T.C.
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ULAŞTIRMA BİLİM DALI

POLİMER MODİFİYE BİTÜMLÜ BAĞLAYICILARIN MODİFİKASYON PROSEDÜRÜNDE KARIŞTIRMA PARAMETRELERİNİN ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

İnşaat Müh. Osman DUMANLI

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Dilay UNCU

MANİSA–2022

Osman DUMANLI	**POLİMER MODİFİYE BİTÜMLÜ BAĞLAYICILARIN MODİFİKASYON PROSEDÜRÜNDE KARIŞTIRMA PARAMETRELERİNİN ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**	**2022**

TAAHHÜTNAME

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Ulaştırma bilim dalı'nda, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Osman DUMANLI

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	I
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	II
ŞEKİLLER DİZİNİ	III
TABLO DİZİNİ	V
TEŞEKKÜR	VI
ÖZET	VII
ABSTRACT	VIII
1. GİRİŞ	1
2. BİTÜM	4
2.1. Bitümün Kimyasal Yapısı	4
2.2. Bitümün Davranışı	5
3. BİTÜM MODİFİKASYONU	7
3.1. Modifikasyonun ve Amacı	7
3.2. Bitüm Modifikasyonunda Kullanılan Katkı Malzemeleri	8
3.3. Katkı Malzemelerinin Bitüm Özellikleri Üzerindeki Etkisi	10
3.4. Tezin Amacı	12
4. DENEYSEL YÖNTEMLER	13
4.1. Penetrasyon Deneyi	13
4.2. Yumuşama Noktası Tayin Deneyi	15
4.3. Dönel İnce Film Halinde Isıtma Deneyi	16
4.4. Brookfield Viskozite Deneyi	17
4.5. Floresans Mikroskop ile Morfolojik Analiz	18
5. MALZEME ÖZELLİKLERİ VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR	21
5.1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri	21
5.1.1. Bitüm	21
5.1.2. Stiren-Butadien-Stiren (SBS)	22
5.2. Saf Bitüm Deney Sonuçları	24
5.3. Modifiye Bitüm Örneklerin Hazırlanması	26
5.4. Geleneksel Bitüm Deneyleri Sonuçları	30
5.5. Modifiye Bitüm Örneklerinin Morfolojik Analizi	45
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	56
KAYNAKLAR	61
ÖZGEÇMİŞ	64

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ASTM	American Society for Testing and Material (Amerikan Malzeme ve Test Derneği)
CM	Santimetre
cP	Centipoise
Dak.	Dakika
EVA	Etil-Vinil-Asetat
MG	Miligram
mL	Mililitre
mL/Dak	Mililitre/Dakika
MM	Milimetre
PI	Penetrasyon İndeksi
PMB	Polimer Modifiye Bitüm
P25	Oda Sıcaklığındaki Yaşlanmamış Numunenin Penetrasyon Değeri
R/Dak	Devir/Dakika
RPM	Revolutions per Minute (1 dakika içerisinde gerçekleşen dönüş/devir)
SB	Saf Bitüm
SBS	Stiren-Butadien-Stiren
TS EN	Türk Standardı Europen Norm
T_{YN}	Yaşlanmamış Yumuşama Noktası Değeri
°C	Santigrat Derece
%	Yüzde

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Bitümlü bağlayıcıda zaman bağlı oluşan gerilme ve deformasyonlar 6
Şekil 4.1. Penetrasyon deney cihazı ve yardımcı ekipmanlar 13
Şekil 4.2. Yumuşama noktası tayin deneyi cihazı ve yardımcı ekipmanlar..... 15
Şekil 4.3. Hassas terazi(10 mg hassasiyetli) 16
Şekil 4.4. Dönel ince film halinde ısıtma deneyi cihazı ve yardımcı ekipmanlar 17
Şekil 4.5. Brookfield viskozite deneyi cihazı ve yardımcı ekipmanlar..... 18
Şekil 4.6. Polimer modifiye bitüm örneğine ait lam lamel görüntüsü 19
Şekil 4.7. Inverted floresans mikroskop cihazı 19
Şekil 5.1. Saf bitüm..... 21
Şekil 5.2. Bitümlü sıcak kaplamaların bitüm performans sınıfları 22
Şekil 5.3. Toz (powdered) SBS (Hiprene S) polimeri 22
Şekil 5.4. Saf bitümün karıştırma ve sıkıştırma sıcaklık aralıkları 24
Şekil 5.5. Polimer modifiye bitüm mikseri ve yardımcı ekipmanlar 28
Şekil 5.6. Saf bitüm ve modifiye bitüm örneklerinin yumuşama noktası tayin deneyi sonuçları 31
Şekil 5.7. Saf bitüm ve modifiye bitüm örneklerinin penetrasyon deneyi sonuçları ve penetrasyon indeksi değerleri..... 32
Şekil 5.8. Saf bitüm ve modifiye bitüm örneklerinin Brookfield viskozite deneyi sonuçları 34
Şekil 5.9. PMB_{111} örneğine ait sıkıştırma ve karıştırma sıcaklık aralıkları 37
Şekil 5.10. PMB_{112} örneğine ait sıkıştırma ve karıştırma sıcaklık aralıkları 38
Şekil 5.11. PMB_{121} örneğine ait sıkıştırma ve karıştırma sıcaklık aralıkları 38
Şekil 5.12. PMB_{122} örneğine ait sıkıştırma ve karıştırma sıcaklık aralıkları 39
Şekil 5.13. PMB_{131} örneğine ait sıkıştırma ve karıştırma sıcaklık aralıkları 39
Şekil 5.14. PMB_{132} örneğine ait sıkıştırma ve karıştırma sıcaklık aralıkları 40
Şekil 5.15. PMB_{211} örneğine ait sıkıştırma ve karıştırma sıcaklık aralıkları 40
Şekil 5.16. PMB_{212} örneğine ait sıkıştırma ve karıştırma sıcaklık aralıkları 41
Şekil 5.17. PMB_{221} örneğine ait sıkıştırma ve karıştırma sıcaklık aralıkları 41
Şekil 5.18. PMB_{222} örneğine ait sıkıştırma ve karıştırma sıcaklık aralıkları 42
Şekil 5.19. PMB_{231} örneğine ait sıkıştırma ve karıştırma sıcaklık aralıkları 42
Şekil 5.20. PMB_{232} örneğine ait sıkıştırma ve karıştırma sıcaklık aralıkları 43
Şekil 5.21. Saf bitüm ve modifiye bitüm örneklerinin karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları..... 44
Şekil 5.22. PMB_{111} örneğine ait lam lamel görüntüsü 46
Şekil 5.23. PMB_{112} örneğine ait lam lamel görüntüsü 46
Şekil 5.24. PMB_{121} örneğine ait lam lamel görüntüsü 46
Şekil 5.25. PMB_{122} örneğine ait lam lamel görüntüsü 47
Şekil 5.26. PMB_{131} örneğine ait lam lamel görüntüsü 47
Şekil 5.27. PMB_{132} örneğine ait lam lamel görüntüsü 47
Şekil 5.28. PMB_{211} örneğine ait lam lamel görüntüsü 48
Şekil 5.29. PMB_{212} örneğine ait lam lamel görüntüsü 48
Şekil 5.30. PMB_{221} örneğine ait lam lamel görüntüsü 48
Şekil 5.31. PMB_{222} örneğine ait lam lamel görüntüsü 49
Şekil 5.32. PMB_{231} örneğine ait lam lamel görüntüsü 49
Şekil 5.33. PMB_{232} örneğine ait lam lamel görüntüsü 49
Şekil 5.34. PMB_{111} örneğine ait floresans mikroskop görüntüsü 50
Şekil 5.35. PMB_{112} örneğine ait floresans mikroskop görüntüsü 51

Şekil 5.36. PMB_{121} örneğine ait floresans mikroskop görüntüsü 51
Şekil 5.37. PMB_{122} örneğine ait floresans mikroskop görüntüsü 51
Şekil 5.38. PMB_{131} örneğine ait floresans mikroskop görüntüsü 52
Şekil 5.39. PMB_{132} örneğine ait floresans mikroskop görüntüsü 52
Şekil 5.40. PMB_{211} örneğine ait floresans mikroskop görüntüsü 52
Şekil 5.41. PMB_{212} örneğine ait floresans mikroskop görüntüsü 53
Şekil 5.42. PMB_{221} örneğine ait floresans mikroskop görüntüsü 53
Şekil 5.43. PMB_{222} örneğine ait floresans mikroskop görüntüsü 53
Şekil 5.44. PMB_{231} örneğine ait floresans mikroskop görüntüsü 54
Şekil 5.45. PMB_{232} örneğine ait floresans mikroskop görüntüsü 54

TABLO DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Bitümün kimyasal bileşenleri	4
Tablo 3.1. Bitümde kullanılan katkı çeşitleri	9
Tablo 3.2. Polimer katkı çeşitleri	10
Tablo 3.3. Polimer çeşitlerin iyileştirici etkileri	11
Tablo 4.1. Penetrasyon okumaları arası maksimum fark değerleri	14
Tablo 5.1. SBS Hiprene S'nin teknik bilgileri	23
Tablo 5.2. Saf bitüm deney sonuçları	25
Tablo 5.3. Literatürde yapılmış olan polimer modifiye bitüm karışım koşulları	27
Tablo 5.4. Karıştırma parametreleri ve dereceleri	29
Tablo 5.5. Karıştırma parametrelerine göre oluşan kombinasyonlar ve kısaltmaları	29
Tablo 5.6. Saf bitüm ve polimer modifiye bitüm kombinasyonları üzerine uygulanan geleneksel bitüm deney bitüm deneyleri sonuçları	30
Tablo 5.7. Saf bitüm ve modifiye bitüm örneklerinin modifikasyon indeksi değerleri	36
Tablo 5.8. Saf bitüm ve modifiye bitüm örneklerinin karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları değerleri	45

TEŞEKKÜR

Çalışmamın her aşamasında bana destek olan, bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Dilay UNCU' ya, polimer katkının temininde yardımcı olan İstanbul Teknik ailesine ve saf bitüm temininde yardımcı olan Manisa Amiroğlu Şirketler Grubu ailesine ve hassaten Bahtiyar AMİROĞLU' na, bilgi ve tecrübesi ile öğrenim hayatım ile hayatımın tüm zorlu aşamalarında maddi manevi her yönden yardımcı desteğini hiç eksik etmeyen ve hep yanımda olan, sevgili babam Burhan DUMANLI' ya ve sevgili annem Naciye DUMANLI' ya yürekten teşekkürü bir borç bilirim.

Osman DUMANLI
Manisa, 2022

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Polimer Modifiye Bitümlü Bağlayıcıların Modifikasyon Prosedüründe Karıştırma Parametrelerinin Etkisinin Araştırılması

Osman DUMANLI

Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Dilay UNCU

Gelişen dünyada artan yük ve yolcu taşımacılığı, büyük oranda, ulaştırmada önemli bir yere sahip olan karayolları ile gerçekleşmektedir. Geçen son yarım asırda gerçekleşen petrol krizleri ile oluşan saf bitüm sıkıntısı ve karayollarında zamanla oluşan bozulmalara karşı birçok katkı geliştirilmiştir. Bu katkılar içinde de elastomer polimer olarak bilinen ve en çok kullanılan katkı Stiren-Butadien-Stiren (SBS) kopolimeridir. Bu çalışmada SBS (Hiprene S) ile 50/70 penetrasyon değerine sahip saf bitüm karıştırılarak polimer modifiye bitüm üretilmiştir. Üretilen polimer modifiye bitümlü bağlayıcı örneklerinin modifikasyonunda karıştırma parametrelerin etkisi araştırılmıştır.

Yapılan tez çalışmasında, literatürde kullanılan karıştırma koşulları değerlerine uygun değerler belirlenmiş ve on iki farklı modifiye bitüm kombinasyonu oluşturulmuştur. Daha sonra geleneksel deneyler olan penetrasyon deneyi, yumuşama noktası tayin deneyi, brookfield viskozite deneyi ve kısa dönemli yaşlandırma için de ince film halinde ısıtma deneyi yapılarak polimer modifiye bitümün özellikleri ve floresans mikroskobu ile de polimer modifiye bitümün morfolojik yapısındaki değişimlere bakılarak karıştırma parametrelerinin polimer modifiye bitümlü bağlayıcılarının modifikasyonunda ne kadar etkili olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak en uygun karıştırma koşulları; karıştırma sıcaklığı 175±5°C, karıştırma hızı 2000 rpm ve karıştırma süresi ise 60 dakika olarak tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Polimer Modifiye Bitüm, SBS, Karıştırma Koşulları, Karıştırma Parametreleri, Geleneksel Bitüm Deneyleri, Morfojik Analiz

2022, VIII+64 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

Investigation of the Effect of Mixing Parameters on the Modification Procedure of Polymer Modified Bituminous Binders

Osman DUMANLI

Manisa Celal Bayar University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Dilay UNCU

Increasing cargo and passenger transportation in the developing world is mostly carried out by highways, which have an important place in transportation. Many additives have been developed against the base bitumen shortage caused by the oil crises in the last half century and the deterioration of the highways over time. Among these additives, the most widely used additive known as elastomer polymer is Styrene-Butadiene-Styrene (SBS) copolymer. In this study, polymer modified bitumen was produced by mixing SBS (Hiprene S) with base bitumen with a penetration value of 50/70. The effect of mixing parameters on the modification of the produced polymer modified bitumen binder samples was investigated.

In this thesis, the suitable values were determined for the mixing conditions used in the literature were determined and twelve different modified bitumen combinations were created. Then, the conventional tests such as penetration test, softening point determination test, Brookfield viscosity test and thin film oven test for short-term aging were carried out to determine the mixing parameters of polymer modified bitumen binders by looking at the properties of the polymer modified bitumen and the changes in the morphological structure of the polymer modified bitumen with fluorescence microscopy. It has been determined how effective it is in the modification. As a result, the most suitable mixing conditions; 175±5°C as the mixing temperature, 2000 rpm as the mixing speed and 60 minutes as the mixing time were determined.

Keywords: Polymer Modified Bitumen, SBS, Mixing Conditions, Mixing Parameters, Conventional Bitumen Tests, Morphological Analysis

2022, VIII+64 pages

1. GİRİŞ

Günümüz dünyasında karayolları ulaşımda vazgeçilemeyecek düzeyde hayati bir öneme sahiptir. Özellikle ülkemizde seyahat ve ağır yük taşımacılığının büyük bir kısmı karayolları ile giderilmektedir. Bunun sonucunda karayollarımızın ana malzemesi olan bitümün yapısal, reolojik, morfolojik ve termal özelliklerinde zamanla değişen trafik, çevresel ve mevsimsel etkilerden dolayı bozulmalar meydana gelir. Bu etkileri giderebilmek için gelişen teknoloji sayesinde farklı türde polimer katkılar kullanarak polimer modifiye bitümler üretilmektedir. Üretilen bu polimer modifiye bitümler yol üstyapılarının tekerlek izi oturması, ondülasyon, agrega soyulması ve düşük sıcaklık çatlakları gibi bozulmalara karşı dirençli olmasını sağlamaktadır.

Bitümün modifiye edilmesinde ihtiyaç duyulan en yaygın katkılar polimerlerdir. Bitüm karışımlarında elde edilmek istenen performansın oluşabilmesi için modifikasyon karışımının özenilerek yapılması gerekmektedir. Başarılı bir polimer modifikasyon karışımı, bitüm ve bitümün karakteristik özelliklerine, modifikasyon hedefine yönelik kullanılan polimer katkısına ve polimer modifiye bitüm karıştırma koşularına bağlıdır [1].

Bitümün farklı polimer katkılar ile modifikasyonu, polimerin türüne, bitüm içeriğine ve karışım şartları gibi kriterlere bağlı olarak, reolojik ve kimyasal özellik değişikliklerine neden olur. Karışım parametreleri olarak isimlendirilen karışım şartları; karıştırma sıcaklığı, karıştırma süresi, karıştırma hızı gibi alt başlıklarla araştırılabilir. Polimer Modifiye Bitüm (PMB) karışım şartları, ya da diğer bir söylemle karışım parametreleri, malzemenin yaşlanma özellikleri, polimerin bozunması ya da polimerin bitüm tarafından emilimi gibi polimer modifiye bitüm özellikleri üzerinde önemli etkilere sahiptir [2].

Haddadi, Ghorbel ve Laradi karıştırma parametresi olan karıştırma süresi için farklı miktarda EVA katkısı ile modifiye edilmiş bitümün performansı üzerinde,

karıştırma süresinin önemini araştırmışlardır. Her numune için karıştırma süresini dört saate kadar artırarak penetrasyon değeri ölçüldüğünde, penetrasyon değerinin süre kadar azaldığı ve sonunda dört saat sonra sabit bir değer haline geldiği sonucuna varmışlardır. Ayrıca yumuşama noktası için aynı araştırmaları yaparak benzer sonuçlar elde etmişlerdir. Bu nedenle karıştırma süresini 300 rpm hız için dört saat olarak belirlemişlerdir [3].

Mohan, Woldekidan ve Qiu karıştırma parametresi olan karıştırma hızı için EVA ile modifiye edilmiş bitümün geleneksel test sonuçları ve morfolojisi üzerinde farklı kesme hızlarının olası etkilerini incelemişlerdir. Test sonuçlarına göre, daha yüksek kesme hızları, penetrasyon değerinde bir düşüş ve numunenin morfolojilerinde belirgin değişiklikler sağlamıştır [4].

Shaffie, Arshad, Alisibramulisi, Ahmad, Hashim, Abd Rahman ve Jaya karıştırma parametresi olan karıştırma sıcaklığı için numunelerin geleneksel test sonuçları üzerindeki karıştırma sıcaklığının etkilerini araştırmışlardır. Karışım sıcaklığının artması, karıştırma süresinin artmasıyla benzer sonuçlara sahip olmuştur. Daha yüksek karıştırma sıcaklıkları ile üretilen numuneler, daha yüksek penetrasyon, daha düşük yumuşama noktası değerleri ve belirli bir değere kadar sıcaklık duyarlılığı ile sonuçlanmıştır. 180°C'nin üzerinde, bitüm oksitlenmeye başladığında, karışım sıcaklığının artması penetrasyon değerinde azalma, yumuşama noktasında ve sıcaklık duyarlılığında artışa neden olmuştur [5].

Bu tez çalışmasında amaçlanan, polimer modifiye bitüm modifikasyonunda etkili parametreler olan karıştırma hızı, karıştırma süresi ve karıştırma sıcaklığının optimum değerlerini bulup, önemini aksettirmektir. Modifikasyon için SBS(Hiprene S) polimer katkısı ve 50/70 penetrasyon sınıfına ait saf bitüm kullanarak polimer modifiye bitüm (PMB) üretilmiştir. Üretilen polimer modifiye bitüme etki eden parametreler olarak bilinen; karıştırma hızı, karıştırma sıcaklığı ve karıştırma süresini geleneksel deneyler olan penetrasyon deneyi, yumuşama noktası deneyi, ince film halinde ısıtma deneyi ve dönel viskozimetre deneyi yapıldıktan sonra floresans mikroskobuyla polimer modifiye bitüm numunelerinin görüntüleri çekilmiştir. Daha

sonra optimum karıştırma hızı, karıştırma süresi ve karıştırma sıcaklığının değerleri tespit edilmiş ve en uygun karıştırma parametrelerini içeren kombinasyon belirlenmiştir. Bu sayede kamu ya da özel sektör projelerinde kullanılan polimer modifiye bitümün bu çalışma sonucunda bulunan polimer modifiye bitüme etki eden parametreler olarak bilinen; karıştırma hızı, karıştırma sıcaklığı ve karıştırma sürelerinin değişimlerindeki etkinin ortaya koyulmasının uygun parametrelerin belirlenebilmesi açısından faydalı olacağı düşünülmektedir.

2. BİTÜM

Bitüm ana bileşeni hidrokarbonlar ve türevlerinden oluşan, belli sıcaklıklarda ısıtıldığında sıvılaşarak yumuşayan, viskoz özellik gösteren, trikloretilende ayrışabilen özelliklere sahip bir maddedir [6].

Bitümler doğa koşularına karşı mukavemetli agrega ile birleşince sağlam bir bağ kurabilen ve sızdırmazlık açısından çok iyi bir malzeme olduğundan esnek kaplamalarda kullanılmaktır [7].

2.1. Bitümün Kimyasal Yapısı

Bitümlerin içeriği kimyasal açıdan kompleks bir yapıya sahip olduğundan kimyasal analizi çok zordur. Kimyasal içerik olarak bakıldığında hidrokarbon moleküleri olan karbon yüzde 82-88 civarı, hidrojen yüzde 8-11 civarı, sülfür yüzde 1-6 civarı, nitrojen yüzde 0-1 civarı, oksijen yüzde 0-1,5 civarı ve çok az miktarda metal bulunduğu Tablo 2.1.'de görülmektedir [8].

Tablo 2.1. Bitümün kimyasal bileşenleri [8]

Bitüm bileşenleri	**Bileşen yüzdesi (%)**
Karbon	82-88
Hidrojen	8-11
Sülfür	1-6
Nitrojen	0,1
Oksijen	0-1,5
Eser miktarda metal	

Bitümler kimyasal açıdan daha basit yapılara ayrılarak incelenirse maltenler ve asfaltenler olarak iki büyük ana kimyasal yapıdan oluştuğu görülür. Maltenlerde üç alt sınıf olan aromatikler, reçineler ve doygunlardan oluşmaktadır [9].

Asfaltenlere bakıldığında kahverengi veya siyah amorf katı bir yapıya sahip olup, içinde hidrojen, karbon ve biraz da oksijen, nitrojen ve sülfür bulunmaktadır. Asfaltenlerin molekül kütlesi çok, kompleks ve polar aromatiktirler. Asfaltenler bitümlerin yapısında çok olduklarında bitümün kıvamı artarak sert ve yoğun bir hal alır. Bunun sonuncunda yumuşama noktası ve viskozite değerleri artarken penetrasyonu düşer [10].

Malten olan aromatikler, bitümde %40-65 civarında yer kaplayan ama molekül kütlesi küçük naftenik içerikli bileşiklerde oluşan viskoz sıvı olarak davranan koyu kahverengi renkli bir yapıdır [10].

Maltenlerden reçinelere bakıldığında aynı aromatikler gibi rengi koyu kahverengi olduğu görülür. Ayrıca yapışkanlık özelikleri olup bu özelliğini elektriksel yüklü olduklarına borçludurlar. Yapılarında karbon, hidrojen, az miktarda nitrojen, sülfür ve oksijen olan yarı katı bir yapıya sahiptirler [10].

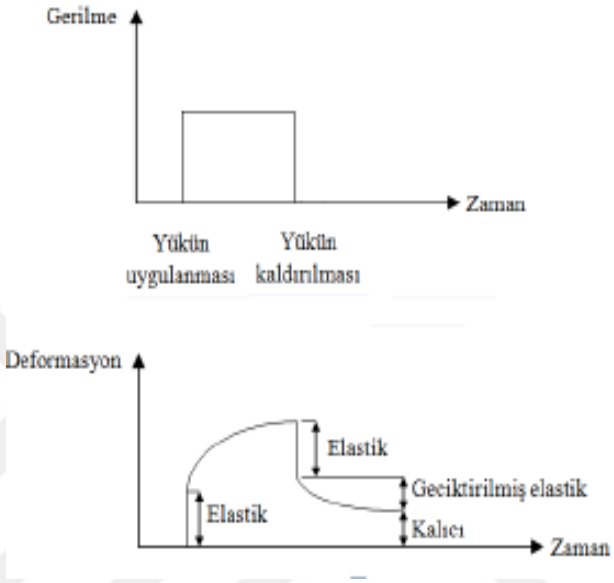
Son olarak maltenlerden doygunlara bakıldığında ise asfaltenler gibi polar değillerdir. Viskoz yağ olup beyaz renkli bir yapıya sahiptir [10].

Asfaltenlerin ve maltenlerin oranlarına bağlı olarak bitümün reolojik özellikleri değişebilmektedir. Örneğin asfalten miktarı sabit tutulup, maltenlerden de reçine ve doygun oranı sabit tutulduktan sonra aromatiğin miktarı arttırıldığında en fazla yapacağı olumsuz etki kayma mukavemetini az miktarda düşürmesidir. Penetrasyon değerinin düşüp bitümün sertleşmesi reçine oranı artırılıp, asfalten, aromatik ve doygunların oranı sabit bırakılması ile olabilir. Başka bir açıdan bitümü yumuşatmak için ise viskoz yağ olan doygunun miktarını artırıp ve asfalten, aromatiklerin ve reçinelerin oranını sabit tutmak yeterli olacaktır [10].

2.2.Bitümün Davranışı

Bitümlü bağlayıcının viskoelastik özelliğine bakıldığında; yük yüklenmesi

sonucu ani elastik bir davranış ile zaman içinde viskoz deformasyonlar oluşuğu görülür. Tam tersi bir şekilde yük kaldırıldığında ise tekrar ani elastikten dolayı deformasyon yavaş kalkarak en sonunda azda olsa kalıcı bir deformasyon bitümlü bağlayıcı üzerinde oluşmaktadır. Viskoelastik özeliğinden kaynaklanan deformasyon ve gerilmeler Şekil 2.1.'de görülmektedir [11].



Şekil 2.1. Bitümlü bağlayıcıda zamana bağlı oluşan gerilme ve deformasyonlar [11]

3. BİTÜM MODİFİKASYONU

3.1. Modifikasyon ve Amacı

İlk defa kullanıldıklarında çok iyi bir konforla hizmet veren bitümlü yollar çevre koşuları, doğa ve trafik etkilerinden dolayı düşük sıcaklık çatlakları, deformasyonlar, ondülasyon ve agrega soyulmaları ile birçok zararlı bozulmalara karşı karşıya kalır. Bu tür bozulma nedenlerini ortadan kaldırmak için bitümlü karışım ya da bitümlü bağlayıcılara değişik türlerde katkı malzemeleri koyularak bitümlü bağlayıcılar modifiye edilmeye çalışılmıştır. Modifiye bitüm; bitümlü bağlayıcının iyileştirilmesi için içine belirli koşul ve bitüm yüzdesi oranına göre katkı koyulması ile elde edilir. Daha sonra çeşitli deneyler yapılarak bitüm özelliklerinin nasıl etkilendiği tespit edilir [10].

Bitümlü bağlayıcıların modifiye edilmesindeki amaç; yüksek sıcaklıklarda yolların rijitliğinin yeterli düzeyde sağlanması ve kalıcı deformasyonlara karşı koyması, ondülasyon, agrega soyulmalarına karşı dirençli olması ve çatlamaların olmaması için düşük sıcaklıklarda esneklik açısından yeterli olmasıdır. Bitümlü bağlayıcıların modifiye edilmesindeki nedenleri şöyle açıklayabiliriz;

- Kötü kaliteye sahip agregaları kullanımını iyileştirmek,
- Kötü kaliteye sahip iyileşme oranını artırmak,
- Bağlayıcıların agregaya yapışmasını sağlayarak agrega soyulmasına engellemek,
- Esnekliği düşük sıcaklıklarda arttırarak kırılmaları azaltmak,
- Tekerlek izini azaltmak,
- Sürtünmeyi artırarak kaymayı engellemek,
- Yaşlanma sürecini ertelemek,
- Maliyetin azaltılmasına yardımcı olmak,
- İlk günkü konfora yakın konforu sürdürmek,
- Kaplamanın ömrünü uzatabilmek,
- Her türlü çatlağı engelleyebilmek,
- Karışımın kullanımını kolaylaştırmak,

- Kaplamadaki terleme ve kusmayı engellemek
- Her türlü yönden bitümü kusurlarını önlemek için bitüm modifiye edilir [10].

Bitüm modifikasyonu için kullanılan katkılar, belirli şartları yerine getirebilmesi için istenen özellikler bakımından şöyle sıralayabilir;

- Bitümün içinde tamamen düzgün bir şekilde dağılmalıdır,
- Bitümün hazırlandığı sıcaklıklarda etkisini yitirmemelidir,
- Kolay ulaşılır olmalıdır,
- Bitümün yüksek sıcaklıklarda viskozitesini arttırmadan akışkanlığa karşı mukavemetini artırılabilmelidir,
- Bitümün düşük sıcaklıklarda esnek olmasını sağlamalıdır,
- Pahalı olmamalıdır [10].

Bitüme karıştırılan katkının karışım sonrası şu özellikleri sağlaması istenmektedir;

- İşlenebilirlik açısından uygulama zorluğu oluşturmamalı,
- Uygun mukavemet ve rijitliği sağlamalı,
- Sahip olduğu özelliklerini koruyabilmeli,
- Bitümün agrega ile bağ kurmasına engel olmamalı ve uygulama sıcaklıklarında kullanımına uygun olabilmeli [10].

3.2. Bitüm Modifikasyonunda Kullanılan Katkı Malzemeleri

Bitüm ve bitümlü karışımların modifiye edilmesinde kullanılan katkıların çeşitleri, örnekleri ve bitüm özelikleri üzerindeki etkisi aşağıdaki Tablo 3.1.'de detaylı bir şekilde verilmiştir.

Tablo 3.1. Bitümde kullanılan katkı çeşitleri [10]

Çeşit		Katkı Örnekleri	Kıvama Etkisi
Filler		a) Sülfür b) Siyah karbon c) Mineral filler; Taş tozu, Kireç, Portland çimentosu, Uçucu kül	Sertleştirme
Plastik	Polimer	a) Polivinil klorid b) Etil vinil asetat c) Polietilen d) Polipropilen	Sertleştirme
Kauçuk 1. Yapay lateks 2. Doğal lateks 3. İşlenmiş kauçuk 4. Blok kopolimer	Polimer	a) Dönüştürülmüş kauçuk b) Stiren butadien stiren c) Doğal kauçuk d) Stiren butadien kauçuk	-
Bileşim	Polimer	a) Plastik ve kauçuk polimerlerin karışımı	-
Genleştirici		a) Lignin b) Sülfür	Sertleştirme
Soyulma önleyici		a) Kireç b) Aminler	Yumuşatma
Hidrokarbon		a) Sertleştirici ve doğal asfaltlar b) Yeniden kullanma ve gençleştirme yağları	Yumuşatma veya Sertleştirme
Antioksidan		a) Karbon b) Kalsiyum tuzu c) Kurşun karışımları	Yumuşatma
Oksidan		a) Manganez tuzu	Sertleştirme
Fiber		a) Yapay fiber; Polipropilen, Fiberglass, Polyester b) Doğal fiber; Asbest, Taş yünü	Sertleştirme

Gelişen teknoloji ile petrolde yaşanan krizlerden dolayı modifiye bitümlerde katkıların kullanımı değer kazanarak yaygınlaşmaya başlamıştır. Bu yöndeki çalışmaların artması ve polimer katkıların kullanımı ile bitüm üzerindeki fiziksel iyileşmelerin görülmesi sonucu polimer katkılar popüler hale gelmiştir [12]. Tablo 3.2.'de polimer katkı çeşitleri ve örnekleri detaylı bir şekilde görülmektedir.

Tablo 3.2. Polimer katkı çeşitleri [10]

Polimer çeşitleri		**Polimer Örnekleri**
Plastikler(plastomerler)	1. Termoplastikler	a) Etilen-vinil-asetat, b) Politiren c) ,Polivinil-klorid d) Polietilen e) Polipropilen
	2. Termosetler	a) Polyester reçine b) Epoksi reçine
Elastomerler	1. Yapay kauçuklar	a) Stiren-butadien-stiren kopolimer b) Sentetik-butadien kopolimer c) İsopren kopolimer d) Etilen-prokplendien-harmoliper
	2. Doğal kauçuklar	
Fiberler		a) Polipropan fiberler b) Fiberler c) Polyester
İşlenmiş kauçuklar		

3.3. Katkı Malzemelerinin Bitüm Özellikleri Üzerindeki Etkisi

Polimer çeşitlerinden olan elastomerler dayanımlarını ve elastiklik açısından sünekliliklerini 3D köprüleri ile çapraz bağlarından dolayı elde ederler. Bu oluşum uç kısmında polistren bloklarının farklı yerlerde birikmesi ve 3D boyutlu polisopren veya polibutadien kauçuk yapısını oluşturmalarından kaynaklanmaktadır. Elastomerlere dayanımını sağlayan uç kısımlarındaki polistren bloklardır, aradaki bloklar ise elastomere yüksek süneklik kazandırır [13].

Polimer çeşitlerinden plastomerler bitümlerin içine katıldıklarında bitümün kıvamını artırıp akmaya karşı direnci geliştirerek viskozite artışına neden olmaktadırlar. Ama buna karşın esnekliği elastomerler kadar artıramazlar. Aynı zamanda sıcaklık artırılıp ısıtıldığında ve tekrar soğutulduğunda heterojen bir dağılım meydana gelir [14].

Aşağıdaki Tablo 3.3.'te polimer çeşitlerinden plastomerler ile elastomerlere örnek verilerek bitümde zamanla oluşan bozulmalardan yaşlanma, nem hasarı, düşük sıcaklık çatlağı, yorulma çatlağı ve kalıcı deformasyona olan olumlu etkileri gösterilmektedir.

Tablo 3.3. Polimer çeşitlerinin iyileştirici etkileri [15]

Polimer çeşitleri	**Polimer örnekleri**	**İyileştirici özelikleri**				
		Kalıcı deformasyon	Yorulma çatlağı	Düşük sıcaklık çatlağı	Nem hasarı	Yaşlanma
Plastomerler	Polipropilen	x				
	Polietilen	x		x		
	Etilen vinil asetat	x	x			
	Etilen propilen-dien monomer	x				
	Etilen akrilat	x				
	Poliisobutilen	x				
Elastomerler	Stiren-butadien-di-blok	x		x	x	
	Stiren-butadien-stiren	x	x	x		
	Stiren-izopren	x				
	Stiren-butadien-kauçuk	x		x		
	Doğal kauçuk	x				

3.4. Tezin Amacı

Yapılan çalışmada SBS (Hiprene S) polimeri ile 50/70 penetrasyon sınıfına ait saf bitüm kullanılarak polimer modifiye bitüm örnekleri üretilmiştir. SBS ile modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcıların, modifikasyon prosedüründeki karıştırma parametreleri olarak bilinen; karıştırma hızı, karıştırma süresi ve karıştırma sıcaklıkları parametrelerinin modifiye bitüm özelliklerine etkisi incelenmiştir. Modifiye bitüm örnekleri için, on iki farklı kombinasyonla karışım koşuları belirlenmiştir. Belirlenen karıştırma koşulları ile oluşturulan modifiye bitüm örneklerine geleneksel bitüm deneylerinden; yumuşama noktası tayin deneyi, penetrasyon deneyi, brookfield viskozite deneyi ve ince film halinde ısıtma deneyleri yapılarak polimer modifiye bitümün özellikleri ve floresans mikroskobu ile görüntüleri çekilerek morfolojik yapıları tespit edilmiştir. Oluşturulan kombinasyonlara uygulanan deneyler sonunda karıştırma koşullarının etkisi incelenmiş ve en uygun karıştırma koşulu tespit edilmiştir.

4. DENEYSEL YÖNTEMLER

4.1. Penetrasyon Deneyi (TS EN 1426, ASTM D5)

Penetrasyon deneyinin yapılmasının amacı, bitümlü bağlayıcıların sertlik ve kıvam özelliklerinin tespit edilmesidir. Penetrasyon değerinin artması ile sertlik ve kıvam azalır. Penetrasyon değeri azalınca sertlik ve kıvam artar. Penetrasyon deneyi $330x10^{-1}$ mm'ye kadar değere sahip numuneler için uygulanır ve birimi ise 10^{-2} cm'dir. Şekil 4.1.'de gösterilen düzenekle penetrasyon deneyi 25°C'de gerçekleştirilir, 100 gram yükünde iğnenin 5 saniye süre ile numuneye batmasıyla uygulanır. Deney sonrasında elde edilen penetrasyon değeri ve yumuşama noktası deneyinden elde edilen yumuşama noktası değeri kullanılarak 4.1 numaralı formül yardımıyla penetrasyon indeksi hesaplanır. Kalıcı penetrasyon için ise yaşlanma sonrası ve öncesi penetrasyon değerleri ile 4.2 numaralı formül yardımı ile hesaplanır [16, 17].



Şekil 4.1. Penetrasyon deney cihazı ve yardımcı ekipmanlar

$$\text{Penetrasyon indeksi (PI)}=\frac{(20-500*A)}{(1+50*A)},\ A=\frac{(\log_{800}-\log_{P25})}{(T_{YN}-25)} \quad (4.1)$$

$$\text{Kalıcı penetrasyon (\%)}=\frac{\text{Yaşlanmış numunenin penetrasyonu}}{\text{Yaşlanmamış numunenin penetrasyonu}}\text{x}100 \quad (4.2)$$

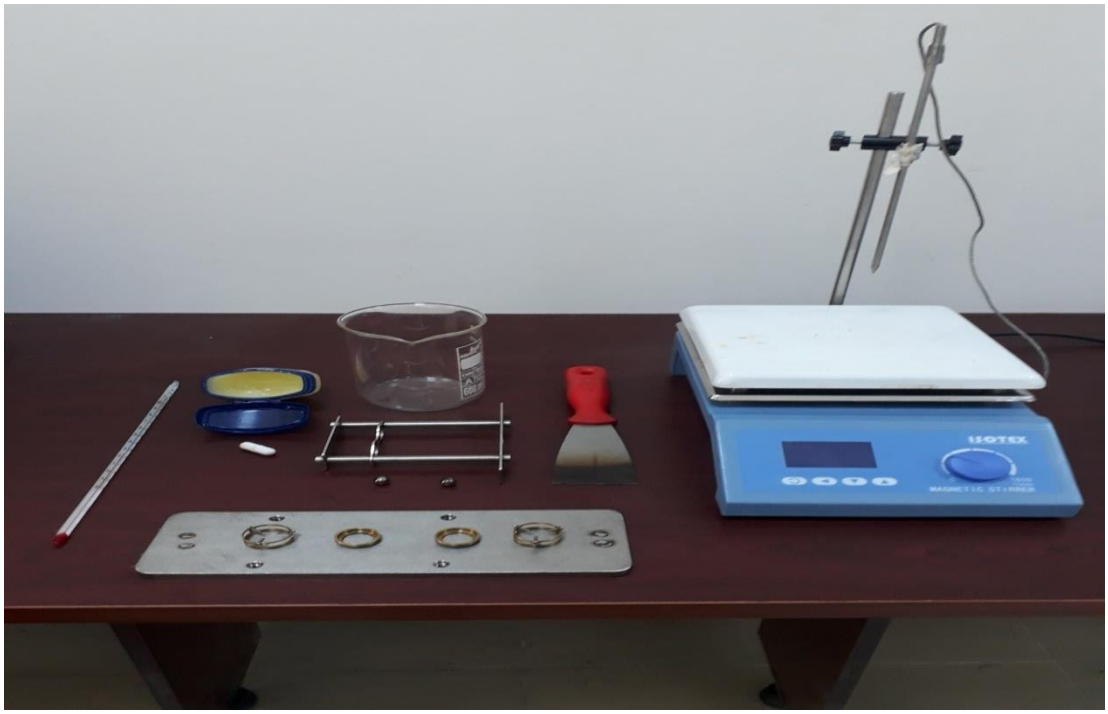
Numuneler düzgün bir şekilde temiz numune kabına hacim olarak 180 mL'yi aşmayacak şekilde 45 mm derinlik miktarından az dökülmeli ve ortam sıcaklığının 30°C ile 15°C'de 1 saat ile 1,5 saat arasında soğuması için bekletilmelidir. Bekletilme esnasında numuneye herhangi bir toz ya da deneyi etkileyecek bir maddenin bulaşmaması için deney numunesinin üstünün numuneye yapışmayacak bir şekilde bir kapak ya da beher ile kapatılması daha sağlıklı olacaktır. Bekletilme süresinden sonra ne kadar bekletilmişse o kadar 25°C sabit sıcaklıkta su banyosunun içinde bekletildikten sonra deneye başlanır. Deney için cihaz fişe takılır, daha sonra penetrasyon iğnesi aşağıya doğru indirilerek numune yüzeyine değmeyecek şekilde konumlandırılır. Gösterge çubuğu ağırlık çubuğuna indirilerek gösterge çubuğu sıfırlanır. Cihaz kontrol panelinde start tuşuna basılır ve 5 saniye sonra ilk okuma not edilir. Aralarındaki mesafe 1 cm olacak şekilde eşkenar üçgen oluşturacak biçimde toplamda üç okuma yapılır ve bu okumaların ortalaması alınır. Her okumada iğne ucu temizlenmeli ve numune kabı kenarından 1 cm mesafe uzaklıkta okuma yapılmalıdır. Penetrasyon deneyinde yapılan okumalar arası farklar sahip oldukları penetrasyon değerlerine ait sınırlarda geçerli olup Tablo 4.1'deki maksimum değer aralığını geçmemelidir. Aksi taktirde deney tekrarlanmalıdır [16, 17].

Tablo 4.1. Penetrasyon okumaları arası maksimum fark değerleri [16]

Penetrasyon aralığı	≤49	50 ile 149	150 ile 249	≥250
Maksimum değer farkı	2	4	6	8

4.2. Yumuşama Noktası Tayin Deneyi (TS EN 1427, ASTM D36)

Yumuşama noktası tayin deneyi Şekil 4.2.'de gösterilen düzenekle yapılmaktadır. Bu deney ile bitümlü bağlayıcıların yumuşama sıcaklığı tespit edilmektedir. Deneyde iki tane standart pirinç halka, çapı 9,5±0,05 mm ve ağırlığı 3,5±0,05 gram iki tane standart çelik bilye, yaklaşık 8,5 cm iç çap ve 12 cm boyunda 800 ya da 600 cm^3'lük beher, pirinç halkalara bitümün alttan dökülmemesi için dökme plakası (50x75 mm boyut, 1,5-2 mm et kalınlığına sahip plaka), çelik bilye merkezleyici halka, halka tutucu ve termometre sabitleyici ile 0,3°C hassasiyetli termometre (0°C ile 90°C aralıkta ölçme) kullanılmalıdır. Yumuşama noktası tayin deneyi için bitümlü bağlayıcı dökülür, minimum 30 dakika ortam sıcaklığında bekletilip deney 240 dakikayı geçmeyecek şekilde tamamlanır. Deney için cihaz fişe takılarak hazırlanır, 5°C sıcaklıktaki su dolu behere koyularak 15 dakika boyunca sıcaklık sabit tutulur. Sonra cihaz tuşuna basılıp çalıştırılır ve manyetik karıştırıcı düğmesi aktif hale getirilir. Dakikada 5°C ısıtılması ile bitümlü bağlayıcı malzeme yumuşayarak halka tutucunun alt metal tabakasına temas ettiği an deney tamamlanır. İki çelik bilyenin alt plakaya temas etmeleri arasındaki sıcaklık değeri 1°C'den yüksek olursa deney tekrarlanır [16, 18].



Şekil 4.2. Yumuşama noktası tayin deneyi cihazı ve yardımcı ekipmanlar

4.3. Dönel İnce Film Halinde Isıtma Deneyi (ASTM D2872)

Dönel ince film halinde ısıtma deneyinin amacı, bitümlü bağlayıcının kısa dönem yaşlanma ve sertleşmesini laboratuvar koşularında uyarlayıp fikir sahibi olmayı sağlamaktır. Bu deney ile sıcaklık ve hava etkisine maruz kalan bitümlü bağlayıcının kütle değişimi tespit edilmektedir. Deneyde boş numune kaplarına 35±0,5 gram olacak biçimde Şekil 4.3.'te görüldüğü üzere 10 mg hassas terazide tartılarak bitümlü bağlayıcı koyulur. Sonra 60 dakika soğutulmaya bırakılır. Bu sürenin sonunda Şekil 4.4.'te gösterilen dönel ince film halinde ısıtma deney cihazı daha önceden ısıtılarak 163±1°C'ye gelmesi sağlanır. Numune şişeleri fırının içindeki boşluklara yerleştirilip ve kapağı kapatılır. Dönel ince film halinde ısıtma fırını 15±0,2 r/dak hızla döner. Numune şişelerine 4000±200 mL/dak ile kompresör yardımı ile sıcak hava üflenmesi sağlanır. Deney 75±1 dakika boyunca devam eder ve ilk 15 dakikada 163±1°C sıcaklığa gelmezse deney sonlandırılır. Deney öncesi ve sonrasında numune şişeleri tartılarak kütledeki değişimi 4.3 numaralı formül yardımı ile hesaplanır [16, 19].



Şekil 4.3. Hassas terazi(10 mg hassasiyetli)



Şekil 4.4. Dönel ince film halinde ısıtma deneyi cihazı ve yardımcı ekipmanlar

$$\text{Kütle kaybı (\%)} = \frac{\text{İlk kütle} - \text{Son kütle}}{\text{İlk kütle}} \text{x} 100 \qquad (4.3)$$

4.4. Brookfield Viskozite Deneyi (ASTM D 4402)

Brookfield viskozite deneyi ile bitümlü bağlayıcının akışkan özelliğinin tespit edilmesi sağlanır. Brookfield viskozite deneyi yaşlanmamış saf ve modifiye bitümün viskozite özelliklerinin tespitinde kullanılmaktadır. Şekil 4.5.'te Brookfield viskozite deney cihazı görülmektedir. Numunenin yerleştiği termosel ısıtıcı kısmı istenilen sıcaklığa ayarlanır. Deney başlatılmadan önce sıfırlanarak, hız değeri 20 rpm olarak belirlenir. Deney tüpü içine 10,5-11 gram aralığında bitümlü bağlayıcı koyulur. Deney tüpü termoselin içine yerleştirilip ısıl denge için 15 dakika sabit sıcaklıkta bekletilir. Cihaz, 30 dakika sonunda viskozite değerini hesaplayarak ekranda gösterir. Yaşlanmamış bağlayıcılarda yapılan Brookfield viskozite deneyinde

135°C'deki sıcaklıklarda viskozite değerinin 3000 cP aşmaması istenir. Aynı zamanda Brookfield viskozitemetre cihazı, bitümlü bağlayıcıların viskozite değerini 10 cP ile 200000 cP arasında ölçülebilmektedir [20, 21].



Şekil 4.5. Brookfield viskozite deneyi cihazı ve yardımcı ekipmanlar

4.5. Floresans Mikroskop ile Morfolojik Analiz

Morfoloji, SBS ile saf bitümün karıştırılarak elde edilen polimer modifiye bitümün farklı bileşenleri arasındaki mikro yapı özelikleri hakkında fikir sahibi olunmasına yardımcı olmaktadır. Bu sayede bitümlü bağlayıcıların özelliklerini önemli ölçüde iyileştirmek mümkün olmaktadır [22].

Tez çalışmasında, polimer modifiye bitüm içindeki saf bitüm ile polimer katkı bileşenleri arasındaki doku, dağılım ve morfolojik görüntüsünü elde etmek amacıyla polimer modifiye bitüm modifikasyonu tamamlandıktan sonra lam lamel arasına

numune dökülerek, Şekil 4.6.'da gösterilen ince kesit örnekleri alınarak Şekil 4.7.'deki inverted floresans mikroskobunda analiz edilmiştir.



Şekil 4.6. Polimer modifiye bitüm örneğine ait lam lamel görüntüsü



Şekil 4.7. Inverted floresans mikroskop cihazı

Tez çalışmasında kullanılan inverted floresans mikroskop, ters mikroskop olarak da bilinmektedir. Inverted floresans mikroskobunda ışık kaynağı ile yoğunlaştırıcının numunenin üst kısmında, objektiflerin ise numunenin alt kısımda bulunmaktadır. Mikroskop floresans özelliğine sahip ve numuneden aldığı görüntüleri istenilen büyütmelere göre bilgisayara dijital şekilde göndererek görüntü dosyalarının sanal ortamda kaydedilmesine olanak sağlamaktadır.

5. MALZEME ÖZELLİKLERİ VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu bölümde, öncelikle deneysel çalışmalarda kullanılan malzemeler (bitüm, SBS) ve özellikleri hakkında bilgi verilmiştir. Daha sonra, saf bitüm deney sonuçları, modifiye bitüm örneklerin hazırlanması, geleneksel bitüm deneyleri ve son aşamada modifiye bitüm örneklerinin morfolojik analiz sonuçları irdelenmiştir.

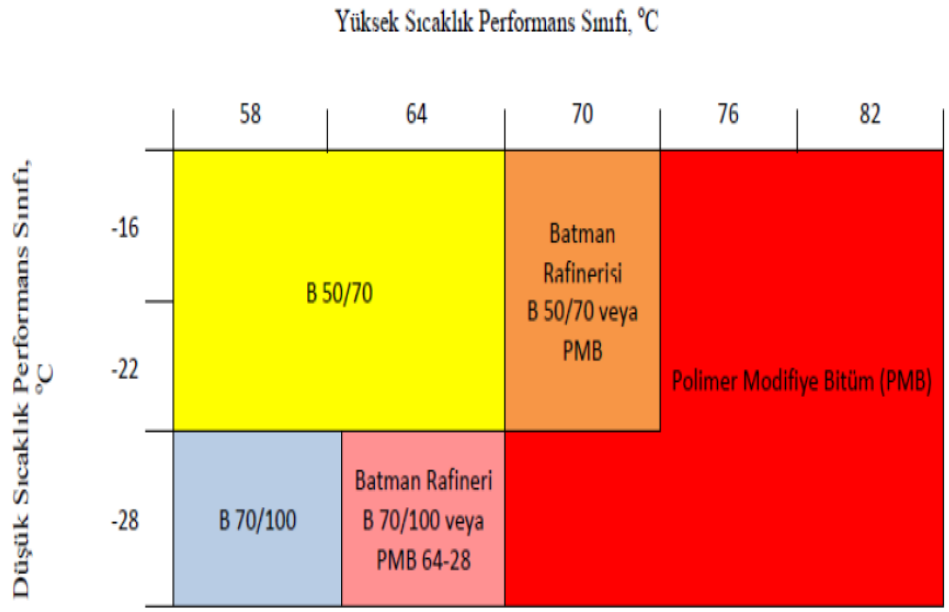
5.1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

5.1.1. Bitüm

Yapılan çalışma kapsamında polimer modifiye bitümü üretmek için seçilen 50/70 penetrasyon sınıfına ait saf bitüm (Şekil 5.1.) Manisa'daki Amiroğlu Şirketler Grubu firmasından tedarik edilmiştir. Karayolları Genel Müdürlüğü'nün Ege Bölgesi, bitümlü sıcak karışım kaplamalı yollar için uygun görmüş olduğu PG 64-22, PG 58-16 ve PG 64-16 bitüm performanslarına istinaden 50/70 penetrasyon sınıfına ait bitümlü bağlayıcı seçilmiştir [16].



Şekil 5.1. Saf bitüm



Şekil 5.2. Bitümlü sıcak kaplamaların bitüm performans sınıfları [16]

5.1.2. Stiren-Butadien-Stiren (SBS)

Tez çalışmasında polimer modifiye bitüm üretmek için polimer katkı malzemesi olarak İstanbul Teknik firmasından tedarik edilmiş olan Hiprene S adlı termoplastik elastomer sınıfına ait Stiren-Butadien-Stiren (SBS) kullanılmıştır. Bunun sebebi, bitümlü sıcak karışım uygulamalarında yaygın bir şekilde kullanılan ve iyi bilinen bir polimer olmasıdır. Tedarik edilmiş olan toz (powdered) SBS polimerinin görseli Şekil 5.3.'de verilmiştir.



Şekil 5.3. Toz (powdered) SBS (Hiprene S) Polimeri

SBS, bitümlü bağlayıcıların performanslarının iyileştirilmesine yardımcı olmaktadır. SBS blok kopolimeri olup, esnekliği artırıcı bir özelliği vardır. SBS ağır bir molekül yapısına sahip bir kauçuk olup, 90°C sıcaklıklarda molekül sıvı hale gelerek bitüme karışır. 90°C'nin altına düşünce sert bir yapıda olan polistiren blok kısmı ve yumuşak yapıda olan polibutadien blokları birbirine bağlanarak çapraz bağlar oluşturur. Tekrar ısıtıldığında eski kullanılabilir haline gelir. Saf bitümün, SBS ile modifiye edilmesi sonucunda elde edilen polimer modifiye bitüm; ondülasyon, agrega soyulması, tekerlek izi oturması ve düşük sıcaklık çatlaklıklarına karşı daha dayanıklı hale gelmektedir. Aşağıda Tablo 5.1.'de SBS polimerin teknik bilgileri verilmiştir [23].

Tablo 5.1. SBS Hiprene S'nin teknik bilgileri [23]

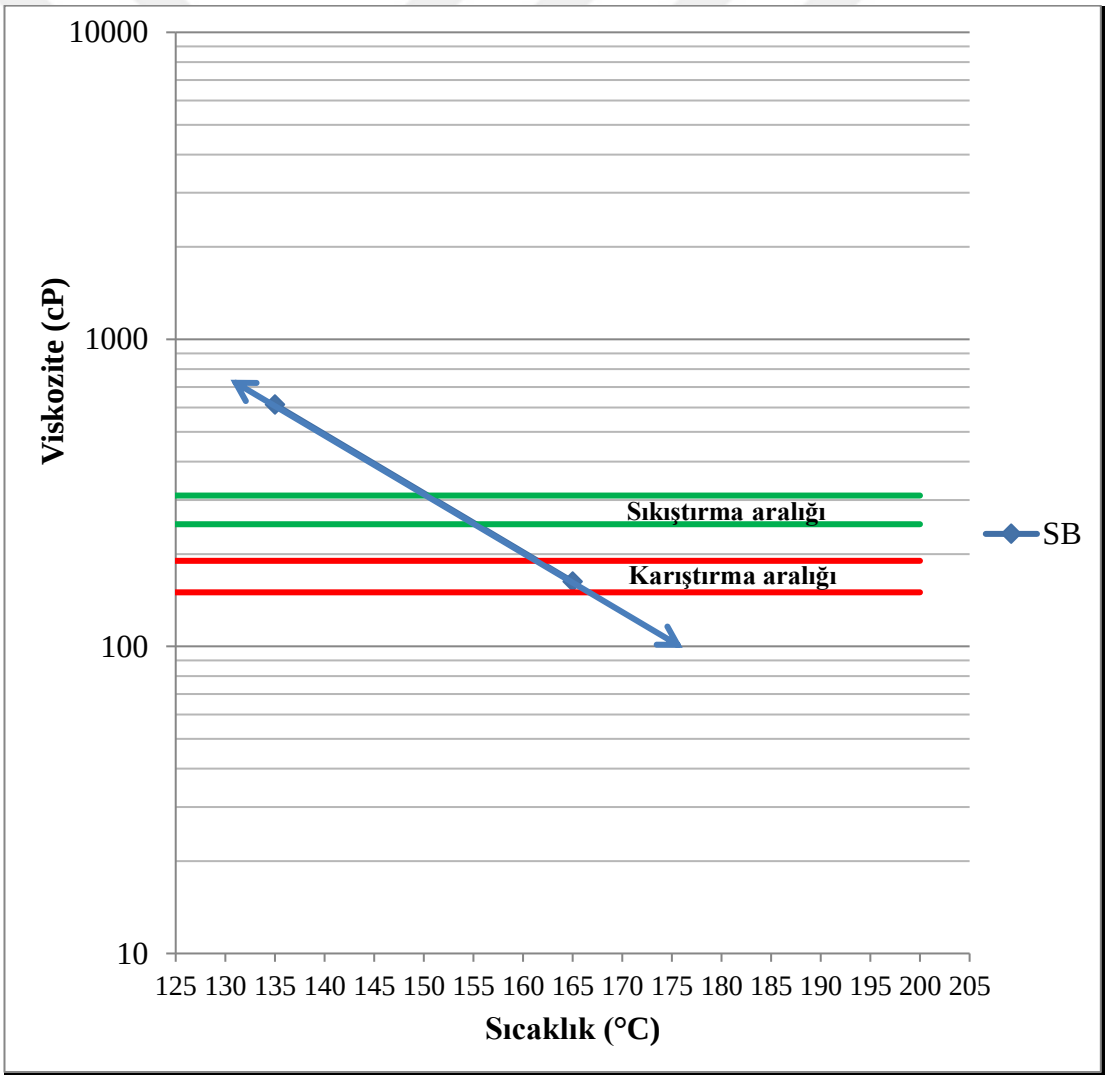
Teknik özelikler	**Ölçü**	**Teknik değer**
Molekül şekli		Lineer Blok Kopolimer
Stiren/Butadien	%	31/69
Yoğunluk	g/cm^3	0,94
Yağ muhtevası	phr	-
Kaplin verimi	%	80
Uçucu Oranı	%	0,17
Kül muhtevası	%	0,6
Sertlik	Shore A	75
%5 Toluen Solüsyon Viskozitesi	cP	4500

Polimer modifiye bitüm karışımlarında kullanılan Hiprene S (SBS)'nin bitüm karışımı içinde homojen dağılması için toz (powdered) formda kullanılmıştır. Modifikasyon karışımlarında bitüm ağırlığının %4 ya da %5'i oranında SBS

kullanılması polimerin tedarik edildiği İstanbul Teknik firması tarafından önerildiği için tez çalışmasında %5 oranında SBS'nin kullanılmasına karar verilmiştir [23].

5.2. Saf Bitüm Deney Sonuçları

Tez çalışması kapsamında yapılan 50/70 penetrasyon sınıfına ait saf bitüm kullanılarak yumuşama noktası tayin deneyi, penetrasyon deneyi, dönel ince film halinde ısıtma deneyi ve Brookfield viskozite deneyi yapılmıştır. Tablo 5.2.'de saf bitümün geleneksel deney sonuçları ve Şekil 5.4.'de elde edilen viskozite değerlerine göre oluşturulan karıştırma ve sıkıştırma sıcaklık aralıkları grafiği verilmiştir.



Şekil 5.4. Saf bitümün karıştırma ve sıkıştırma sıcaklık aralıkları

Tablo 5.2. Saf bitüm deney sonuçları

Deney testleri	Deney standartları	Sonuç değerleri	Sınırlar
Yumuşama noktası tayin deneyi (°C)	TS EN 1427 ASTM D36	51,5	46-54
Penetrasyon deneyi (25°C, 0,1 mm.)	TS EN 1426 ASTM D5	67,5	50-70
Brookfield viskozite deneyi (135°C, cP)	ASTM D4402	612,5	-
Brookfield viskozite deneyi (165°C, cP)	ASTM D4402	162,5	-
Dönel ince film halinde ısıtma deneyi (163°C, 85 dak.)	ASTM D2872		
Dönel ince film halinde ısıtma deneyi sonrası penetrasyon deneyi (25°C, 0,1 mm.)	TS EN 1426 ASTM D5	52	
Dönel ince film halinde ısıtma deneyi sonrası yumuşama noktası tayin deneyi (°C)	TS EN 1427 ASTM D36	57,5	48 (Minimum)
Kütle artış ya da azalışı (%)		0,06	0,5 (Maksimum)
Yumuşa noktası tayin deneyi artış ya da azalışı (°C)		6	
Penetrasyon indeksi (PI)		-0,086	
Kalıcı penetrasyon (%)	TS EN 1426 ASTM D5	77	50 (Minimum)
Karıştırma sıcaklığı aralığı (°C)		160,70-166,25	
Sıkıştırma sıcaklığı aralığı (°C)		149,38-154,38	

Tablo 5.2.'de görüldüğü gibi tüm deney sonuçları Karayolları Teknik Şartnamesi sınır değerlerine uygun olarak elde edilmiştir.

5.3. Modifiye Bitüm Örneklerin Hazırlanması

Yapılan literatür araştırmasına göre hazırlanan Tablo 5.3. incelenerek saf bitümün modifiye edilmesinde 175±5°C ile 185±5°C karıştırma sıcaklıkları, 60 dakika ile 120 dakika karıştırma süreleri seçilmiştir. Shaffie, Arshad, Alisibramulisi, Ahmad, Hashim, Abd Rahman ve Jaya'nın karıştırma parametreleri üzerine yaptığı araştırmalara göre karışım sıcaklığının artması, karıştırma süresinin artmasıyla benzer sonuçlara sahip olmuştur. Daha yüksek karıştırma sıcaklıkları ile üretilen numunelerin, daha yüksek penetrasyon, daha düşük yumuşama noktası değerlerine sahip olduğu ve belirli bir değere kadar sıcaklık duyarlılığı ile sonuçlandığı görülmüştür. 180°C'nin üzerinde, bitüm oksitlenmeye başladığında, karışım sıcaklığının artması penetrasyon değerinde azalma, yumuşama noktasında ve sıcaklık duyarlılığında artışa neden olmuştur [5].

Karıştırma hızları için ise yapılan literatür araştırmasına istinaden oluşturulan Tablo 5.3.'ye göre 1500 rpm, 2000 rpm ve 2500 rpm karıştırma hızlarının bitüm modifikasyonu için uygun olduğu görülmüştür. Mohan, Woldekidan ve Qiu göre karıştırma hızı için EVA ile modifiye edilmiş bitümün geleneksel deney sonuçları ve morfolojisi üzerinde farklı kesme hızlarının olası etkilerini incelemişlerdir. Deney sonuçlarına göre, daha yüksek kesme hızları, penetrasyon değerinde bir düşüş ve numunenin morfolojilerinde belirgin değişikliklere neden olmuştur [4].

Tablo 5.3. Literatürde yapılmış olan polimer modifiye bitüm karışım koşulları [1, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33]

Referans	Polimer cinsi	Polimer oranı	Bitüm sınıfı	Modifikasyon karıştırma sıcaklığı (°C)	Modifikasyon karıştırma hızı (rpm)	Modifikasyon karıştırma süresi (dak)
Al-Abdul Wahhab H.I., Dalhat M.A., Habib M.A.	SBS	%2-6	64-22 (PG)	160	5000	60
Singh S.K., Kumar Y., Ravindranath S.S.	Farklı türde SBS	%3-7	80/100, 60/70 (dmm)	180	4000	120
Perez-Lepe A., Martinez-Boza F., Gallegos C., Gonzalez O., Munaz M., Santamana A.	SBS	%5	60/70 150/200 (dmm)	180	1200	-
Lu X., Isacsson U.	İki cins SBS	%3-6-9	180/85 (dmm)	180	125	120
Munera J.C., Ossa E.A.	SBS	%3-6-9-15	80/100 (dmm)	180	2000	120
Şengöz B., Işıkyakar G.	SBS	%2-6	50/70 (dmm)	180-185	1100	120
Rossi C., Spadafora A., Teltayev B., Izmailova G., Amerbayev Y., Bortolotti V.	SBS	%4-5	90/130 (dmm)	180	6000	30
Yılmaz M., Kök B.V., Kuloğlu N., Alataş T.	İki tür SBS	%2-6	160/220 (dmm)	180	1000	60
Yılmaz M., Kök B.V., Yamaç Ö.E.	SBS	%3-5	160/220 (dmm)	180	1000	60
Yılmaz M., Kök B.V.,	SBS	%2-6	100/150 (dmm)	170	500	90

Aşağıdaki Tablo 5.5'te belirlenen kombinasyonlara göre polimer modifiye bitüm üretimi için kullanılan yüksek devirli laboratuvar mikseri Şekil 5.5'te görülmektedir.



Şekil 5.5. Polimer modifiye bitüm mikseri ve yardımcı ekipmanlar

Deneylerde kullanılacak karıştırma parametreleri ile ilgili Tablo 5.4. oluşturulmuştur. Bu karıştırma parametrelerinin farklı kombinasyonlarından yola çıkılarak da Tablo 5.5.'de on iki farklı karıştırma koşulu belirlenmiştir. Ayrıca tabloda her bir kombinasyona ait polimer modifiye bitüm (PMB) karıştırma parametreleri detaylı bir şekilde verilmiş, deneysel çalışma kısmında kullanılmak üzere kısaltmaları oluşturulmuştur.

Tablo 5.4. Karıştırma parametreleri ve dereceleri

Karıştırma parametreleri	**Karıştırma parametreleri dereceleri**		
	1	2	3
Karıştırma sıcaklığı (°C)	175±5	185±5	-
Karıştırma hızı (rpm)	1500	2000	2500
Karıştırma süresi (dak.)	60	120	-

Tablo 5.5. Karıştırma parametrelerine göre oluşan kombinasyonlar ve kısaltmaları

PMB karıştırma prosedürü no.	**Karıştırma Parametreleri**			**Kombinasyonlara göre oluşturulan modifiye bitüm örneklerinin kısaltmaları**
	Karıştırma sıcaklığı (°C)	**Karıştırma hızı (rpm)**	**Karıştırma süresi (dakika)**	
1	175±5	1500	60	PMB_{111}
2	175±5	1500	120	PMB_{112}
3	175±5	2000	60	PMB_{121}
4	175±5	2000	120	PMB_{122}
5	175±5	2500	60	PMB_{131}
6	175±5	2500	120	PMB_{132}
7	185±5	1500	60	PMB_{211}
8	185±5	1500	120	PMB_{212}
9	185±5	2000	60	PMB_{221}
10	185±5	2000	120	PMB_{222}
11	185±5	2500	60	PMB_{231}
12	185±5	2500	120	PMB_{232}

On iki farklı kombinasyona göre üretilen polimer modifiye bitüm örneklerinin her biri için penetrasyon, yumuşama noktası, Brookfield viskozite ve dönel ince film halinde ısıtma deneyleri yapılmıştır. PMB örneklerine ait deney sonuçları, geleneksel bitüm deneyleri sonuçları kısmında verilmiş ve yorumlanmıştır.

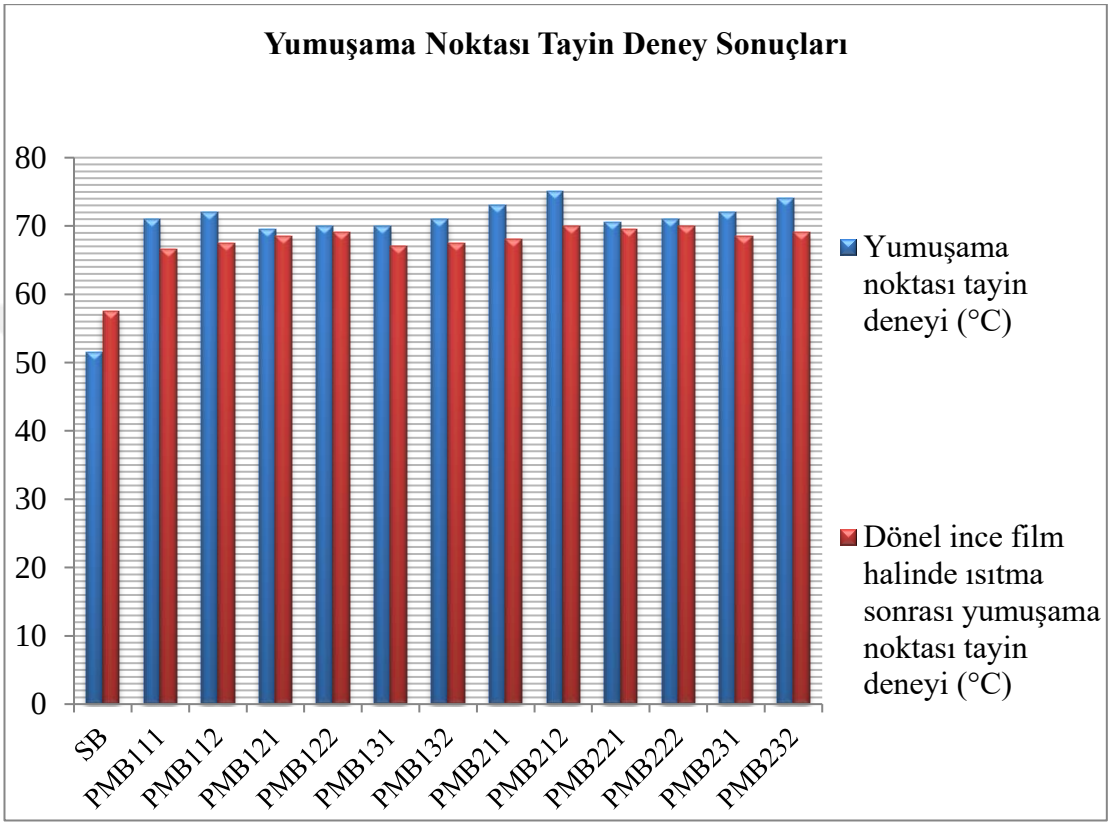
5.4. Geleneksel Bitüm Deneyleri Sonuçları

Saf bitüm ve polimer modifiye bitüm örneklerinin geleneksel bitüm deneyleri sonuçları Tablo 5.6'da verilmiştir. Tablo 5.6'daki kısaltmalardan 'SB'; saf bitümü, 'PMB'; polimer modifiye bitümü, alt indis olarak belirtilen 1, 2 ve 3 numaraları Tablo 5.4'teki karıştırma parametreleri derecelerini ifade etmektedir.

Tablo 5.6. Saf bitüm ve polimer modifiye bitüm kombinasyonları üzerine uygulanan geleneksel bitüm deney bitüm deneyleri sonuçları

Deney	**Deney standartı**	**SB**	**PMB_{111}**	**PMB_{112}**	**PMB_{121}**	**PMB_{122}**	**PMB_{131}**	**PMB_{132}**	**PMB_{211}**	**PMB_{212}**	**PMB_{221}**	**PMB_{222}**	**PMB_{231}**	**PMB_{232}**
Yumuşama noktası (°C)	ASTM D 36-06	51,5	71	72	69,5	70	70	71	73	75	70,5	71	72	74
Penetrasyon (25°C, 0,1 mm)	ASTM D 5-06	67,5	47,2	46	48,6	48,2	48,5	48	45	43	48	47,3	47	46
Viskozite (135°C, cP)	ASTM D 4402-06	612,5	3275	3350	3338	3475	3400	3588	3625	3688	3213	3438	3500	3650
Viskozite (165°C, cP)	ASTM D 4402-06	162,5	787,5	800	800	825	825	875	900	925	787,5	850	850	900
Penetrasyon indeksi (PI)		-0,086	2,844	2,934	2,677	2,736	2,755	2,890	3,035	3,225	2,809	2,848	2,990	3,242
Dönel İnce Film Halinde Isıtma Deneyi Sonrası (ASTM D 2872-12)														
Penetrasyon (25°C, 0,1 mm)	ASTM D 5-06	52	40,2	39,2	43,6	43	42	41,4	38	35	42,5	41,2	40	37
Yumuşama noktası (°C)	ASTM D 36-06	57,5	66,5	67,5	68,5	69	67	67,5	68	70	69,5	70	68,5	69
Kütle kaybı(%)		0,06	0,07	0,09	0,05	0,04	0,07	0,08	0,06	0,05	0,04	0,04	0,06	0,07
Yumuşama noktası artış ya da azalışı (°C)		6	-4,5	-4,5	-1	-1	-3	-3,5	-5	-5	-1	-1	-3,5	-5
Kalıcı penetrasyon (%)		77	85,2	85,2	89,7	89,2	86,6	86,3	84,4	81,4	88,5	87,1	85,01	80,4

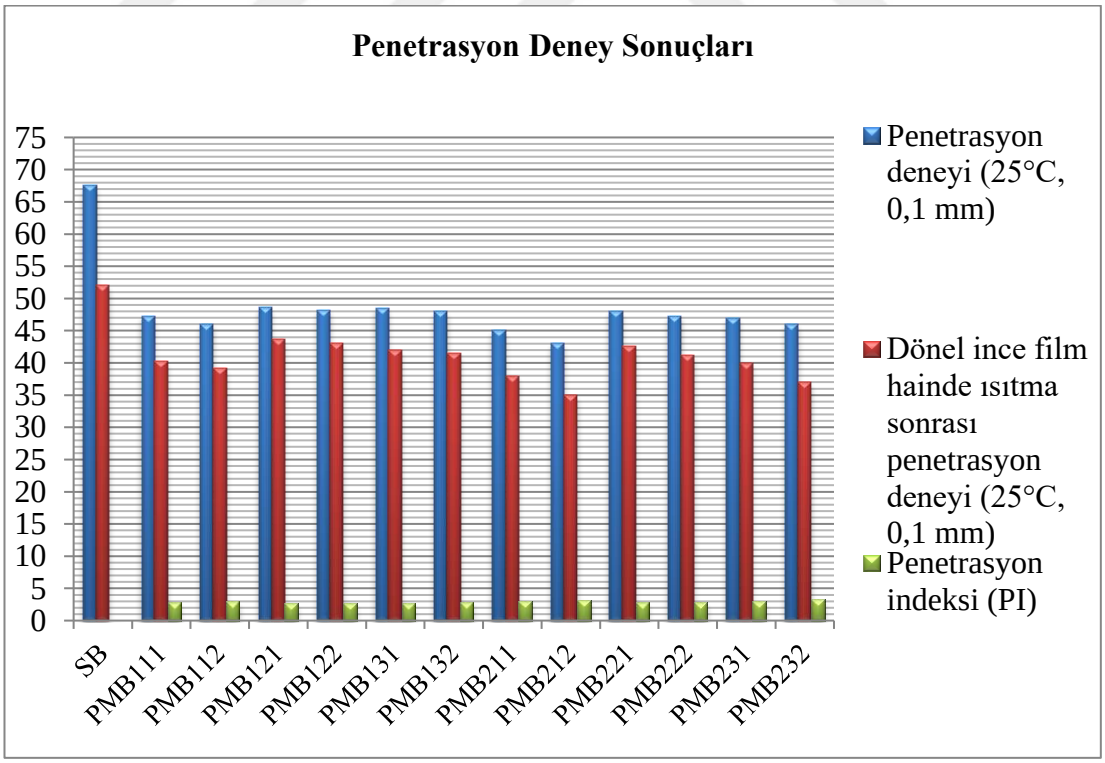
Tablo 5.6.'daki saf bitüm ile polimer modifiye bitüm örneklerinin geleneksel bitüm deneylerinden elde edilen sonuçları, Şekil 5.6.'dan Şekil 5.8.'ye kadar grafikler ile, Tablo 5.7. ve Tablo 5.8.'de tablo şeklinde ifade edilerek yorumlanmıştır.



Şekil 5.6. Saf bitüm ve modifiye bitüm örneklerinin yumuşama noktası tayin deneyi sonuçları

Şekil 5.6.'da saf bitümün yumuşama noktası tayin deneyi sonuçları ve farklı kombinasyonlarla oluşturulan karışma koşulları ile üretilen %5 oranında SBS ile modifiye edilmiş bitümün kısa dönem yaşlandırma öncesi ve sonrası yumuşama noktası tayin deneyi sonuçları verilmiştir. Sonuçlara göre saf bitümün SBS katkılı modifiye bitüme göre yumuşama noktasının düşük olduğu görülmektedir. Bunun sebebi SBS katkısının bitümün kıvamını artırıp, daha yoğun bir hal almasına sebep olarak yumuşama noktasını yükseltmesidir. PMB örnekleri arasında, en yüksek yumuşama noktasına sahip olan PMB_{212} örneğinin, karıştırma koşullarının; 185±5°C sıcaklık, 1500 rpm hız ve 120 dakika süresine sahip olduğu ve en düşük yumuşama

noktasının ise PMB_{121} örneğine ait olup, karışım koşullarının; 175±5°C sıcaklık, 2000 rpm hız ve 60 dakika süreye sahip olduğu görülmektedir. Bunun sebebi, sabit SBS oranında, değişen karıştırma koşularından karıştırma sıcaklığı ve karışma hızlarının yumuşamayı etkilese de, özellikle karıştırma süresinin artması sonucunda bitümün kıvamını artırarak yumuşama noktasının artmasına sebep olmasıdır. Dönel ince film halinde ısıtma deneyi sonrası kısa dönem yaşlanma etkisinde yumuşama noktası değerlerine bakıldığında karıştırma sıcaklığının 185±5°C, karıştırma hızının 1500 rpm ve karıştırma süresinin 120 dakika olduğu PMB_{212} örneğinin en yüksek değere sahip olduğu, en düşük yumuşama noktası değerinin ise karıştırma sıcaklığının 175±5°C, karıştırma hızının 1500 rpm ve karıştırma süresinin 60 dakika olan PMB_{111} örneğinde olduğu görülmektedir. Bu durum yine karıştırma koşulları farklılıklarından kaynaklanmış olup, karıştırma sıcaklığı, karıştırma hızı ve karıştırma sürelerinin belirlenen bu aralıklarda en çok karıştırma süresindeki artışın bitümün yoğun hale gelmesine neden olarak kısa dönem yaşlanma sonucu yumuşama noktasını artırmaktadır.

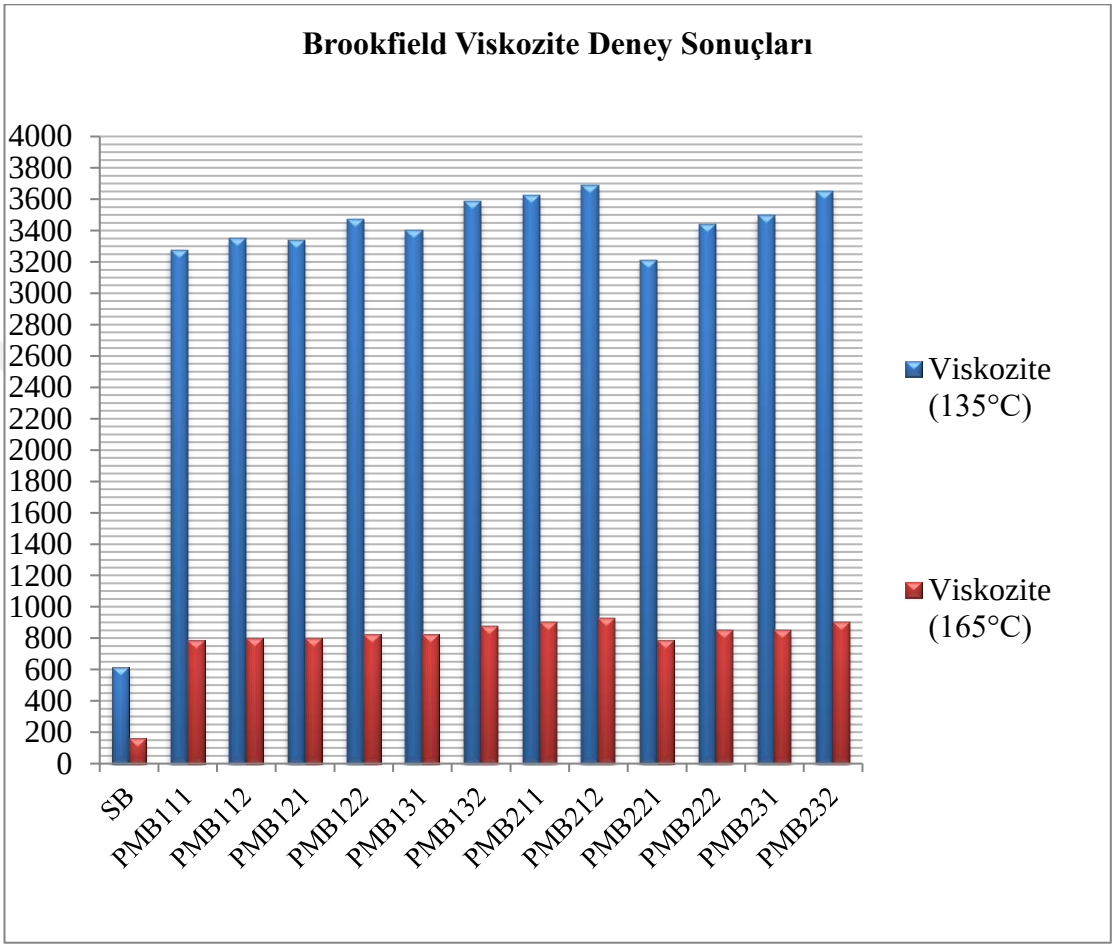


Şekil 5.7. Saf bitüm ve modifiye bitüm örneklerinin penetrasyon deneyi sonuçları ve penetrasyon indeksi değerleri

Şekil 5.7.'de saf bitüm ve modifiye bitüm örneklerinin yaşlanmamış penetrasyon sonuçları, penetrasyon indeksi değerleri ve dönel ince film halinde ısıtma deneyi sonrası penetrasyon sonuçları grafik şeklinde verilmiştir. Saf bitümün yaşlanmamış ve kısa dönem yaşlanma sonrası penetrasyon değerleri, SBS katkılı farklı karıştırma koşuları ile üretilen modifiye bitüm örneklerine nazaran yüksektir. Bunun temel nedeni, saf bitümde katkısız olmasından dolayı daha yumuşak olması, modifiye bitümde ise SBS katkısı bulunduğu için bitümün kıvamını arttırmasından dolayı penetrasyon sonuçlarının azalmasıdır. SBS katkılı bitümlü bağlayıcılardan penetrasyonu en yüksek olan modifiye bitüm kombinasyonunda karıştırma koşullarının 175±5°C sıcaklık, 2000 rpm hız ve 60 dakika süreye sahip modifiye bitüm örneği olan PMB_{121} olduğu, en düşük penetrasyon sonucuna sahip modifiye bitüm kombinasyonun ise 185±5°C sıcaklık, 1500 rpm hız ve 120 dakika süreye sahip modifiye bitüm örneği PMB_{212} olduğu grafikte görülmektedir. Bunun nedeni, aynı oranda SBS yüzdesine sahip olmalarının yanında, karıştırma hızı, süresi ve sıcaklığı olarak farklı karıştırma koşullarına sahip olmalarıdır. Burada da karıştırma sıcaklığı ile karıştırma hızının penetrasyonu etkilediği, ama en çok karıştırma süresinin kısalması ile penetrasyonun arttığı gözlenmiştir. Dönel ince film halinde ısıtma deneyi sonrasında kısa dönem yaşlanma sonrası penetrasyonun en yüksek olduğu modifiye bitüm örneği 175±5°C sıcaklık, 2000 rpm hız ve 60 dakika süreye sahip olan PMB_{121}, en düşük penetrasyon değerinin elde edildiği modifiye bitüm örneği ise 185±5°C sıcaklık, 1500 rpm hız ve 120 dakika süreye sahip olan PMB_{212} numaralı örnektir. Buradaki temel neden, yine karıştırma koşul farklılıkları olup karıştırma hızı ve sıcaklığından ziyade karıştırma süresinin azalmasıyla kısa dönemli yaşlanma sonrası elde edilen penetrasyon değerinin yüksekliğidir. Saf ve modifiye bitüm örneklerinin penetrasyon indeksleri incelendiğinde, penetrasyon indeksinin saf bitümde daha düşük olduğu görülmektedir. Penetrasyon indeksi ile sıcaklık duyarlılığı arasında ters bir ilişki olup, pentrasyon indeksinin artması sıcaklığa karşı duyarlılığı azalttığı gibi penetrasyon indeksinin azalması sıcaklığa karşı duyarlılığı artırmaktadır. Şekil 5.7.'ye göre penetrasyon indeksinin en yüksek olduğu yani sıcaklığa karşı duyarlılığının daha düşük olduğu modifiye bitüm örneği PMB_{232}'dir.

Şekil 5.8.'de saf bitüm ile modifiye bitüm örneklerinin Brookfield viskozite deney sonuçları verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere 135°C ve 165°C'deki saf

bitümün SBS katkılı modifiye bitümlere göre viskozite değerleri daha düşüktür. Bunun nedeni polimer katkının bitümün kıvamını artırması, akmaya karşı direncin yükselmesi sonucunda da viskozite artışının gözlemlenmesidir.



Şekil 5.8. Saf bitüm ve modifiye bitüm örneklerinin Brookfield viskozite deneyi sonuçları

Yaşlanmamış polimer modifiye bitümlerde yapılan Brookfield viskozite deneyinde 135°C'deki sıcaklıklarda viskozite değerinin 3000 cP aşmaması istenir. Ama tezde kullanılmış olan SBS polimerin diğer SBS polimerlerine göre sertliği daha fazla olduğu için viskozite değerleri 3000 cP ile 4000 cP arasında olduğu Şekil 5.8.'de görülmektedir.

Modifiye bitümler arasındaki viskozite artışına bakıldığında, 185±5°C karıştırma sıcaklığına, 1500 rpm karıştırma hızına ve 120 dakika karıştırma süresine sahip PMB_{212}, 185±5°C karıştırma sıcaklığına, 2000 rpm karıştırma hızına ve 120 dakika karıştırma süresine sahip PMB_{222} ve 185±5°C karıştırma sıcaklığına, 2500 rpm karıştırma hızına ve 120 dakika karıştırma süresine sahip PMB_{232} örneklerinde viskozite PMB_{212}'de artmış, PMB_{222}'de azalmış ve tekrar PMB_{232} örneğinde viskozite değeri artmıştır. Burada karıştırma sıcaklıkları ve süreleri eşittir, ama karıştırma hızları artmıştır. Normalde beklenen, karıştırma sıcaklığı ve süreleri eşit olduğunda karıştırma hızı artıkça bitümlü bağlayıcının kıvamının artıp, akmaya karşı direncinin artması ve dolayısıyla viskozitesinin de artmasıdır.

Örneğin 175±5°C karıştırma sıcaklığına, 1500 rpm karıştırma hızına ve 120 dakika karıştırma süresine sahip PMB_{112}, 175±5°C karıştırma sıcaklığına, 2000 rpm karıştırma hızına ve 120 dakika karıştırma süresine sahip PMB_{122} ve 175±5°C karıştırma sıcaklığına, 2500 rpm karıştırma hızına ve 120 dakika karıştırma süresine sahip PMB_{132} örneklerinden, viskozite PMB_{112}'de artmış, PMB_{122}'de de artarak devam etmiş ve sonra bu düzenli artış PMB_{132}'ye kadar devam ederek, viskozite değerleri yükselmiştir. Bu örnekte görüldüğü gibi karıştırma sıcaklıkları ile karıştırma süreleri aynıdır ama karıştırma hızları giderek artmış bu da viskozite artışına neden olmuştur.

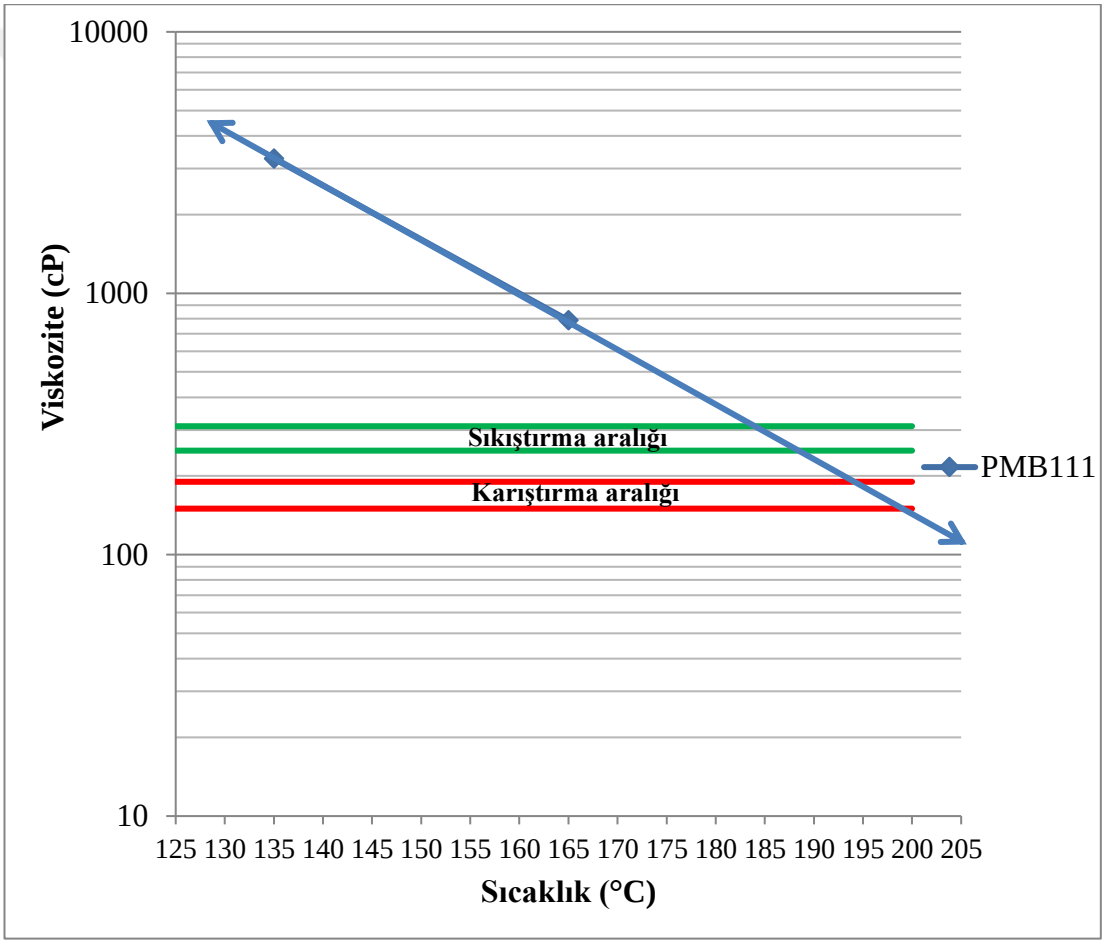
Bundan dolayı PMB_{212}, PMB_{222}, PMB_{232} örnek grubu ile PMB_{112}, PMB_{122}, PMB_{132} örnek grubu arasındaki bu farklılığın nedeninin, yüksek sıcaklık etkisi olduğu düşünülmektedir. Aynı zamanda PMB_{212}, PMB_{222}, PMB_{232} grubunda sırasıyla SBS katkısından dolayı yüksek sıcaklıklarda ilk önce 1500 rpm karıştırma hızında viskozite artmış, 2000 rpm karıştırma hızında ise viskozite azalmıştır. Çünkü penetrasyon indeksi azaldığı için sıcaklığa karşı duyarlılığı artmış ve karıştırma hızı ile ters orantılı hareket etmiş ve 2500 rpm karıştırma hızında ise viskozite tekrar artmıştır. Burada penetrasyon indeksi tekrar artarak sıcaklığa karşı duyarlılığı azalmış ve bunun sonuncunda karıştırma hızı artığı için viskozite artmıştır.

Tablo 5.7. Saf bitüm ve modifiye bitüm örneklerinin modifikasyon indeksi değerleri

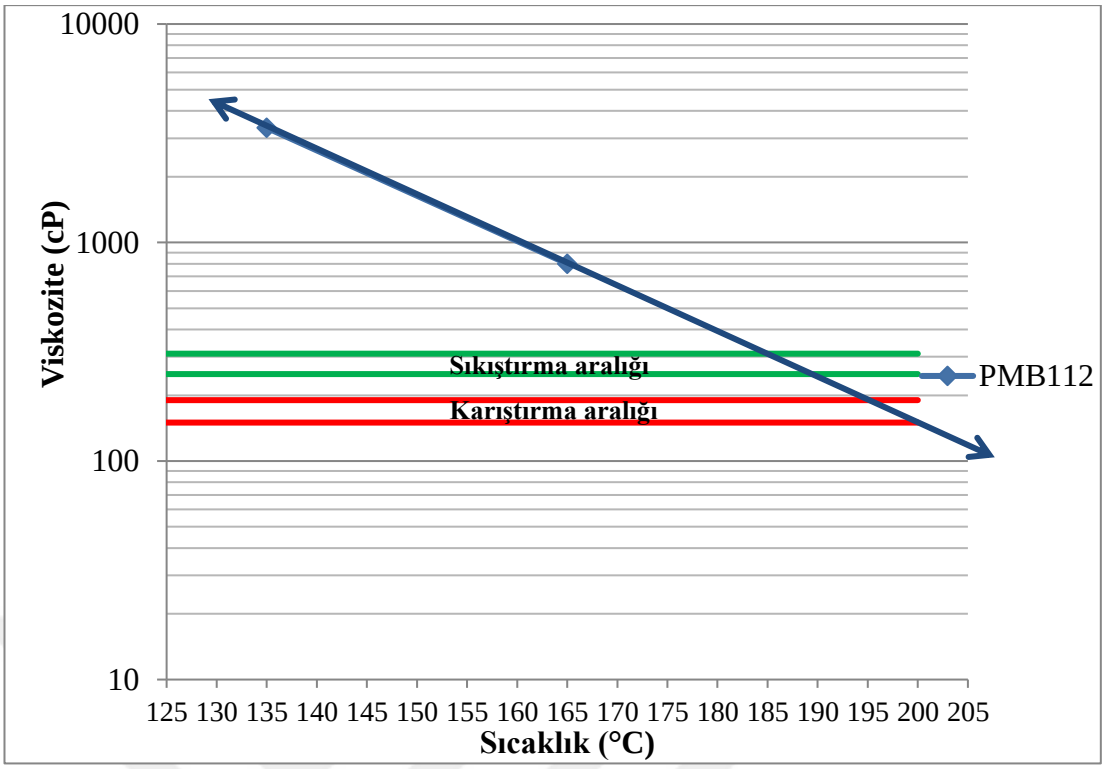
Saf ve modifiye bitüm örnekleri	**Viskozite (135°C)**	**Viskozite (165°C)**	$\eta_{modifiye}/\eta_{saf}$ **(135°C)**	$\eta_{modifiye}/\eta_{saf}$ **(165°C)**
SB	612,5	162,5	1	1
PMB_{111}	3275	787,5	5,35	4,85
PMB_{112}	3350	800	5,47	4,92
PMB_{121}	3338	800	5,45	4,92
PMB_{122}	3475	825	5,67	5,08
PMB_{131}	3400	825	5,55	5,08
PMB_{132}	3588	875	5,86	5,38
PMB_{211}	3625	900	5,92	5,54
PMB_{212}	3688	925	6,02	5,69
PMB_{221}	3213	787,5	5,25	4,85
PMB_{222}	3438	850	5,61	5,23
PMB_{231}	3500	850	5,71	5,23
PMB_{232}	3650	900	5,96	5,54

Tablo 5.7.'de saf ve modifiye bitüm örneklerinin 135°C ve 165°C'deki viskozite sonuçları kullanılarak 135°C ve 165°C'deki modifikasyon değerleri hesaplanmıştır. Bütün modifiye bitüm örneklerinin saf bitüme göre modifikasyon indeksleri yüksektir. 135°C ve 165°C'deki en yüksek modifikasyon indekslerine sahip modifiye bitüm örneği PMB_{212}, en düşük modifikasyon indekslerine sahip modifiye bitüm örneği ise PMB_{221}'dir. Polimer modifiye bitüm örneklerinin modifikasyon indekslerinin birbirlerine göre daha yüksek ya da düşük çıkması Tablo 5.7.'de görüldüğü gibi viskozite değerlerinden kaynaklanmaktadır.

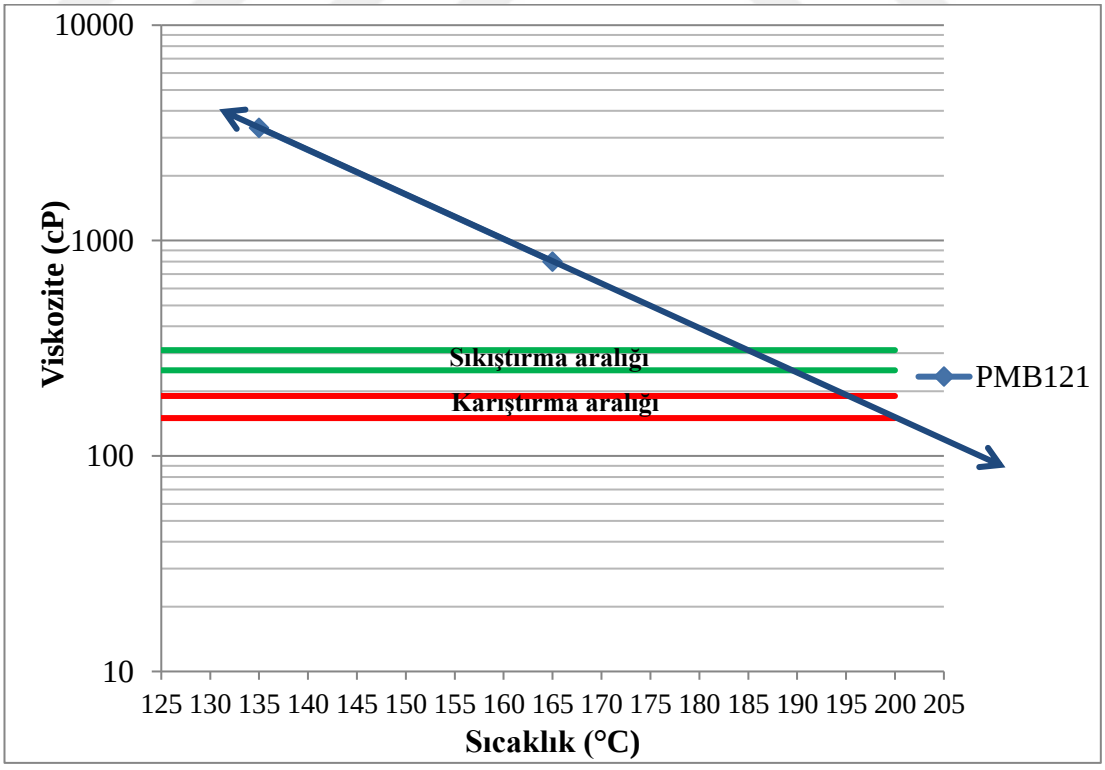
Karıştırma koşulları farklı olan modifiye bitüm örnekleri için Brookfield viskozite deneyi yapılarak viskozite değerleri elde edilmiştir. Elde edilen bu değerlere göre karıştırma ve sıkıştırma sıcaklık aralıklarına ait sonuçlar, Şekil 5.9.'dan Şekil 5.20.'ye kadar aşağıda yer alan grafiklerde verilmiştir. Bitümün agrega ile iyi karışması ve kolay sıkıştırılabilesi için karıştırma sıcaklık aralığı değerinin 170±20 cP, sıkıştırma sıcaklık aralığı değerinin için ise 280±30 cP viskoziteye sahip olması istenmektedir [34]. Bu grafiklerden elde edilen karıştırma ve sıkıştırma sıcaklık aralıkları kullanılarak Tablo 5.8. ve Şekil 5.21. oluşturulmuş, sıcaklık değerleri yorumlanmıştır.



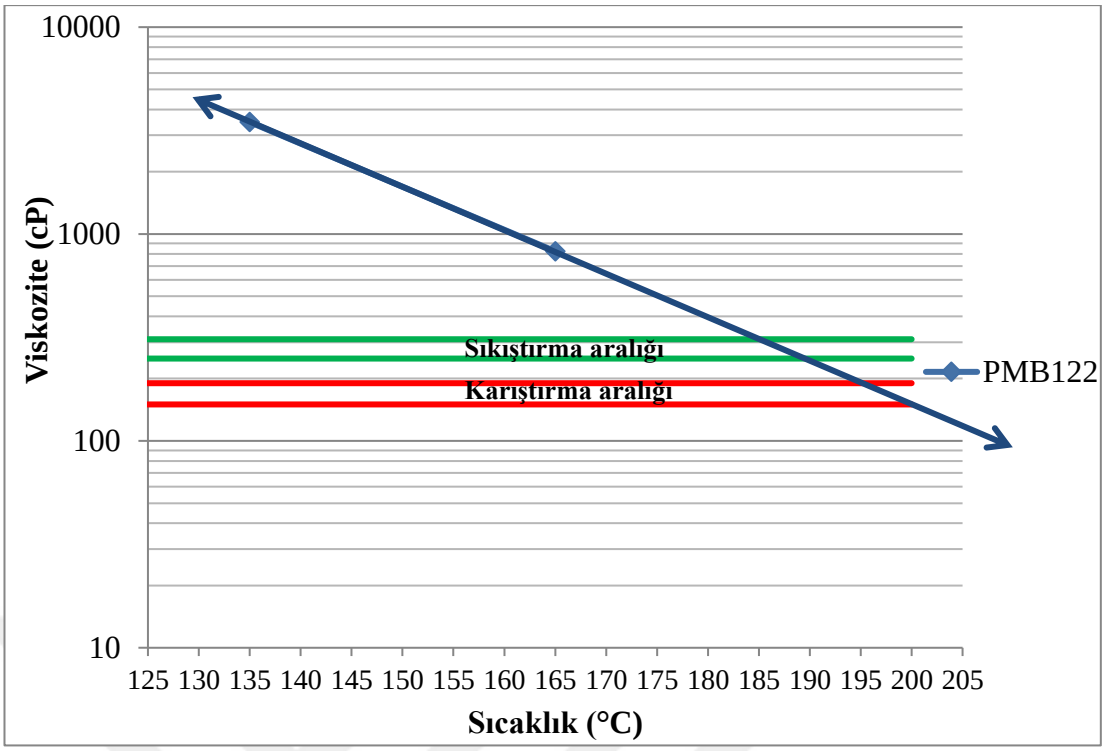
Şekil 5.9. PMB_{111} örneğine ait sıkıştırma ve karıştırma sıcaklık aralıkları



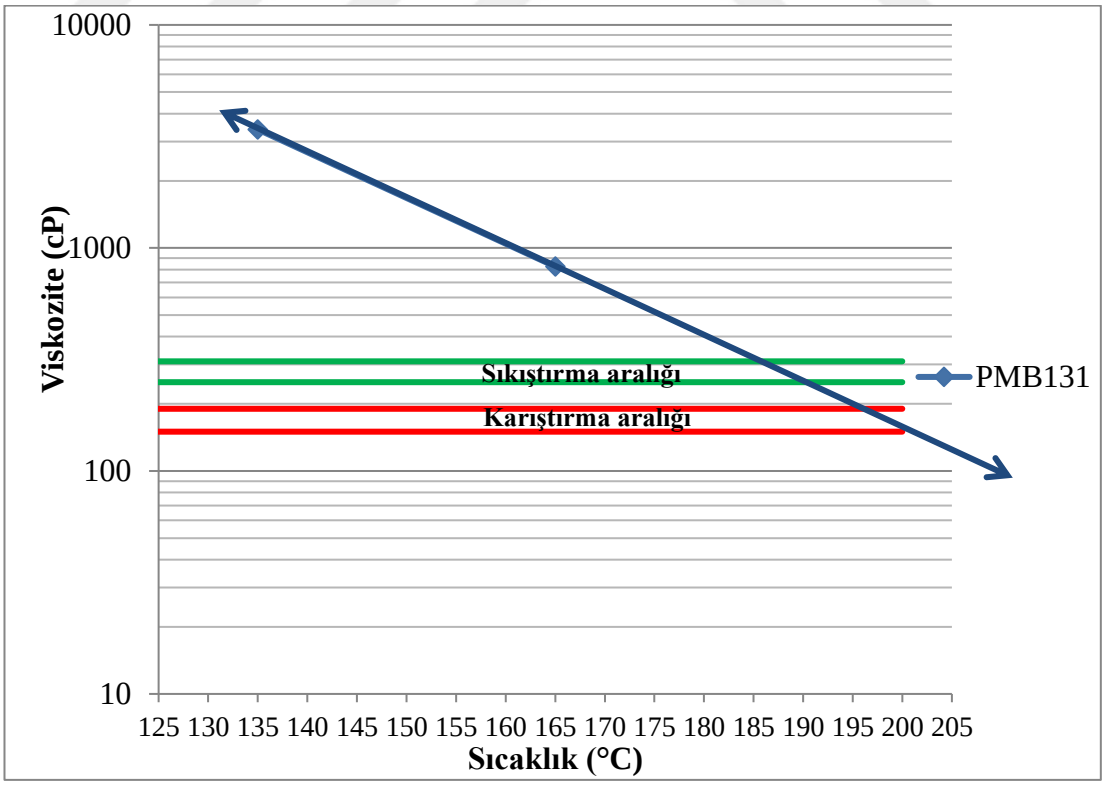
Şekil 5.10. PMB_{112} örneğine ait sıkıştırma ve karıştırma sıcaklık aralıkları



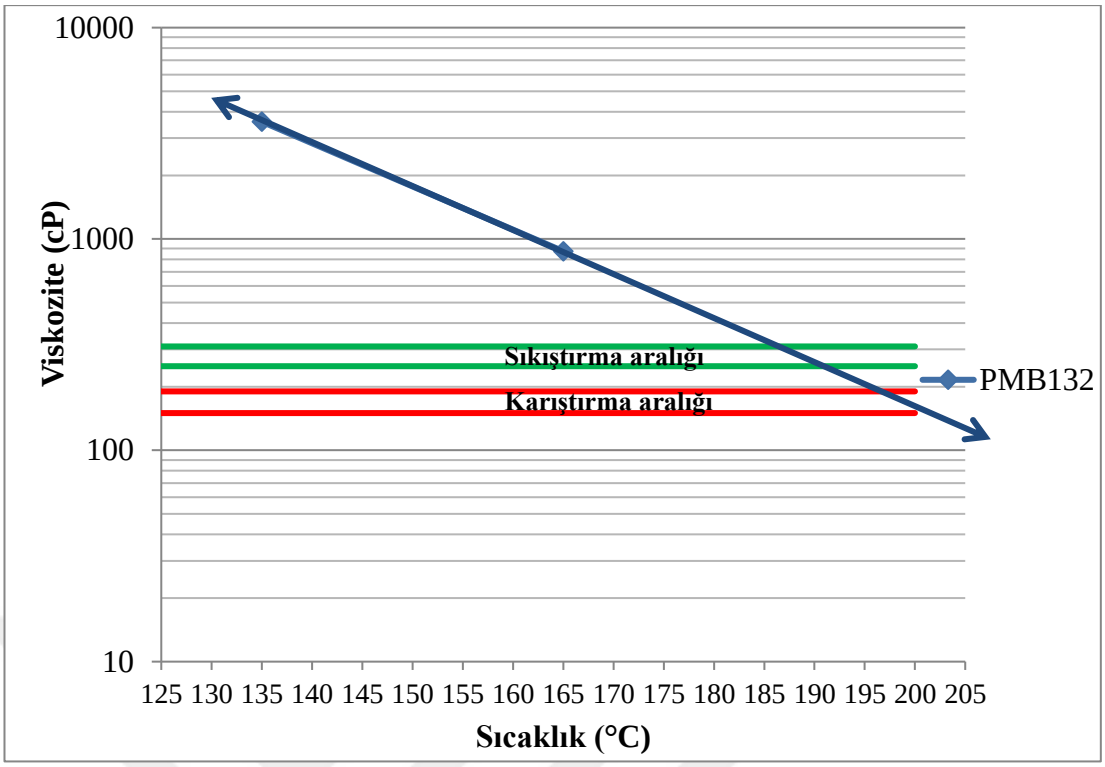
Şekil 5.11. PMB_{121} örneğine ait sıkıştırma ve karıştırma sıcaklık aralıkları



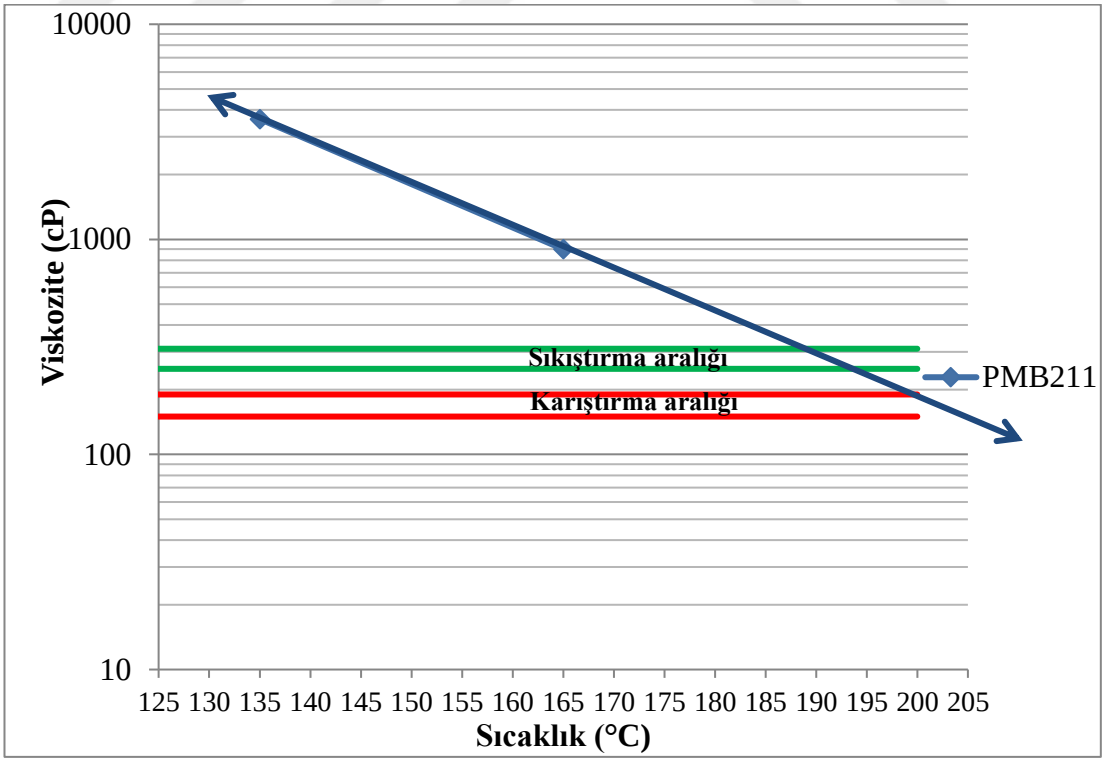
Şekil 5.12. PMB_{122} örneğine ait sıkıştırma ve karıştırma sıcaklık aralıkları



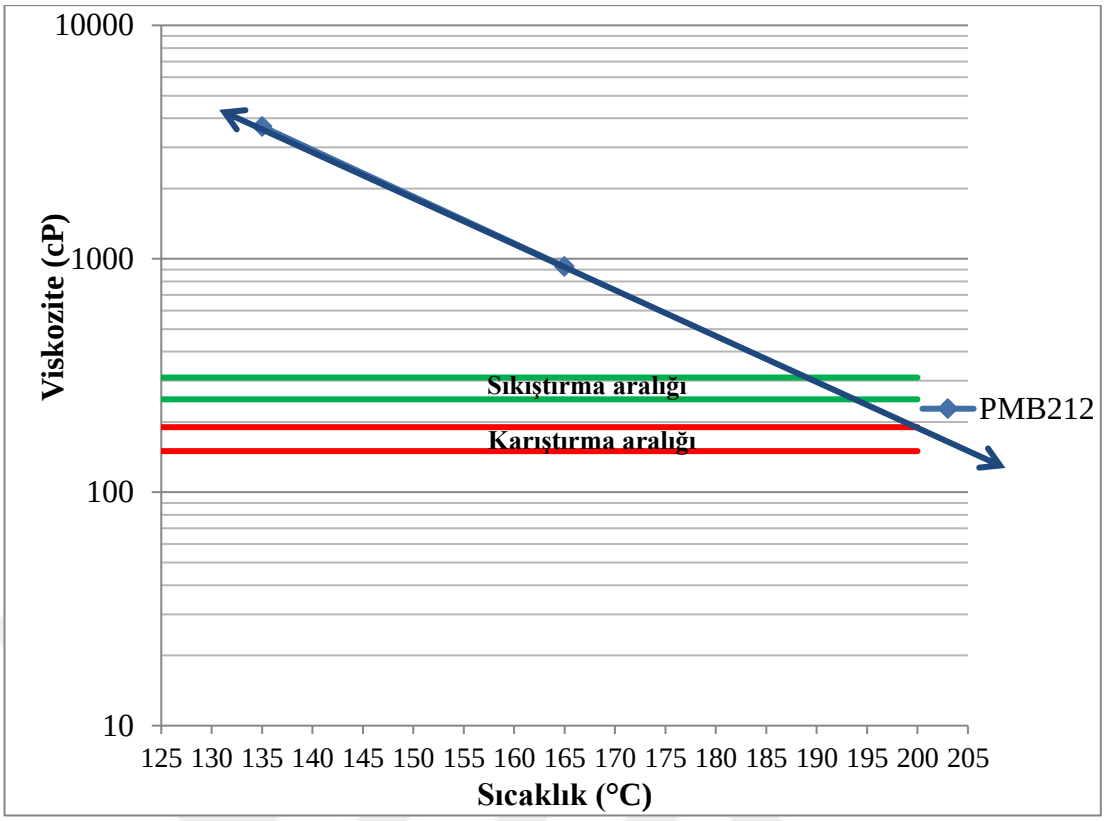
Şekil 5.13. PMB_{131} örneğine ait sıkıştırma ve karıştırma sıcaklık aralıkları



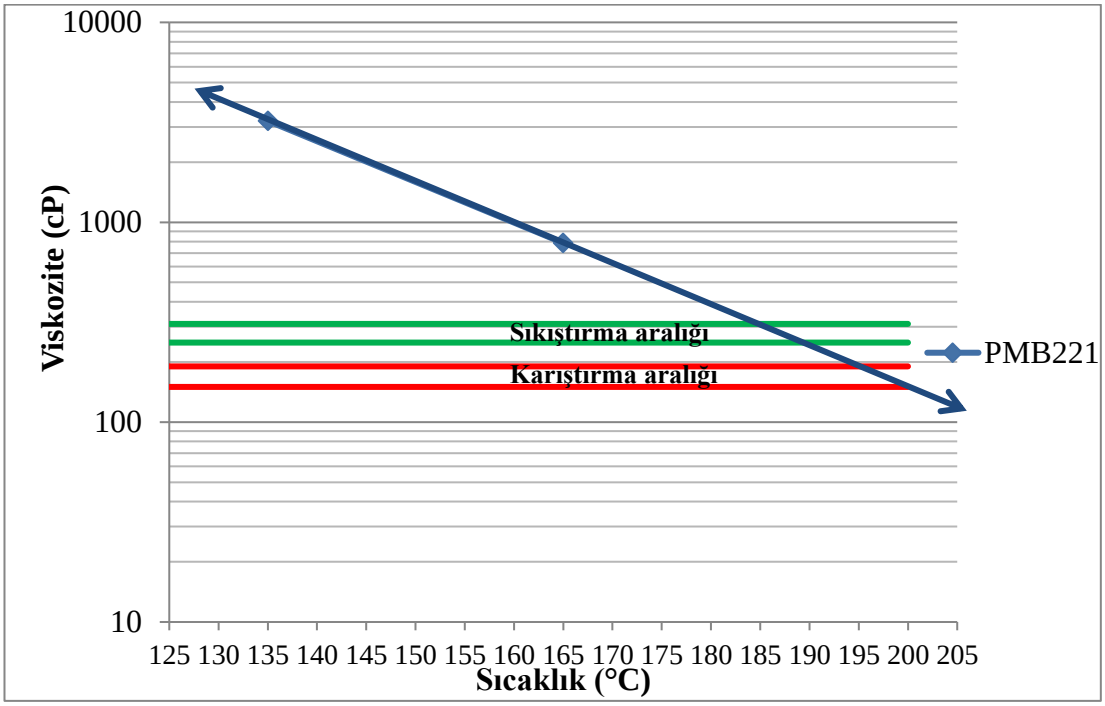
Şekil 5.14. PMB_{132} örneğine ait sıkıştırma ve karıştırma sıcaklık aralıkları



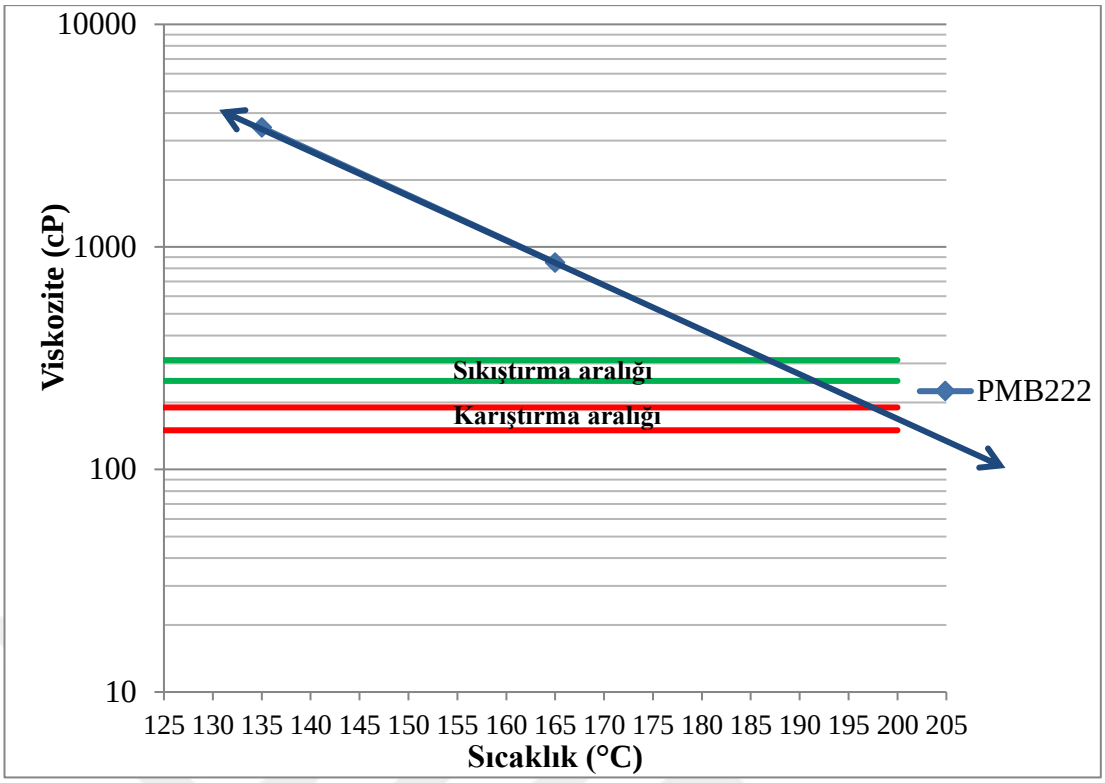
Şekil 5.15. PMB_{211} örneğine ait sıkıştırma ve karıştırma sıcaklık aralıkları



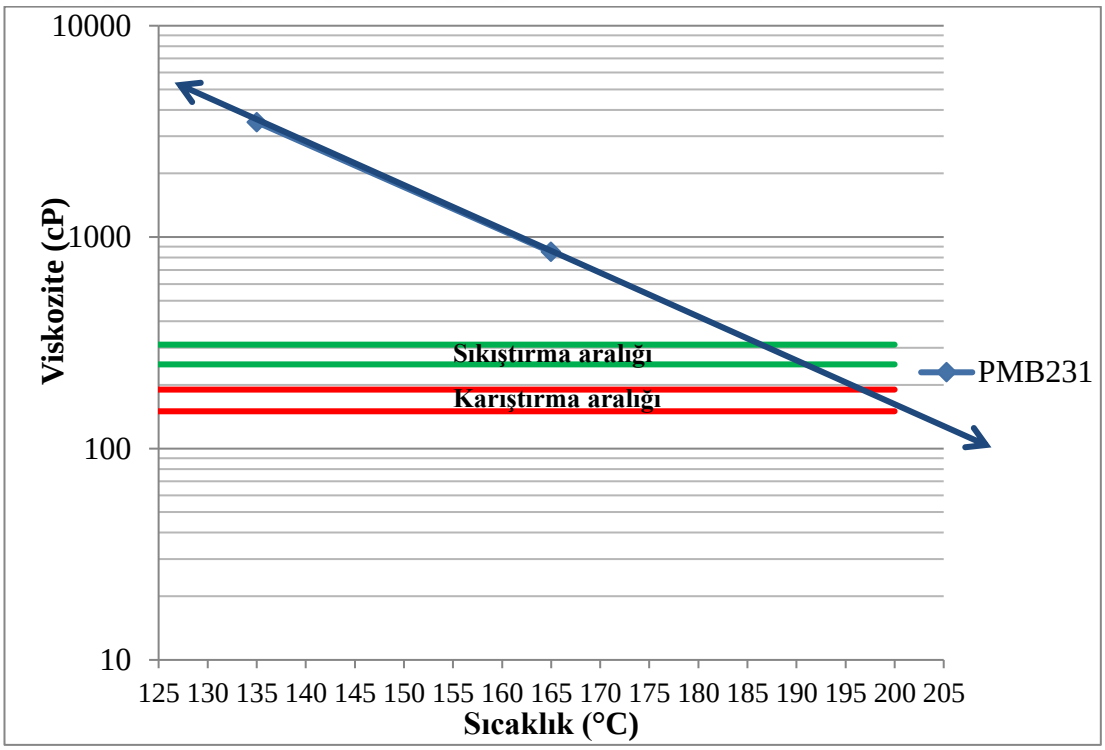
Şekil 5.16. PMB_{212} örneğine ait sıkıştırma ve karıştırma sıcaklık aralıkları



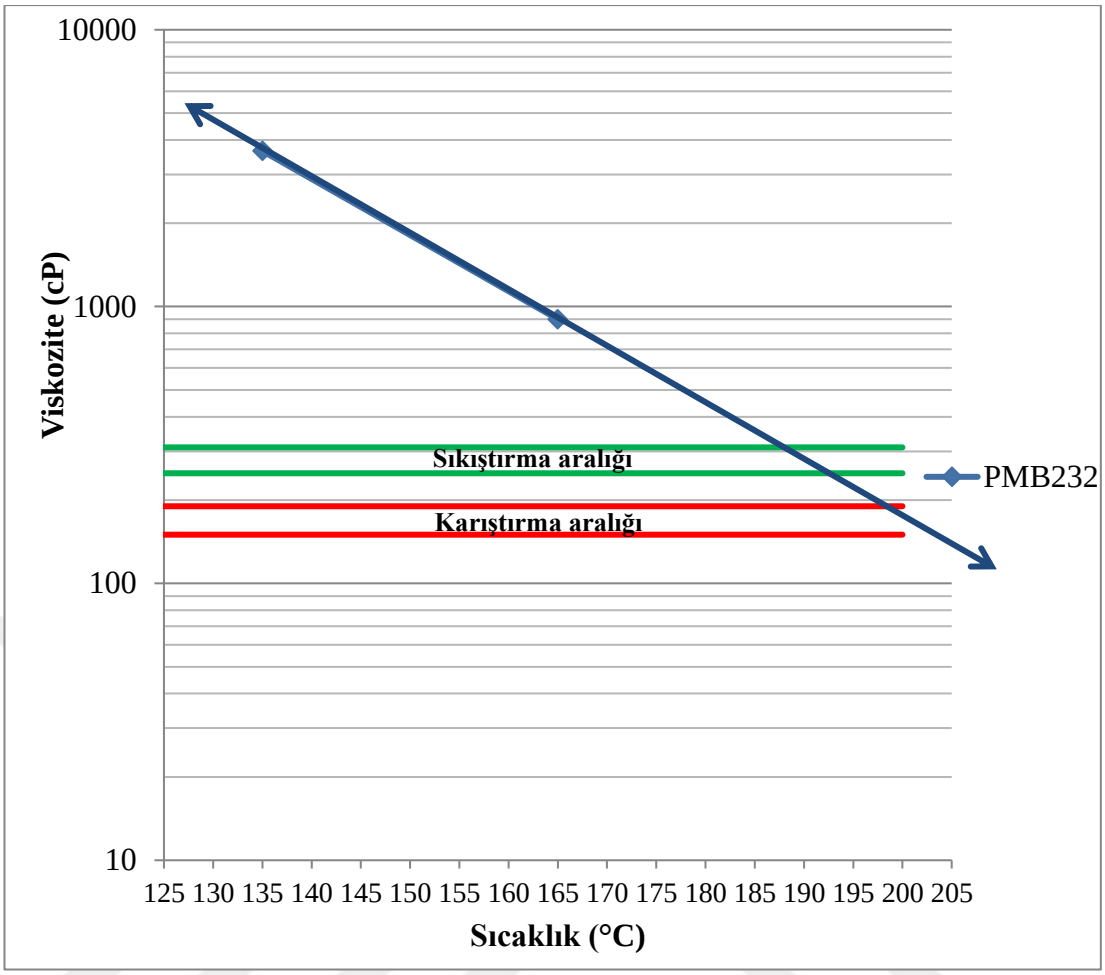
Şekil 5.17. PMB_{221} örneğine ait sıkıştırma ve karıştırma sıcaklık aralıkları



Şekil 5.18. PMB_{222} örneğine ait sıkıştırma ve karıştırma sıcaklık aralıkları

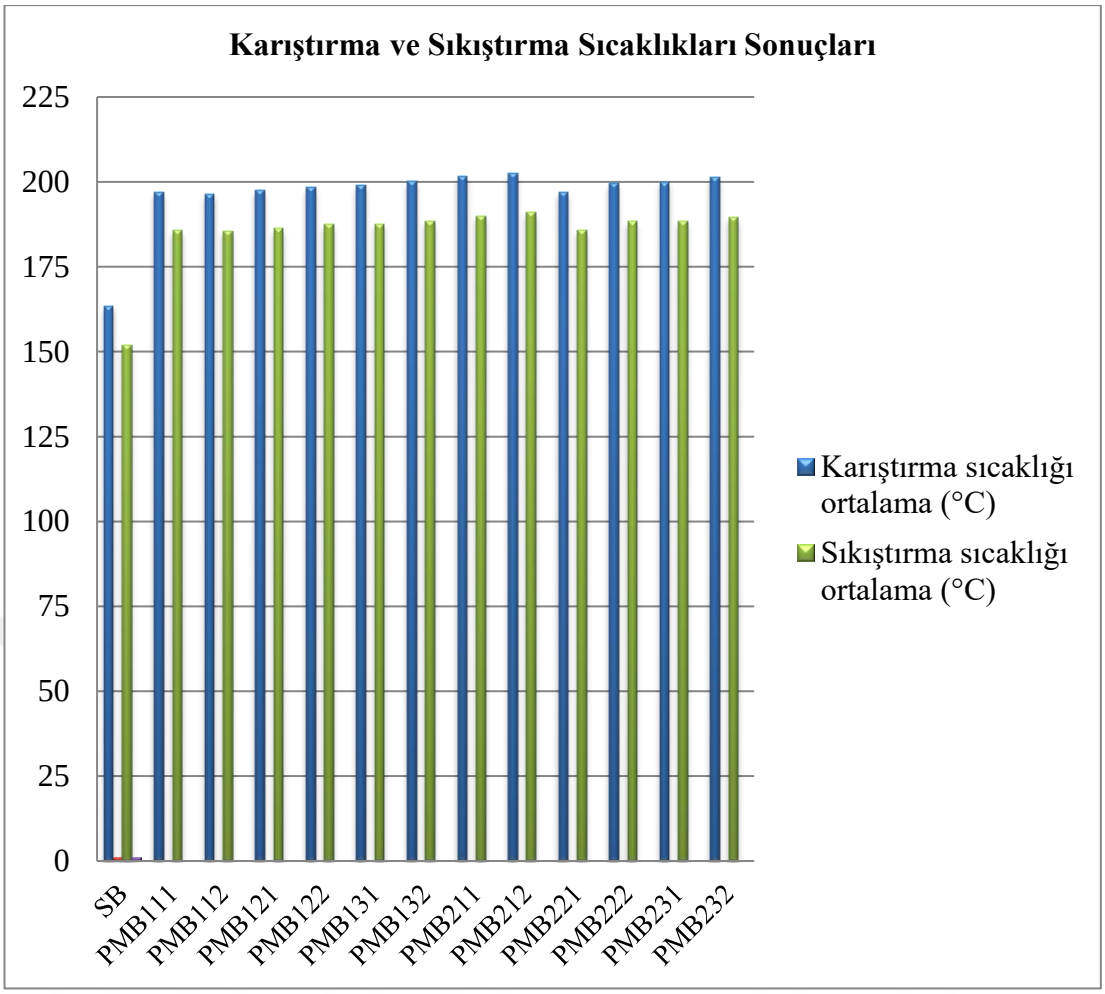


Şekil 5.19. PMB_{231} örneğine ait sıkıştırma ve karıştırma sıcaklık aralıkları



Şekil 5.20. PMB_{232} örneğine ait sıkıştırma ve karıştırma sıcaklık aralıkları

Şekil 5.21.'de Brookfield viskozite deneyinden elde edilen, 135°C ve 165°C sıcaklık değerlerindeki viskozite değerleri ile oluşturulan karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları grafiği görülmektedir.



Şekil 5.21. Saf bitüm ve modifiye bitüm örneklerinin karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları

Tablo 5.8.'de ise saf ve modifiye bitüm örneklerinin, karıştırma sıcaklığı ortalama değerleri ile sıkıştırma sıcaklığı ortalama değerleri sunulmuştur.

Tablo 5.8. Saf bitüm ve modifiye bitüm örneklerinin karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları değerleri

Saf ve modifiye bitüm örnekleri	Karıştırma sıcaklığı ortalama (°C)	Sıkıştırma sıcaklığı ortalama (°C)
SB	163,5	151,9
PMB_{111}	196,9	185,8
PMB_{112}	196,5	185,6
PMB_{121}	197,5	186,3
PMB_{122}	198,4	187,5
PMB_{131}	198,9	187,7
PMB_{132}	200,1	188,4
PMB_{211}	201,5	190
PMB_{212}	202,5	191
PMB_{221}	196,8	185,8
PMB_{222}	199,7	188,4
PMB_{231}	200	188,4
PMB_{232}	201,4	189,5

Şekil 5.21. ve Tablo 5.8.'deki sonuçlara göre, saf bitümün modifiye bitümlere göre sıkıştırma ve karıştırma sıcaklıklarının daha düşük olduğu görülmektedir. Bunun nedeni saf bitümün viskozite değerlerinin daha düşük olmasıdır. Polimer modifiye bitümlere bakıldığında ise en düşük karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları PMB_{112}'ye ait, en yüksek karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları da PMB_{212}'ye aittir. Burada karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları arasındaki fark PMB_{212}'nin viskozite değerlerinin PMB_{112}'den daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.

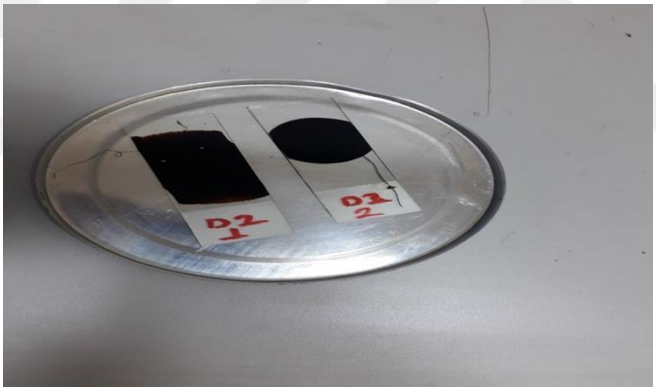
5.4. Modifiye Bitüm Örneklerinin Morfolojik Analizleri

Farklı karıştırma koşulları ile oluşturulan on iki polimer modifye bitüm örneğinin üretim aşamasının sonunda lam ve lamel arasına modifiye bitüm karışımından bir miktar damlatılarak ince kesit numuneleri alınmıştır. Alınan ince kesit numunelerinin inverted floresans mikroskobu yardımıyla görüntüleri alınarak değişen karışım koşullarının, SBS katkısının saf bitüm içerisinde dağılımına olan etkisi incelenmiştir.

Polimer modifiye bitüm örneklerinin lam ve lamel arasına koyulmuş ince kesit numunelerine ait örnek görselleri sırasıyla Şekil 5.22.'den Şekil 5.33.'ye kadar aşağıda verilmiştir.



Şekil 5.22. PMB_{111} örneğine ait lam lamel görüntüsü



Şekil 5.23. PMB_{112} örneğine ait lam lamel görüntüsü



Şekil 5.24. PMB_{121} örneğine ait lam lamel görüntüsü



Şekil 5.25. PMB_{122} örneğine ait lam lamel görüntüsü



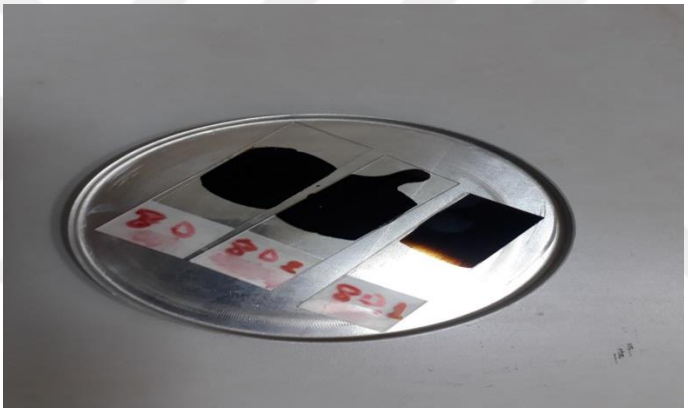
Şekil 5.26. PMB_{131} örneğine ait lam lamel görüntüsü



Şekil 5.27. PMB_{132} örneğine ait lam lamel görüntüsü



Şekil 5.28. PMB_{211} örneğine ait lam lamel görüntüsü



Şekil 5.29. PMB_{212} örneğine ait lam lamel görüntüsü



Şekil 5.30. PMB_{221} örneğine ait lam lamel görüntüsü



Şekil 5.31. PMB_{222} örneğine ait lam lamel görüntüsü



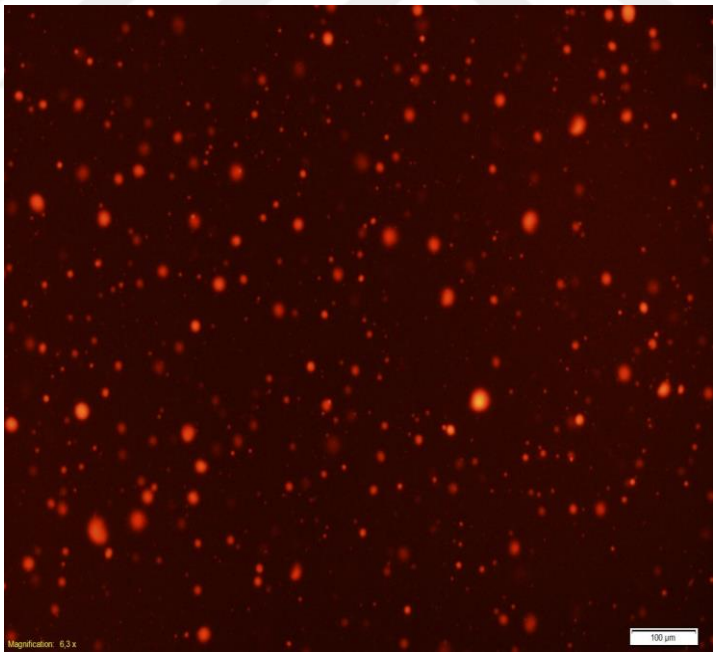
Şekil 5.32. PMB_{231} örneğine ait lam lamel görüntüsü



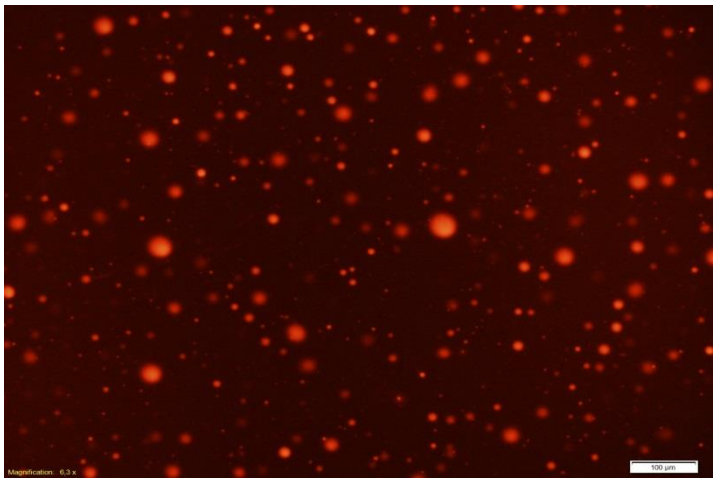
Şekil 5.33. PMB_{232} örneğine ait lam lamel görüntüsü

Polimer modifiye bitüm örneklerinden alınan numunelerin, lam ve lamel arasında düzgün bir şekilde ve yeterli incelikte dağılması, floresans mikroskop ışığının geçirgenliğini sağlayacak düzeyde olması, görüntünün incelenmesi bakımından büyük önem taşımaktadır. Çalışmada modifiye bitüm örneklerinden alınmış olan ince kesitlerin yayılması açısından pek sorun yaşanmamıştır. Sadece PMB_{212} ve PMB_{232} örneklerine ait ince kesit numuneleri etüvde daha uzun süre bekletilerek, ince kesit oluşturmaları sağlanmıştır. Bunun sebebi, PMB_{212} ile PMB_{232} örneklerinin diğer polimer modifiye bitüm örneklerine nazaran viskozitesinin yüksek olmasıdır. Bundan dolayı viskozite artışı ile modifiye bitüm örneklerinin dağılarak ince kesit oluşturması arasında ters orantı olduğu fikrine varılmıştır.

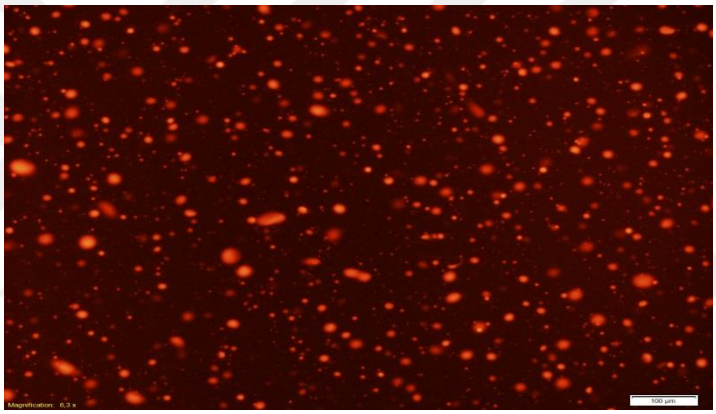
Aşağıda polimer modifiye bitüm örneklerinin inverted floresans mikroskobu ile elde edilen tüm görüntüleri sırasıyla Şekil 5.34.'den Şekil 5.45.'ye kadar verilmiştir.



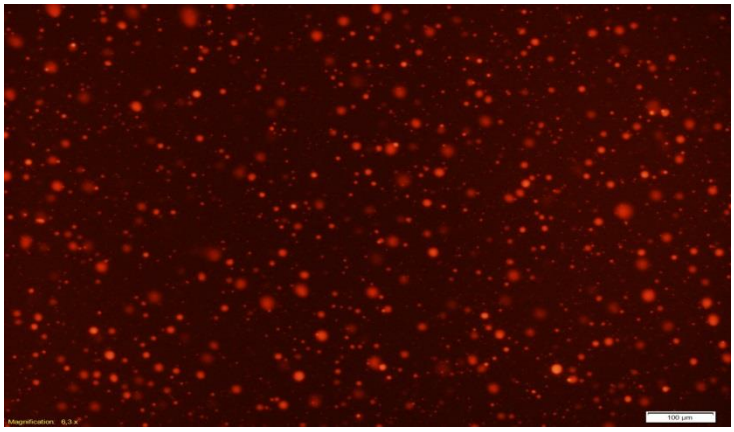
Şekil 5.34. PMB_{111} örneğine ait floresans mikroskop görüntüsü



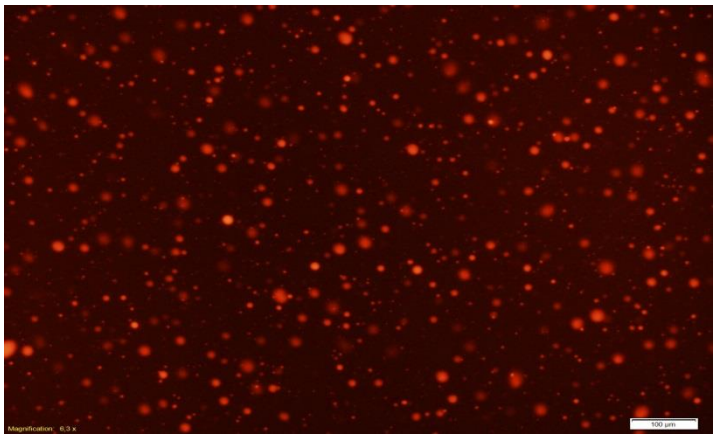
Şekil 5.35. PMB_{112} örneğine ait floresans mikroskop görüntüsü



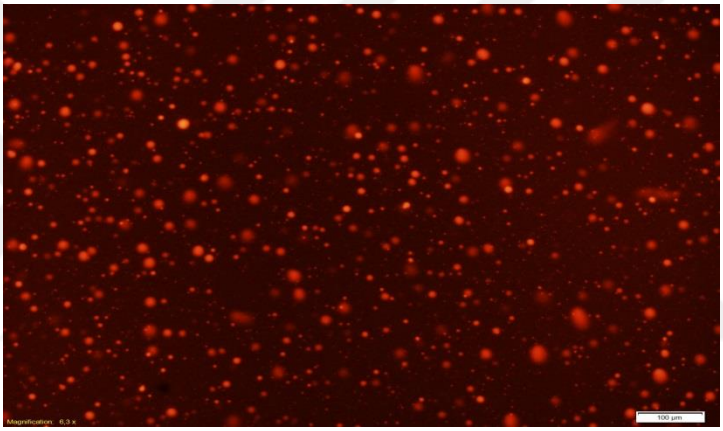
Şekil 5.36. PMB_{121} örneğine ait floresans mikroskop görüntüsü



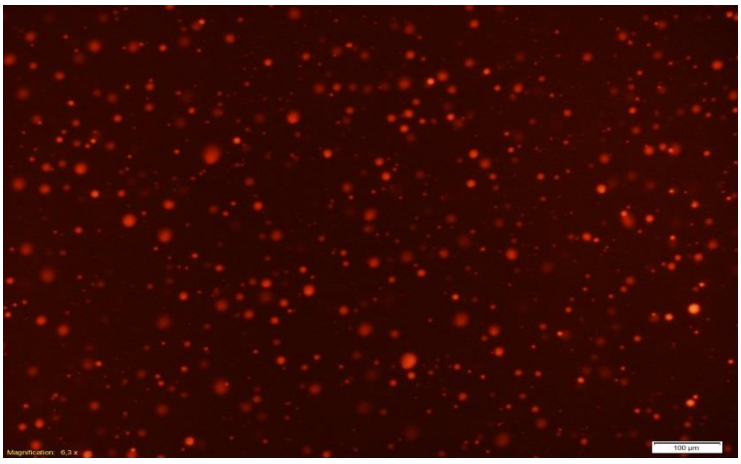
Şekil 5.37. PMB_{122} örneğine ait floresans mikroskop görüntüsü



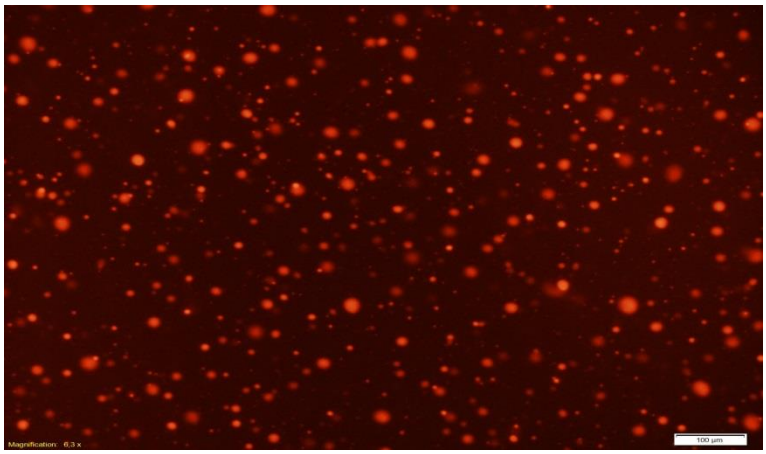
Şekil 5.38. PMB_{131} örneğine ait floresans mikroskop görüntüsü



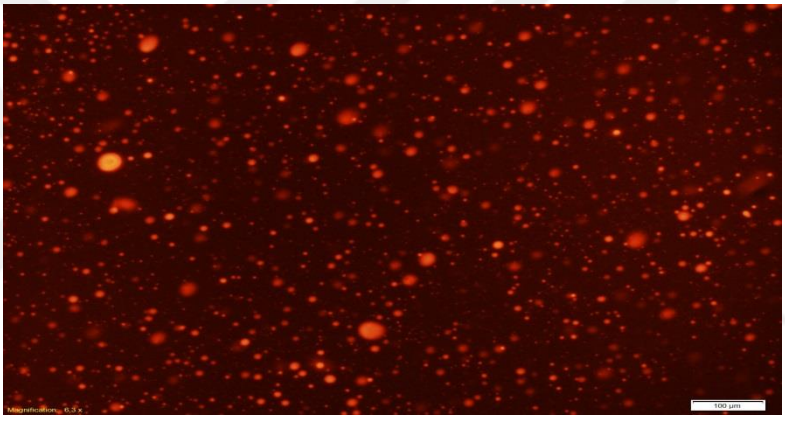
Şekil 5.39. PMB_{132} örneğine ait floresans mikroskop görüntüsü



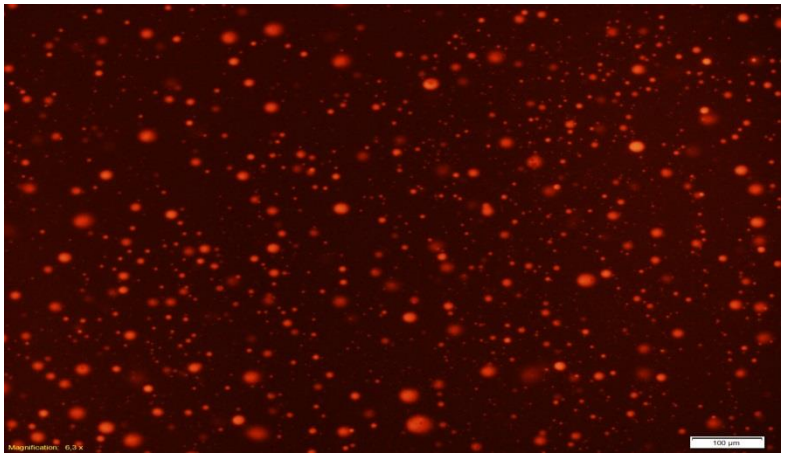
Şekil 5.40. PMB_{211} örneğine ait floresans mikroskop görüntüsü



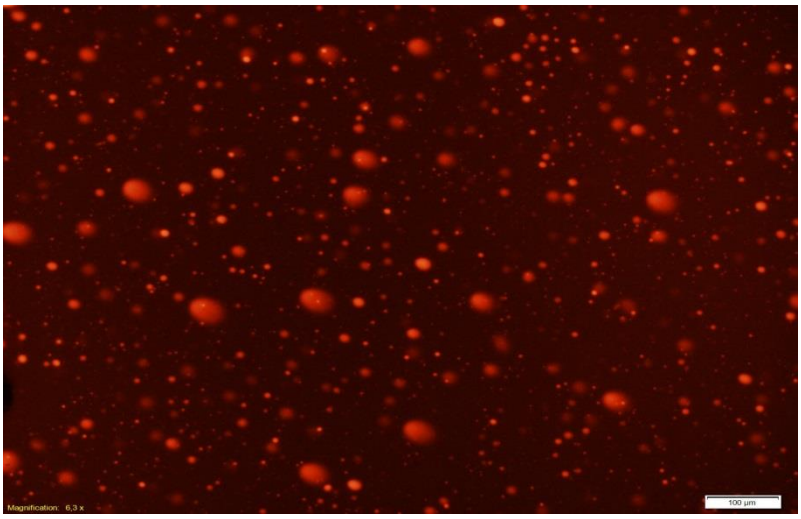
Şekil 5.41. PMB_{212} örneğine ait floresans mikroskop görüntüsü



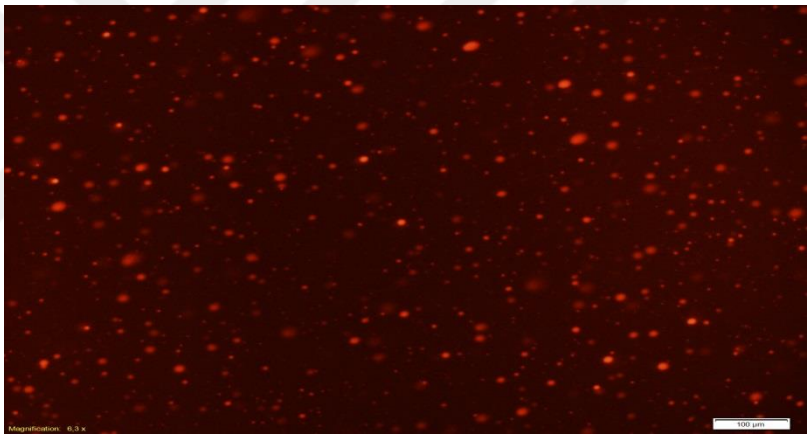
Şekil 5.42. PMB_{221} örneğine ait floresans mikroskop görüntüsü



Şekil 5.43. PMB_{222} örneğine ait floresans mikroskop görüntüsü



Şekil 5.44. PMB_{231} örneğine ait floresans mikroskop görüntüsü



Şekil 5.45. PMB_{232} örneğine ait floresans mikroskop görüntüsü

Polimer modifiye bitüm örneklerine ait mikroskop görüntüleri, PMB_{111} (Şekil 5. 34.) ile PMB_{112} (Şekil 5. 35.), PMB_{121} (Şekil 5. 36.) ile PMB_{122} (Şekil 5. 37.), PMB_{131} (Şekil 5. 38.) ile PMB_{132} (Şekil 5. 39.), PMB_{211} (Şekil 5. 40.) ile PMB_{212} (Şekil 5. 41.), PMB_{221} (Şekil 5. 42.) ile PMB_{222} (Şekil 5. 43.) ve PMB_{231} (Şekil 5. 44.) ile PMB_{232} (Şekil 5. 45.) olarak karıştırma sıcaklıkları ile karıştırma hızlarının eşit fakat karıştırma sürelerinin farklı olduğu ikişerli gruplar halinde incelendiğinde, karıştırma süresinin etkisinin görüntülere de yansıdığı görülmektedir. Mikroskop görüntülerinde 60 dakika karıştırma süresi ile karıştırılan modifiye bitüm örneklerinde SBS katkısı daha az ve dağınık dağılmış iken, karıştırma süresi 120

dakika olduğunda SBS katkısının daha fazla ve homojen dağıldığı görülmektedir. Bu da Brookfield viskozite deneylerindeki viskozite değerlerinin artışına neden olması ile açıklanmaktadır.

Polimer modifiye bitüm örneklerinden PMB_{111} (Şekil 5. 34.), PMB_{121} (Şekil 5. 36.) ve PMB_{131} (Şekil 5. 38.)'in karıştırma koşullarına bakıldığında, karıştırma sıcaklıkları ile karıştırma sürelerinin eşit olduğu ama karıştırma hızlarının sırasıyla arttığı görülmektedir. Bu da floresans mikroskop görüntüleri arasında farklılıklara neden olmuştur. Görüntülere sırasıyla bakıldığında SBS katkısının modifiye bitüm karışım içindeki düzgün ve homojen dağılımının karıştırma hızlarının artmasıyla paralellik gösterdiği görülmektedir. Bunun da viskozite değerlerinin artışı ile ilişkili olduğu düşünülmektedir.

Polimer modifiye bitüm örneklerinden, karıştırma süresi ve karıştırma hızlarının aynı olduğu lakin karıştırma sıcaklıklarının farklı olduğu PMB_{112} (Şekil 5. 35.) ile PMB_{212} (Şekil 5. 41.) örnekleri incelendiğinde, sıcaklık farklılığın floresans mikroskop görüntülerinde değişikliklere neden olduğu görülmektedir. Karıştırma sıcaklığındaki artışın SBS katkısının daha düzgün ve homojen dağılımına sebep olduğu görülmektedir. Bunun da viskozite artışına neden olduğu kanısına varılmaktadır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez çalışması kapsamında, 50/70 penetrasyon değerine sahip saf bitüm ile SBS polimeri kullanılarak polimer modifiye bitüm üretilmiştir. Polimer modifiye bitümler için farklı karıştırma koşulları kullanılarak on iki farklı kombinasyon oluşturulmuştur. Kombinasyonlar oluşturulurken SBS polimer katkı oranı üretici firma görüşü göz önünde bulundurularak %5 değerinde sabit tutulmuş, karıştırma hızı, sıcaklığı ve süresi değiştirilmiştir. Karıştırma parametreleri belirlenirken karıştırma hızları için, yüksek kesme hızlarının penetrasyon değerinde düşüşler meydana getirmesi ve literatürdeki çalışmalar dikkate alınarak, 1500, 2000 ve 2500 rpm değerleri seçilmiştir. Karıştırma sıcaklıkları için, yüksek sıcaklıkların yüksek penetrasyon ile düşük yumuşama noktasına sebep olması ve literatürde daha uygun olan karıştırma sıcaklıkları göz önünde bulundurulduğunda, 175±5°C ile 185±5°C değerleri belirlenmiştir. Karıştırma süreleri için de, karıştırma sıcaklığına benzer sonuçlar doğurduğundan ve yapılan literatür araştırmasına uygun olacak şekilde, 60 ve 120 dakika değerleri seçilmiştir.

Saf ve modifiye bitüm örneklerine yumuşama noktası tayin, penetrasyon, Brookfield viskozite ve ince film halinde ısıtma deneyi uygulanmış, ayrıca kısa dönem yaşlanma sonrası yumuşama noktası tayin ve penetrasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Morfolojik analiz için modifiye bitüm örneklerinin görüntüleri floresans mikroskobu ile elde edilmiştir.

Üretilen modifiye bitüm örneklerinin penetrasyon değerlerine bakıldığında saf bitüm penetrasyon değerlerinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Modifiye bitüm örneklerinde penetrasyon değerinin düşmesi, kullanılan SBS katkısından kaynaklanmış olup SBS bitümün kıvamını arttırarak, penetrasyon değerini azaltmıştır. On iki ayrı kombinasyonla oluşturulan polimer modifiye bitümler incelendiğinde, penetrasyon değeri en yüksek olan karıştırma koşullarının; 175±5°C karıştırma sıcaklığı, 2000 rpm karıştırma hızı ve 60 dakika karıştırma süresine sahip PMB_{121} modifiye bitüm örneğinin olduğu ve penetrasyon değerinin en düşük olduğu

karıştırma koşullarının ise; karıştırma sıcaklığının 185±5°C, karıştırma hızının 1500 rpm, karıştırma süresinin 120 dakika olduğu PMB_{212} örneğine ait olduğu görülmüştür.

İnce film halinde ısıtma deneyinden sonraki penetrasyon değerlerine bakıldığında, kısa dönem yaşlanma sonrası en yüksek penetrasyon değerine PMB_{121} örneğinin, en düşük penetrasyon değerine ise PMB_{212} örneğinin sahip olduğu tespit edilmiştir. Kısa dönem yaşlanma öncesi ve sonrası penetrasyon değerlerinin PMB_{121} örneğinde daha yüksek, PMB_{212} örneğinde ise daha düşük çıkması karıştırma koşularının ne kadar etkili olduğunu göstermektedir.

Aynı zamanda penetrasyon indekslerine bakıldığında saf bitüm penetrasyon değerinin her zaman modifiye bitüm örneklerine karşı düşük olduğu, bunun da polimer modifiye bitümlerin saf bitüme göre sıcaklığa karşı duyarlığının az olduğu sonucuna varılmasını sağlamaktadır. Modifiye bitüm örnekleri arasında ise en yüksek penetrasyon indeksi değerine PMB_{232} örneğinin, en düşük penetrasyon indeksi değerine ise PMB_{121} örneğinin sahip olduğu görülmüş ve bunun sonucunda PMB_{232} örneğinin sıcaklığa karşı daha az duyarlı olduğu fikrine varılmıştır.

Üretilen polimer modifiye bitümlerle saf bitümün yumuşama noktası değerlerine bakıldığında, saf bitümün yumuşama noktasının polimer modifiye bitümlere göre daha düşük olduğu bunun da SBS katkısı kullanımından kaynaklandığı ve dolayısıyla bitümün kıvamının artmasına neden olduğu, modifiye bitümlerin yoğun bir hal almasından ötürü yumuşama noktası tayin değerlerinin yükselmesine sebep olduğu görülmüştür. Modifiye bitümlerin yumuşama noktası tayini değerlerine bakıldığında ise en düşük yumuşama noktası değerine sahip örneğin, karıştırma koşularının; 175±5°C karıştırma sıcaklığı, 2000 rpm karıştırma hızı ve 60 dakika karıştırma süresine sahip PMB_{121} olduğu, en yüksek yumuşama noktası değerinin ise 185±5°C karıştırma sıcaklığı, 1500 rpm karıştırma hızı, 120 dakika karıştırma süresine sahip PMB_{212} örneğinin olduğu sonucuna varılmıştır.

Burada oluşan yumuşama noktalarındaki farklılığı, karıştırma koşullarının ne kadar etkili olduğunu göstermiştir.

İnce film halinde ısıtma deneyi sonucunda, kısa dönem yaşlanma etkisi ile en yüksek yumuşama noktası değerine PMB_{212} örneğinin sahip olduğu, en düşük yumuşama noktası değerine ise, karıştırma koşulları; 175±5°C karıştırma sıcaklığı, 1500 rpm karıştırma hızı ve 60 dakika karıştırma süresi olan PMB_{111} örneğinin sahip olduğu saptanmıştır. İnce film halinde ısıtma deneyinde modifiye bitüm örneklerinin kütle değişimlerine bakıldığında, en fazla kütle kaybı PMB_{112} örneğinde, en az kütle kaybının ise PMB_{122}, PMB_{221} ve PMB_{222} örneklerinde meydana geldiği görülmektedir.

Saf bitüm ve modifiye bitümlerin Brookfield viskozite değerleri karşılaştırıldığında, saf bitümün viskozite değerinin düşük, modifiye bitümlerin viskozite değerlerinin ise daha yüksek olduğu tespit edilmiş olup, bunun kullanılan SBS katkısı nedeniyle bitüm kıvamının artması sonucu olduğu görülmüştür. Modifiye bitüm örneklerinde kıvamın artması, akmaya karşı direnci de artırdığı için viskozite değerlerinin de arttığı sonucuna varılmıştır. Modifiye bitüm örnekleri incelendiğinde, 135°C ve 165°C sıcaklıktaki en yüksek viskozite değerine sahip olan örneğin, karıştırma sıcaklığı 185±5°C, karıştırma hızı 1500 rpm, karıştırma süresi 120 dakika olan PMB_{212} örneğinin olduğu, 135°C ve 165°C sıcaklıktaki en düşük viskozite değerinin ise karıştırma sıcaklığı 185±5°C, karıştırma hızı 2000 rpm ve karıştırma süresi 60 dakika olan PMB_{221} örneğine ait olduğu görülmüştür.

Modifikasyon indeksleri incelendiğinde polimer modiye bitümün saf bitüme göre modifasyon indeksinin yüksek olduğu görülmekte, 135°C ve 165°C sıcaklıklardaki en yüksek modifikasyon indekslerinin PMB_{212} örneğine, en düşük modifikasyon indekslerinin ise PMB_{221} örneğine ait olduğu görülmüştür. Bunun dışında modifiye bitüm örneklerin sıkıştırma ve karıştırma sıcaklıklarını incelendiğinde viskozite değerleri ile doğru orantılı hareket ettiği için en yüksek sıkıştırma ve karıştırma sıcaklığı aralığına PMB_{212} polimer modifiye bitümün sahip

olduğu ve en düşük sıkıştırma ve karıştırma sıcaklık aralığına ise PMB_{221} polimer modifiye bitümün sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Son olarak modifiye bitüm örneklerinin morfolojik analizi için PMB_{111} modifiye bitüm örneği ile PMB_{112} modifiye bitüm örneğine bakıldığında, karıştırma sıcaklıları ile karıştırma hızlarının aynı olduğu lakin karıştırma süreleri sırasıyla 60 dakika ve 120 dakika olduğu görülmektedir. Karıştırma sürelerindeki bu farklılık floresans mikroskobu ile elde edilen görüntülerde de farklılıklara neden olmuştur. PMB_{111} modifiye bitüm örneği 60 dakika karıştırma süresine sahip olduğundan floresans mikroskop görüntünde SBS katkısının daha az ve düzensiz dağıldığı, PMB_{112} modifiye bitüm örneğinin ise 120 dakika karıştırma süresine sahip olduğundan floresans mikroskop görüntüsünde SBS katkısının daha fazla ve düzenli dağıldığı görülmektedir. Bunun da, PMB_{111} örneği ile PMB_{112} örneği arasındaki viskozite değerlerinin farklı olmasından kaynaklanması ile açıklanmaktadır. Modifiye bitüm örneklerinden PMB_{111}, PMB_{121} ve PMB_{131} örnekleri incelendiğinde, karıştırma sıcaklıkları ile karıştırma sürelerinin eşit olduğu fakat karıştırma hızlarının sırasıyla 1500 rpm, 2000 rpm ve 2500 rpm olduğu görülmektedir. Karıştırma hızındaki artışlardan dolayı sırasıyla modifiye bitüm örneklerinin floresans mikroskop görüntülerinde SBS katkısının daha fazla ve homojen dağılmasına sebep olduğu görülmektedir. Bu da modifiye bitüm örneklerindeki viskozite değer artışı ile açıklanmaktadır. Polimer modifiye bitüm örneklerinden PMB_{112} ile PMB_{212} örneklerine bakıldığında, karıştırma hızları ile karıştırma sürelerinin eşit olduğu fakat karıştırma sıcaklıklarının sırasıyla 175±5°C ve 185±5°C olduğu görülmektedir. Sıcaklık farklılığından dolayı modifiye bitüm örneklerinde sırasıyla floresans mikroskop görüntülerindeki SBS katkısının daha fazla ve homojen dağılmasına neden olduğu görülmektedir. Bunun da modifiye bitüm örneklerindeki viskozite değer artışlarıyla açıklanabileceği kanısına varılmıştır.

Tez kapsamında yapılan deneysel çalışmalar ışığında polimer modifiye bitümlü bağlayıcıların modifikasyon prosedüründeki karıştırma parametrelerinin etkisinin en ideal değerinin karıştırma sıcaklığı için 175±5°C olduğu sonucuna varılmıştır. Çünkü karıştırma sıcaklığının 185±5°C olduğu PMB_{212}, PMB_{222} ve PMB_{232} modifiye bitüm örneklerine bakıldığında yüksek karıştırma sıcaklıklarının neden olduğu problemler örneklendirilecek olursa; viskozite değerleri için PMB_{212}

örneğinde viskozitenin artıp, sonra PMB_{222} modifiye bitüm örneğinde karıştırma hızı artmasına rağmen viskozite artışı yaşanmamış tam tersine azalması olarak gözlemlenmiştir. Bunun sebebinin, SBS katkılı bitümlerin yüksek sıcaklıklarda, viskozite ile belli karıştırma hızlarında ters orantılı olduğu kanısına varılmıştır. PMB_{232} örneğinde karıştırma hızı artırılınca, tekrar viskozite ile karıştırma hızı doğru orantılı olarak çalışmaya başlamıştır. Bu durumla 175±5°C karıştırma sıcaklığında karşılaşılmadığı için ideal olarak bu sıcaklık değeri seçilmiştir. Karıştırma süresine bakıldığında ise, 60 dakika karıştırma sürenin uygun olduğu tespit edilmiştir. 120 dakika karıştırma süresi ile modifiye edilen örneklerde süre arttığı için bitüm yaşlanması sonucunda penetrasyon değerinin düşmesi ve yumuşama noktası ile viskozite değerlerinin yükselmesinden dolayı karıştırma süresinin 60 dakika olması gerekliliği kanısına varılmıştır. Karıştırma hızına bakıldığında, 2000 rpm hız değeri seçilmiştir. Bunun nedeni, karıştırma sıcaklığının 175±5°C ve karıştırma süresinin 60 dakika olduğu PMB_{111}, PMB_{121} ve PMB_{131} örneklerinde deney sonuçlarına göre en iyi sonuçların 2000 rpm karıştırma hızında elde edilmesidir. Belirlenen bu parametre değerlerine göre, karıştırma sıcaklığı 175±5°C, karıştırma hızı 2000 rpm ve karıştırma süresi 60 dakika olan PMB_{121} modifiye bitüm örneğinin en ideal koşullarda üretildiği sonucuna varılmıştır.

Karıştırma parametrelerinin modifiye bitümler üzerindeki etkilerini incelemede, farklı polimer katkılar kullanarak da karıştırma prosedürünün uygun bir şekilde belirlenmesi için benzer çalışmalar yapılabilir. Deneylerde kullanılan karıştırma süresi, karıştırma hızı ve karıştırma sıcaklıkları parametreleri genişletilerek kombinasyonlar yeniden oluşturulup, deneysel çalışmalar gerçekleştirilebilir. Ayrıca modifiye bitüm örnekleri reolojik açıdan da incelenerek, karıştırma parametrelerinin reolojik davranışlar üzerindeki etkileri irdelenebilir.

KAYNAKLAR

[1] Gökalp, İ., Çetin, H. M., Özinal, Y., Gündoğan, H., Uz, V. E. Polimer modifiye bitüm modifikasyonuna etki eden parametreler üzerine bir literatür araştırması. Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi. 2019, 8(2), 954-964.

[2] Şengöz, B., Topal, A., Kaya Özdemir, D. The ınfluences of altering the mixing conditions on the properties of polymer modified bitumen: an overview. Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering. 2020, 25(2), 1105-1116.

[3] Haddadi, S., Ghorbel, E., Laradi, N. Effects of the manufacturing process on the performances of the bituminous binders modified with EVA. Construction and Building Materials. 2008, 22(6), 1212-1219.

[4] Mohan, S. A., Woldekidan, M. F., Qiu, J. Effects of Mixing Procedures on The Properties of Polymer Modified Bitumen. In Proceedings of the International Conferences on the Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields, 2013, 687-698.

[5] Shaffie, E., Arshad, A. K., Alisibramulisi, A., Ahmad, J., Hashim, W., Abd Rahman, Z., Jaya, R. P. Effect of mixing variables on physical properties of modified bitumen using natural rubber latex. International Journal of Civil Engineering and Technology. 2018, 9, 1812-1821.

[6] Lav, A.H., Lav, M.A. Shell Bitüm El Kitabı. İSFALT Bilimsel Yayınları, İstanbul, 2004, 334 s.

[7] Whiteoak, D., Read, J.M. The Shell Bitumen Handbook. Thomas Telford Services Ltd. Published, London, 2003, 788 p.

[8] Tunç, A. Yol Malzemeleri ve Uygulamaları. Nobel Yayın Dağıtım Yayınları, Ankara, 2007, 840 s.

[9] Whiteoak, D. Shell Bitüm El Kitabı. Ed.: Abdullah Hilmi Lav, M. Ayşen Lav, İSFALT Bilimsel Yayınları, İstanbul, 2004, 334 s.

[10] Ilıcalı, M. Asfalt ve Uygulamaları. İSFALT Bilimsel Yayınları, İstanbul 2001, 280 s.

[11] Tunç, A. Kaplama Mühendisliği ve Uygulamaları. Asil Yayın Dağıtım Yayınları, Ankara, 2004, 549 s.

[12] Jahromi, S. G., Khodaii, A. Effects of nanoclay on rheological properties of bitumen binder. Construction and Building Materials. 2009, DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2009.02.027.

[13] Vonk, W.C., Gooswilligen, G. Improvement of Paving Grade Bitumens with SBS Polymers. Proceeding of the Fourth Eurobitume Symposium, 1989, Madrid (289-303 s.).

[14] Hoban, T. W. S. modified binders: An underexploited road maintenance tool. Highways, 1987, 1926(55), 13-19.

[15] Bahia, H. U., Hanson, D. I., Zeng, M., Zhai H., Khatri, M. A., Anderson, R.M. Characterization of modified asphalt binders in superpave mix design. NCHRP Report 459, 2001, Washington, D.C.(NCHRP Report, 53 p.).

[16] Yüknü, K., Öztürk, T., Komut, M. Bitümlü Bağlayıcılar Laboratuvar El Kitabı. Araştırma ve Geliştirme Dairesi Başkanlığı Üstyapı Geliştirme Şubesi Müdürlüğü, Ankara, 2020, 332 s.

[17] American Society for Testing and Materials. ASTM D 5-06. Standart Test Method for Pentration of Bituminous Materials. Conshohocken, PA, 2006, 4 p.

[18] American Society for Testing and Materials. ASTM D 36-06. Test Method for Softening Point of Bitumen (Ring and Ball Apparatus). Conshohocken, PA, 2006, 4 p.

[19] American Society for Testing and Materials. ASTM D 2872-12. Standart Test Method for Effect Of Heat and Air on a Moving Film of Asphalt (Rolling Thin-Film Oven Test). Conshohocken, PA, 2012, 6 p.

[20] Uncu, D. Polimer Modifiye Bitüm Özelliklerinin Nanomalzemeler Kullanılarak İyileştirilmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir, 2017, 183 s. (Doktora Tezi).

[21] American Society for Testing and Materials. ASTM D 4402/D 4402M-12. Standart Test Method for Viskosity Determination of Asphalt at Elevated Temperatures Using a Rotational Viscometer. Conshohocken, PA, 2012, 4 p.

[22] Chen, J., Liao, M., Shiah, M. Asphalt modified by SBS triblock copolymer morphology and model. Journal of Materials in Civil Engineering. 2002, 14(3), 224-229.

[23] URL, https://www.istanbulteknik.com/tr/, 30.06.2021.

[24] Al-Abdul Wahhab, H. I., Dalhat, M. A., Habib, M. A. Storage stability and high-temperature performance of asphalt binder modified with recycled plastic. Road Material and Pavement Desing. 2016, 18(5), 1117-1134.

[25] Singh, S. K., Kumar, Y., Ravindranath, S. S. Thermal degradation of SBS in bitumen during storage: Influence of temperature, SBS concentration, polymer type and base bitumen. Polymer Degradation and Stability, 2018, 147, 64-75.

[26] Pérez-Lepe, A., Martinez-Boza, F., Gallegos, C., González, O., Munoz, M., Santamarıa, A. Influence of the processing conditions on the rheological behaviour of polymer-modified bitumen. Fuel. 2003, 82(11), 1339-1348.

[27] Lu, X., Isacsson, U. Influence of styrene-butadiene-styrene polymer modification on bitumen viscosity. Fuel. 1997, 76(14-15), 1353-1359.

[28] Munera, J. C., Ossa, E. A. Polymer modified bitumen: Optimization and selection. Materials & Design. 2014, 62, 91-97.

[29] Şengöz, B., Işıkyakar, G. Evaluation of the properties and microstructure of SBS and EVA polymer modified bitumen. Construction and Building Materials. 2018, 22(9), 1897-1905.

[30] Rossi, C. O., Spadafora, A., Teltayev, B., Izmailova, G., Amerbayev, Y., Bortolotti, V. Polymer modified bitumen: Rheological properties and structural characterization. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 2015, 480, 390-397.

[31] Yılmaz, M., Kök, B. V., Kuloğlu, N., Alataş, T. Elastomer türü polimerler ile modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcıların depolama stabilitelerinin ve reolojik özeliklerinin incelenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi. 2013, 15(43), 67-77.

[32] Yılmaz, M., Kök, B.V., Yamaç, Ö. E. Determination of rheological properties of polymer and natural asphalts modified binders after storage stability test. Journal of Engineering and Natural Sciences Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi. 2015, 33, 157-165.

[33] Yılmaz, M., Kök, B. V. Stiren-Butadien-Stiren modifiyeli bitümlü bağlayıcıların superpave sistemine göre yüksek sıcaklık performans seviyesinin ve işlenebilirliğinin belirlenmesi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi. 2008, 23(4), 811-819.

[34] Zaniewski, J. P., Pumphrey, M. E. Evaluation of Performance Graded Asphalt Binder Equipment and Testing Protocol, Asphalt Technology Program, Department of Civil and Environmental Engineering, Morgantown, West Virginia, 2004, 107 p.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Osman DUMANLI

Doğum Yeri ve Yılı :

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta :

Eğitim Durumu

Lise : Manisa Lisesi, 2013

Lisans : Manisa Celal Bayar Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2017

Mesleki Deneyim

Kurum bilgisi	: Kalyon İnşaat	2016
Kurum bilgisi	:Prozon Mühendislik	2017
Kurum bilgisi	:Uzunada Deniz Komutanlığı	2017-2018
Kurum bilgisi	:Sternbau Immobilien GmbH	2019