneleri halkaların tepesiyle dengelenir.
4. Numune ile dolu halkalar, halka tutucuya yerleştirilir ve bilye tutucular, halkalara yerleştirilir. Beherdeki damıtık su $5 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ sıcaklığa getirildikten sonra halka tutucu, çelik bilyalar ve manyetik karıştırıcı behere aktarılır. Suyun seviyesi, halkaların üst kısımlarının 50 ± 5 mm üzerinde olmalıdır.
5. Beher sıcaklığı $5 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de 15 dakika tutulur, daha sonra bir uygun alet kullanılarak test numunelerinin her birine bir çelik bilye konulur.
6. Beher sıcaklığı $5 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de 15 dakika tutulur, daha sonra bir uygun alet kullanılarak test numunelerinin her birine bir çelik bilye konulur. Beher, ısıtıcı üzerine aktarılır ve sıcaklık artışı dakikada 1°C olacak kadar izlenir.
7. Halkalar içerisindeki bağlayıcının sarkan kısmı taban yüzeyinde değdiği anda sıcaklıklar okunarak deneye son verilir. Okunan bu değerlerin ortalaması yumuşama noktası olarak kaydedilir.
8. Kaydedilen iki sıcaklık arasındaki fark 1°C 'yi aşarsa, deney tekrarlanır.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bitüm katkı maddeleri, bitümlü sıcak karışımların özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla kullanılmaktadır.

4.1. Viskozite Deney Sonuçları

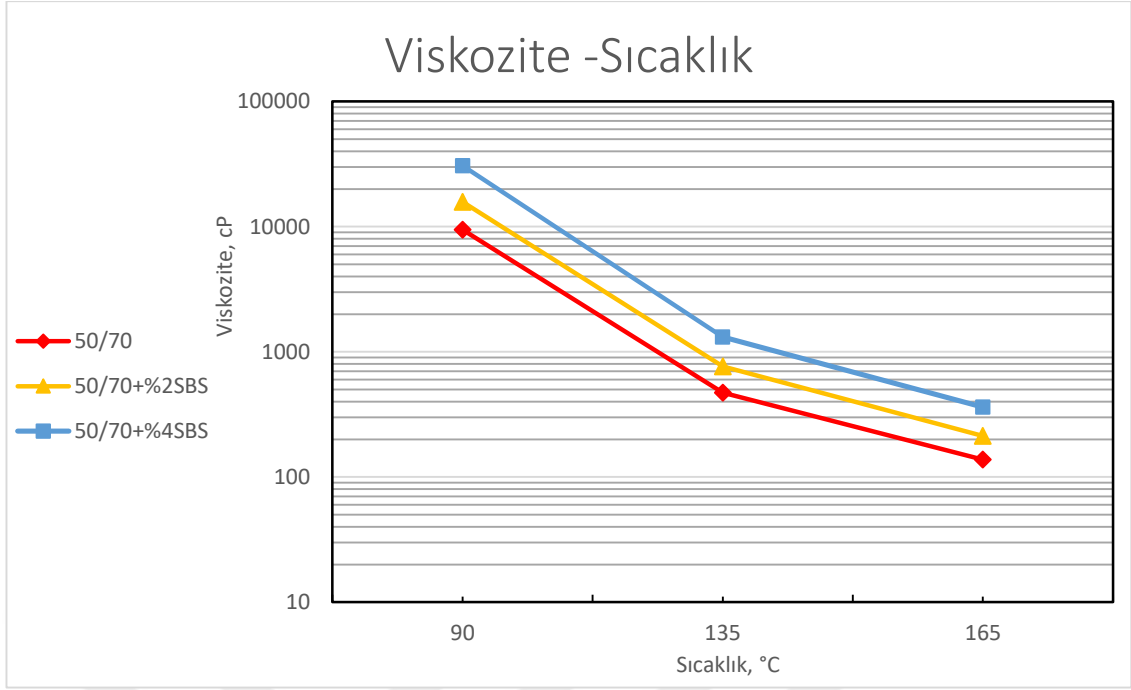
Viskozite deneyi, tüm numuneler için Brookfield Viskozimetresi ile gerçekleştirilmiştir. Her bitüm için 4 farklı sıcaklıkta ölçme yapılmıştır (90, 135 ve 165°C). Deneyde, %10 ila %98 arası bir tork sağlayan bir hız, 27 no'lu mil kullanarak seçilmiştir. Seçilen her hızda birer dakika süreyle üç okuma kaydedilmiştir. Tork değeri milin dönme hızına doğrudan bağlıdır. Brookfield Viskometresi'nin hız kapasitesi ise 0-200 rpm arasındadır. Bitümün sıcaklığında ve kimyasal yapısında her hangi bir değişim olunca cihazın ölçme kapasitesinde de bir değişim olmaktadır. Tüm numuneler için dönme hızı sabit tutulduğunda, daha yüksek sıcaklıklarda bitüm sıvı hale gelerek viskozitesi düşmekte ve tork değeri %10 civarlarına gelmektedir. Bu durumu önlemek için milin hızını yükseltmek gerekmektedir. Düşük sıcaklıklarda ise bitüm, katı hale gelerek viskozitesi artmakta ve tork değerleri %98 üzerinde olup cihazın kapasitesinin dışında kalmaktadır. Bu durumda ise cihaz, %98 altında tork verecek bir hızda çalıştırılmaktadır.

Deney, katkı maddesinden kaynaklanan viskozitedeki değişimin farklı sıcaklıklarda gözlemlenmesi için mümkün olan en geniş sıcaklık aralığında yapılmıştır. Sasobit oranı Sasol firması tarafında önerilen %3 oranı seçilmiştir. SBS katkı oranları ise, %3 Sasobit katkısını göze alarak (toplam katkı oranı %7'yi aşmayacak şekilde) %2 ve %4 oranları seçilmiştir. Farklı sıcaklık ve kayma oranlarında belirlenen viskoziteler, aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Tablo 4.1. Viskozite deney sonuçları

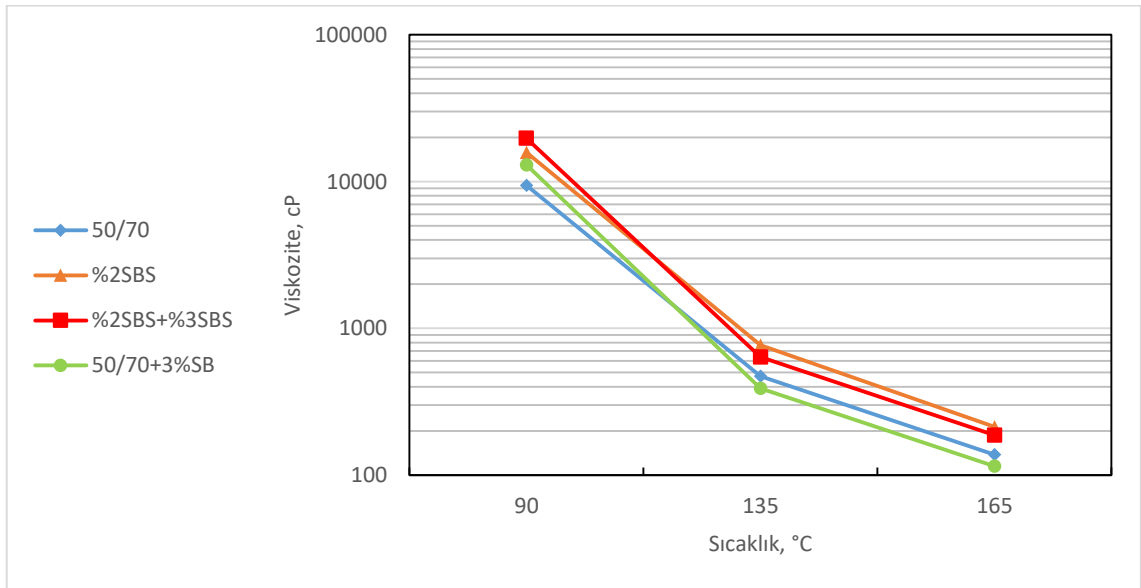
Bitüm Modifiye Tipi	Sıcaklık °C	Hız (rpm)	Tork %				Viskozite cP			
			1.Okuma	2.Okuma	3.Okuma	Ortalama	1.Okuma	2.Okuma	3.Okuma	Ortalama
50/70	90	20	75,4	75,5	75,3	75,4	9425	9438	9413	9425
	135	200	28,2	28,2	28,3	28,2	470	470	471,7	471
	165	200	11,1	10,8	11,1	11,0	138,8	135	138,8	138
50/70+%3SB	90	18	89	89,5	88,5	89,0	13108	13193	13060	13120
	135	200	22	21,9	22,1	22,0	390	389	391,6	390
	165	200	10,5	10,3	10,4	10,4	114	115	114	114
50/70+%2SBS	90	15	94,8	94,6	94,7	94,7	15800	15780	15770	15783
	135	200	61,3	61,3	61,3	61,3	766,3	766,3	766,3	766
	165	200	17	17	17	17,0	212,5	212,5	212,5	213
50/70+%2SBS+%3SB	90	12	94,7	94,5	94,3	94,5	19730	19690	19650	19690
	135	200	51,1	51,1	51,1	51,1	638,8	638,8	638,8	639
	165	200	15	14,9	14,9	14,9	187,5	186,3	186,3	187
50/70+%4SBS	90	7,9	97	96,8	96,6	96,8	30700	30630	30570	30633
	135	185	97,2	97,2	97	97,1	1314	1314	1311	1313
	165	200	28,9	29	28,9	28,9	361,3	362,5	361,3	362
50/70+%4SBS+%3SB	90	2	61,4	59,5	58	59,6	76750	74380	72500	74543
	135	200	85,6	85	85,1	85,2	1070	1063	1064	1066
	165	200	27,1	27,1	27,2	27,1	338,8	338,8	340	339

Deney sonuçlarına göre, tüm deney sıcaklık aralıklarında 50/70 bitüm numunesinin, her iki SBS oranı ile modifiye edildiğinde viskozitesi artmaktadır (Şekil 4.1). SBS katkı maddesinin en büyük dezavantajlarından birisi olan bu yüksek viskozite değerleri, bitümlü bağlayıcının karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarının artmasına neden olmaktadır.

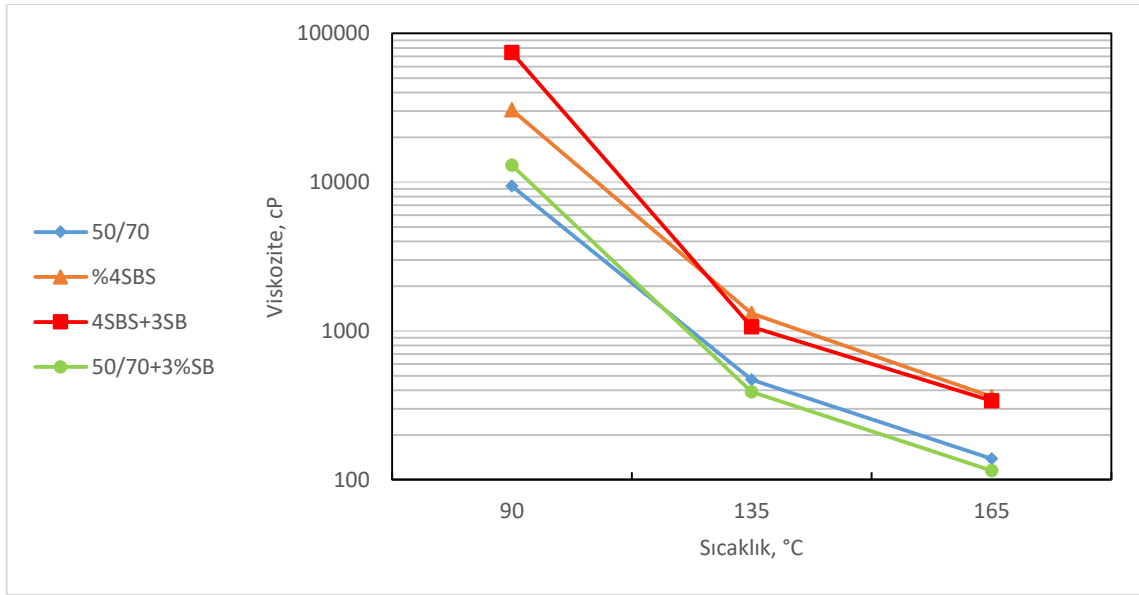


Şekil 4.1. SBS katkı maddesinin saf bitüm viskozitesine etkisi

Bu yüksek viskozite değerlerini azaltmak için (Sasobit) eklenmiştir. Her katkı oranı için bu maddeden %3 oranında modifiye edilmiştir. Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te Sasobit maddesinin, SBS katkılı bitümlere etkisi gösterilmiştir.

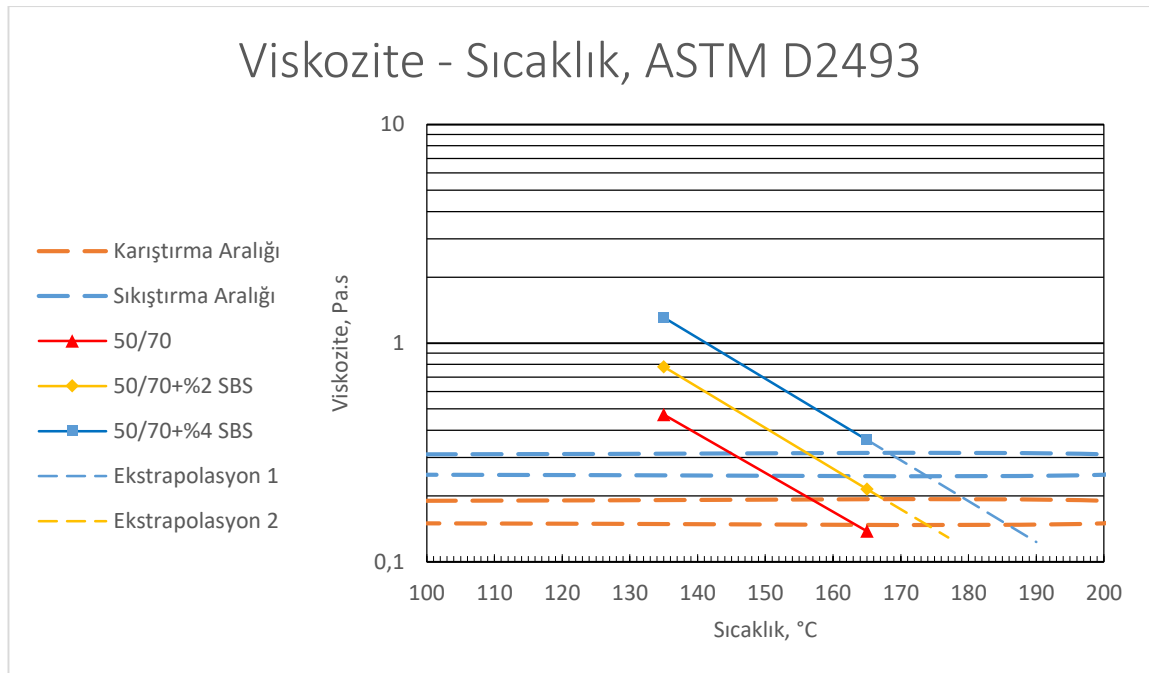


Şekil 4.2. Sasobit katkı maddesinin saf ve %2 SBS modifiyeli bitüm viskozitesine etkisi



Şekil 4.3. Sasobit katkı maddesinin saf ve %4 SBS modifiyeli bitüm viskozitesine etkisi

4.2. Eş Viskozite Yöntemi Sonuçları

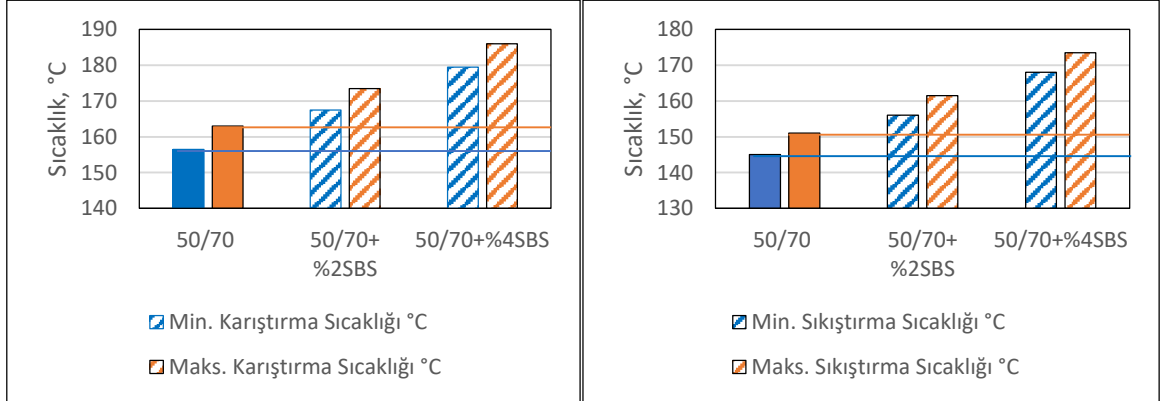


Şekil 4.4. Saf ve SBS katkılı bitüm için karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarının belirlenmesi

ASTM önerdiğine göre bu yöntemde viskozite değerleri Pa.s birimine çevirilmektedir. Şekil 4.4 de görüldüğü gibi, %2 SBS için 135°C-165°C çizgisi, sadece sıkıştırma limitlerini (0.17 ± 0.02 Pa.s) aşmış, karıştırma viskozite limitini (0.28 ± 0.03 Pa.s) aşmamıştır. Bu durum da her iki sıcaklıkta viskozitenin artmasından kaynaklanmaktadır. Karıştırma sıcaklığını belirlemek için, çizilen %2 SBS'li bitümlü bağlayıcının 135°C-165°C çizgisi yeterli olmadığı için ekstrapole edilmiştir. %4 SBS ise şartnamenin herhangi bir viskozite limitlerini aşmamıştır. Hem karıştırma hem de sıkıştırma viskozite limitlerine yeterli olmadığı için ekstrapole edilmiştir. Şartnameye göre viskozite limitleri, karıştırma sıcaklığı için 0.17 ± 0.02 Pa.s, sıkıştırma sıcaklıkları için ise 0.28 ± 0.03 Pa.s'dir. Grafikten, %2 ve %4 SBS katkılı bitüm için elde edilen karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları tablo 4.2 verilmiştir.

Tablo 4.2. Saf ve SBS katkılı bitümün karıştırma ve sıkıştırma sıcaklık aralıkları

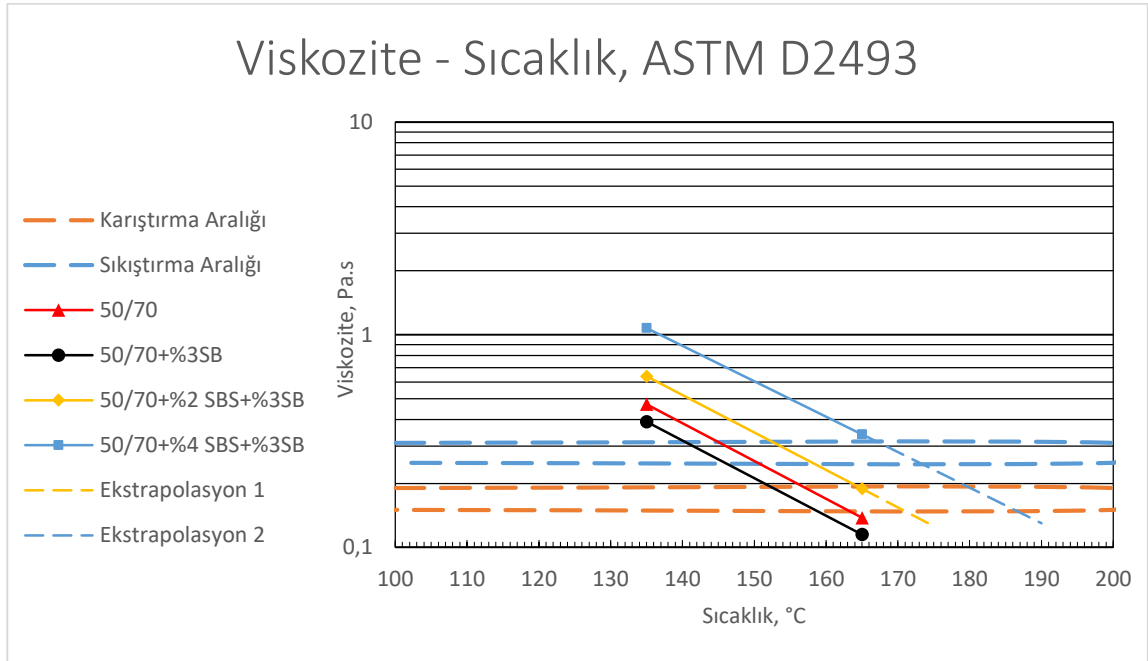
	50/70	50/70 + %2 SBS	50/70 + %4 SBS
Karıştırma Sıcaklığı °C	156,5 - 163	167,5-173,5(Ekstrapole)	179,5- 186(Ekstrapole)
Sıkıştırma Sıcaklığı °C	145-151	156- 161,5	168-173,5(Ekstrapole)



Şekil 4.5. Saf ve SBS katkılı bitümlü bağlayıcının karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları

Şekil 4.5 elde edilen sıcaklık değerleri karşılaştırıldığında, %4 katkılı bitümlü bağlayıcı için 179,5-186°C, en yüksek karıştırma sıcaklığı olarak belirlenmiştir. Aynı oran için ise 168-173°C en yüksek sıkıştırma sıcaklığı olarak belirlenmiştir. Bu

sıcaklıklar, saf bitüme göre 23°C daha yüksektir. %2 SBS katkılı bitüm için ise bu sıcaklık 11°C düşmektedir.

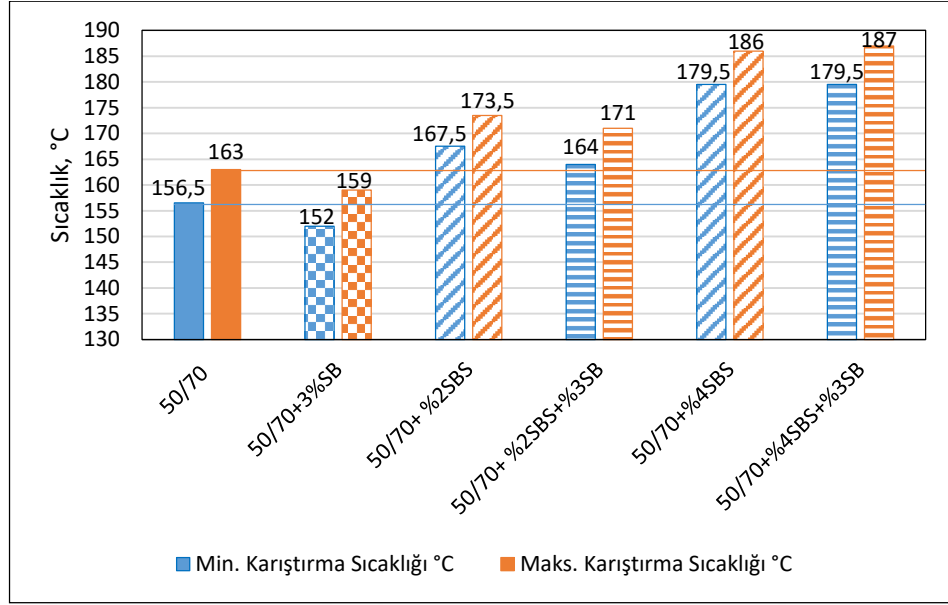


Şekil 4.6. Saf, SBS ve SB katkılı bitümlü bağlayıcı için karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarının belirlenmesi

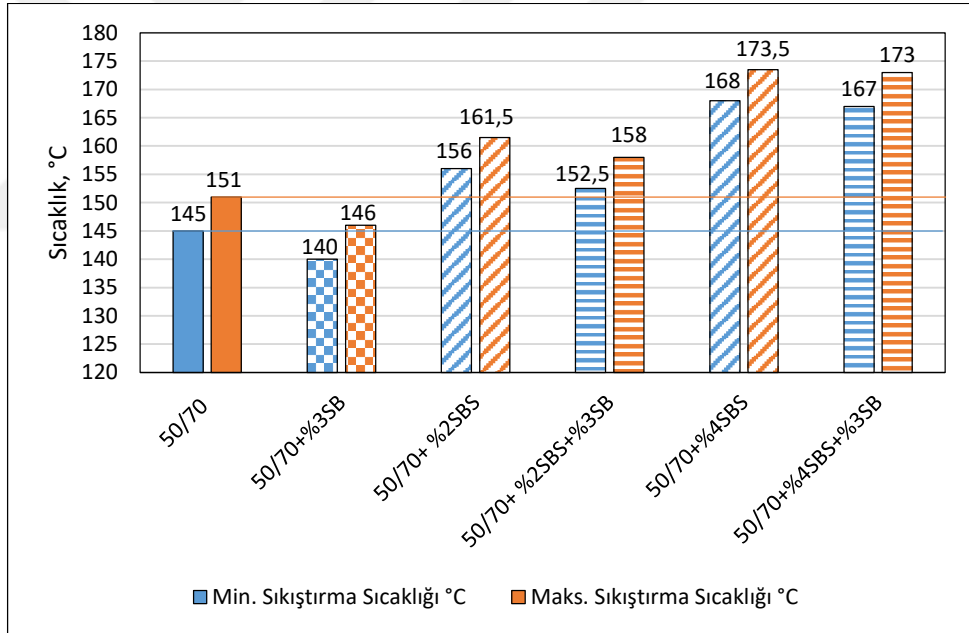
Tablo 4.3. Saf, SBS ve SB katkılı bitümün karıştırma ve sıkıştırma sıcaklık aralıkları

	50/70	50/70+%3SB	50/70+ %2SBS+%3SB	50/70+%4SBS+%3SB
Karıştırma Sıcaklığı °C	156,5 - 163	152-159	165-171(Ekstrapole)	179,5-187(Ekstrapole)
Sıkıştırma Sıcaklığı °C	145-151	140-146	152,5-158	167-173(Ekstrapole)

Sasobit katkılı bitümlü bağlayıcı sonuçları incelendiğinde (Tablo 4.3), Sasobit katkısının, sadece saf ve %2 SBS modifiyeli bitümlerde bir sıcaklık değişikliğine neden olduğu gözlenmektedir. Saf bitüm için 5°C, %2 SBS katkılı bitüm için ise 11°C'den 8°C'ye bir düşüş kaydedilmiştir. %4 SBS bitüm için ise bu sıcaklıklarda herhangi bir değişiklik görülmemiştir (Şekil 4.7 ve 4.8).



Şekil 4.7. Saf, SBS ve SB katkı bitümlerin karıştırma sıcaklıkları



Şekil 4.8. Saf, SBS ve SB katkı bitümlerin sıkıştırma sıcaklıkları

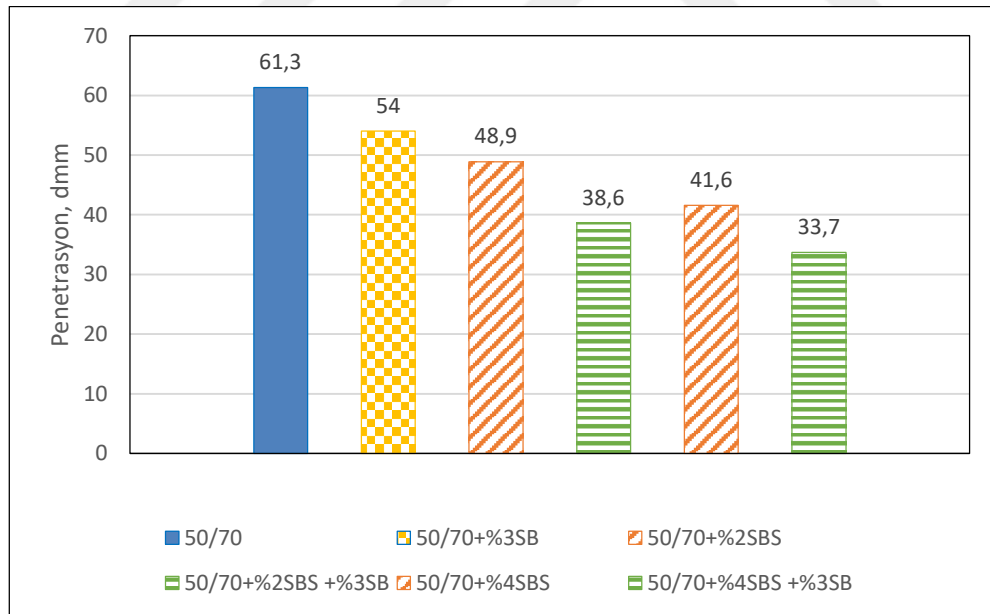
4.3. Penetrasyon Deney Sonuçları

Penetrasyon deneyi, yarı otomatik bir penetrometre kullanarak yapılmıştır. Numune içeren kaplar, 1 saat süreyle 25°C’de su banyosunda bekletildiğinden sonra test edilmiştir. Sonuçlar (Tablo 4.4)’de verilmiştir.

Şekil 4.9, SBS ve SBS/SB kompoze katkıların bitümün penetrasyonuna etkilerini göstermektedir. SBS oranı arttıkça, saf bitümün penetrasyonunun düştüğü görülmektedir. Bu, servis ömrü aşamalarında asfalt kaplamasının dayanıklılığını ve performansını artırarak, sıcaklık kusurlarına karşı modifiyeli bağlayıcıların direncinin artmasına neden olabilmektedir. Ayrıca, SBS/SB kompoze bağlayıcıların penetrasyonlarında gözlemlenen büyük azalma, Sasobit ilavesinin karışımın daha tutarlı ve daha sert hale getirdiğini göstermektedir. Bu durum da tekerlek izine karşı bağlayıcının direncini arttırabilir (Bala ve ark., 2017).

Tablo 4.4. Saf ve katkıli bitümler için penetrasyon deney sonuçları

Modifiye tipi	1.Okuma	2. Okuma	3. Okuma	Ortalama
50/70	62	62	60	61,3
50/70+%3SB	54	53	55	54
50/70+%2SBS	48,9	47,9	49,8	48,9
50/70+%2SBS +%3SB	39	39	37,8	38,6
50/70+%4SBS	42,1	41,5	41,3	41,6
50/70+%4SBS +%3SB	33,3	34,3	33,5	33,7



Şekil 4.9. Saf ve katkıli bitümler için penetrasyon deney sonuçlarının grafiği

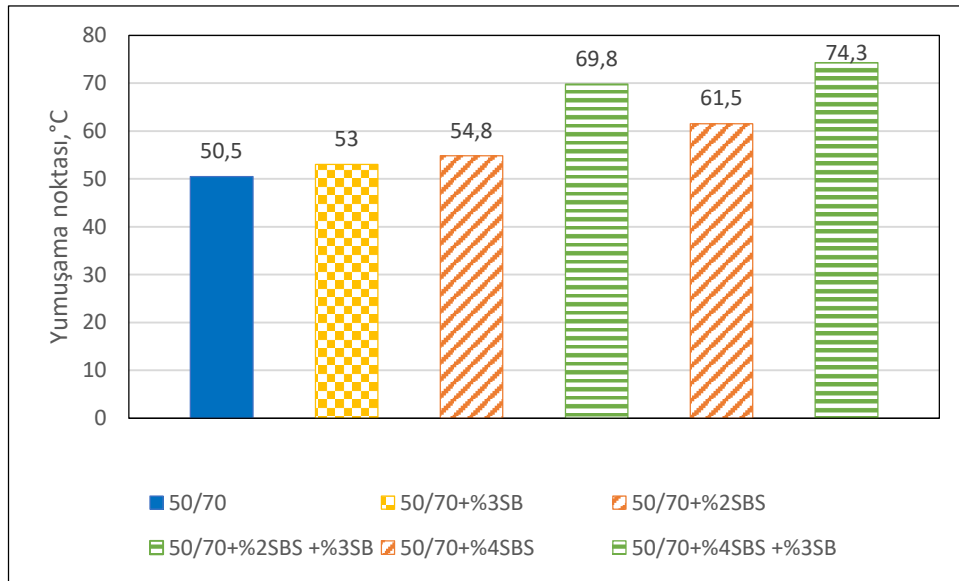
4.4. Yumuşama Noktası Deney Sonuçları

Şekil 4.10, SBS ve SBS/SB kompoze modifiye bağlayıcıların yumuşama noktası sıcaklıklarını göstermektedir.

Sasobit ilavesinin, SBS modifiyeli bağlayıcıların yumuşama noktası sıcaklıklarında bir artışa neden olduğu görülmektedir. %3 Sasobit + %4 SBS içeren bağlayıcı, en yüksek yumuşama noktası artışını 74,3°C olarak göstermektedir (Tablo 4.5). Kompoze modifiyeli bitümler için yumuşama noktası sıcaklığındaki artış, sıcaklık etkisi altında kolayca yumuşama kabiliyetinde bir azalmaya işaret eder ve bu, tekerlek izi'ne karşı yüksek mukavemet ile sonuçlanacaktır (Sengoz ve Isikyakar, 2008; Bala ve ark., 2017).

Tablo 4.5. Saf ve katkılı bitümler için yumuşama noktası deney sonuçları

Modifiye tipi	1. Okuma °C	2. Okuma °C	Ortalama °C
50/70	50,5	50,5	50,5
50/70+%3SB	52,5	53,5	53
50/70+%2SBS	55	54,6	54,8
50/70+%2SBS +%3SB	70	69,5	69,8
50/70+%4SBS	61,5	61,5	61,5
50/70+%4SBS +%3SB	74	74,5	74,3

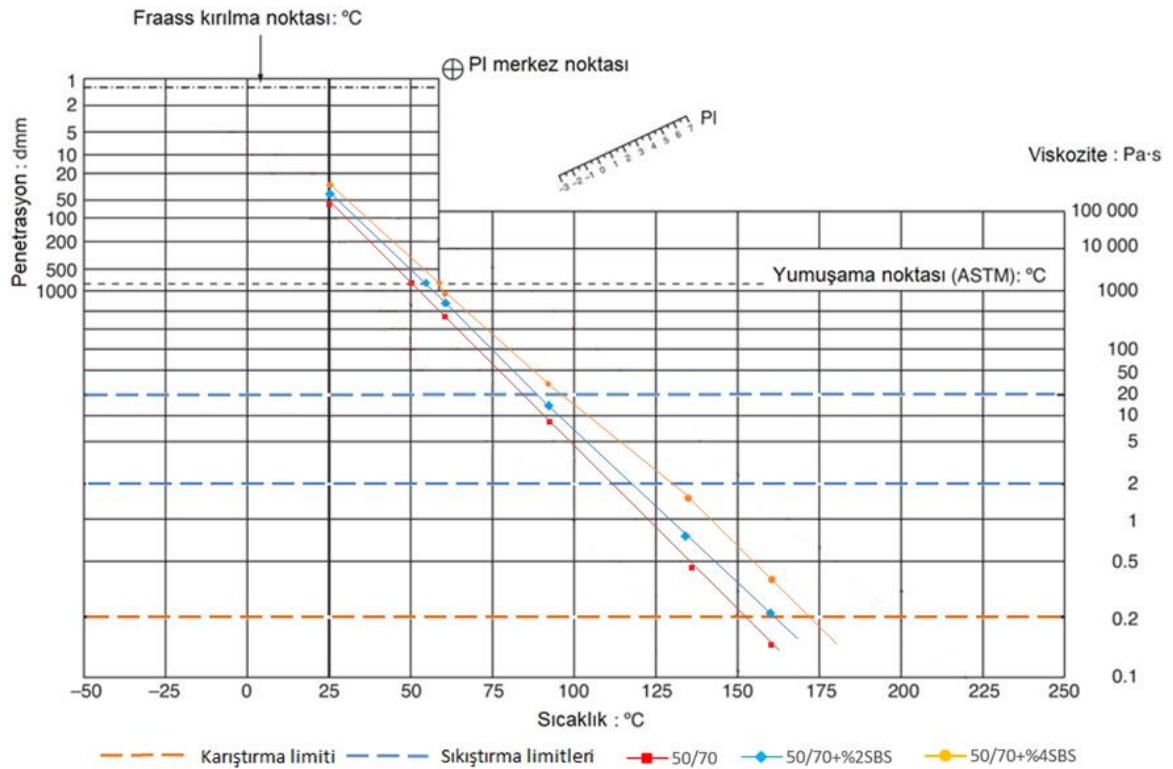


Şekil 4.10. Saf ve katkılı bitümler için yumuşama noktası deney sonuçlarının grafiği

4.4. Bitüm Deney Verileri Grafiği (BTDC) Yöntem Sonuçları

Penetrasyon, Yumuşama noktası ve Viskozite değerleri elde edilerek bitümüm, hem viskozite- sıcaklık niteliği çizilmiş hem de bu yöntemi kullanarak karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları bulunmuştur.

Şekil 4.11, SBS katkılı bitümler için penetrasyon, yumuşama ve viskozite verilerini kullanarak BTDC grafiği çizilmiştir. Grafikte 0,2 Pa.s viskozitesi, karıştırma limiti, 2 ve 20 Pa.s ise sıkıştırma limiti olarak belirlenmektedir. Şekil 2.7’de gösterildiği gibi 20 Pa.s viskozitesinde karışım aşırı sert, 2 Pa.s’de ise aşırı işlenebilir bir karışım elde edilmektedir. Bu nedenle sıkıştırma limiti ortalama (11 Pa.s) alınmıştır Tablo 4.6.

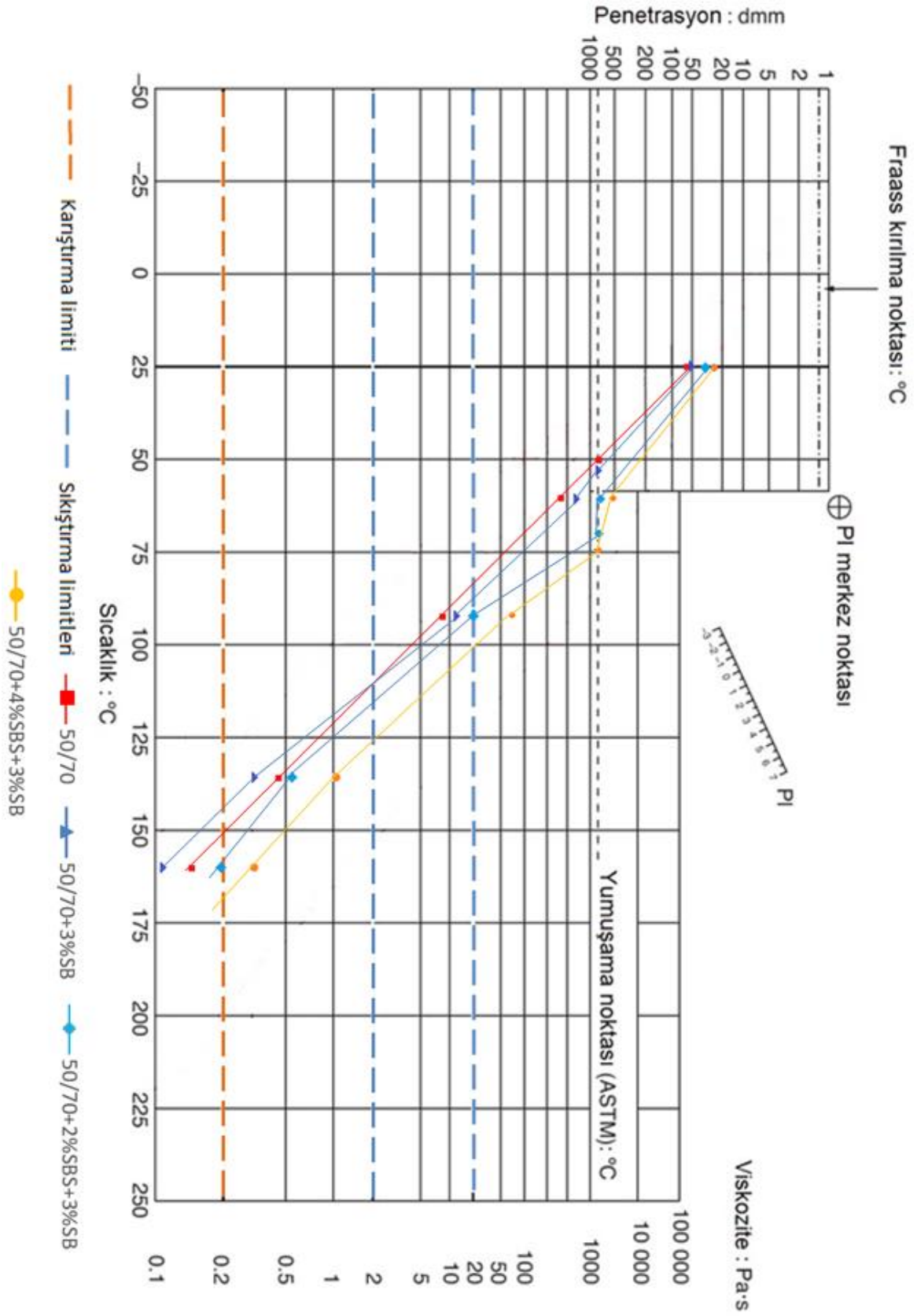


Şekil 4.11. Saf ve SBS katkılı Bitüm için BTDC grafiği

Tablo 4.6. Saf ve SBS katkılı bitümün karıştırma ve sıkıştırma sıcaklık değerleri

	50/70	50/70+ %2SBS	50/70+%4SBS
Karıştırma Sıcaklığı, °C	152	161	171
Sıkıştırma Sıcaklığı, °C	97,5	103,5	113

Şekil 4.13’de gösterildiği gibi, SBS katkı oranı arttıkça 50/70 bitümlü bağlayıcının karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları artmaktadır.

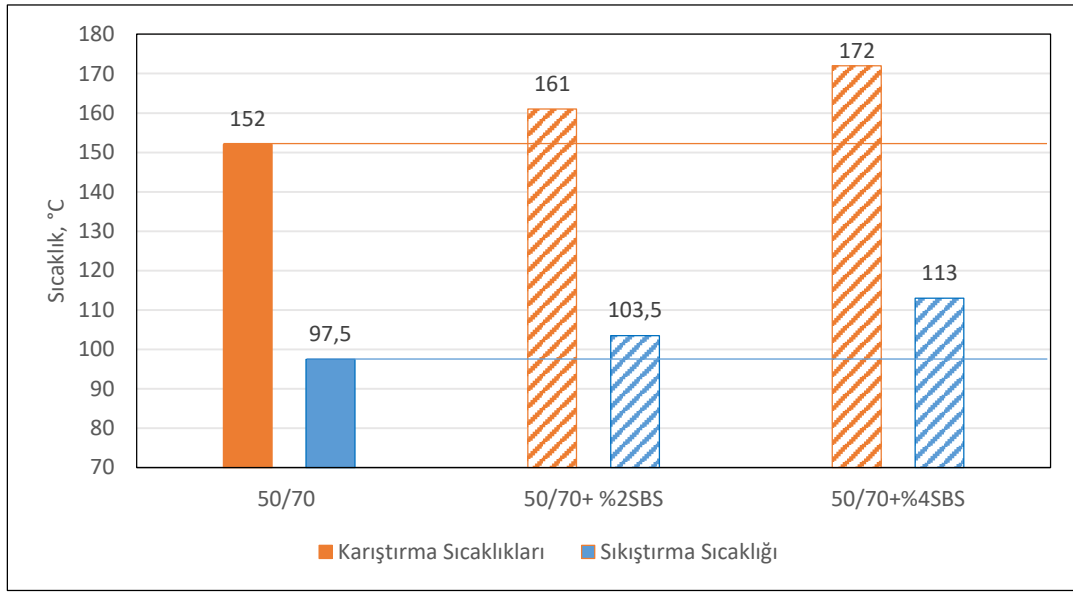
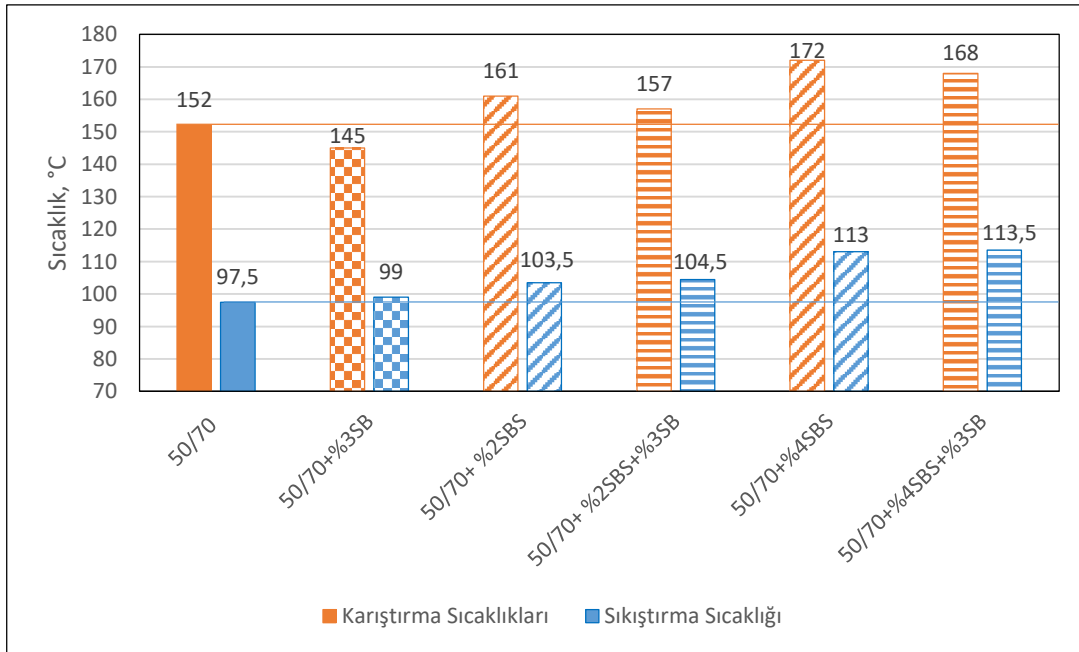


Şekil 4.12. Saf, SBS ve sasobit katkılı Bitüm için BTDC grafiği

Tablo 4.7. Saf, SBS ve SB katkılı bitümün karıştırma ve sıkıştırma sıcaklık değerleri

	50/70	50/70+%3SB	50/70+ %2SBS+%3SB	50/70+%4SBS+%3SB
Karıştırma Sıcaklığı, °C	152	145	157	169
Sıkıştırma Sıcaklığı, °C	97,5	99	104,5	113,5

Şekil 4.12’de SBS ve SBS/Sasobit katkılı bitümlerin karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları gösterilmektedir.

**Şekil 4.13.** Saf ve SBS katkılı bitümün karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları**Şekil 4.14.** Saf, SBS ve SB katkılı bitümün karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları

4.5. Bitümün Sıcaklığa Karşı Duyarlılığı

Bitümün sıcaklık duyarlılığı, asfalt karışımının yolda sıkıştırılması ve performansı ile yakından ilişkilidir (Wang ve ark., 2008). Aynı zamanda, polimer modifiye yüzdesi, karıştırma sıcaklığı, karıştırma süresi ve karıştırma hızı, elde edilen modifiye bağlayıcının sıcaklık duyarlılığı üzerinde önemli etkiye sahiptir (Roberts ve ark., 1991). Bu yüzden sıcaklık duyarlılığını değerlendirmek çok önemlidir. Penetrasyon indeksi, Penetrasyon-Viskozite Sayısı ve Viskozite sıcaklık duyarlılığı yöntemlerini kullanarak hem saf bitüm için hem de tüm modifiyeli bitümler için sıcaklığa karşı duyarlılık parametreleri belirlenmiştir. Her bir yöntem, farklı kıyaslama derecesi kullanmaktadır. Bu yöntemlerin uygulama sonuçları aşağıda verilmiştir.

4.5.1. Penetrasyon indeksi

Tablo 4.8, Sasobit, SBS ve SBS/Sasobit kompoze modifiye bağlayıcıların sıcaklık duyarlılığının bir göstergesi olarak penetrasyon indeks değerlerini göstermektedir. Bu, modifiye bağlayıcıların yüksek sıcaklık direnci sergilediğini ve bu direnç SBS içeriğindeki artışla artmaktadır. Sasobit ve SBS ilavesinden dolayı servis sıcaklık aralığı, düşük sıcaklık çatlamasına ve kalıcı deformasyona karşı direnç artmaktadır (Galooyak ve ark., 2010).

Tablo 4.8. Saf ve katkılı bitümler için PI değerleri

Bitüm Tipi	Penetrasyon	Yumuşama noktası	PI
50/70	61,3	50,5	-0,59
50/70+%3SB	54	53	-0,29
50/70+%2SBS	48,9	54,8	-0,12
50/70+%2SBS+%3SB	38,6	69,8	2,14
50/70+%4SBS	41,6	61,5	0,87
50/70+%4SBS +%3SB	33,7	74,3	2,52

4.5.2. Penetrasyon - viskozite sayısı

Sasobit, hem 50/70 bitümün hem de SBS katkılı bitümün penetrasyon viskozite sayısını düşürerek, sıcaklık duyarlılığını artırmıştır (Tablo 4.9). Bu, bitümün karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları açısından avantajlı olduğunu vurgulamaktadır (Behl ve ark., 2014). SBS katkısı ise penetrasyon-viskozite sayısını artırarak bitümün sıcaklık duyarlılığını düşürmeye çalışmaktadır. Bu da, bitümün sıcaklık duyarlılığında gelişme olduğunu göstermektedir (Behl ve ark., 2014)

Tablo 4.9. Saf ve katkılı bitümler için pen-vis değerleri

Bitüm Tipi	X	L	M	penetrasyon-viskozite sayısı
50/70	471	690	240	-0,54
50/70+%3SB	390	750	255	-0,9
50/70+%2SBS	766	850	280	-0,14
50/70+%2SBS +%3SB	639	1000	310	-0,57
50/70+%4SBS	1313	900	295	0,5
50/70+%4SBS +%3SB	1066	1100	330	-0,04

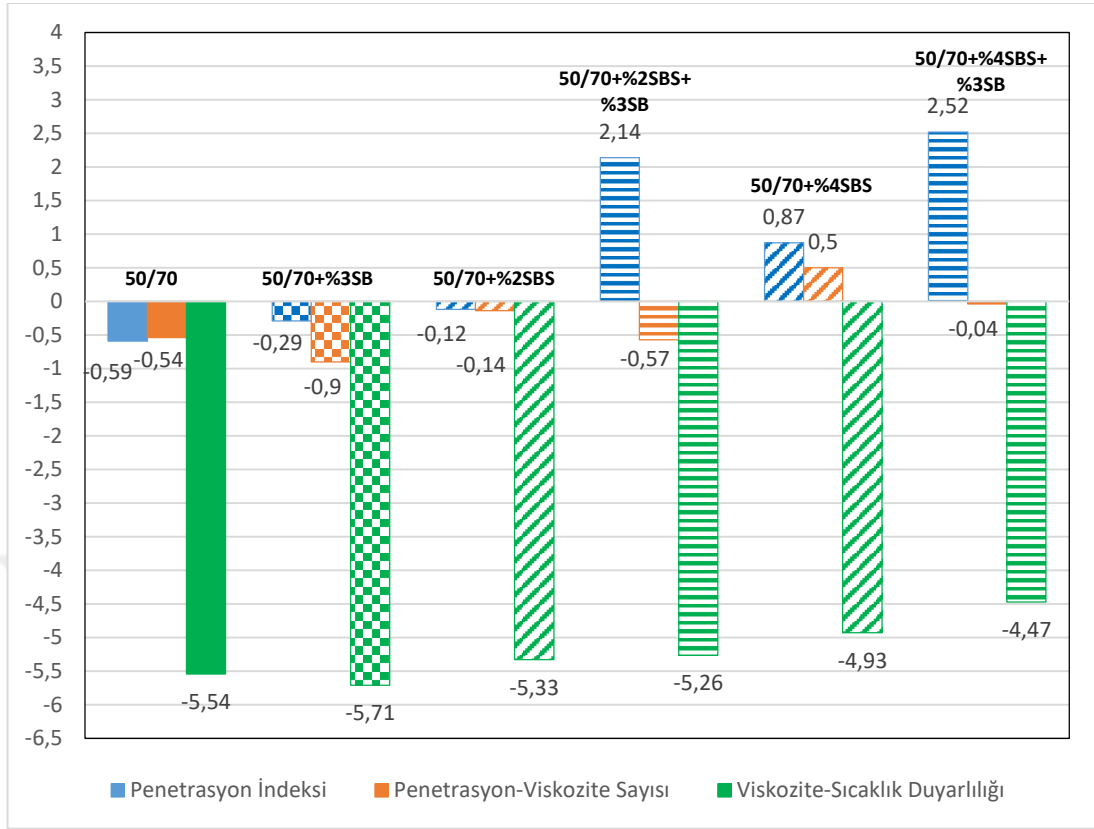
4.5.3. Viskozite-sıcaklık duyarlılığı

Tablo 4.10 incelendiğinde, Sasobit 50/70 bitümün VTS değerini düşürterek sıcaklığa karşı hassasiyetini artırmıştır. Bu da, Sasobit katkı maddesi saf bitümün karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarını düşürdüğünü yansıtmaktadır. SBS ve SBS/Sasobit kompoze katkıları 50/70 bitümün VTS değerlerini artırmıştır. Böylece, bitümlü bağlayıcının sıcaklık hassasiyeti azalarak tekerlek izi direncinin artmasına neden olabilmektedir (Behl ve ark., 2014).

Tablo 4.10. Saf ve katkılı bitümler için VTS değerleri

Bitüm Tipi	Viskozite (cP)		VTS
	135°C= 2,13°R	165°C=2,21°R	
50/70	471	138	-5,54
50/70+%3SB	390	115	-5,71
50/70+%2SBS	766	213	-5,33
50/70+%2SBS +%3SB	639	187	-5,26
50/70+%4SBS	1313	362	-4,93
50/70+%4SBS+%3SB	1066	339	-4,47

*°R=Rankine ölçeğindeki sıcaklık



Şekil 4.15. Saf ve katkılı bitümler için Penetrasyon indeksi, Penetrasyon-viskozite sayısı ve Viskozite sıcaklık duyarlılık değerleri

SBS katkı maddesi tüm yöntemlerde sıcaklık hassasiyetine karşı iyi sonuçlar vermektedir. Sasobit katkı maddesi ise penetrasyon viskozite yöntemine göre tamamen olumsuz bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Sıcaklık duyarlılık yöntemine göre Sasobit saf bitümün hassasiyetini artırırken SBS katkılı bitümün sıcaklık hassasiyetini düşürmektedir (Şekil 4.15). Böylece Sasobit'in bitümün sıcaklık duyarlılığına etkisi sabit olmadığı anlaşılmaktadır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Bu çalışmada SBS ve Sasobit katkı maddelerinin 50/70 saf bitümün viskozitesi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. SBS katkısı %2 ve %4 oranlarında, Sasobit ise %3 oranlarıyla bitümle karıştırılmıştır. Elde edilen modifiyeli bitümlere penetrasyon, yumuşama noktası ve viskozite deneyleri uygulanmıştır. Deney sonuçları analiz edildikten sonra aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

- SBS katkı maddesi her iki oranıyla, 50/70 bitümün orta ve yüksek sıcaklıklarda viskozitesini artırmıştır. Bu da bitümün yüksek sıcaklık performansını iyileştirecektir. Böylece, yüksek sıcaklıklarda stabilite'yi ve tekerlek izine karşı kabiliyetini iyileştirmektedir (Zhuang ve ark., 2017).
- %3 oranında Sasobit katkı maddesi, 50/70 bitümün viskozitesini orta sıcaklıklarda artırmış, yüksek sıcaklıklarda ise düşürmüştür. Bu da işlenebilirlik açısından bir avantaj sağlamaktadır (Behl ve ark., 2013).
- SBS katkı maddesi her iki oranıyla ve %3 sasobit içeriğiyle, 50/70 bitümün 25°C'deki penetrasyonunu düşürmüş, yumuşama noktasını artırmıştır. Böylece, bağlayıcının tekerlek izi deformasyonuna karşı direncinin artmasına yardımcı olabilmektedir (Bala ve ark., 2017).

ASTM yöntemine göre,

- SBS katkı maddesi %2 oranı, 50/70 bitümün karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarını 11°C, %4 oranı ise 23°C artırmıştır. Bu yüksek sıcaklıklar da bitümün yaşlanmasına ve düşük sıcaklıklarda asfalt kaplamasında çatlamalara neden olabilmektedir(Liu ve ark., 2018).
- %3 oranında Sasobit katkı maddesi, 50/70 bitümün karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarını 5°C düşürmüştür.
- %3 oranında Sasobit katkı maddesi, %2 SBS katkılı bitümün karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarını sırasıyla 2,5°C ve 3,5°C düşürmüştür. Böylece, 50/70 saf bitüme göre etkisi azalmıştır.
- %3 oranında Sasobit katkı maddesi, %4 SBS katkılı bitümün karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarına neredeyse herhangi bir etkisi gözlenmemiştir.

BTDC yöntemine göre,

- SBS katkı maddesi %2 oranı, 50/70 bitümün karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarını sırasıyla 9°C ve 6°C, %4 oranı ise sırasıyla 20°C ve 15,5°C artırmıştır. Bu değerler ASTM yöntemine göre daha düşüktür.
- %3 oranında Sasobit katkı maddesi, 50/70 bitümün karıştırma sıcaklığını 7°C düşürmüş ve sıkıştırma sıcaklıklarını 1,5°C artırmıştır. Bu artışın sebebi ise, BTDC, sıkıştırma sıcaklığını 2-20 Pa.s viskozitesinde belirlediği için bitüm, düşük sıcaklıklarda bu viskoziteyi sağlamaktadır(Airey, 2001). Sasobit ise düşük sıcaklıklarda bitümün viskozitesini artırmıştır.
- %3 oranında Sasobit katkı maddesi, %2 SBS katkılı bitümün karıştırma sıcaklığını 4°C düşürmüş sıkıştırma sıcaklığını da çok az artırmıştır.
- %3 oranında Sasobit katkı maddesi, %4 SBS katkılı bitümün karıştırma sıcaklığını 2°C düşürmüş sıkıştırma sıcaklığını da çok az derecede artırmıştır.

Sonuçlar karşılaştırıldığında genel olarak BTDC yöntemi ASTM yöntemine göre daha düşük sıcaklıklar belirlemektedir. Sasobit katkı maddesinin BTDC yönteminde bitümün sıkıştırma sıcaklıklarına etkisi olmadığı için ılık karışım katkılı bitümler için ASTM yöntemi bu çalışmaya göre daha uygun görülmektedir. Saf ve SBS katkılı bitümler için ise BTDC yönteminin kullanılması daha uygun görülmektedir.

Sıcaklık duyarlılığı sonuçlarına bakıldığında, SBS tüm yöntemlere göre bitümün sıcaklık duyarlılığını artırmıştır. Sasobit belirli bir trend göstermeyerek aşağıdaki hassasiyet davranışlarını göstermiştir;

- Penetrasyon indeksi yöntemine göre, hem saf hem de SBS katkılı bitümün sıcaklık hassasiyetini düşürmüştür. Bu, düşük sıcaklık çatlamasına ve kalıcı deformasyona karşı direnci artırmaktadır. (Galooyak ve ark., 2010).
- Penetrasyon-viskozite sayısı yöntemine göre, hem de SBS katkılı bitümün sıcaklık duyarlılığını artırmıştır. Bu, karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarını iyileştirmektedir (Behl ve ark., 2014).
- Viskozite sıcaklık duyarlılığı yöntemine göre ise saf bitümün sıcaklık hassasiyetini artırmıştır, SBS katkı bitüm ile de sıcaklık hassasiyeti düşürmüştür. Bu da, tekerlek izi direncini iyileştirmektedir (Behl ve ark., 2014).

5.2 Öneriler

- Asfalt karışımın tasarlamasında herhangi bir yöntemi kullanarak saf veya modifiyeli bitümün mutlaka karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları belirlenmelidir.
- Her modifiyeli bitüm için daha düşük karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları verebilecek yöntem önceden belirlenmelidir.
- Genel olarak SBS katkı maddesi, bitümün esnekliğini ve gecikmeli elastik deformasyonunu arttırmaktadır. Böylece SBS bu iki gösterge viskozite ve yumuşama noktasını yansıtarak bitüm, yüksek sıcaklıklı hava şartlarında kullanılabilir (Zhuang ve ark., 2017).
- Sasobit katkı maddesinin etkisi karıştırma hızı, sıcaklığı ve katkı yüzdesi ile değişmektedir (Solouki ve ark., 2015). Bu çalışmada, Sasobit katkı maddesi (120-125°C) sıcaklığında ve 2100 rpm hızında modifiye edilmiştir. Diğer hız ve sıcaklıklarda da karıştırılabilir.
- Sasobit ve SBS katkılı bitümlerin, kısa dönem yaşlandırıldıktan sonra viskoziteleri incelenebilir.
- Diğer IKA katkı maddeleri Advera®, Aspha-Min® ve Evotherm™, Sasobit® katkı maddesi yerine kullanılabilir.
- Bitümün orta sıcaklık viskozitesi, DSR (Dinamik Kayma Reometresi) kullanarak RV (Dönel Viskometre) sonuçları ile karşılaştırılabilir.
- Sasobit, geri dönüştürülmüş bitüm ile karıştırılıp karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarına etkisi araştırılabilir.
- DSR viskozite sonuçlarını kullanan SSF (Sürekli Kayma Akışı) yöntem sonuçları, bu çalışmadaki sonuçlarla karşılaştırılabilir.
- Elde edilen karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarında asfalt karışımları üretilerek performansları karşılaştırılabilir.

KAYNAKLAR

- Airey, G., 2001, Viscosity-Temperature Effects of Polymer Modification as Depicted by Heukelom's Bitumen Test Data Chart, *International Journal of Pavement Engineering*, 2 (4), 223-242.
- ASTM, 2009, Standard viscosity temperature chart for asphalts.
- Bala, N., Kamaruddin, I., Napiah, M. ve Danlami, N., 2017, Rheological and rutting evaluation of composite nanosilica/polyethylene modified bitumen, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 012012.
- Becker, Y., Mendez, M. P. ve Rodriguez, Y., 2001, Polymer modified asphalt, *Vision tecnologica*.
- Behl, A., Chandra, S. ve Aggarwal, V., 2013, Rheological Characterization of Bituminous Binder containing Wax based Warm Mix Asphalt Additive, *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)*, 9 (1), 16-22.
- Behl, A., Chandra, S., Gangopadhyay, S. ve Director, C.-C., 2014, Temperature Susceptibility of Warm Mix Bituminous Binders, *published and presented at International Conference on Transportation Planning and Implementation Methodologies for Developing Countries organized by IIT Mumbai*.
- Chen, J.-S., Liao, M.-C. ve Tsai, H.-H., 2002, Evaluation and optimization of the engineering properties of polymer-modified asphalt, *Practical Failure Analysis*, 2 (3), 75-83.
- Chen, J.-S., Liao, M.-C. ve Lin, C.-H., 2003, Determination of polymer content in modified bitumen, *Materials and Structures*, 36 (9), 594-598.
- D'Angelo, J., Harm, E., Bartoszek, J., Baumgardner, G., Corrigan, M., Cowser, J., Harman, T., Jamshidi, M., Jones, W. ve Newcomb, D., 2008, Warm-mix asphalt: European practice: international technology scanning program.
- Dai, L. X., 2016, Evaluation of Warm Mix Asphalt Performance Incorporating High Reclaimed Asphalt Pavement Content.
- Diefenderfer, S. D. ve Hearon, A., 2008, Laboratory evaluation of a warm asphalt technology for use in Virginia, *Virginia Transportation Research Council*.
- Galooyak, S. S., Dabir, B., Nazarbeygi, A. E. ve Moeini, A., 2010, Rheological properties and storage stability of bitumen/SBS/montmorillonite composites, *Construction and Building Materials*, 24 (3), 300-307.
- Gambhir, M. L. ve Jamwal, N., 2014, Building and Construction Materials: Testing and Quality Control, 1e (Lab Manual), Tata McGraw-Hill Education, p.
- Gudimettla, J. M., Cooley, L. A. ve Brown, E. R., 2003, Workability of hot mix asphalt, NCAT, p.
- Hensley, J. ve Palmer, A., 1998, Establishing hot mix asphalt mixing and compaction temperatures at the project level, *Asphalt Institute*, 12 (2).
- Heukelom, W., 1969, A bitumen test data chart for showing the effect of temperature on the mechanical behavior of asphaltic bitumens, *Institute of Petroleum, Journal of*.
- Hoiberg, A. J., 1964, Bituminous materials: asphalts, tars, and pitches; volume 1.
- Huner, M. ve Brown, E., 2001, Effects of re-heating and compaction temperature on hot mix asphalt volumetrics, *NCAT report*.
- Hunter, R. N., 2000, Asphalts in road construction, Thomas Telford, p.

- Hveem, F., 1974, Mix design method for asphalt concrete, MS-2, *The Asphalt Institute, College Park, Md.*
- İlcalı, M., Tayfur, S., Özen, H., Sönmez, İ. ve Eren, K., 2001, Asfalt ve uygulamaları, *İSFALT Bilimsel Yayınları* (1), 280.
- Institute, A., 1989, Asphalt Institute, The Asphalt Handbook, Manual Series No. 4, Asphalt Institute, p.
- Institute, A., 2008, The Bitumen Industry-a Global Perspective: Production, Chemistry, Use, Specification and Occupational Exposure, The Institute, p.
- Irgens, F., 2014, Rheology and non-newtonian fluids, Springer, p.
- Ithnin, N., 2008, Determination of Mixing and Compacting Temperatures for Hot Mix Asphalt, *Universiti Teknologi Malaysia*.
- Ji, J., Suo, Z. ve Xu, Y., 2013, Laboratory Evaluation on the Long-term Aging Characterization of Warm Modified Binders, *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 96, 1640-1647.
- Kandhal, P., Roberts, F., Brown, E., Lee, D.-Y. ve Kennedy, T., 1996, Hot mix asphalt materials, mixture design and construction, *NAPA Education Foundation, Lanham, Md.*
- Kennedy, T. W., Roberts, F. L. ve McGennis, R. B., 1984, Effects of compaction temperature and effort on the engineering properties of asphalt concrete mixtures, In: Placement and Compaction of Asphalt Mixtures, Eds: ASTM International, p.
- Khatri, A., Bahia, H. U. ve Hanson, D., 2001, MIXING AND COMPACTION TEMPERATURES FOR MODIFIED BINDERS USING THE SUPERPAVE GYRATORY COMPACTOR (WITH DISCUSSION), *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*, 70.
- Liu, J., Yan, K. ve Liu, J., 2018, Rheological properties of warm mix asphalt binders and warm mix asphalt binders containing polyphosphoric acid, *International Journal of Pavement Research and Technology*.
- Lolly, R., 2013, Evaluation of short term aging effect of hot mix asphalt due to elevated temperatures and extended aging time, Arizona State University, p.
- Lu, X. ve Isacsson, U., 1997, Influence of styrene-butadiene-styrene polymer modification on bitumen viscosity, *Fuel*, 76 (14-15), 1353-1359.
- Lu, X., Isacsson, U. ve Ekblad, J., 2003, Influence of polymer modification on low temperature behaviour of bituminous binders and mixtures, *Materials and Structures*, 36 (10), 652-656.
- Michon, L., Hanquet, B., Diawara, B., Martin, D. ve Planche, J.-P., 1997, Asphalt study by neuronal networks. Correlation between chemical and rheological properties, *Energy & fuels*, 11 (6), 1188-1193.
- Mohammadi, I. ve Khabbaz, H., 2013, Challenges associated with optimisation of blending, mixing and compaction temperature for asphalt mixture modified with crumb rubber modifier (CRM), *Applied Mechanics and Materials*, 1837-1844.
- NGUONG, T. H., 2008, SHORT-TERM AGEING EFFECTS ON ASPHALT BINDERS.
- Praticò, F., Casciano, A. ve Tramontana, D., 2010, Pavement life-cycle cost and asphalt binder quality: Theoretical and experimental investigation, *Journal of Construction Engineering and Management*, 137 (2), 99-107.
- Priyadharshini, Y., Maheshwari, S., Padmarekha, A. ve Krishnan, J. M., 2013, Effect of mixing and compaction temperature on dynamic modulus of modified binder bituminous mixtures, *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 104, 12-20.

- Punith, V., 2005, Studies on the performance of bituminous paving mixtures utilising recycled plastics, *Ph. D. thesis, Dept. of Civil Engineering, Bangalore Univ., Bangalore, India.*
- Raouf, M. A. ve Williams, R. C., 2009, Determination of pre-treatment procedure required for developing bio-binders from bio-oils, *Proc., 2009 Mid-Continent Transportation Research Symposium.*
- Rashwan, M. H., 2012, Characterization of Warm Mix Asphalt (WMA) performance in different asphalt applications.
- Read, J. ve Whiteoak, D., 2003, The shell bitumen handbook, Thomas Telford, p.
- Roberts, F. L., Kandhal, P. S., Brown, E. R., Lee, D.-Y. ve Kennedy, T. W., 1991, Hot mix asphalt materials, mixture design and construction.
- Roque, R., Birgisson, B., Tia, M., Kim, B. ve Cui, Z., 2004, Guidelines for use of modifiers in Superpave mixtures: executive summary and volume 1 of 3 volumes: evaluation of SBS modifier.
- Sengoz, B. ve Isikyakar, G., 2008, Analysis of styrene-butadiene-styrene polymer modified bitumen using fluorescent microscopy and conventional test methods, *Journal of Hazardous Materials*, 150 (2), 424-432.
- Sherman, C., 1994, More Solutions to Sticky Problems. Brookfield Viscometer Guide. Brookfield Engineering Laboratories, Inc.. *Stoughton, Boston, MA., USA*, 1-7.
- Singh, M., 2012, Evaluating Physical, Rheological and Chemical Properties of Modified Bitumen, *Bonfring International Journal of Industrial Engineering and Management Science*, 2 (4), 168-173.
- Singh, M. ve Kumar, P., 2015, Determination of Mixing and Compacting Temperatures for Neat and Modified Bitumen, *Indian Highways*, 43 (9).
- Solouki, A., Muniandy, R., Hassim, S. ve Kheradmand, B., 2015, Rheological property investigation of various Sasobit-modified bitumen, *Petroleum Science and Technology*, 33 (7), 773-779.
- Speight, J. G., 2015, Handbook of petroleum product analysis, John Wiley & Sons, p.
- Stuart, K. D., 2002, Methodology for determining compaction temperatures for modified asphalt binders.
- Tang, Y. ve Haddock, J. E., 2006, Field Testing of the Zero-Shear Viscosity Method, *Factors Affecting Compaction of Asphalt Pavements*, 18.
- Van Den Heever, J., 2014, Warm mix asphalt vs. hot mix asphalt: flexural stiffness and fatigue life evaluation, *Stellenbosch: Stellenbosch University.*
- Vlachovicova, Z., Wekumbura, C., Stastna, J. ve Zanzotto, L., 2007, Creep characteristics of asphalt modified by radial styrene-butadiene-styrene copolymer, *Construction and Building Materials*, 21 (3), 567-577.
- Von Quintus, H. L., 1991, Asphalt-aggregate mixture analysis system, AAMAS, 338, Transportation Research Board, p.
- Wang, L., Wei, J. ve Zhang, Y., 2008, Analysis and discussion on the index of temperature susceptibility for asphalt binders, *Science Technology and Engineering*, 21, 5793-5798.
- Wegan, V. ve Brûlé, B., 1999, The Structure of Polymer Modified Binders and, by: Road Directorate, Danish Road Institute, p.
- Wysong, Z. D., 2004, Development and comparison of the asphalt binder cracking device to directly measure thermal cracking potential of asphalts, *Ohio University.*
- Yaqob, R. N., 2009, Impacts Of Re-Heating And Compaction Temperatures On Hot Mix Asphalt Volumetrics, *AL Rafdain Engineering Journal*, 17 (2), 57-65.

- Yero, A. S. ve Hainin, M. R., 2011, The effect of commercial wax on viscosity characteristics of modified asphalt, *International Journal of Research and Reviews in Applied Science IJRRAS*, 8 (2), 171-175.
- Yildirim, Y., Solaimanian, M. ve Kennedy, T. W., 2000, Mixing and compaction temperatures for hot mix asphalt concrete, *Work*, 1250, 5.
- Yildirim, Y., 2007, Polymer modified asphalt binders, *Construction and Building Materials*, 21 (1), 66-72.
- Zhang, J., 2010, Effects of warm-mix asphalt additives on asphalt mixture characteristics and pavement performance.
- Zhuang, C., Li, N., Zhao, W. ve Cai, C., 2017, Effects of SBS Content on the Performance of Modified Asphalt, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 012028.

İNTERNET KAYNAKLARI

- URL 1: KGM, Karayollari Genel Müdürlüğü 2018 Yili Bütçe Ödenekleri.
<http://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Kurumsal/Butce.aspx>.
 (Ziyaret Tarihi: 7 Ekim 2018)
- URL 2: SasolWax, Sasol Performance Chemicals.
http://www.sasobit.com/files/downloads/en/sasobit/ProductInformation_en.pdf
 (Ziyaret Tarihi: 7 Ekim 2018).
- URL 3: Kraton Corporation Bitumen Modification, Mixing.
<http://kraton.com/products/mixing.php>
 (Ziyaret Tarihi: 15 Kasım 2018).

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mohammed Ihsan Abbas ALDAKUKY
Uyruğu : IRAK
Doğum Yeri ve Tarihi : 27.08.1991
Telefon : 05050094942
Faks :
e-mail : Moh.ihs91@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Atabegler Lisesi, Kerkük, Irak	2009
Üniversite	: Kerkük Üniversitesi, Kerkük, Irak	2013
Yüksek Lisans	: Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya	2018
Doktora	: -	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2013-2014	Kerkük Belediyesi	Mühendis
2014	Soma City Toplu Konut Projesi	Şantiye Mühendisi
2014-2015	Kerkük Organize Sanayi Projesi	Şantiye Mühendisi

UZMANLIK ALANI

YABANCI DİLLER

Türkçe
 İngilizce
 Arapça

YAYINLAR

SBS ve Sasobit Katkı Maddelerinin Bitümlü Bağlayıcıların Karıştırma ve Sıkıştırma Sıcaklıklarına Etkisi
 IV. Uluslararası Akademik Araştırmalar Kongresi (INES - 2018)
 (30 Ekim-03 Kasım) Alanya/ Türkiye
 (Yüksek Lisans tezinden yapılmıştır)