

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**POLİMER MODİFİYE ASFALTLARIN
REOLOJİK VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
BELİRLENMESİNDE FLUORESAN
MİKROSKOBİ YÖNTEMİNİN KULLANIMI**

Giray IŞIKYAKAR

Eylül, 2009

İZMİR

**POLİMER MODİFİYE ASFALTLARIN
REOLOJİK VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
BELİRLENMESİNDE FLUORESAN
MİKROSKOBİ YÖNTEMİNİN KULLANIMI**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ulaştırma Anabilim Dalı**

Giray IŞIKYAKAR

**Eylül, 2009
İZMİR**

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

GİRAY IŞIKYAKAR tarafından **DOÇ. DR. BURAK ŞENGÖZ** yönetiminde hazırlanan **“POLİMER MODİFİYE ASFALTLARIN REOLOJİK VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİNDE FLUORESAN MİKROSKOBİ YÖNTEMİNİN KULLANIMI”** başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Burak ŞENGÖZ

Danışman

Jüri Üyesi

Jüri Üyesi

Prof.Dr. Cahit HELVACI

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

TÜBİTAK MAG 104M559 numaralı “Polimer Modifiye Bitümlerle Elde Edilen Sıcak Karışımların Reolojik ve Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesinde Görüntü Analiz Yöntemlerinin Kullanılması” başlıklı proje ile desteklenen yüksek lisans tez çalışmalarım boyunca, yardımlarını ve bilgilerini esirgemeyip benimle paylaşan, Doç.Dr. Burak ŞENGÖZ, Yrd. Doç.Dr. Ali TOPAL ve Araş. Gör. arkadaşlarıma sonsuz teşekkür ederim.

Giray IŞIKYAKAR

POLİMER MODİFİYE ASFALTLARIN REOLOJİK VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİNDE FLUORESAN MİKROSKOBİ YÖNTEMİNİN KULLANIMI

ÖZ

Trafik hacmindeki ve dingil yüklerindeki artışlar, yollardan beklenen performansı ve hizmet ömrünü düşürmekte, tekerlek izi oluşumu (kalıcı deformasyon), yorulma ve düşük sıcaklık çatlakları gibi bozulmalar ile suya karşı duyarlılığa sebep olmaktadır. Kaplamanın, öngörülen servis ve konfor düzeyinin sağlanması da, büyük ölçüde sıcak karışımlarda kullanılan bitümlü bağlayıcının özelliklerine bağlıdır. Bu açıdan bakıldığında, kaplamayı oluşturan malzemelerden biri olan bitümün modifiye edilmesi, yolun performansını arttırmada en sık kullanılan yöntemlerden biri haline gelmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında bitümün polimer katkıları ile modifikasyonu incelenmiştir. Bu amaçla, elastomer ve plastomer grubuna ait farklı tip polimer katkıları, değişik oranlarda kullanılarak modifiye bitüm örnekleri hazırlanmıştır. Örnekler üzerinde geleneksel bitüm deneyleri uygulanmıştır. Ayrıca, polimer katkıların bitümlü sıcak karışım içindeki performans ve mekanik özelliklerini değerlendirmek amacı ile Marshall Stabilite deneyleri uygulanmıştır.

Farklı tip polimer modifiye bitüm katkılarının saf (katkısız) bitümlü bağlayıcı içindeki dağılımı ve kalitesi, trinoküler flüoresan (optik) mikroskop yardımı ile elde edilen görüntüler üzerinden belirlenmiştir. Bitümün modifikasyonu için kullanılan polimer katkı maddelerinin, bitüm içerisindeki davranışının tam olarak bilinmemesi ve bu katkı maddelerinin birçoğunu içeren ortak bir çalışma bulunmaması nedeniyle çalışmada bulunan değerlerin, idarelerin ve yüklenici firmaların kendi ihtiyaçlarına göre hangi polimerin daha yararlı olacağını belirlemelerinde de faydalı olacağı düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Elastomer, Flüoresan mikroskopisi, Modifiye bitüm, Polimer

DETERMINATION OF THE RHEOLOGICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF POLYMER MODIFIED BITUMEN BY USING FLUORESCENCE MICROSCOPY

ABSTRACT

Increases in traffic volume and axial load and production faults lower the expected performance from roads and service life causing deformations such as rutting (permanent deformation), fatigue and lower temperature cracking and water susceptibility. Providing the envisaged service life and comfort level of pavement depends to a large extent on the properties of bituminous binder used in hot mixtures. From this point of view, modification of bitumen has become one of the methods frequently used in increasing performance of the road.

Within the framework of this thesis, modification of bitumen with polymer additives has been investigated. For this purpose, modified bitumen samples were prepared by using different types of polymer additives that belong to elastomer and plastomer groups of different contents. Conventional bitumen experiments were performed on the prepared samples. In order to investigate the performance of modified bitumen on the mechanical properties of the bituminous mixtures, Marshall stability experiments were applied.

Distribution and quality of different types of polymer modified bitumen additives in pure bitumen were determined by the captured images obtained from trinocular fluorescent microscopy. Since exact behavior of polymer additives used for modification of bitumen is not completely determined, as well as with the absence of cooperative study involving most of these additives, the values found in the study are thought to be useful in determining which polymer would be better for the needs of contractor and management.

Keywords: Elastomer, Fluorescent microscopy, Modified bitumen, Polymer

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT	v
BÖLÜM BİR – GİRİŞ	1
BÖLÜM İKİ – MODİFİKASYON	3
2.1 Modifikasyonun Tanımı ve Amacı.....	3
2.2 Polimer Çeşitleri ve Uygulamaları	5
2.2.1 Elastomerler	6
2.2.2 Plastomerler	7
BÖLÜM ÜÇ - IŞIK MIKROSKOBİSİ VE GÖRÜNTÜ ANALİZİ	9
3.1 Görüntülerin Elde Edilmesi	9
3.2 Görüntü İşleme	10
3.3 Görüntü Özelliklerinin Ölçümü.....	11
3.4 Sonuçların Elde Edilmesi ve Yorumlanması.....	11
BÖLÜM DÖRT - DENEYSEL ÇALIŞMALARDA KULLANILAN MALZEMELER VE NUMUNE HAZIRLAMA YÖNTEMLERİ.....	12
4.1 Uygulanan Deneyler ve Deney Aletleri	12
4.1.1 Penetrasyon Deneyi	12
4.1.2 Yumuşama Noktası Deneyi	13
4.1.3 İnce Film Halinde Isıtma Deneyi.....	14
4.1.4 Depolama Stabilitesi Deneyi	15

4.1.5 Brookfield Viskozite Deneyi	16
4.1.6 Düktilite Deneyi.....	17
4.1.7 Floresan Mikroskop ve Q-win Analiz Programı	18
4.2 Kullanılan Malzemeler	20
4.2.1 Bitüm	20
4.2.2 Polimer Katkılar.....	21
4.2.2.1 SBS Kraton® D 1101	21
4.2.2.2 Soltane® 6302	21
4.2.2.3 Evatene® 2805.....	22
4.2.2.4 Elvaloy® 3427	23
4.2.2.5 Elvaloy® 4170	23
4.2.3 Agrega.....	24
4.3 Polimer Modifiye Bitüm Örneklerinin Hazırlanması	25
4.4 Polimer Modifiye Bitüm Örnekleri ile Sıcak Karışımların Hazırlanması.....	27

BÖLÜM BEŞ – DENEYSEL ÇALIŞMALAR30

5.1 Polimer Modifiye Bitüm Örneklerinin Geleneksel Özellikleri	30
5.1.1 SBS Kraton® D 1101 Katkılı Modifiye Bitümle Hazırlanan Örnekler Üzerine Uygulanan Deneyler	30
5.1.2 Soltane ® 6302 Katkılı Modifiye Bitümle Hazırlanan Örnekler Üzerine Uygulanan Deneyler.	33
5.1.3 Evatene ® 2805 Katkılı Modifiye Bitümle Hazırlanan Örnekler Üzerine Uygulanan Deneyler..	35
5.1.4 Elvaloy ® 3427 Katkılı Modifiye Bitümle Hazırlanan Örnekler Üzerine Uygulanan Deneyler.....	36
5.1.5 Elvaloy ® 4170 Katkılı Modifiye Bitümle Hazırlanan Örnekler Üzerine Uygulanan Deneyler.....	38
5.2 Polimer Modifiye Bitüm Örneklerinin Geleneksel Özelliklerinin Değerlendirmesi	40

5.3 PMB Örnekleri ile Hazırlanan Karışımların Mekanik Özellikleri	45
5.3.1 Kraton® D 1101 Katkılı Modifiye Bitümle Hazırlanan Karışımlar Üzerinde Uygulanan Deneyler	46
5.3.2 Soltane ® 6302 Katkılı Modifiye Bitümle Hazırlanan Karışımlar Üzerinde Uygulanan Deneyler	49
5.3.3 Evatene ® 2805 Katkılı Modifiye Bitümle Hazırlanan Karışımlar Üzerinde Uygulanan Deneyler	52
5.3.4 Elvaloy ® 3427 Katkılı Modifiye Bitümle Hazırlanan Karışımlar Üzerinde Uygulanan Deneyler	55
5.3.5 Elvaloy ® 4170 Katkılı Modifiye Bitümle Hazırlanan Karışımlar Üzerinde Uygulanan Deneyler	58
5.4 PMB Örnekleri ile Hazırlanan Karışımların Mekanik Özelliklerinin Değerlendirilmesi	61
5.5 PMB Örneklerinin Fluoresan Mikroskobu Kullanılarak Elde Edilen Görüntülerinin Morfolojik Özellikleri	64
5.5.1 SBS Kraton ® D 1101 Polimeri ile Hazırlanmış PMB Örneklerinin Fluoresan Mikroskobu Kullanılarak Elde Edilen Görüntüleri	66
5.5.2 Soltane ® 6302 Polimeri ile Hazırlanmış PMB Örneklerinin Fluoresan Mikroskobu Kullanılarak Elde Edilen Görüntüleri	68
5.5.3 Evatene ® 2805 Polimeri ile Hazırlanmış PMB Örneklerinin Fluoresan Mikroskobu Kullanılarak Elde Edilen Görüntüleri	71
5.5.4 Elvaloy ® 3427 Polimeri ile Hazırlanmış PMB Örneklerinin Fluoresan Mikroskobu Kullanılarak Elde Edilen Görüntüleri	73
5.5.5 Elvaloy ® 4170 Polimeri ile Hazırlanmış PMB Örneklerinin Fluoresan Mikroskobu Kullanılarak Elde Edilen Görüntüleri	76
5.6 PMB Örneklerinin Fluoresan Mikroskobu Kullanılarak Elde Edilen Görüntülerinin Q-Win Analiz Programı ile Analizleri	78
5.6.1 Kraton ® D 1101 Polimeri İle Hazırlanmış PMB Örneklerinin Dağılımına İlişkin Modelleme	82
5.6.2 Soltane ® 6302 Polimeri İle Hazırlanmış PMB Örneklerinin Dağılımına İlişkin Modelleme	84

5.6.3 Evatene ® 2805 Polimeri İle Hazırlanmış PMB Örneklerinin Dağılımına İlişkin Modelleme	85
5.6.4 Elvaloy ® 3427 Polimeri İle Hazırlanmış PMB Örneklerinin Dağılımına İlişkin Modelleme	86
5.6.5 Elvaloy ® 4170 Polimeri İle Hazırlanmış PMB Örneklerinin Dağılımına İlişkin Modelleme	87
BÖLÜM ALTI – SONUÇLAR	89
KAYNAKLAR	91

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Son yıllarda karayollarına olan talep dünyanın her yerinde hızlı bir biçimde artmış, trafik ağırlaşmış, dingil yükleri ve lastik basınçları yükselmiş, saf bitüm ve yoğun gradasyonlu klasik asfalt betonunun ihtiyaca cevap veremediği ve beklenen performansı gösteremediği gözlenmiştir. Bu yetersizlik esnek üstyapılarda tekerlek izi oluşumunun (kalıcı deformasyon), yorulma çatlaklarının ve termal çatlakların hızlanması şeklinde ortaya çıkmıştır.

Bu durum karşısında, ABD ve Avrupa'da araştırmalar üç konu üzerine yoğunlaşmıştır:

- Bitümlü karışımlarda kullanılan agrega gradasyonunun değiştirilmesi
- Yeni bir bitümlü sıcak karışım tasarım yönteminin geliştirilmesi
- Bitümün karakteristiklerinin iyileştirilmesi.

Bitümün karakteristiklerinin iyileştirilmesi, kaplamaların özelliklerinin geliştirilmesinde sık başvurulmuş yöntemlerden birisi haline gelmiştir. Bu konuda başvurulmuş metotlardan birisi olan bitüm modifikasyonu, son yıllarda ülkemizde de uygulanmaktadır. Bu sebeple, bitümlerin modifikasyonunun incelenmesi, bu tezin gerçekleştirilmesine esas teşkil etmiştir. Yapılan çalışmanın, modifiye bitümlerin özelliklerinin geniş bir biçimde belirlenmesine ve değerlendirilmesine katkısı olacağı düşünülmektedir.

Yukarıda anlatılanlar kapsamında, tez kapsamında, elastomer grubuna ait 2 farklı tip polimer (SBS Kraton® D1101, SBS Soltane® 6302) ve plastomer grubuna ait 3 farklı tip polimer (EBA® 3427, EVA® 4170, Evatene® 2805) katkı, değişik oranlarda, 50/70 penetrasyon sınıfı bağlayıcı bitümle uygun şekilde karıştırılarak, modifiye bitüm örnekleri hazırlanmıştır. Elde edilen PMB örnekleri üzerinde yumuşama noktası, penetrasyon, ince film halinde ısıtma, vb. gibi geleneksel bitüm deneyleri uygulanmıştır. Katkıların bitümlü sıcak karışım içindeki performans ve mekanik özelliklerini değerlendirmek amacı ile Marshall analizleri yapılmış, karışım

içindeki hava boşluk oranları, akma gibi parametreler incelenmiştir.

Son olarak, polimer modifiye bitüm katkılarının saf (katkısız) bitümlü bağlayıcı içindeki dağılımı, kalitesi ve morfolojik yapısı, trinoküler flüoresan (optik) mikroskop yardımı ile elde edilen görüntüler üzerinden belirlenmiş ve Q-win görüntü analiz programı kullanılarak her bir katkının bağlayıcı içindeki dağılım yüzdeleri tespit edilmeye çalışılmıştır.

BÖLÜM İKİ

MODİFİKASYON

Bu bölümde; modifikasyonun amacı, modifikasyon işleminde kullanılan malzemeler ve polimerler hakkında genel bilgiler verilecektir.

2.1 Modifikasyonun Tanımı ve Amacı

Modifikasyon, yol üstyapılarında kullanılan bağlayıcının veya karışımın performansını arttırmak amacı ile, bağlayıcının içine çeşitli katkı maddelerinin belirli oranlarda ve şartlarda karıştırılması olarak tanımlanmaktadır (Malkoç, 2002).

Bitüm, viskoelastik bir malzemedir ve reolojik davranış göstermektedir. Bitüm aynı zamanda termoplastik bir malzemedir ve ısıtılınca kıvamı değişmektedir. Bitümün bağlayıcı olarak kullanılmasını sağlayan özelliklerinden biri de budur.

Bitümün viskoelastik karakteri aynen bitümlü sıcak karışıma yansımaktadır. Viskoelastik malzemeler yüksek yükleme hızlarında (hızlı taşıtlar) daha ziyade elastik davranış ve yüksek mukavemet göstermektedirler. Buna karşın düşük yükleme hızlarında (yavaş veya duran taşıtlar) viskoz davranış ve düşük mukavemet göstermektedirler. Orta hızlarda ise ortak elastik ve viskoz davranış sergilemektedirler (Hunter, 1994).

Bitüm aynı zamanda termoplastik özelliklerinden dolayı yüksek sıcaklarda düşük mekanik mukavemet, düşük sıcaklarda ise yüksek mukavemet gösterirler. Bitümlü tabakalarda oluşan deformasyonlar büyük ölçüde bitümün ve karışımın bu özelliklerine bağlıdır.

Son yıllarda yapılan araştırmalar bitüme, bitümle uyumlu bazı polimer ve katkıların eklenmesinin bitümün reolojik davranışını etkilediğini, özelliklerini iyileştirdiğini ve bitüme üstün özellikler kazandırdığını ortaya koymuştur. Bu nedenle, bitüme polimer ilavesinin ana amacı, bitümün viskoelastik davranışını değiştirmek ve özellikle, düşük sıcaklıklardaki davranışına zarar vermeden, sıcaklığa karşı duyarlılığını azaltmaktır (Choquet, 1994).

Modifikasyonun bitüm ve bitümlü karışım üzerindeki etkileri aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Bitümün servis sıcaklıkları aralığını genişletmek, yumuşama noktasını yükseltmek ve penetrasyon değerini düşürmek,
- sıcaklıklardaki davranışına zarar vermeden, sıcaklığa karşı duyarlılığını azaltmaktır (Choquet, 1994).

Modifikasyonun bitüm ve bitümlü karışım üzerindeki etkileri aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Bitümün servis sıcaklıkları aralığını genişletmek, yumuşama noktasını yükseltmek ve penetrasyon değerini düşürmek,
- Bitümün sıcaklık değişimlerine duyarlılığını azaltmak (Penetrasyon İndeksini yükseltmek),
- Bitümün reolojik ve mekanik özelliklerini değiştirmek. Geniş sıcaklık ve yükleme hızı aralıklarında kalıcı deformasyona ve kırılmaya karşı mukavemet arttırmak,
- Tekrarlı yükler altında yorulma mukavemeti arttırmak,
- Yaşlanmayı (oksidasyon v.b. dolayısı ile zamanla özelliklerini kaybetme) yavaşlatmak (modifiye bitümün yüksek viskozitesi, agrega etrafındaki bitüm filminin kalınlaşmasını sağlamaktadır).

Modifiye edici katkıların etkili olabilmesi ve hem pratik hem de ekonomik uygulaması için aşağıda koşulları sağlanmalıdır (Denning ve Carswell, 1981)

- Kolayca bulunabilir olması
- Bitümle karıştırma sıcaklıklarında bozulmaması

- Bitüm ile karışabilmesi
- Karıştırma ve serme sıcaklıklarında bitüme fazla viskoz, serme, sıkıştırma ve hizmet sıcaklıklarında ise çok rijit veya kırılğan hale getirmemesi
- Yüksek hizmet sıcaklıklarında akmaya karşı direnci iyileştirmesi
- Ekonomik olması

2.2 Polimer Çeşitleri ve Uygulamaları

Yukarıda sıralanan şartları sağlamak üzere çok çeşitli bitüm modifikasyonu uygulamaları yapılmaktadır. Bu uygulamalar arasında sülfür ilavesi, kauçuk ilavesi, organo-manganez bileşikler ilavesi ve polimer ilavesi yolu ile bitüm modifikasyonu sayılabilir. Bu katkılardan en sık kullanılanı ise polimerlerdir (Whiteoak ve Read, 2003).

Polimerler, birbirinin tekrarı olan ünitelerin (monomerler) kimyasal bileşimi ile oluşan makromoleküllerdir. İnşaat mühendisliğinde, bitümlerin modifikasyonunda kullanılan polimerler, en genel haliyle; elastomer ve plastomer olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Bu polimerler, oldukça geniş uygulama alanına sahiptir. Geçirimli asfaltlar (yüksek boşluk oranı, düşük temas noktaları nedeniyle), yoğun gradasyonlu aşınma tabakaları, ince veya çok ince (1,5 – 4,0 cm) serilebilen aşınma tabakaları (sıcak karışım), soğuk karışımlar (emülsiyon halinde) ve su yalıtım sistemleri en sık kullanılan alanlardır.

Tablo 2,1’de bitüm modifikasyonunda kullanılan polimer tipleri, yaygın isimleri ile bazı kullanım alanları verilmektedir.

Tablo 2.1 Bitüm modifikasyonunda kullanılan yaygın polimerler

Polimer Tipi	Yaygın İsmi	Kullanım Alanları
SBS Kopolimeri	Termoplastik Kauçuk (Elastomer)	Düşük sıcaklık performansı Yüksek sıcaklık performansı Sathi kaplamalar ve yalıtım Sıcak karışımlar Çatlak doldurma
EVA® Kopolimeri EBA Kopolimeri	Termoplastikler (Plastomer)	Yüksek sıcaklık performansı Sathi kaplamalar ve yalıtım Mıcır tutma Sıcak karışımlar Oluklanma (rutting) mukavemeti Çatlak doldurma
Polietilen	Termoplastik Kauçuk	Oluklanma (rutting) mukavemeti
SBR		Düşük sıcaklık performansı Çatlak doldurma Mıcır tutma Oluklanma mukavemeti
Doğal Kauçuk (Latex)	Kauçuk	Mıcır tutma Çatlak doldurma
Epoxy Reçineleri	Termoset	Oluklanma mukavemeti Sıcak karışım Yüksek kayma mukavemeti

2.2.1 Elastomerler

Genellikle termoplastik kauçuklar (TR) olarak da adlandırılan stirenik blok kopolimerler, stiren-butadien-stiren (SBS) ya da stiren-izopren-stiren (SIS) ardışık polimerizasyon işlemleri ile üretilmektedir. Buna alternatif olarak stiren ve orta-blok monomerin ardışık polimerizasyonu ile ardından bağlayıcı bir kimyasal ara maddenin reaksiyonu ile bir çift blok öncü oluşturulabilmektedir. Dolayısı ile yalnızca lineer kopolimerler değil aynı zamanda çok-kollu kopolimerler de üretilmekte olup, bunlar genellikle yıldız şekilli, radyal ya da dallanmış kopolimerler olarak belirtilirler (Bull ve Vonk, 1984).

Elastomerler, mukavemet ve elastikliğini üç boyutlu ağların fiziksel olarak çapraz şekilde bağlanmalarından elde etmektedirler. Bu, polistiren uç bloklarının ayrı ortamlarda toplanması ve üç boyutlu polibutadien ya da polisopren kauçuklu sistemi oluşturmaları sonucu oluşmaktadır. Polimere mukavemet kazandıran bileşen, polistiren uç bloklardır, orta bloklarda malzemeye olağan üstü bir esneklik sağlar (Vonk ve Gooswilligen, 1989).

Elastomer dağılımının kalitesi çok sayıda faktörden etkilenmekle birlikte bu faktörlerin arasında en önemlisi karıştırıcı tarafından uygulanan kesme (kesme kuvveti uygulanmaktadır) miktarıdır. Sıcak bitüme polimer eklendiğinde, bitüm hızlı bir şekilde polimer parçacıkları içerisine sızmaya başlamakta ve polimerin streñ ortamlarının çözülmesini ve şişmesine neden olmaktadır. Gerçekçi bir karışım süresi içinde ve tatminkar düzeyde dağılım elde etmek için, şişmiş parçacıklar üzerine etkiyen kesme miktarı önem taşımaktadır. Dolayısıyla, elastomerlerin bitüm içerisine uygun şekilde dağılması için, orta ve tercihen yüksek kesme kuvveti uygulayabilen karıştırıcılar gerekmektedir.

Tez kapsamında, bu sınıfa giren Kraton® D 1101 ve Soltane® 6302 katkıları kullanılmıştır.

2.2.2 Plastomerler

Plastomer türü polimerler, bitüm ile karıştırıldıklarında ortam sıcaklığında birleşerek, karışımın viskozitesini arttıırlar. Ancak, plastomerler bitümün elastisitesini belirgin şekilde arttıramamaktadır. Isıtıldıklarında, ayrışma ve soğuma ile kaba bir dağılıma sebep olmaktadır. (Hoban, 1987). Bu kısıtlamalarla birlikte, 70 penetrasyonlu bitüm içerisinde %5 oranında EVA kullanımı oldukça yaygındır.

Pek çok polimerin moleküler ağırlığı, alternatif bir özellik ölçülerek tanımlanır, EVA lar için, moleküler ağırlıkla ters orantılı bir viskozite deneyi olan erime akış endeksi (MFI) bu amaçla kullanılır. MFI değeri yükseldikçe, moleküler ağırlık ile viskozite azalmaktadır. Bu durum, penetrasyonun yükselmesiyle, bitümün ortalama moleküler ağırlık ile viskozitesinin azaldığı penetrasyon deneyine benzemektedir.

Vinil asetat ve MFI ile belirtilen geniş bir EVA kopolimeri yelpazesi vardır (Choyce ve Woolley, 1988). Örneğın; 150 MFI değeri ve 19 vinil asetat içeriikli bir EVA, 150/19 cinsi olarak belirtilir.

EVA kopolimerleri bitüm içerisinde kolayca dağılabilmekte ve iyi bir uyum sağlamaktadır. Depolama süresince, bir miktar ayrışma ortaya çıkabilir. Bu nedenle modifiye ürünün kullanımdan önce iyice karıştırılması gerekir.

Bitümlü karışımlara EVA ilavesi, sadece kaplamanın performansını iyileştirmek için kullanılmamakta, ayrıca soğuk havada yapılan uygulamalarda da önemli miktarlarda EVA kullanılmaktadır. EVA, kesme kuvvetine karşı duyarlılığından (Woolley, 1986) ve daha yumuşak bitümle kullanıldığından ötürü karışımın işlenebilirliğini arttırmaktadır. Ancak bu tür karışımlar, soğuk ve özellikle rüzgarlı havalarda serilirken, dikkat edilmelidir. Çünkü polimer kristalleştikçe, modifiye olmuş bitüm de hızlı bir biçimde rijitleşir. Yani kaplamanın işlenebilirliği eşit hızda azalır. Soğuğa ve rüzgara maruz kalan kaplama yüzeyinde sert bir kabuk oluşur.

Çalışmada, bu gruba ait 3 adet polimer (EVA® 2805, Evatene® 4170-reaktif polimer ve EBA 3427) kullanılmıştır.

BÖLÜM ÜÇ

IŞIK MIKROSKOBİSİ VE GÖRÜNTÜ ANALIZI

Renkli ya da gri seviyelerde (grey scale) görüntüler elde etmek ve görüntü analiz çalışmaları, teknolojik gelişmeler ile birlikte bu görüntülerden bazı ölçüm ya da yaklaşım yöntemleri ile veriler elde edilebileceğini göstermiştir. Bu nedenle görüntü analiz çalışmaları, bitümlü malzemelerin söz konusu olduğu alanlarda da uygulanabileceği düşünülmüştür. Polimer modifiye bitüm örneklerinin görüntü analizleri için aşağıdaki adımlar uygulanmıştır:

- 1- Görüntülerin elde edilmesi,
- 2- Görüntü işleme,
- 3- Görüntü özelliklerinin ölçümü
- 4- Analiz sonuçlarının elde edilmesi ve yorumlanması

3.1 Görüntülerin Elde Edilmesi

Görüntü, iki boyutlu ışık şiddeti fonksiyonudur. Bu fonksiyon $f(x,y)$ şeklinde gösterilir. Burada x ve y kartezyen koordinatları, (x,y) noktasındaki f 'nin sayısal değeri ise parlaklık değeridir. Ayrıca görüntü, satır ve sütun indisleri, görüntü içerisinde herhangi bir noktayı tanımlayan elemanlardan meydana gelmiş bir matris olarak düşünülebilir ki, her bir elemanın sayısal değeri, kendisine karşılık gelen noktalardaki gri (ya da RGB- red, green, blue) seviye değerine eşittir. Bu matris elemanların her birine de piksel adı verilir.

Görüntüler elde edilirken, öncelikle mikroskop üzerinde bulunan ve görüntüsü oluşturulacak örnekten yansıyan ışınlar, optik formda kameraya aktarılır. Kamera, bu sinyalleri elektrik sinyallerine dönüştürerek, görüntüyü analog forma çevirir. Sonra bu analog sinyaller, dönüştürücü yardımıyla sayısal sinyallere dönüşür ve bilgisayar ortamına aktarılarak işlenecek hale getirilir. Bu aşamalar sırasında dikkat edilmesi gereken en önemli husus, kullanılan mikroskopta, görüntünün netliği bakımından; iyi ve kesintisiz aydınlatma, uygun büyütme ve iyi bir odaklama sağlanmasıdır.

Bir mikroskobun temel amacı görüntü oluşturmaktır. Bu görüntü çoğunlukla büyütülmüş olup mikroskobun çözünürlük kapasitesi tarafından kontrol edilir. Görüntü alma amacıyla kullanılan optik mikroskoplarda, görüntünün netliği bakımından iyi ve kesintisiz aydınlatmaya, bunun yanında istenilen özelliklerin yeterli bir biçimde çözümlenebilmesi amacıyla uygun bir büyütme ve mükemmel odaklamaya ihtiyaç vardır. Bu kriterlerden herhangi birinin bulunmaması, görüntü kalitesini kötüleştirecek, yorumlanması zor ya da anlamsız olacaktır. Görüntü, normalde (daima olmasa da) mikroskobun optik eksenine ile aynı çizgide çakışmıştır ve üçlü mercek görüntüsünün ön tarafına düşürülmesi ile kamerada oluşmaktadır. Kamera görüntüyü dijital hale getirir ve resim bileşenleri ya da pikselleri düzenleyerek verileri bir görüntü dosyası olarak hafızasında saklar. Görüntüler 8 bit gri seviyededir. Yani 0 = siyah 255 = beyaz olduğu grinin 256 farklı gölgeden oluşur (genellikle, bununla birlikte araştırma sinyallerinin kalibrasyonuna bağlı olarak değişebilir). Aletteki standart ayarlar görüntünün karşıtlık ve parlaklık ayarının yapılabilmesini sağlar.

3.2 Görüntü İşleme

Sayısal görüntü elde edildikten sonra, görüntü işleme bölümüne geçilir. Görüntü işleme aşaması genel olarak; kamera veya benzeri araçlar yardımıyla elde edilmiş ve bilgisayara (dijital ortama) aktarılmış görüntüler üzerinde, görüntü alımında operatörden kaynaklanan hataların da eliminasyonunu içerecek şekilde, çeşitli görüntü geliştirme işlemleridir. Görüntü işleme; gölge düzeltmeleri, karşıtlık/parlaklık optimizasyonunu, filtreleme, eşik/sınır belirleme, nitelik belirleme, nitelik yapılandırması, aritmetiksel ve mantıksal görüntü işlemlerini ve maskeleme gibi geniş bir alanı kapsar. (Topal, 2009)

Bu görüntü işlemlerinin temel amacı bir sonraki evre boyunca belirlenmiş rutin ölçümler için görüntü üretmek ya da hazırlamaktır. Bunun anlamı genellikle, yalnızca iki bit derinliğe sahip olarak üretilmiş örneğin siyah ya da beyaz alanlar ve belirleyici özelliklerden oluşan bir “ikili” (binary) görüntü demektir. Renkli görüntüler de ölçümler için ayrıca hazırlanabilir, fakat onların renk çeşitliliği

hassasiyetleri çok yüksektir. Gerçek-renk görüntüler (24 bit veya daha fazla) birkaç milyon renkteki bir olası dijital spektrumu kapsayabilir. Bunun anlamı, bu evrede veya bir sonraki ölçüm evresinin her ikisinde de pikseller, ilgilenilen bir bölge ile ilgili olmayabileceği gibi bu bölgenin hariç tutulan pikselleri veya her ikisi birlikte de olabilir. Bu yüzden tasarımı yapılan işlemlerin bu sınıra ulaştığı an büyük bir dikkatle uygulamayı gerektirir (Pratt, 2001).

3.3 Görüntü Özelliklerinin Ölçümü

Görüntüde özelliklerinin belirlenmesi düşünülen ilgi bölgeleri renk derinliklerini esas olarak tanımlanabilir. Gri seviye ya da renkli görüntü ilgi bölgeleri seçilirse, yoğunluğa bağlı hesaplamalar da örneğin, ilgi bölgelerindeki gri ya da renkli gölge ortalaması yapılabilir. Bir ilgi bölgesinin tanımlanmasıyla, daha önce tanımlanan kriterleri esas olarak ilgi alanının geometrik ve matematiksel parametreleri, örneğin toplam alan, çap, gölge faktörü, uzunluk ölçümleri (feret oranları), ortalama değer ve buna benzer diğer parametreler hesaplanabilir.

3.4 Sonuçların Elde Edilmesi ve Yorumlanması

Bir görüntü alanındaki ölçülen ilgi bölgelerinin her birinden elde edilen verilerin programa gönderilmesi ve daha ileri analizler için bir veri tabanına dönüştürülebilir veya grafikler halinde sunulur. Genellikle bazı analizlerin sonuçlarından araştırmada geri besleme sağlamak için sunular veya raporlar birleştirilebilir. Görüntü verilerinin dikkatle yorumlanması gerekir. Daima hatırlanması gerekir ki istatistik olarak, bir mikroskop tarafından analiz edilen küçük bir alan, malzeme ya da yapının doğal hacmi dikkate alındığında esas yapıyı her zaman kesin olarak temsil etmez. Sonuç bulgularına erişilebilmesi için bulunan sonuçların güvenilirliğinin her derecesi için birçok görüntünün analiz edilmesi gerekir. Görüntüler doğada 2 boyutlu olsalar da kendi içlerinde malzemenin hacimsel yapısını temsil ederler.

BÖLÜM DÖRT

DENEYSEL ÇALIŞMALARDA KULLANILAN ALETLER, MALZEMELER VE NUMUNE HAZIRLAMA YÖNTEMLERİ

Bu bölüm, tez kapsamında kullanılan deney aletleri, deney numunelerinin hazırlanmasında kullanılan malzemeleri ve numunelerin hazırlanmasını içermektedir.

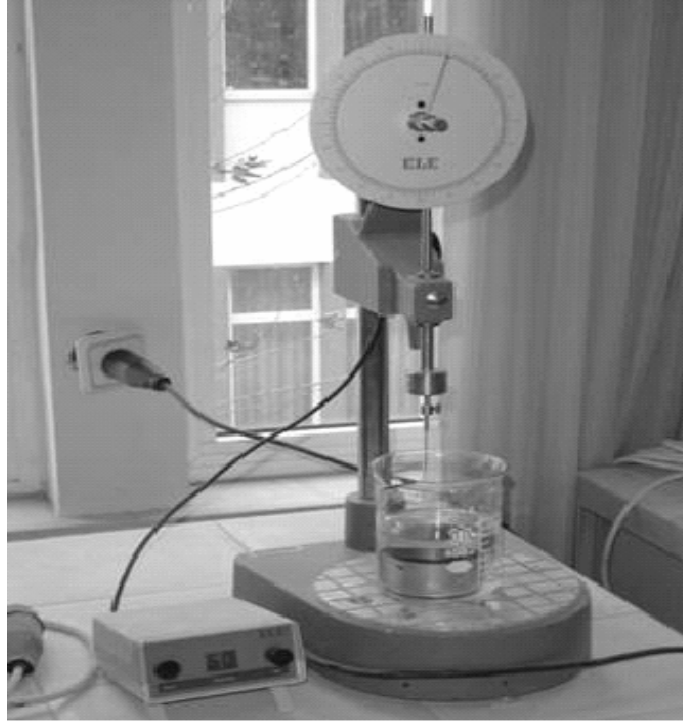
4.1 Uygulanan Deneyler ve Deney Aletleri

Bu bölümde, tez süresince, çeşitli polimerler ile hazırlanan numuneler üzerinde uygulanan geleneksel bitüm deneyleri kapsamında kullanılan aletler ve uygulanan deney yöntemleri ile floresan mikroskopi ve Q-win analiz programı verilmektedir.

4.1.1 Penetrasyon Deneyi

Penetrasyon deneyi ile asfalt çimentolarının sertlik veya kıvamlılıkları belirlenmektedir (Şekil 4.1). Bu deneyde, standart bir iğnenin 25⁰C’de, belirli bir yük (100 gr.) altında ve belirli süre (5 saniye) içinde, asfalt numunesi içerisine dikey olarak batma mesafesi ölçülür. Birimi santimetrenin yüzde biridir (1/10 mm).

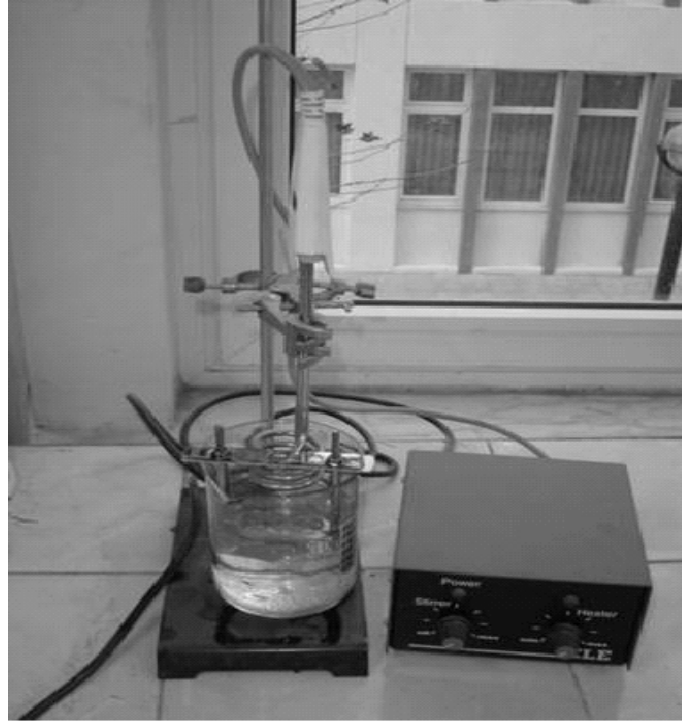
Penetrasyon değeri kıvamlılıkla ters orantılıdır, penetrasyon değeri arttıkça asfalt yumuşar.



Şekil 4.1 Penetrasyon aleti

4.1.2 Yumuşama Noktası Deneyi

Asfaltların sıcaklık değişimlerine karşı olan duyarlılıklarını ölçmede kullanılan deneylerden biri olan yumuşama noktası deneyinde, bir su banyosu içine yerleştirilmiş, üzerinde bilye bulunan, standart bir kalıp içindeki bitümlü maddenin belirli bir hızla (ilk 3 dakika 5°C sabit, sonra dakikada 5°C artacak şekilde) ısıtılmasıyla, yumuşayan malzemenin tabana değdiği anda termometrede okunan sıcaklık değeri ölçülmektedir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 Yumuşama noktası deney seti

4.1.3 İnce Film Halinde Isıtma Deneyi

Bu deney, ısının ve havanın, yarı katı asfaltik maddeler üzerindeki etkilerini belirlemede kullanılır. Deney, bitümün silo halinde bekletilmesi sırasında hava tesiri ile yaşlanmasını laboratuarda temsil etmek amacı ile geliştirilmiştir. İnce film halinde ısıtma deneyi, 3,2 mm kalınlığındaki bir asfalt filminin, 5 saat süreyle 163⁰C sıcaklıktaki döner tablalı bir etüvde ısıtılmasından sonra, deneyden önceki ve sonraki ağırlık ile penetrasyon ve yumuşama noktası değerlerindeki değişimlerin belirlenmesini sağlar (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 İnce Film Halinde Isıtma deney aleti

4.1.4 Depolama Stabîlitesi Deneyi

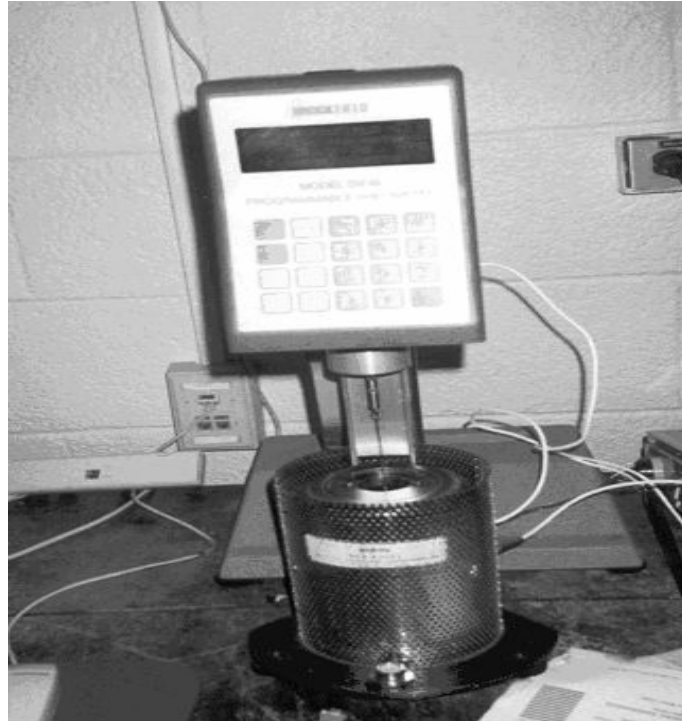
Depolama stabîlitesi deneyi, modifiye bitümlerde kullanılan polimer ile bitüm arasındaki uyumluluğun bir ölçüsüdür. Bu deneyde 32 mm çapında ve 160 mm yüksekliğinde silindir kabın içine konulan modifiye bitüm örneği, 163°C'deki fırın içinde 72 saat süreyle bekletilmektedir. Deney sonunda fırından çıkarılan silindirik örnek oda sıcaklığına kadar soğutulmaktadır. Depolama stabîlitesi, silindirik numunenin üstünden ve altından alınan örnekler üzerinde uygulanan yumuşama noktası deneyi sonuçları ile belirlenmektedir.

İki kesit için çıkan sonuçlar arasındaki farkın şartname sınırının altında kalması gerekmektedir (Şartname sınırı olarak, Modifiye Bitüm Teknik Şartnamesi'nde yer alan ve iklim özelliklere göre belirlenmiş 4 tip sınırdan uygun olan seçilir ve kontrol edilir).

4.1.5 Brookfield Viskozite Deneyi

Ortak eksenli döner bir silindire sahip olan viskometre, farklı özellikteki bağlayıcıların değerlendirilmesinde kullanılmaktadır (Şekil 4.4). Kılcal tüp viskometrelerin tersine, bu aletin hem modifiye hem de normal bağlayıcılar ile kullanılabilmesi mümkündür.

Viskoziteyi ölçen alet, Brookfield viskometre ve Termistel olmak üzere 2 ana parçadan oluşmaktadır. Brookfield viskometre, bir motor, silindirik çubuk, kontrol tuşları ve dijital göstergeden oluşmaktadır. Motor, çubuğun kendi eksenli etrafında dönmesini sağlayan kuvveti üretmekte ve şartnameye göre 20 devir/dakika olacak şekilde ayarlanmıştır. Termistel sistemi ise, ısı kontrollü taşıyıcı, numune kabı ve sıcaklığı kontrol altında tutan bir parçadan oluşmaktadır. Numune kabı paslanmaz çelik veya alüminyumdan yapılmıştır. Isı kontrollü taşıyıcı, numune kabını içine almakta olup ısıtıcı elemanlara sahiptir. Bu elemanlarla deneyin 135°C ve 165°C’de uygulanması sağlanmaktadır.



Şekil 4.4. Brookfield viskozimetre deney aleti

4.1.6 Düktilite Deneyi

Düktilite, asfaltların önemli bir özelliğidir. Uzama yeteneği fazla olan asfalt, düktilite değeri daha düşük olan asfalta göre daha üstün bir bağlama yeteneğine sahiptir. Düktilite deneyinde, standart bir kalıba asfalt numunesi dökülür. Belirli süre (2 saat) belirli sıcaklıktaki (25°C) su banyosunda bekletilerek, numuneye çekme işlemi uygulanır (5 cm/dak). Numune belirli bir uzamadan sonra kopar. Kopma anındaki uzama miktarının cm. cinsinden değeri düktiliteyi verir (Şekil 4.5.1- Şekil 4.5.2).



Şekil 4.5.1 Düktilite deney seti



Şekil 4.5.2 Düktilite deney seti

4.1.7 Flüoresan Mikroskop ve Q-win Analiz Programı

Bitüm ile polimer arasındaki mikro doku özelliklerinin tanımlanmasında morfoloji terimi kullanılmaktadır (Chen, Liao ve Shiah, 2002). Polimer modifiye bitüm katkılarının orijinal(saf) bitüm içindeki dağılımını, kalitesini ve morfolojik yapısını tespit etmek amacıyla deneysel çalışmalarda trinoküler fluoressan (optik) mikroskop kullanılmıştır (Şekil 4.6).

Fluoressan mikroskop ile analiz, fluoressan ışık etkisiyle saf bitümün bazı bileşenlerinin absorbe edilmesi ve buna bağlı olarak polimerlerin genişlemesi prensibine dayanmaktadır (Airey, 2002). Polimer modifiye örnekler mikroskop altında zengin saf bitüm fazı, zengin polimer fazı ve ara faz olmak üzere üç şekilde değerlendirilmektedir.

Çalışmalarda, flüoresan (yüksek basınçlı Xenon lamba yardımı ile üretilen) özelliğine sahip Leica DMEP mikroskop kullanılmıştır. Bu mikroskoba ayrıca, 7,2Mp DFC 320 renkli kamera bağlantısı (mikroskobun optik eksenini doğrultusunda

trinoküler gözlem başlığına bağlantılı) yapılmıştır. Kamera, mikroskoptan alınan görüntüleri dijital hale çevirmekte ve elde edilen görüntüler uygun görüntü dosyası şeklinde bilgisayar ortamında saklamaktadır.



Şekil 4.6 Flüoresan mikroskop sistemi

Q-win Plus görüntü analiz programı, flüoresan mikroskop yardımıyla elde edilen modifiye bitüm örneklerindeki polimer dağılımının ve yüzdesinin belirlenebilmesi amacıyla kullanılmıştır. Q-win analiz programında, analiz işlemlerinin kolaylığı açısından, flüoresan mikroskop yardımıyla elde edilen renkli görüntülerin, ikili (binary-siyah/beyaz) görüntüye dönüştürülmüş halleri üzerinde çalışılmıştır. Q-win analiz programı ve analiz adımları, ayrıntılı olarak bölüm 5.6'da verilecektir.

4.2 Kullanılan Malzemeler

Bu bölümde, polimer modifiye bitüm numunelerinin hazırlanmasında kullanılan polimerler, saf bitümün özellikleri ile bitümlü sıcak karışımların hazırlanmasında kullanılan agrega özellikleri verilmektedir.

4.2.1 Bitüm

Tez kapsamında bitümlü bağlayıcı olarak Ege Asfalt Maden İnşaat Sanayi ve Ticaret A.Ş.'den temin edilen 50/70 penetrasyon sınıfı bağlayıcı kullanılmıştır. Modifiye edilmemiş (orijinal) bitümlü bağlayıcı üzerinde bağlayıcının özelliklerini tespit etmek için penetrasyon, yumuşama noktası, duktilite, viskozite, yanma ve parlama, ince film halinde ısıtma, ince film halinde ısıtma demeyi sonrası penetrasyon, yumuşama noktası deneyleri uygulanmıştır. Deney sonuçları Tablo 4.1'de verilmektedir.

Tablo 4.1 Saf bitüm üzerinde yapılan deneylerin sonuçları

DENEY	STANDART	SONUÇLAR	ŞARTNAME LİMİTLERİ
Penetrasyon (25°C;0,1 mm)	ASTM D5 EN 1426	63	50-70
Yumuşama Noktası (°C)	ASTM D36 EN 1427	49	46-54
Viskozite (135°C)	ASTM D4402	0,51	-
Viskozite (165°C)	ASTM D4402	0,15	-
İnce Film Halinde Isıtma Deneyi; (163°C, 5sa.)	ASTM D1754 EN 12607-1		
Kütle Değişimi (%)		0,07	0,5 (maks)
Penetrasyon Farkı (%)	ASTM D5 EN 1426	51	50 (min)
İnce Film Isıtma Deneyi Sonrası Yumuşama Noktası (°C)	ASTM D36 EN 1427	51	48 (min)
Duktilite (25°C),cm	ASTM D113	100	-
Özgül Ağırlık	ASTM D70	1,030	-
Parlama Noktası (°C)	ASTM D92 EN 22592	+260	230 (min)

Tablo 4,1’den de görüleceği gibi elde edilen deney sonuçları şartname limitleri içinde kalmaktadır.

4.2.2 Polimer katkıları

Deneysel çalışmalarda, önceden de belirtildiği gibi elastomer grubuna ait 2 farklı tip polimer (Kraton® D1101, Soltane® 6302) ve plastomer grubuna ait 3 farklı tip polimer (Elvaloy® 3427, Elvaloy® 4170, Evatene® 2805) katkı kullanılmıştır.

4.2.2.1 SBS Kraton® D 1101

Shell Chemical tarafından üretilen SBS Kraton® D 1101 elastomer modifikasyon katkısı, Ege Asfalt A.Ş. tarafından temin edilmiştir. Kraton® D 1101 molekül ağırlığınca %31 oranında stiren ve yüksek miktarda polibutadin bloklarından meydana gelen doğrusal yapılı bir SBS polimeridir (Shell Tech. Bulletin, 1995). Kraton® D 1101’ e ait fiziksel özellikler Tablo 4.2’de verilmektedir.

Tablo 4.2 Kraton® D 1101 polimerinin genel özellikleri

KOMPOZİSYON	STANDART	SONUÇLAR
Moleküler yapısı		Doğrusal
Stiren yüzdesi (%)		31
Fiziksel Özellikler		
Özgül ağırlık	ASTM D792	0,94
Çekme dayanımı (Mpa)	ASTM D 412	31,8
Sertlik	ASTM D 2240	71
Fiziksel hali	-	Toz, Tanecikli
300% katsayısı (N/mm ²)		2,76
Akış katsayısı	ASTM D-1238	<1
Uzama (%)	ASTM D 412	875

4.2.2.2 Soltane® 6302

Soltane® 6302 elastomerik bazlı polimer katkı olup, Resinex firmasından temin edilmiştir. Kraton® D 1101' e ait fiziksel özellikler Tablo 4.3'de verilmektedir.

Tablo 4.3 Soltane® 6302 polimerinin genel özellikleri

KOMPOZİSYON	STANDART	SONUÇLAR
Moleküler yapısı		Doğrusal
Stiren yüzdesi (%)		31
Fiziksel Özellikler		
Özgül ağırlık	ASTM D792	0,94
Çekme dayanımı (Mpa)	ASTM D 412	20
Sertlik	ASTM D 2240	80
300% katsayısı (N/mm ²)		2,50
Fiziksel hali	-	Toz, Tanecikli
Akış katsayısı	ASTM D-1238	<1
Uzama (%)	ASTM D 412	750

4.2.2.3 Evatene® 2805

Resinex Plastik Kimya Sanayii firmasından temin edilen Evatene® 2805, yüksek elastik özellik gösteren yüksek kohezyonlu bir plastomerdır. Bu tip katkılar, bitümlerin elastisitesini arttırarak kullanım ömürlerini uzatmaktadır (Resinex Comp. Booklet, 2004). Evatene® 2805'e ait özellikler Tablo 4.4'de verilmektedir.

Tablo 4.4 Evatene® 2805 polimerinin genel özellikleri

FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ		
VA İçeriği (%)		27-29
Fiziksel hali	-	Toz, Tanecikli
Çekme Dayanımı (MPa)	ASTM D 412	33
Akış katsayısı (g/10min)	ASTM D-1238	5-8
Sertlik	ASTM D 2240	82
Erime Noktası (°C)	ASTM D 3418	73

4.2.2.4 Elvaloy® 3427

Çalışmalarda kullanılan plastomer grubuna ait diğer katkı malzemesi butil akrilit (%27) ve etilen içeren Elvaloy® 3427'dir. Bu polimer Du Pont firmasından temin edilmiştir. Yüksek erime noktasına sahip olan bu katkının fiziksel özellikleri Tablo 4.5'de verilmektedir.

Tablo 4.5 Elvaloy® 3427 polimerinin genel özellikleri

FİZİKSEL ÖZELLİKLER	STANDART	SONUÇLAR
BA içeriği (%27)	Dupont Metodu	27
Özgül ağırlık	ASTM D792	0,926
Sertlik	ASTM D638	81
Akış katsayısı (g/10min)	ASTM D-1238	4
Erime Noktası (⁰ C)	ASTM D 3418	94
Uzama (%)	ASTM D638	900

4.2.2.5 Elvaloy® 4170

Elvaloy® 4170 plastomer modifikasyon katkısı, DuPont firmasından temin edilmiştir. Elvaloy® 4170 bitümlerin modifikasyonu için kullanılan reaktif etilen terpolimerdir. Kompozisyonu ve fiziksel özellikleri Tablo 4.6'da verilmektedir.

Tablo 4.6 Elvaloy® 4170 polimerinin genel özellikleri

KOMPOZİSYON	STANDART	SONUÇLAR
Moleküler yapısı		Doğrusal
Fiziksel Özellikleri		
Özgül ağırlık	ASTM D792	0,94
Fiziksel hali	-	Toz, Tanecikli
Hacim Özgül Ağırlık (g/cm ³)		0,557
Akış katsayısı (g/10min)	ASTM D-1238	8
Erime Noktası (⁰ C)	ASTM D 3418	72

4.2.3 Agrega

Modifiye bitümlü bağlayıcılar kullanılarak hazırlanan bitümlü sıcak karışımlarda kullanılan agrega malzemesi kalker olup, Dere Madencilik A.Ş.'ne ait Belkahve/İzmir Taş Ocağı'ndan temin edilmiştir. Agreganın özelliklerini belirlemek amacı ile agrega grupları üzerinde özgül ağırlık, Los Angeles aşınma, sağlamlık ve yassılık indeksi deneyleri uygulanmıştır. Agrega özelliklerinin belirlenmesine ilişkin deneyler uygulandıktan sonra, Karayolları Fenni Şartnamesi'nde aşınma tabakaları için belirtilen Tip 2 gradasyon limitlerine göre elek analizi deneyi (ASTM C 136) uygulanmıştır. Agrega deney sonuçları ve elek çaplarına göre seçilen gradasyon değerleri ile şartname limitleri Tablo 4.7'de verilmektedir.

Tablo 4.7 Agrega özellikleri

TEST	ŞARTNAME	DEĞER	ALT-ÜST LİMİTLER
Gradasyon	ASTM C 136		
¾"		100	100
½"		86	83-100
3/8"		80	70-90
No 4		48	40-55
No 10		32	25-38
No 40		15	10-20
No 80		10	6-15
No 200		6	4-10
Özgül Ağırlık (İri Agrega)	ASTM C 127		
Hacim		2,686	
Kuru yüzey doygun		2,701	
Zahiri		2,727	
Özgül Ağırlık (İnce Agrega)	ASTM C 128		
Hacim		2,687	
Kuru yüzey doygun		2,703	
Zahiri		2,732	
Özgül Ağırlık (Filler)		2,725	-
Los Angeles Aşınması (%)	ASTM C 131	24,4	maks %45
Yassılık İndeksi (%)	ASTM D 4791	7,5	maks %10
Sağlamlık Yüzdesi (%)	ASTM C 88	1,47	maks %10-20
İnce Agreganın Köşeliliği	ASTM C 1252	47,85	min.40

4.3 Polimer Modifiye Bitüm Örneklerinin Hazırlanması

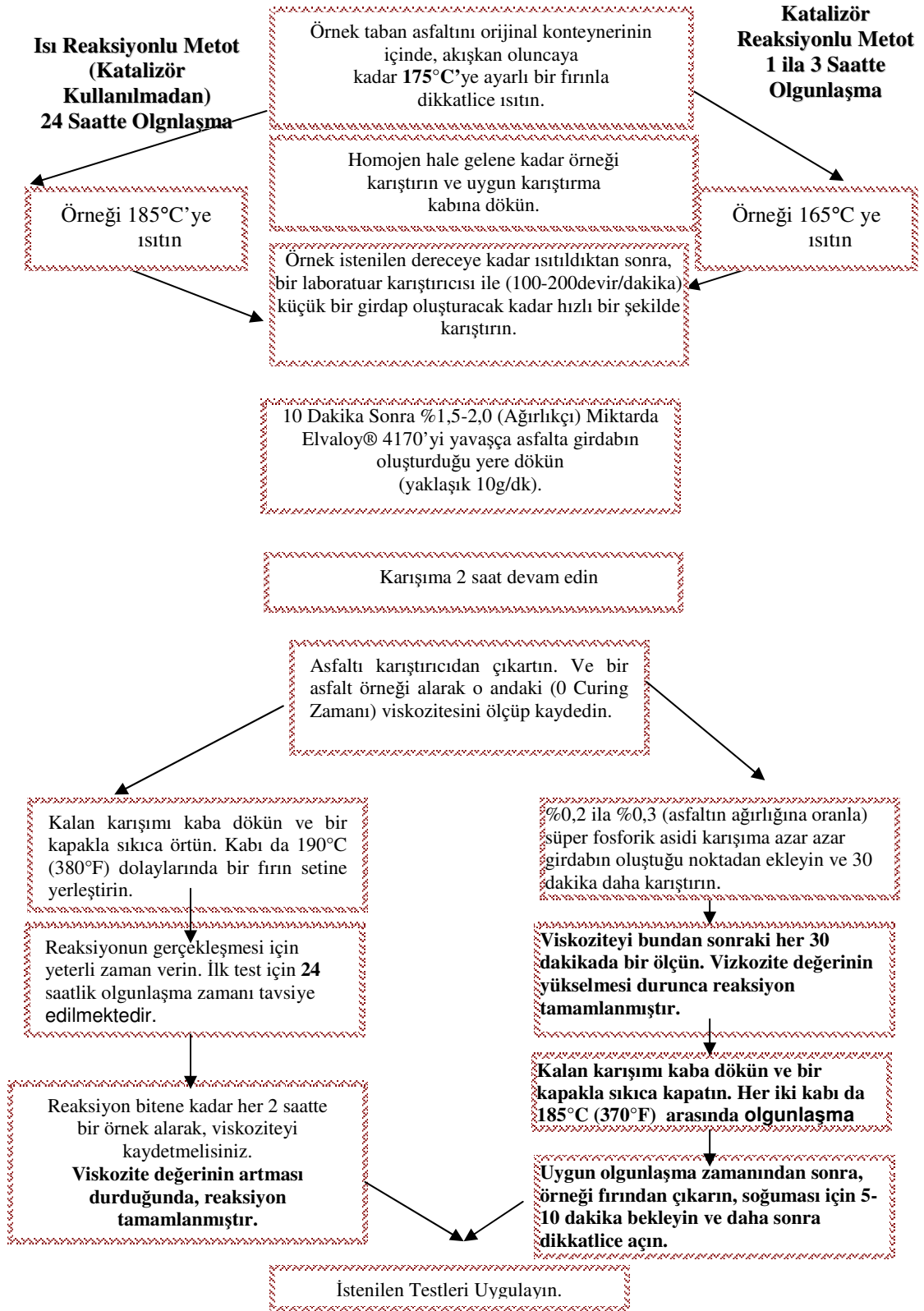
Kraton® D 1101 polimer esaslı SBS katkı maddesi içeren modifiye bitümler, üretici firmanın da görüşleri alınarak %2 ile %6 arasında değişen oranlarda Ege Asfalt A.Ş.'ne ait modifiye bitüm plantinde (Masenza); 20 dk. hızlı karıştırma ve difüzatörden geçirme, 5 saat dinlenme periyodunda düşey milli karıştırıcılarla yavaş karıştırma şeklinde, 180°C'de üretilmiştir.

Soltane® 6302 polimer katkı maddesi, %2, %3, %4, %5 ve %6 oranlarında, yüksek devirli bir karıştırıcı yardımıyla 195°C'de, yaklaşık olarak 2 saat karıştırılmıştır.

Evatene® 2805 polimer esaslı EVA katkı maddesi %3, %4, %5, %6 ve %7 oranlarında kullanılmıştır. Saf bitüm 170-180°C sıcaklığa kadar ısıtıldıktan sonra, yukarıda belirtilen oranlarda katkı malzemesi saf bitüme eklenmiş ve yaklaşık 45 dakika süreyle yüksek devirli (1300 rpm) karıştırıcı yardımıyla modifiye bitüm örnekleri hazırlanmıştır.

Elvaloy® 3427 polimer esaslı EBA katkı maddesi %2, %3, %4, %5 ve %6 oranlarında yüksek devirli (1300 rpm) bir karıştırıcı yardımıyla saf bitüme eklenmiştir. Üretim aşamasında, 185°C'lik karıştırma sıcaklığı ve yaklaşık 180 ila 200 dakika karıştırma süresi uygun bulunmuştur.

Elvaloy® 4170 polimeri esaslı EVA katkı maddesi, üretici firmanın görüşleri doğrultusunda %0,5, %1,0, %1,5 ve %1,75 oranlarında saf bitüme ilave edilmiştir. %2 oranında modifiye bitüm ilavesi sırasında sıcaklık ve karıştırıcı hızının artırımına rağmen örnek üzerinde topaklanma tipinde bir bozulma gözlenmiştir. Dolayısı ile modifiye edici katkı ilavesi maksimum %1,75 oranına kadar çıkabilmiştir. Elvaloy® 4170'e ait modifiye bitüm üretim şeması Şekil 4.10'de verilmektedir.



Şekil 4.10 Elvaloy® 4170 katkılı modifiye bitüm akış diyagramı

Yukarıda polimer modifiye bitüm örneklerinin üretilmesinde açıklanan aşamalar, Tablo 4.8’de verilmiştir.

Tablo 4.8 Polimer modifiye bitüm örneklerinin üretim özellikleri

Polimer Cinsi	Karıştırma Süresi (dk)	Karışım Sıcaklığı (°C)	Karıştırıcı Tipi
SBS Kraton® D-1101*		180 °C	Modifiye Bitüm Plantinde
SBS Soltane®-6302	120	195°C	Laboratuvar tipi Karıştırıcı
EVA® 2805	45	170-180°C	Laboratuvar tipi Karıştırıcı
EBA®-3427	180-200	185°C	Laboratuvar tipi Karıştırıcı
Elvaloy®-4170	120	185°C	Laboratuvar tipi Karıştırıcı

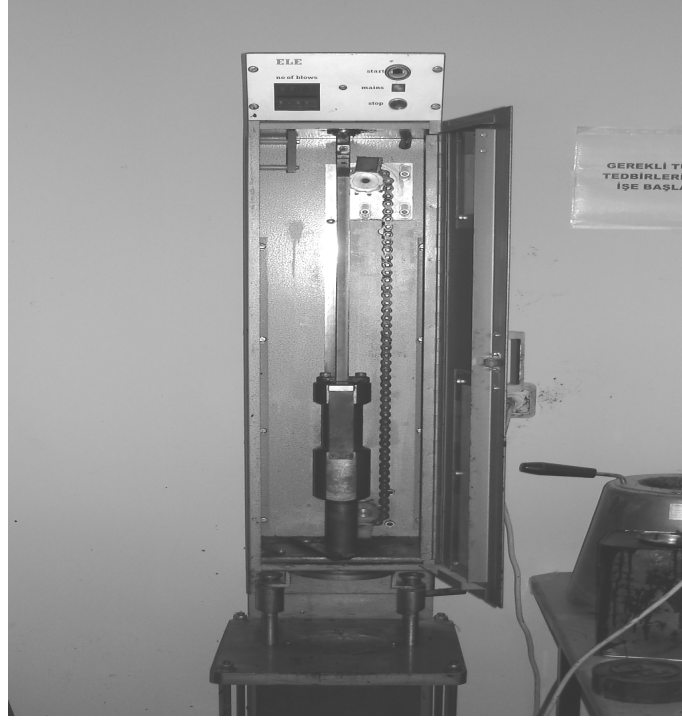
* 20 dk Hızlı karıştırma ve difüzatörden geçirme, 5 saat dinlenme periyodunda düşey milli karıştırıcılarla yavaş karıştırma.

4.4 Polimer Modifiye Bitüm Örnekleri ile Sıcak Karışımların Hazırlanması

Bu bölümde, üretilen polimer modifiye bitüm örnekleri kullanılarak elde edilen asfalt betonu örneklerinin (briketlerinin) hazırlanması ve deney koşulları üzerinde durulacaktır. Saf bitüm kullanılarak hazırlanan kontrol karışımlarında ve polimer modifiye sıcak karışımlarında optimum bitüm içeriği sırası ile %4,74 ve %4,82 olarak tayin edilmiştir.

Her deney numunesi için, $63,5 \pm 1,27$ mm yüksekliğinde briket hazırlayabilecek miktarda (Tablo 4.7’de belirtilen agrega gradasyonu kullanılarak) agrega numunesi (1150 gr) ile polimer modifiye bitüm örnekleri etüv içine yerleştirilmiştir. Etüv sıcaklığının belirlenmesinde polimer modifiye bitüm örneklerinin 135°C ve 165°C’deki viskozite değerlerinden yararlanılmıştır. Isıtılan agrega, aynı sıcaklık derecesinde ısıtılmış bir kap içine boşaltılmış, darası alınmış ve yukarıda belirtilen oranlarda bitüm ile tüm agrega daneleri tamamıyla kaplanana kadar özel bir mikser ile karıştırılmıştır. Karıştırma işleminden sonra Şekil 4.11’deki Marshall kompaktörü ile sıkıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir.

Marshall deneyi kapsamında, her bir polimer yüzdesinden 3'er adet örnek olmak üzere, toplamda 75 adet briket hazırlanmış ve hazırlanan bu sıcak karışım örnekleri üzerinde Marshall Stabilite deneyi uygulanmıştır (Şekil 4.12).



Şekil 4.11 Marshall Kompaktörü



Şekil 4.12 Marshall Stabilite Aleti

Asfalt betonu karışım tasarımında esas alınacak şartname değerleri Tablo 4.9’da verilmektedir.

Tablo 4.9 Aşınma tabakası tasarım kriterleri (KGM,2006)

ÖZELLİKLER	AŞINMA TABAKASI İÇİN ŞARTNAME LİMİTLERİ
Briket yapımında uygulanacak darbe sayısı	75 (min)
Marshall Stabillite, kg.	900 (min)
Boşluk, %	3-5
Akma, mm	2-4
Mineral agregata içinde boşluk (VMA), %	13 (min)

BÖLÜM BEŞ

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu bölümde, farklı cins ve içeriklerde hazırlanan polimer modifiye bitüm örnekleri üzerinde uygulanan geleneksel bitüm deneyleri ile bu örnekler kullanılarak hazırlanan sıcak karışımların özelliklerini belirlemek amacıyla uygulanan Marshall stabilite deneyleri üzerinde durulacak ve sonuçlar değerlendirilecektir. Ayrıca polimer modifiye bitüm örneklerinin morfolojik yapıları bir önceki bölümde anlatılan floresan mikroskop ile incelenecek ve Q-win analiz programı yardımı ile dağılım yüzdeleri tespit edilecektir.

5.1 Polimer Modifiye Bitüm Örneklerinin Geleneksel Özellikleri

Bu bölümde, üretilen modifiye bitüm örnekleri üzerinde; bağlayıcının fiziksel özelliklerini ortaya çıkarmak için uygulanan penetrasyon, yumuşama noktası, duktilite, viskozite, yanma ve parlama, ince film halinde ısıtma, ince film halinde ısıtma deneyi sonrası penetrasyon ve yumuşama noktası deneylerinin sonuçları tablolar halinde verilmektedir. Fiziksel olarak önemli sayılabilecek sonuçlar ise grafiksel olarak gösterilmektedir.

5.1.1 SBS Kraton® D 1101 Katkılı Modifiye Bitümle Hazırlanan Örnekler Üzerine Uygulanan Deneyler

Kraton® D 1101 polimer esaslı SBS katkı maddesi ile üretilen modifiye bitüm örneklerinin geleneksel özelliklerini ortaya çıkarmak için yapılan deneylerin sonuçları Tablo 5.1’de verilmektedir.

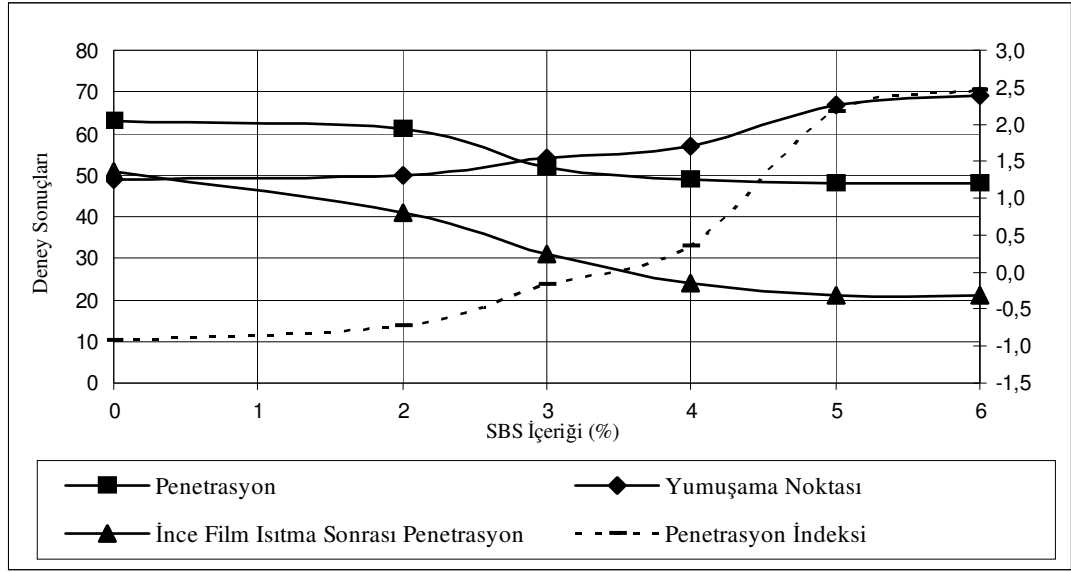
Tablo 5.1 Kraton D® 1101 katkılı modifiye bitüm örnekleri üzerinde yapılan deneyler

DENEY ADI	%0	2%	3%	4%	5%	6%	Şartname sınırları (Tip 2)**
Penetrasyon (25°C;0,1 mm)	63	61	52	49	48	48	20 (min)
Yumuşama Noktası (°C)	49	50	54	57	67	69	65-75
Brookfield viskozite 135 °C (Pa.s)	0,51	0,55	0,62	0,76	1,2	1,5	-
Brookfield viskozite 165 °C (Pa.s)	0,15	0,19	0,24	0,31	0,36	0,40	-
Parlama Noktası (°C)	260+	260+	260+	260+	260+	260+	200 (min.)
Özgül ağırlık	1,030	1,016	1,017	1,016	1,015	1,014	1,0-1,1
Düktilite (25°C-cm)	100+	100+	100+	100+	100+	100+	60 (min.)
İnce Film Isıtma Deneyi (163°C5 sa.)							
Kütle Değişimi (%)	0,07	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	1 (maks.)
Penetrasyon Farkı (%)	51	41	31	24	21	21	40 (maks.)
Yumuşama noktasındaki artma (°C)	2	4	4	2	3	2	+7 (maks.)
Yumuşama noktasındaki azalma(°C)							- 2 (maks.)
Depolama Stabilesi Yumuşama noktası farkı (°C)	-	3	3	2	3	2	4 (maks)
Penetrasyon İndeksi (PI)*	-0,92	-0,73	-0,16	0,35	2,18	2,46	-

* $PI = (1952 - 500 \cdot \log P_{25^\circ C} - 20 \cdot SP) / (50 \cdot \log P_{25^\circ C} - SP - 120)$; SP: Yumuşama noktası

** Şartname limitleri olarak, Modifiye Bitüm Teknik Şartnamesi'nde yer alan ve Akdeniz ikliminin hakim olduğu bölgeler için kullanılan Tip 2 limitleri seçilmiştir.

Tablo 5.1'den elde edilen sonuçlar kullanılarak, Kraton® D 1101 polimer içeriğine bağlı modifiye katkılı bitüm üzerinde yapılan deney sonuçlarının grafiksel gösterimi Şekil 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.1. Kraton® D 1101 katkılı modifiye bitüm deneyleri sonuçları

Şekil 5.1'e göre, SBS Kraton® D 1101 polimerinin ağırlıkça yüzdesi arttıkça penetrasyon değerlerinde azalma; buna karşın yumuşama noktasında artma gözlenmektedir. Penetrasyon kıvamlılığın bir göstergesidir ve değeri kıvamlılıkla ters orantılıdır. Penetrasyondaki azalma ve yumuşama noktasındaki artış, polimer modifiye bitümün sertliğinin arttığı ifade etmektedir. Sertlikteki artışa ek olarak, polimer modifiye bitümün penetrasyon indeksindeki artış, özellikle yüksek polimer oranı içeren modifiye bitümün sıcaklığa karşı duyarlılığını önemli ölçüde azalttığını göstermektedir. Penetrasyon ve yumuşama noktasındaki değişim oranları, SBS polimer yüzdesi artışıyla birlikte azalmaktadır. Şekil 5.1'den de görüleceği gibi %5 içerikli SBS Kraton® D 1101 polimerinin 50/70 penetrasyonlu bitüme ilavesinden sonra yumuşama noktası ve penetrasyon değerlerindeki değişim oldukça azdır. Bu nedenle 50/70 penetrasyonlu bitümlerin SBS Kraton® D 1101 polimeri kullanılarak yapılan modifikasyonunda, yumuşama noktası, penetrasyon ve penetrasyon indeksi değerleri için bu polimerin %5 oranında kullanılmasının optimum sonucu verdiğği söylenebilir.

Bitümün silolarda bekletilmesi sırasında meydana gelen ve hava ile temasa bağlı sertleşmeyi (kısa dönem yaşlanma) temsil eden ince film halinde ısıtma deney sonuçları incelendiğinde, Kraton® D 1101 polimerinin artışıyla yaşlanma etkilerine

karşı dayanıklılığın arttığı gözlenmiştir. Ancak %5 polimer içeriğinden sonra bu artışın değişmediği gözlenmiştir.

SBS Kraton® D 1101 polimeri ile modifiye edilmiş bitüm, depolama stabilitesi bakımından şartname limitleri içinde kaldığından uzun süre depolamaya karşı uygun olduğu söylenebilir (Tablo 5.1).

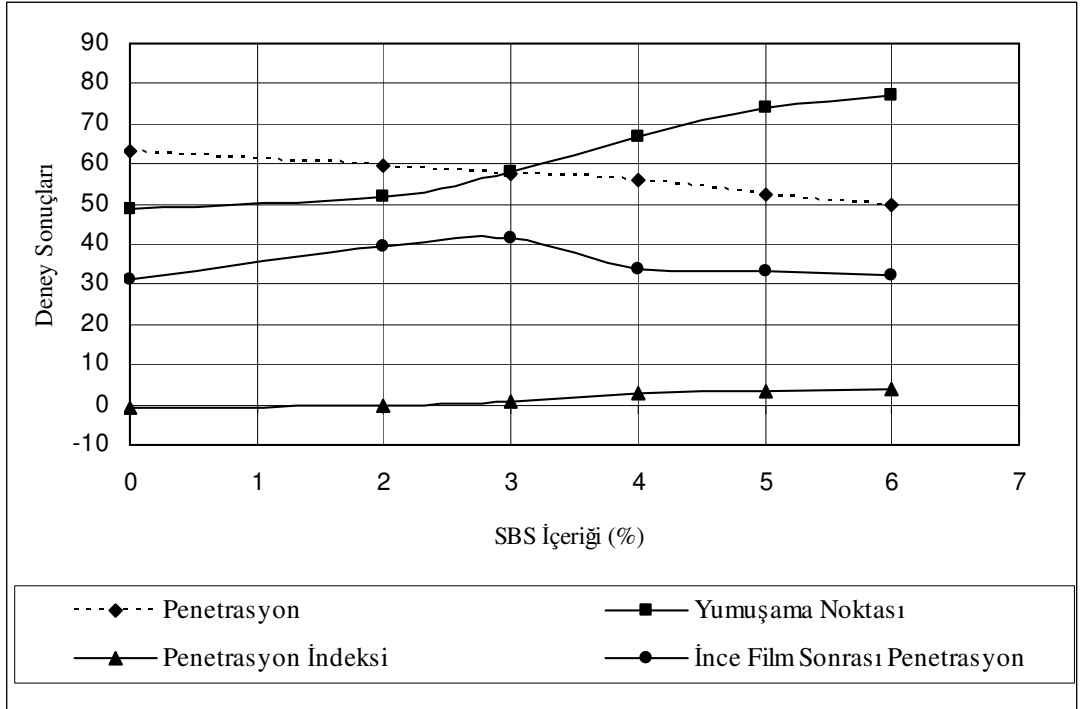
Ayrıca Kraton® D 1101 polimer oranı artıkça, penetrasyon indeks değerleri de artmaktadır. Bu durum örneklerin sıcaklığa bağlı hassasiyetlerinin azaldığını göstermektedir. Yapılan çalışmalar (Whiteoak, D. ve Read, J. M, 2003), yüksek penetrasyon indeksine sahip bitümler ile inşa edilen yol kaplamalarının kalıcı deformasyonlara (tekerlek izleri oluşumu) karşı dayanımlarının yüksek olduğunu göstermiştir.

5.1.2 Soltane® 6302 Katkılı Modifiye Bitümle Hazırlanan Örnekler Üzerine Uygulanan Deneyler

Soltane® 6302 polimer katkı maddesi %2, %3, %4, %5 ve %6 oranlarında saf bitüme eklenmiştir. Üretilen modifiye bitüm örnekleri üzerinde; penetrasyon, yumuşama noktası, duktilite, viskozite, yanma ve parlama, ince film halinde ısıtma, ince film halinde ısıtma deneyi sonrası penetrasyon ve yumuşama noktası deneyleri uygulanmıştır. Sonuçlar Tablo 5.2’de ve grafiksel olarak Şekil 5.2’de verilmektedir.

Tablo 5.2 Soltane® 6302 katkılı modifiye bitüm örnekleri üzerinde yapılan deneyler

DENEY ADI	%0	2%	3%	4%	5%	6%	Şartname sınırları (Tip 2)**
Penetrasyon (25°C;0.1 mm)	63	59	57	56	52	50	20 (min)
Yumuşama Noktası (°C)	49	52	58	67	74	77	65-75
Brookfield viskozite 135 °C (Pa.s)	0,51	1,04	1,81	2,68	2,97	3,51	-
Brookfield viskozite 165 °C (Pa.s)	0,15	0,48	0,66	0,73	1,12	1,43	-
Parlama Noktası (°C)	260+	260+	260+	260+	260+	260+	200 (min.)
Özgül ağırlık	1,030	1,021	1,021	1,019	1,018	1,018	1,0-1,1
Düktilite (25°C-cm)	100+	100+	100+	100+	100+	100+	60 (min.)
İnce Film Isıtma Deneyi (163°C5 sa.)							
Kütle Değişimi (%)	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05	0,04	1 (maks.)
Penetrasyon Farkı (%)	51	34	28	40	36	35	40 (maks.)
Yumuşama noktasındaki artma (°C)							+7 (maks.)
Yumuşama noktasındaki azalma(°C)							- 2 (maks.)
Depolama Stabilesi Yumuşama noktası farkı (°C)	-	2	3	3	2	3	4 (maks)
Penetrasyon İndeksi (PI)*	-0,92	-0,30	0,97	2,63	3,58	3,89	-



Şekil 5.2 Soltane® 6302 katkılı modifiye bitüm deney sonuçları

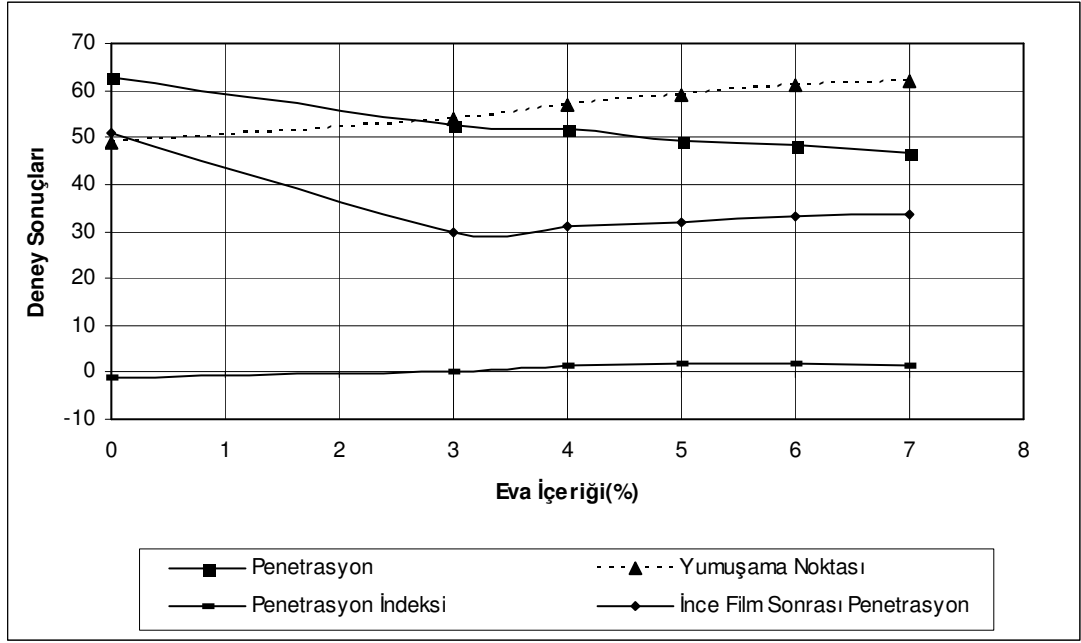
5.1.3 Evatene® 2805 Katkılı Modifiye Bitümle Hazırlanan Örnekler Üzerine Uygulanan Deneyler

Evatene® 2805 polimer esaslı EVA katkı maddesi %3, %4, %5, %6 ve %7 oranlarında kullanılmıştır. Evatene® 2805 katkı maddesi ile üretilen modifiye bitüm örneklerinin geleneksel özelliklerini ortaya çıkarmak için yapılan deneylerin sonuçları Tablo 5.3'de; grafiksel olarak Şekil 5.3'de verilmektedir.

Tablo 5.3 Evatene® 2805 katkılı modifiye bitüm üzerinde yapılan deneyler

DENEY ADI	%0	3%	4%	5%	6%	7%	Şartname sınırları (Tip 2)
Penetrasyon (25°C;0,1 mm)	63	53	52	49	48	47	20 (min)
Yumuşama Noktası (°C)	49	54	57	59	61	62	65-75
Brookfield viskozite 135 °C (Pa.s)	0,51	0,98	1,24	2,16	2,98	3,41	-
Brookfield viskozite 165 °C (Pa.s)	0,15	0,22	0,31	0,41	0,47	0,65	-
Parlama Noktası (°C)	260+	260+	260+	260	260+	260+	200(min.)
Özgül ağırlık	1,030	1,028	1,023	1,02	1,021	1,019	1,0-1,1
Düktilite (25°C-cm)	100+	92	83	74	69	61	60 (min.)
İnce Film Isıtma Deneyi (163°C5 sa.)							
Kütle Değişimi (%)	0,07	0,04	0,06	0,05	0,07	0,06	1 (maks.)
Penetrasyon Farkı (%)	51	30	31	32	33	34	40 (maks.)
Yumuşama noktasındaki artma (°C)	2	6	6	5	4	5	+7 (maks.)
Yumuşama noktasındaki azalma(°C)							- 2 (maks.)
Depolama Stabilesi yumuşama noktası farkı (°C)	-	1	1	0	2	2	4 (maks)
Penetrasyon İndeksi (PI) ^a	-0,92	0,13	0,49	0,79	1,14	1,24	-

^a PI=(1952-500.LogP_{25°C}-20.SP)/(50. LogP_{25°C}-SP-120); SP: Yumuşama noktası



Şekil 5.3 Evatene® 2805 katkılı modifiye bitüm deney sonuçları

Elde edilen sonuçlara göre, Evatene® 2805 oranı arttıkça saf bitümün penetrasyonu azalmakta ve yumuşama noktası artmaktadır. Ancak Tablo 5.3'den görülebileceği gibi yumuşama noktası değerleri şartname limitleri dışında kalmaktadır.

Ayrıca, 50/70 penetrasyonlu bitümlerde, yüksek oranlarda Evatene® 2805 katkısının kullanımının depolama stabilitesi yönünden uygun olmadığı görülmektedir.

5.1.4 Elvaloy® 3427 Katkılı Modifiye Bitümle Hazırlanan Örnekler Üzerine Uygulanan Deneyler

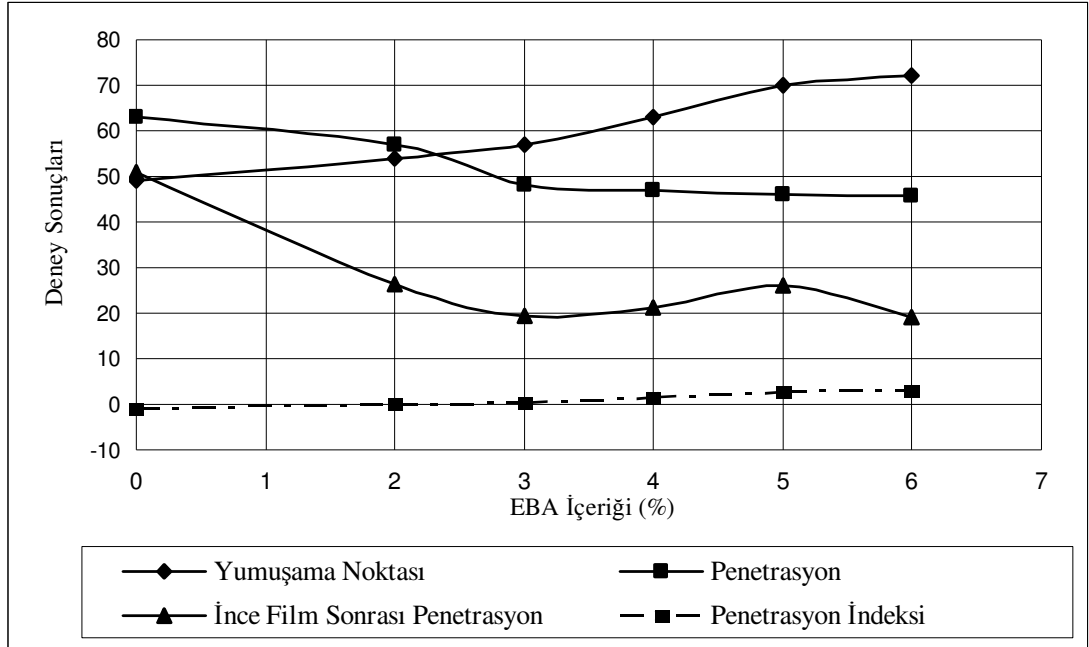
Elvaloy® 3427 polimer esaslı katkı maddesi %2, %3, %4, %5 ve %6 oranlarında saf bitüme eklenmiştir.

Elvaloy® 3427 katkı maddesi ile üretilen modifiye bitüm örneklerinin geleneksel özelliklerini ortaya çıkarmak için yapılan deneylerin sonuçları Tablo 5.4'de; grafiksel olarak Şekil 5.4'de verilmektedir.

Tablo 5.4 Elvaloy® 3427 katkılı modifiye bitüm üzerinde yapılan deneyler

DENEY ADI	%0	2%	3%	4%	5%	6%	Şartname sınırları (Tip 2)
Penetrasyon (25°C;0.1 mm)	63	57	48	47	46	46	20 (min.)
Yumuşama Noktası (°C)	49	54	57	63	70	72	65-75
Brookfield viskozite 135 °C (Pa.s)	0,51	0,94	1,16	1,29	1,41	1,76	-
Brookfield viskozite 165 °C (Pa.s)	0,15	0,21	0,25	0,30	0,38	0,42	-
Parlama Noktası (°C)	260+	260+	260+	260+	260+	260+	200 (min.)
Özgül ağırlık	1,030	1,022	1,021	1,023	1,019	1,015	1.0-1.1
Düktilite (25°C-cm)	100+	100+	100+	100+	100+	100+	60 (min.)
İnce Film Isıtma Deneyi (163°C 5 sa.)							
Kütle Değişimi (%)	0,07	0,06	0,07	0,08	0,08	0,08	1 (maks.)
Penetrasyon Farkı (%)	51	26	19	21	26	19	40 (maks.)
Yumuşama noktasındaki artma (°C) Yumuşama noktasındaki azalma(°C)	2	4	5	6	5	7	+7 (maks.) - 2 (maks.)
Depolama Stabilitesi yumuşama noktası farkı (°C)	-	0	2	2	1	4	4 (maks)
Penetrasyon İndeksi (PI) ^a	-0,92	0,07	0,32	1,45	2,61	2,92	-

^a $PI = (1952 - 500 \cdot \log P_{25^\circ C} - 20 \cdot SP) / (50 \cdot \log P_{25^\circ C} - SP - 120)$; SP: Yumuşama noktası



Şekil 5.4 Elvaloy® 3427 katkılı modifiye bitüm deney sonuçları

Elvaloy® 3427 katkılı modifiye bitüm örnekleri üzerinde yapılan deneylerde; penetrasyon değerleri Elvaloy® 3427 içeriği artıkça azalmakta; yumuşama noktasındaki değişim özellikle %4 polimer içeriğinden sonra artmaktadır. İnce film halinde ısıtma deneyi sonuçları, bu polimerle elde edilen modifiye bitümün %6 oranında (yüksek oranlarda) kullanılmasının, kısa dönem yaşlanmaya karşı yumuşama noktasındaki değişimin limitte olması nedeniyle uygun olmadığını göstermektedir.

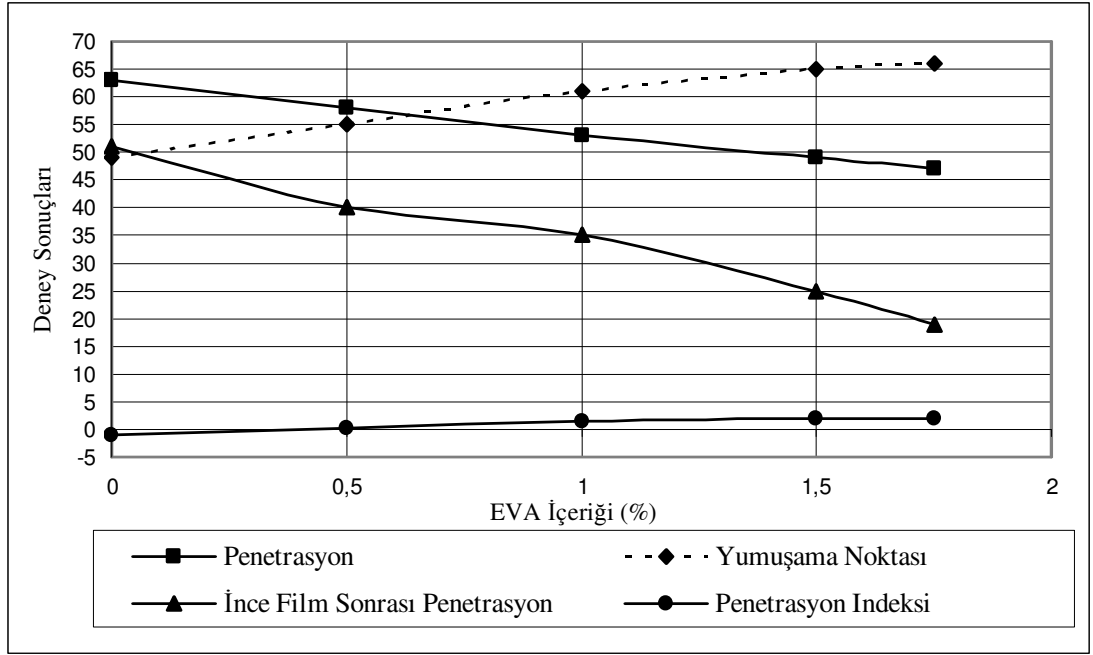
5.1.5 Elvaloy® 4170 Katkılı Modifiye Bitümle Hazırlanan Örnekler Üzerine Uygulanan Deneyler

Elvaloy® 4170 polimer esaslı EVA katkı maddesi üretici firmanın da görüşleri alınarak %0,5, %1, %1,5 ve %1,75 oranlarında saf bitüme ilave edilmiştir. Üretilen modifiye bitüm örnekleri üzerinde; Elvaloy® 4170 polimerinin etkisini tespit etmek amacıyla geleneksel bitüm deneyleri uygulanmıştır. Sonuçlar Tablo 5.5’de ve grafiksel olarak Şekil 5.5’de verilmektedir.

Tablo 5.5 Elvaloy® 4170 katkılı modifiye bitüm üzerinde yapılan deneyler

Deney	%0	%0,5	%1	%1,5	%1,75	Şartname limitleri (Tip2)
Penetrasyon (25°C;0.1 mm)	63	58	53	49	47	20(min)
Yumuşama Noktası (°C)	49	55	61	65	66	65-75
Parlama Noktası (°C)	260+	260+	260+	260+	260+	200 (min)
Özgül Ağırlık	1,030	1,022	1,021	1,018	1,017	1,0-1,1
Brookfield viskozite 135 °C (Pa.s)	0,51	0,68	0,85	1,16	1,58	-
Brookfield viskozite 165 °C (Pa.s)	0,15	0,34	0,69	0,73	0,95	-
Düktilite (25°C-cm)	100+	100+	100+	100+	100+	60 (min)
İnce Film Isıtma Deneyi (163°C 5 sa.)						
Kütle Değişimi (%)	0,07	0,06	0,03	0,03	0,04	1 (maks)
Penetrasyon Farkı (%)	51	40	35	25	19	40 (maks)
Yumuşama noktasındaki artma (°C)	2	2	1	0	-1	7 (maks)
Yumuşama noktasındaki azalma(°C)						- 2 (maks)
Depolama Stabilitesi yumuşama noktası farkı (°C)	-	1	0	1	1	4 (maks)
Penetrasyon İndeksi (PI) ^a	-0,92	0,34	1,37	1,92	1,99	

^a $PI = (1952 - 500 \cdot \log P_{25^\circ C} - 20 \cdot SP) / (50 \cdot \log P_{25^\circ C} - SP - 120)$; SP: Yumuşama noktası



Şekil 5.5 Elvaloy® 4170 katkılı modifiye bitüm deney sonuçları

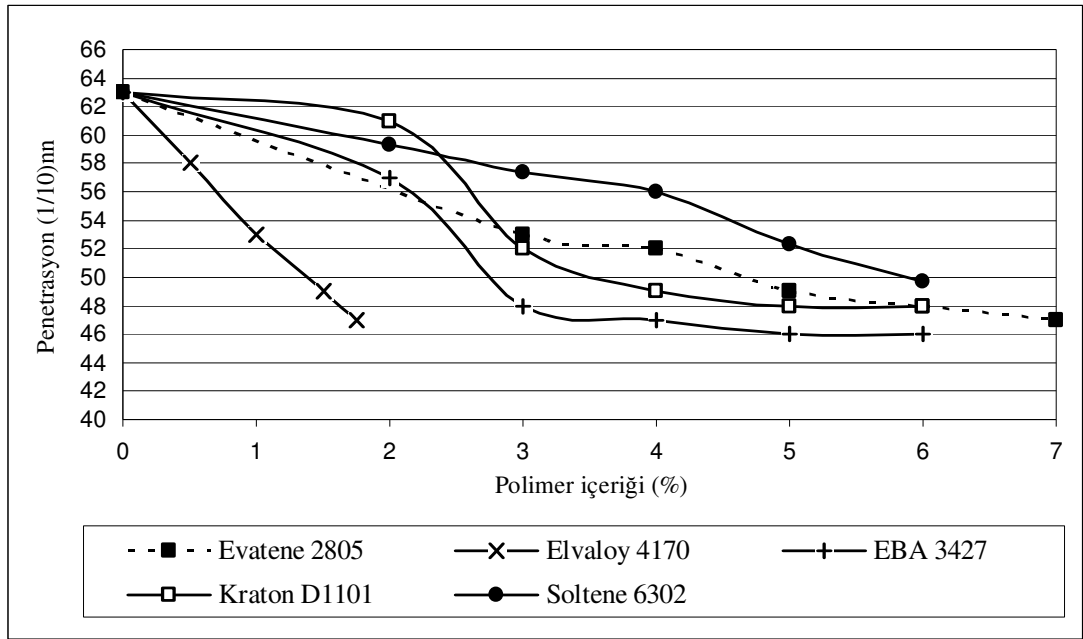
Elvaloy® 4170 polimer esaslı EVA katkı maddesi kullanılarak elde edilen modifiye bitümler üzerinde yapılan deneyler sonuçları incelendiğinde; polimer yüzdesi artışıyla penetrasyon değeri düşmekte; yumuşama noktası ise artmaktadır. Penetrasyon ve yumuşama noktasındaki değişimler polimer içeriği artışı ile azalmaktadır. Bu durum %1,75 Elvaloy® 4170 polimerinin optimum polimer içeriği olduğunu göstermektedir.

Depolama stabilitesi deney sonuçlarına göre, Elvaloy® 4170 katkısı ile üretilen modifiye bitümlerin uzun süre depolanmaya karşı uygun olduğu görülmektedir.

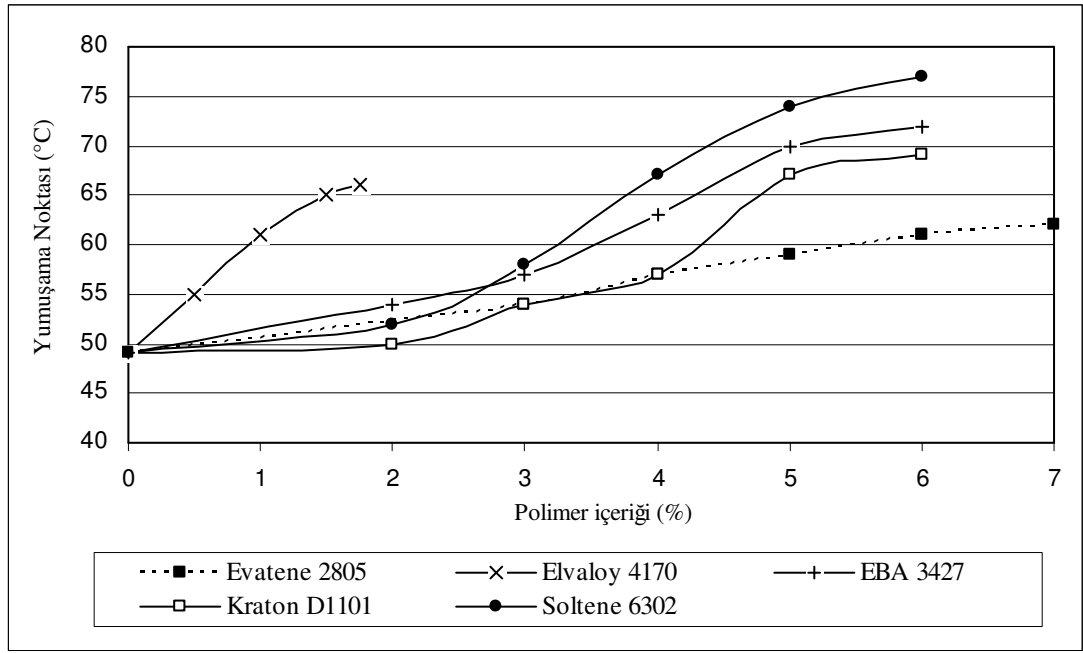
Penetrasyon indeks değerleri incelendiğinde, Elvaloy® 4170 içeriği artışıyla, penetrasyon indeks değerleri artmaktadır. Bu durum Elvaloy® 4170 bazlı polimer örneklerin sıcaklık değişimlerine karşı dayanıklı olduklarını göstermektedir.

5.2 Polimer Modifiye Bitüm Örneklerinin Geleneksel Özelliklerinin Değerlendirmesi

Bölüm 5.1 de verilen sonuçlar ışığında, Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM)'nin Bitüm Şartnamesi'ne göre uygulanmış olan penetrasyon, yumuşama noktası, penetrasyon indeksi, ince film halinde ısıtma deneyi (TFOT) ve viskozite deneylerinin sonuçları her bir polimer cinsi ve içeriği için grafiksel olarak ayrı ayrı Şekil 5.6-5.11'de verilmektedir.



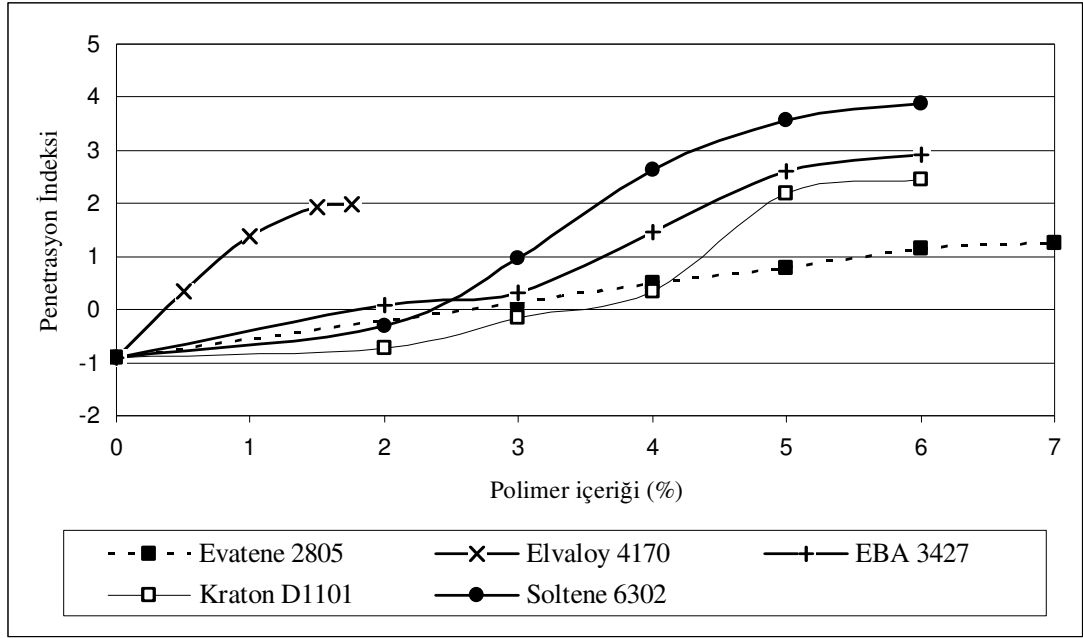
Şekil 5.6 Polimerlerle modifiye edilmiş bitüm örneklerinin penetrasyon değerleri



Şekil 5.7 Polimer modifiye bitüm (PMB) örneklerinin yumuşama noktası değerleri

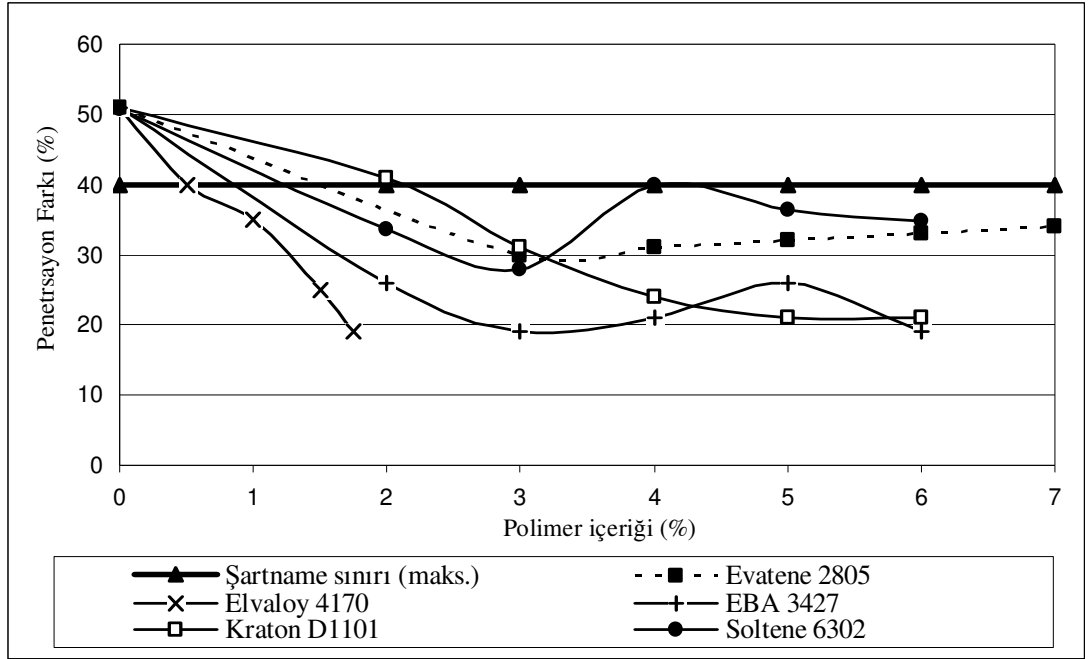
Şekil 5.6 ve 5.7’den, elastomer ve plastomer türü polimerlerle hazırlanmış PMB örneklerinin tamamında, polimer içeriği (%) arttıkça, penetrasyon değerlerinde azalma, yumuşama noktası değerlerinde ise artma görülmektedir. PMB’lerin penetrasyon değerlerindeki azalma ve yumuşama noktalarındaki artış (PMB örneklerinin sertliğindeki artışı göstermekte), esnek kaplamalarda meydana gelen bozulma türlerinden biri olan tekerlek izi oluşumlarına (kalıcı deformasyon) karşı daha dirençli bir yapı elde edilmesi şeklinde ifade edilebilir.

Penetrasyon değerinin azalması, asfaltın daha kıvamlı hale gelmesi demektir ki, belli bir değere kadar kıvamlılık arttıkça, bitümlü sıcak karışım (BSK) içindeki agregalarla bitümlü bağlayıcı arasındaki içsel sürtünme artmaktadır. Ağırlıkça %5 polimer içeriğinden sonra, genel olarak penetrasyon ve yumuşama noktasındaki değişimler azalmaya başlamıştır. Yumuşama noktası bakımından en yüksek değeri, ağırlıkça %6 oranında Soltane® 6302 içeren polimer modifiye bitüm örneği sağlamıştır.



Şekil 5.8 PMB örneklerinin PI değerleri

Penetrasyon indeksi (PI) değeri, bitümlerin sıcaklığa karşı olan duyarlılıklarının bir ölçüsüdür. PI değeri azaldıkça, BSK'ların sıcaklığa karşı olan duyarlılığı artar. Şekil 5.8 incelendiğinde, kullanılan bütün polimerlerin ağırlıkça yüzdeleri arttıkça, PI değerinin arttırdığı görülmektedir. Bu nedenle, PMB'lerle hazırlanmış sıcak karışımlarının, sıcaklık değişimlerine karşı daha dayanıklı hale geldikleri söylenebilir. PI bakımından en yüksek değeri, yine ağırlıkça %6 oranında Soltane® 6302 içeren PMB örneği sağlamıştır.



Şekil 5.9 PMB örneklerinin TFOT deneyi sonrası penetrasyon farkı

Yüksek PI değerleri ile hazırlanmış sıcak karışımların özellikle düşük sıcaklık çatlaklarına karşı daha dirençli oldukları söylenebilir (Lu X. ve Isacsson U., 1997).

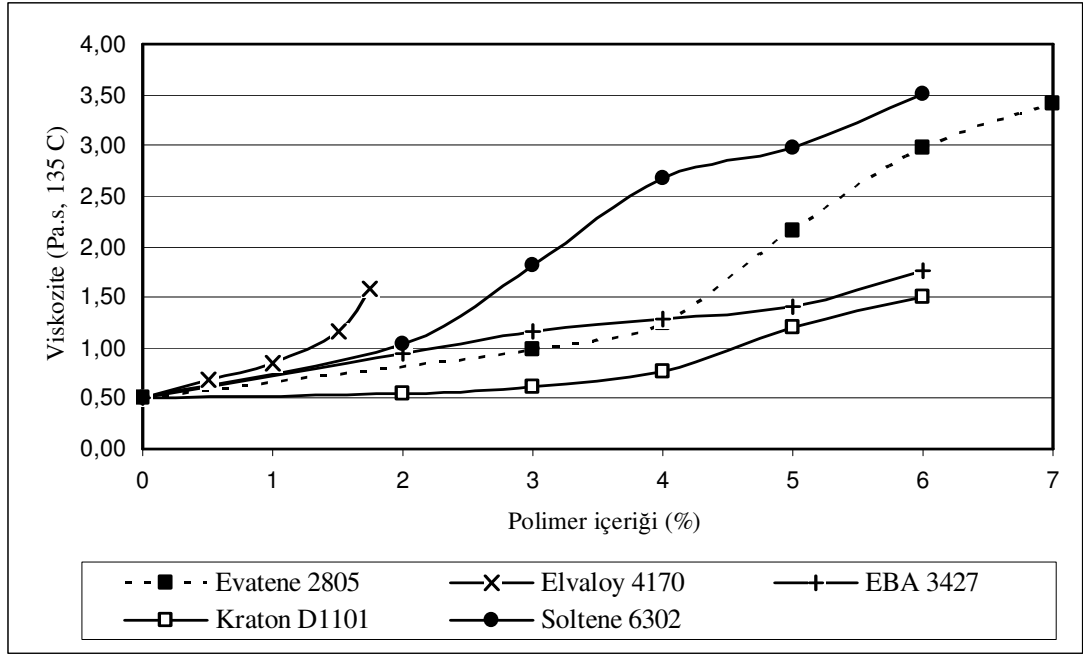
Şekil 5.9'daki değerler, PMB örneklerinin TFOT deneyi öncesi ve sonrası penetrasyon değerleri arasındaki farkın yüzde cinsinden değerleridir. TFOT deneyi, bitümün kısa dönem yaşlanmasını (bitümün yüksek sıcaklıklarda ve kütle halinde silolarda depolanması sırasında maruz kaldığı oksidasyon) temsil etmektedir. Penetrasyon değerleri arasındaki farkın azalması, bitümün kısa dönem yaşlanmaya karşı daha dirençli olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, Şekil 5.9'dan da görülebileceği gibi, bitümlerin modifikasyonunda kullanılan polimerler, bitümün yaşlanmaya karşı direncini arttırıcı yönde bir etki göstermektedir. Ancak diğer deneylerle kıyaslandığında, polimer yüzdesinin ağırlıkça artışıyla, penetrasyon değeri farkının azalması dengeli biçimde gerçekleşmemiş, hatta bazı polimer türleri göz önüne alındığında, yüksek katkı oranına rağmen şartname limitine yakın değerler elde edilmiştir. Örneğin; ağırlıkça %4 oranında Soltane® 6302 katkılı polimer modifiye bitüm numunesinin penetrasyon değeri farkı %40 olmuştur. TFOT sonrası yumuşama noktası farkları özellikle Evatene® 2805 ile hazırlanan örneklerde daha

yüksek çıkmıştır. Bu durum Evatene® 2805 bazlı örneklerin kısa dönem yaşlanma etkilerine karşı daha duyarlı olduklarını göstermektedir.

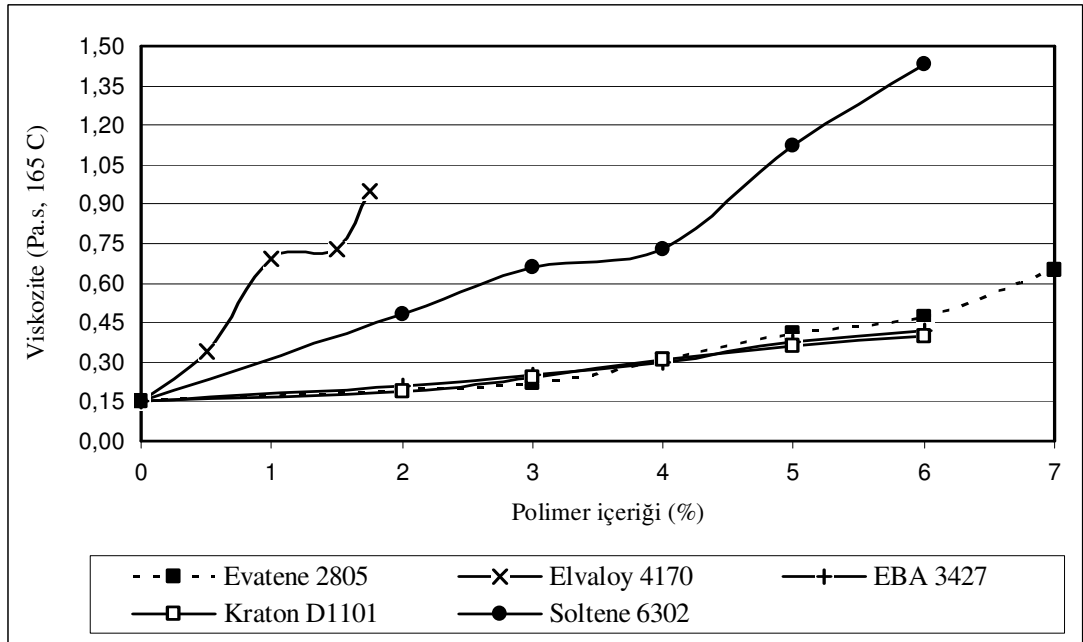
Bitümün, asfalt plentlerinde agrega ile karıştırma ve BSK'nın yol üstünde silindirler ile sıkıştırma sıcaklıklarının belirlenmesinde kullanılan 135⁰C ve 165⁰C'deki viskozite değerleri, Şekil 5.10 ve 5.11'de verilmektedir. Şekiller incelendiğinde; polimerin yüzdesi (ağırlıkça) arttıkça, PMB'lerin viskozite değerlerinde artış görülmektedir. PMB örnekleri arasında en fazla viskozite artışı, Soltane® 6302 polimeri ile hazırlanmış örnekler üzerinde görülmüştür.

Viskozite değerlerinin çok fazla artması istenilen bir durum değildir. Çünkü bitümün kıvamı artarken, BSK'nın karıştırma ve sıkıştırma sıcaklığı da artmaktadır. Bu durum, daha fazla enerji kullanılmasını gerektirmekle birlikte bitümün yüksek sıcaklıklarda bozulmasına neden olabilmektedir.

Depolama stabiliteleri yönünden sonuçlar incelendiğinde, tüm katkıları ile hazırlanan örnekler şartname limitlerini sağlamaktadır. Katkıları içinden depolama stabilitesi yönünden en iyi sonucu Elvaloy® 4170 polimeri ile hazırlanan polimer modifiye örneği vermiştir.



Şekil 5.10 Polimerlerle modifiye edilmiş bitüm örneklerinin 135⁰ C'deki viskozite değerleri



Şekil 5.11 Polimerlerle modifiye edilmiş bitüm örneklerinin 165⁰ C'deki viskozite değerleri

5.3 PMB Örnekleri ile Hazırlanan Karışımların Mekanik Özellikleri

Bu bölümde elastomer grubuna ait SBS Kraton® D 1101 ve Soltane® 6302 ile plastomer grubuna ait Evatene® 2805, Elvaloy® 4170 ve ® 3427 polimerler ile

hazırlanmış olan PMB örnekleri ile üretilmiş sıcak karışımların mekanik özellikleri Marshall stabilite, akma ve hava boşluk oranları bakımından incelenecek ve yorumlanacaktır.

5.3.1 Kraton® D 1101 Katkılı Modifiye Bitümle Hazırlanan Karışımlar Üzerinde Uygulanan Deneyler

%2 ile %6 Kraton® D 1101 polimer katkısı ihtiva modifiye bitüm örnekleri ile hazırlanan sıcak karışımlar Marshall sıkıştırıcısı ile sıkıştırılmış ve elde edilen asfalt beton briketleri üzerinde Marshall Stabilite deneyleri uygulanmıştır. Buna bağlı olarak akma ve boşluk oranı analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 5.6'da verilmektedir.

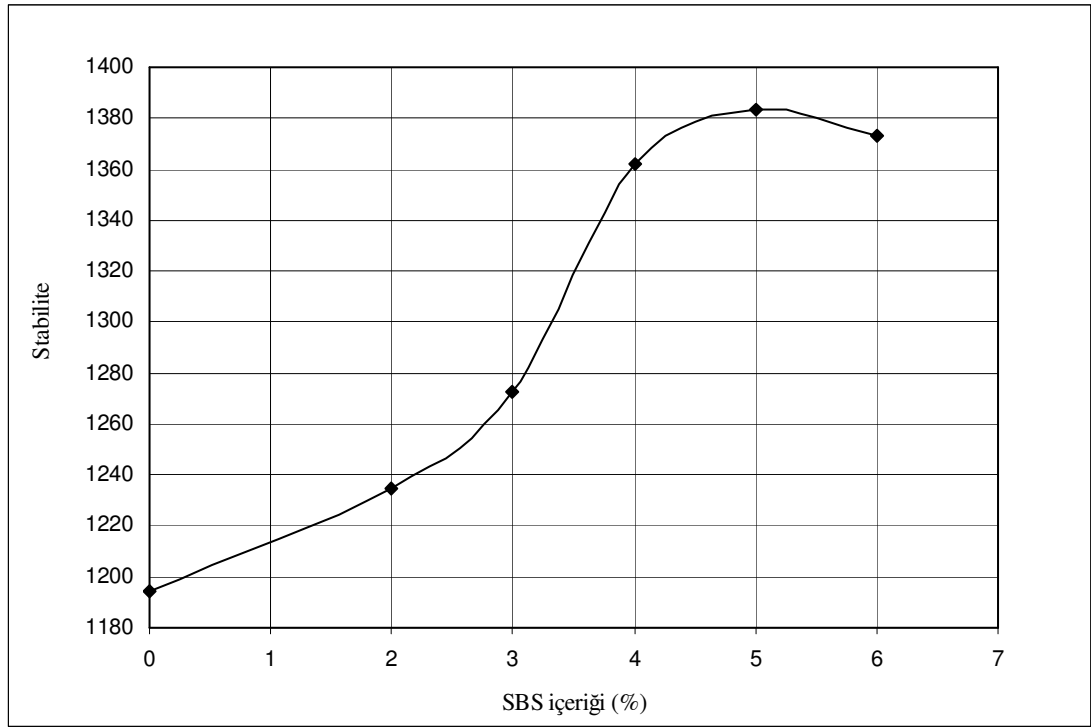
Polimer içeriğine bağlı stabilite, akma, boşluk oranı ve mineral agregalar arası boşluk oranı (VMA) değerleri sırasıyla Şekil 5.12 ve 5.13'de gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, polimer modifiye bitüm ile hazırlanan asfalt beton örneklerine ait stabilite değerleri tüm Kraton® D 1101 oranları için şartnamede belirtilen minimum 900 kg.'ın üstündedir ve değerlerin SBS polimer yüzdesi artışıyla birlikte arttığı görülmektedir. %5 SBS Kraton® D 1101 polimer modifiye karışım için, stabilite maksimum değerini almaktadır.

Ayrıca, Şekil 5.13'den de görülebileceği gibi polimer yüzdesi artışıyla beraber akma değerlerinde artış; boşluk yüzdelerinde de azalma gözlenmektedir.

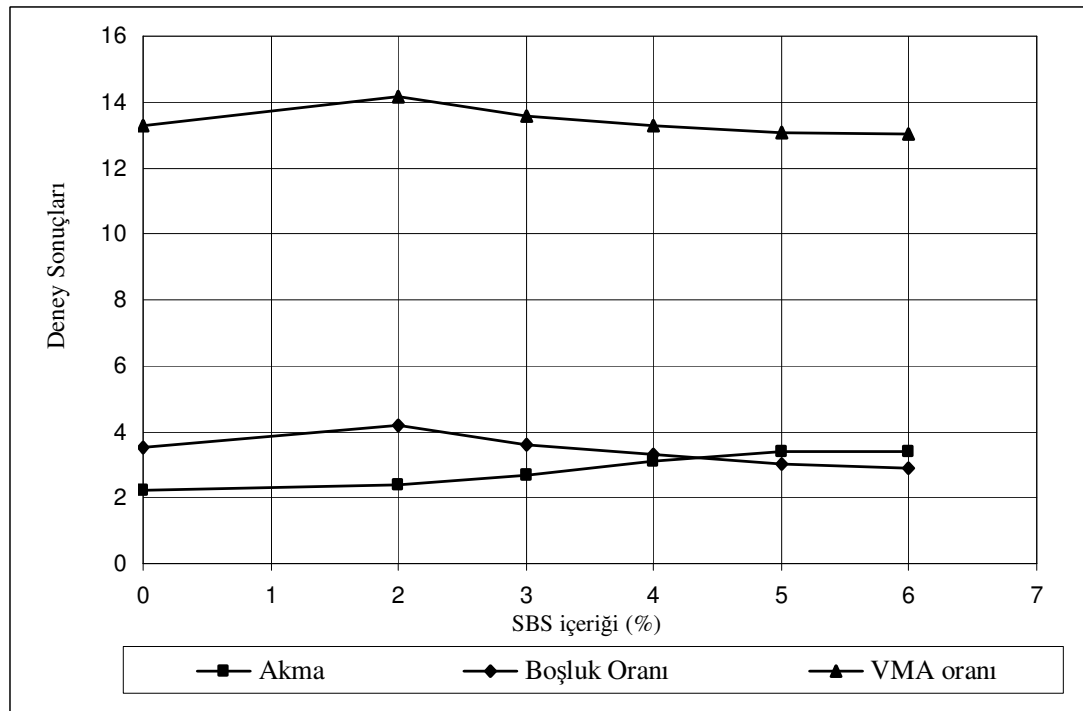
SBS Kraton® D 1101 polimeri kullanılarak hazırlanan modifiye bitümlü sıcak karışım örneklerinde, tüm polimer içerikleri için elde edilen mineral agregalar içindeki boşluk değerleri, 12,5 mm nominal maksimum agrega dane çapı için şartnamede belirtilen minimum %13 değerini sağlamaktadır.

Tablo 5.6 Kraton® D 1101 katkısı içeren polimer modifiye karışımlar için Marshall tasarımı

Sıkıştırma Sayısı : 75				MARSHALL TASARIMI										Bitümün Özgül Ağırlığı				1,030		
														Karışımın Hacim Özgül Ağırlığı				2,689		
														Karışımın Efektif Özgül Ağırlığı				2,721		
% SBS İçeriği	BRIKET NO	BİTÜM YÜZDESİ		HAVADAKİ AĞIRLIK (gr)	SUDAKİ AĞIRLIK(gr)	KURU YÜZEY DOYGUN AĞIRLIK (gr)	HACİM	HACİM ÖZGÜL AĞIRLIK	MAK. TEORİK ÖZ. AĞIRLIK	BOŞLUK %	VMA %	ASFALT DOLU BOŞLUK %	BRIKET YÜKSEKLİĞİ (mm)				STABİLİTE (KG)	DÜZELTME FAKTÖRÜ	DÜZELTİLMİŞ STABİLİTE (KG)	AKMA (mm)
		W _a	W _b	A	C	B	V	D _p	D _T	V _h	VMA	V _f	1	2	3	ORT.				
0%	1	4,740	4,53	1162,7	688,2	1164,5	476,3	2,441	2,5328	3,568	13,271	73,111	60,4	60,1	59,9	60,1	1092	1,096	1196,8	2,34
	2			1177,4	697,7	1179,5	481,8	2,444					59,6	59,8	59,8	59,7	1073	1,109	1190,0	2,35
	3			1169,2	693,3	1172,0	478,7	2,442					59,3	59,7	59,5	59,5	1073	1,115	1196,4	1,84
							2,442												1194,4	2,18
2%	4	4,820	4,60	1179,2	694,1	1182,5	488,4	2,414	2,5261	4,212	14,145	70,225	60,9	61,0	61,0	61,0	1180	1,068	1260,2	2,52
	5			1189,0	700,8	1192,1	491,3	2,420					60,7	60,6	60,8	60,7	1146	1,078	1235,4	2,03
	6			1198,2	707,5	1201,7	494,2	2,425					60,9	60,9	61,0	60,9	1128	1,071	1208,1	2,65
							2,420												1234,6	2,40
3%	7	4,820	4,60	1147,8	676,2	1150,5	474,3	2,420	2,5264	3,601	13,588	73,496	58,2	58,8	59,4	58,8	1143	1,137	1299,6	2,40
	8			1198,1	708,1	1200,0	491,9	2,436					61,0	60,5	60,8	60,8	1160	1,074	1245,8	2,82
	9			1207,1	715,7	1208,3	492,6	2,450					61,1	61,6	60,8	61,2	1198,5	1,062	1272,8	2,96
							2,435												1272,7	2,73
4%	10	4,820	4,60	1197,4	709,7	1198,8	489,1	2,448	2,5261	3,234	13,269	75,625	61,0	60,9	60,6	60,8	1214	1,074	1303,8	3,08
	11			1162,8	687,6	1164,1	476,5	2,440					60,3	60,0	60,1	60,1	1263	1,096	1384,2	3,45
	12			1181,5	699,7	1183,0	483,3	2,445					62,2	62,4	62,0	62,2	1293	1,081	1397,7	2,89
							2,444												1361,9	3,14
5%	13	4,820	4,60	1195,3	708,9	1196,1	487,2	2,453	2,5258	3,013	13,080	76,965	61,2	61,3	60,8	61,1	1296	1,065	1380,2	3,38
	14			1190,8	706,3	1192,2	485,9	2,451					60,6	60,4	60,3	60,4	1254	1,087	1363,1	3,06
	15			1178,7	697,1	1179,2	482,1	2,445					59,6	60,1	59,7	59,8	1272	1,106	1406,8	3,73
							2,450												1383,4	3,39
6%	16	4,820	4,60	1190,7	703,4	1191,1	487,7	2,441	2,5255	2,928	13,014	77,502	60,4	60,4	60,3	60,4	1257	1,087	1366,4	3,49
	17			1191,1	709,2	1191,5	482,3	2,470					60,6	60,5	60,4	60,5	1264	1,084	1370,2	3,20
	18			1184,9	701,2	1186,1	484,9	2,444					60,3	59,9	60,0	60,1	1262	1,096	1383,2	3,65
							2,452												1373,2	3,45
Bitümün Özgül Ağırlığı (Gb)						1,030	Kaba Agregası % (K%)						52,0	Kaba Agreganın Özgül Ağırlığı (Gk)						2,686
Penetrasyon						50/70	İnce Agregası % (I%)						42,0	İnce Agreganın Özgül Ağırlığı (Gi)						2,687
Agreganın Bitüm Absorbsiyonu (Pba)						0,454	Filler % (F%)						6,0	Fillerin Özgül Ağırlığı (Gf)						2,725
Karışımın Efektif Özgül Ağırlığı (Gef)						2,721	Karışımın Hacim Özgül Ağırlığı (Gsb)						2,689	Agrega Miktarı (gr.)						1150



Şekil 5.12 Kraton® D 1101 içeren modifiye karışım için stabilite değerleri



Şekil 5.13 Kraton® D 1101 içeren modifiye karışım için akma, boşluk oranı agregalar arası boşluk oranı değerleri.

5.3.2 Soltane® 6302 Katkılı Modifiye Bitümle Hazırlanan Karışımlar Üzerinde Uygulanan Deneyler

Soltane® 6302 polimer esaslı SBS katkı maddesi %2, %3, %4, %5 ve %6 oranlarında, saf bitüme ilave edilerek hazırlanan bitümlü sıcak karışımlar üzerinde uygulanan Marshall Stabilité deneyleri sonuçları Tablo 5.7’de, Şekil 5.14 ve 5.15’de verilmektedir.

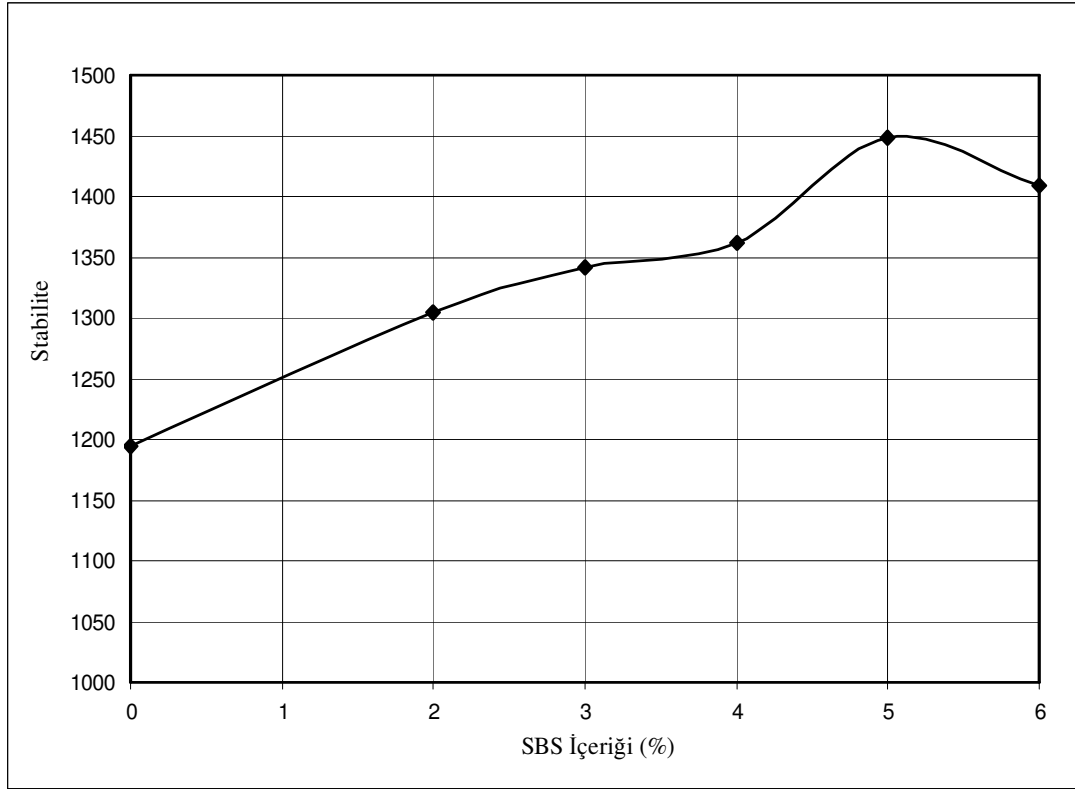
Elde edilen sonuçlara göre, polimer modifiye bitüm ile hazırlanan asfalt beton örneklerine ait stabilite değerleri tüm Soltane® 6302 oranları için şartnamede belirtilen minimum 900 kg.’ın üstündedir ve değerlerin SBS polimer yüzdesi artışıyla birlikte arttığı görülmektedir. %5 SBS Soltane® 6302 polimer modifiye karışım için, stabilite maksimum değerini almaktadır.

Ayrıca, Şekil 5.15’den de görülebileceği gibi polimer yüzdesi artışıyla beraber akma değerlerinde artış; boşluk yüzdelerinde de azalma gözlenmektedir. Her iki değer tüm polimer içerikleri için şartname sınırları içinde yer almaktadır.

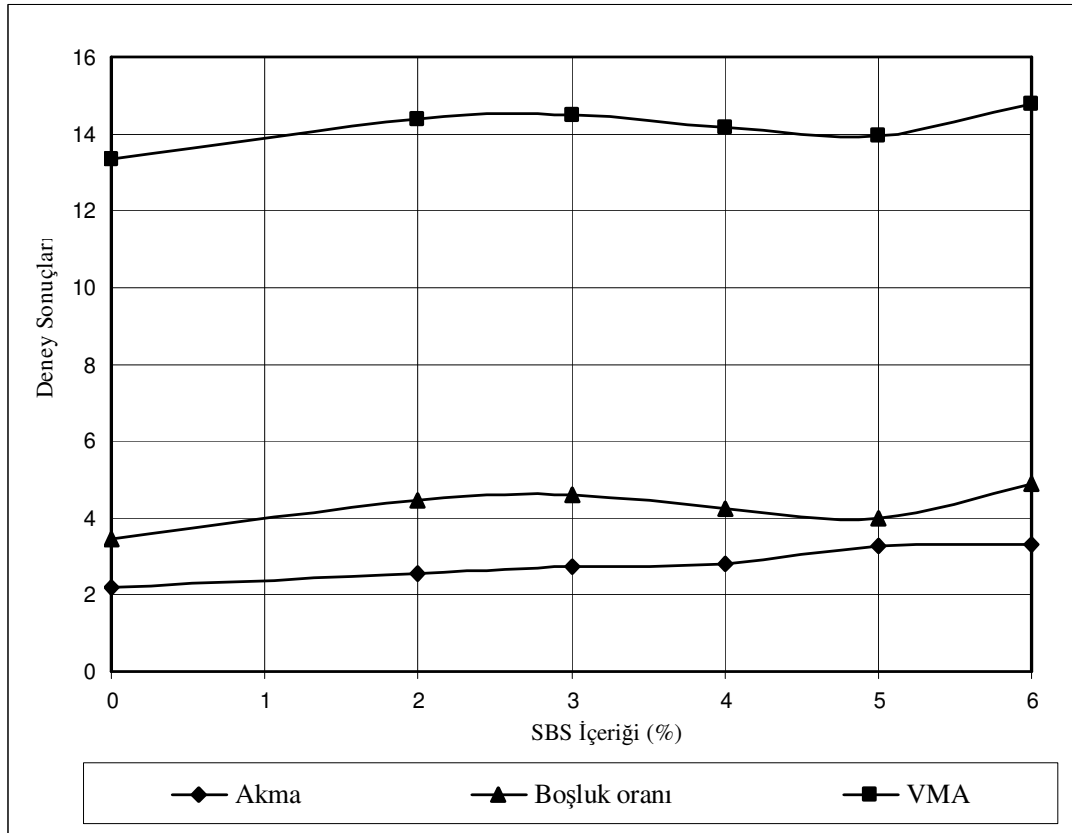
Soltane® 6302 polimeri kullanılarak hazırlanan modifiye bitümlü sıcak karışım örneklerinde, tüm polimer içerikleri için elde edilen mineral agregalar içindeki boşluk değerleri, 12,5 mm nominal maksimum agregada dane çapı için şartnamede belirtilen minimum %13 değerini sağlamaktadır.

Tablo 5.7 Soltane® 6302 katkısı içeren polimer modifiye karışımlar için Marshall tasarımı

	Sıkıştırma sayısı : 75			MARSHALL TASARIMI										Bitümün Özgül Ağırlığı				1,030			
														Karşımın Özgül Ağırlığı				2,689			
														Karşımın Efektif Özgül Ağırlığı				2,721			
% SBS İçeriği	BRIKET NO.	BİTÜM YÜZDESİ		HAVADAKİ AĞIRLIK (gr)	SUDAKİ AĞIRLIK (gr)	KURU YÜZEY DOYGUN AĞIRLIK (gr)	HACİM	KARIŞIMI N HACİM ÖZGÜL AĞIRLIĞI	MAKS. TEORİK ÖZGÜL AĞIRLIK	BOŞLUK %	VMA %	ASFALT DOLU BOŞLUK %	BRIKET YÜKSEKLİĞİ (mm)				STABİLİTE (KG)	DÜZELTME FAKTÖRÜ	DÜZELTİLMİŞ STABİLİTE (KG)	AKMA (mm)	
																					B-C
		A	C	B	V		VMA	1	2	3	ORT.										
0%	1	4,740	4,53	1162,7	688,2	1164,5	476,3	2,441	2,5328	3,568	13,271	73,111	60,4	60,1	59,9	60,1	1092	1,096	1196,8	2,34	
	2			1177,4	697,7	1179,5	481,8	2,444					59,6	59,8	59,8	59,7	1073	1,109	1190,0	2,35	
	3			1169,2	693,3	1172,0	478,7	2,442					59,3	59,7	59,5	59,5	1073	1,115	1196,4	1,84	
						2,442												1194,4	2,18		
2%	4	4,820	4,60	1187,6	686,1	1189,4	503,3	2,360	2,5261	4,467	14,373	68,925	60,8	60,8	60,2	60,6	1202	1,081	1299,8	2,41	
	5			1174,5	697,4	1175,2	477,8	2,458					60,0	59,9	60,1	60,0	1212	1,099	1332,0	2,51	
	6			1182,4	696,1	1184,3	488,2	2,422					60,3	60,5	60,5	60,4	1179	1,087	1281,6	2,76	
						2,413												1304,5	2,56		
3%	7	4,820	4,60	1197,6	696,2	1198,6	502,4	2,384	2,5264	4,606	14,489	68,210	60,5	60,5	60,7	60,6	1280	1,081	1384,2	2,59	
	8			1165,8	698,0	1166,1	468,1	2,490					59,0	59,3	59,4	59,2	1153	1,124	1296,4	2,98	
	9			1209,9	698,6	1212,2	513,6	2,356					61,0	61,2	61,2	61,1	1264	1,065	1345,8	2,64	
						2,410												1342,1	2,74		
4%	10	4,820	4,60	1175,4	701,4	1175,8	474,4	2,478	2,5261	4,251	14,180	70,019	59,3	59,3	59,2	59,3	1207	1,121	1353,0	2,56	
	11			1178,8	690,2	1180,1	489,9	2,406					59,4	59,6	59,5	59,5	1150	1,115	1374,1	3,06	
	12			1193,2	691,5	1194,5	503	2,372					60,7	60,9	61,0	60,9	1169	1,071	1358,4	2,74	
						2,419												1361,8	2,79		
5%	13	4,820	4,60	1184,3	701,2	1185,6	484,4	2,445	2,5258	3,982	13,948	71,455	60,2	60,2	60,1	60,2	1315	1,093	1437,3	3,45	
	14			1190,1	699,6	1192,4	492,8	2,415					60,2	60,5	60,3	60,3	1302	1,090	1419,2	3,67	
	15			1186,4	697,1	1188,2	491,1	2,416					59,5	59,8	59,5	59,6	1340	1,112	1490,1	2,74	
						2,425												1448,9	3,29		
6%	16	4,820	4,60	1187,3	693,2	1189,5	496,3	2,392	2,5255	4,903	14,784	66,834	60,0	60,4	60,3	60,2	1313	1,093	1435,1	3,14	
	17			1186,0	699,0	1187,5	488,5	2,428					59,9	59,9	59,9	59,9	1256	1,103	1385,4	3,20	
	18			1203,4	701,8	1206,4	504,6	2,385					60,4	60,7	60,6	60,6	1302	1,081	1407,5	3,57	
						2,402												1409,3	3,30		
Bitümün Özgül Ağırlığı (Gb)				1,030		Kaba Agreganın Özgül Ağırlığı (Gk)				52,0				Kaba Agreganın Özgül Ağırlığı (Gk)				2,686			
Penetrasyon				50/70		İnce Agreganın Özgül Ağırlığı (Gi)				42,0				İnce Agreganın Özgül Ağırlığı (Gi)				2,687			
Agreganın Bitüm Absorbsiyonu (Pba)				0,454		Fillerin Özgül Ağırlığı (Gf)				6,0				Fillerlerin Özgül Ağırlığı (Gf)				2,725			
Karışımın Efektif Özgül Ağırlığı (Gef)				2,721		Karışımın Hacim Özgül Ağırlığı (Gsb)				2,689				Agrega Miktarı (gr.)				1150			



Şekil 5.14 Soltane® 6302 içeren modifiye karışım için stabilite değerleri



Şekil 5.15 Soltane® 6302 içeren modifiye karışım için akma, boşluk oranı, agregalar arası boşluk oranı değerleri

5.3.3 Evatene® 2805 Katkılı Modifiye Bitümle Hazırlanan Karışımlar Üzerinde Uygulanan Deneyler

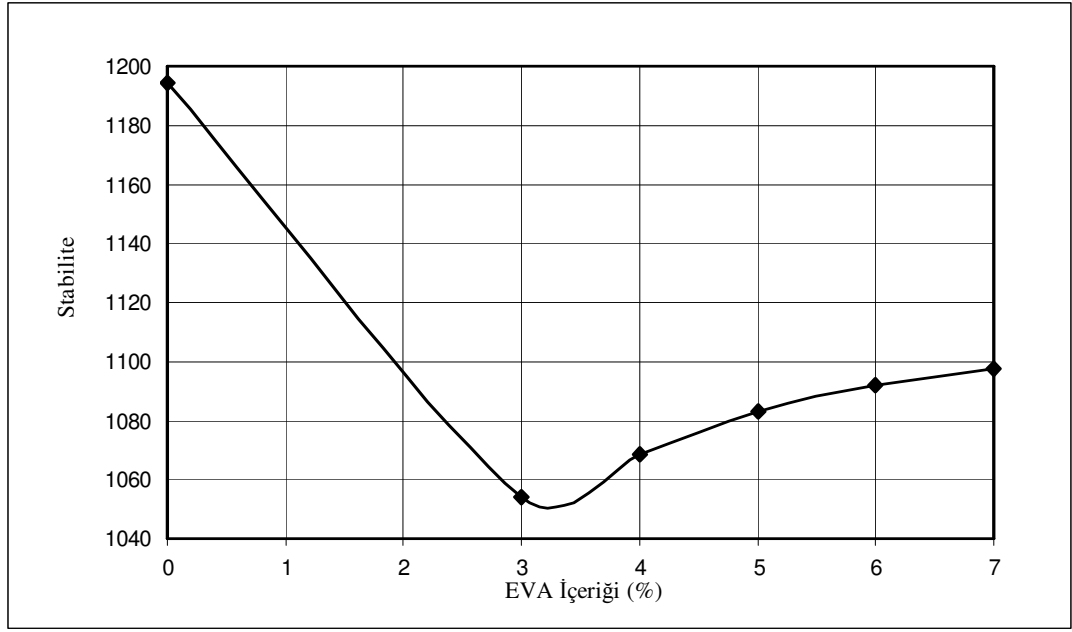
Evatene® 2805 polimer esaslı EVA katkı maddesi %3, %4, %5, %6 ve %7 oranlarında, saf bitüme ilave edilerek hazırlanan bitümlü sıcak karışımlar üzerinde uygulanan Marshall Stabilité deneyleri sonuçları Tablo 5.8’de, Şekil 5.16 ve 5.17’de verilmektedir.

Tablo 5.8 incelendiğinde tüm Evatane® 2805 içerikleri ile hazırlanan asfalt betonlarına ilişkin stabilite, akma ve boşluk oranı değerleri şartnamelerde belirtilen limitler içinde kalmaktadır.

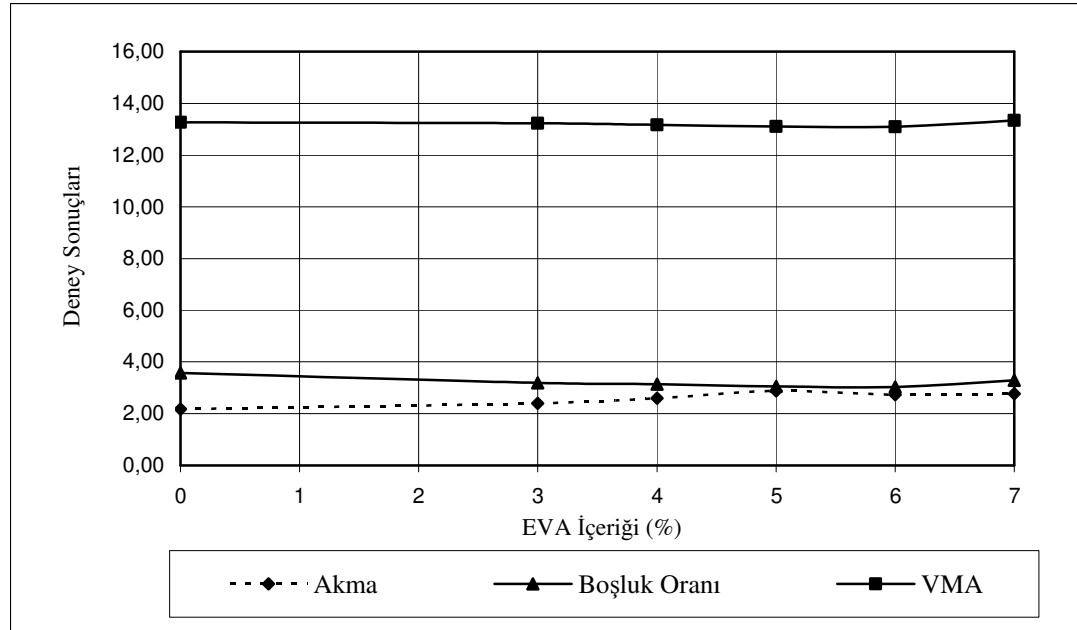
Şekil 5.16 incelendiğinde Evatane ile üretilmiş polimer modifiye bitümlerle hazırlanan asfalt betonuna ait stabilite değerleri, saf bitüm ile hazırlanmış asfalt betonuna ilişkin stabilite değerlerine kıyasla düşük değerler verdiği görülmektedir. Bu durum, Evatane katkı malzemesinin 50/70 penetrasyonlu bitüm ile imal edilmiş sıcak karışımlarda kullanımının uygun olmadığını göstermektedir.

Tablo 5.8 Evatene® 2805 katkısı içeren polimer modifiye karışımlar için Marshall tasarımı

	Sıkıştırma sayısı : 75				MARSHALL TASARIMI								Bitümün Özgül Ağırlığı				1,030			
													Karışımın Özgül Ağırlığı				2,689			
													Karışımın Efektif Özgül Ağırlığı				2,721			
% EVA İçeriği	BRİKETNO.	BİTÜM YÜZDESİ		HAVADAKİ AĞIRLIK(gr)	SUDAKİ AĞIRLIK(gr)	KURU YÜZEY DOYGUN AĞIRLIK (gr)	HACİM	KARIŞIMIN HACİM ÖZGÜL AĞIRLIĞI	MAKS. TEORİK ÖZGÜL AĞIRLIK	BOŞLUK %	VMA %	ASFALT DOLU BOŞLUK %	BRİKET YÜKSEKLİĞİ (mm)				STABİLİTE (KG)	DÜZELTME FAKTÖRÜ	DÜZELTİLMİŞ STABİLİTE (KG)	AKMA(mm)
		W _a	W _b	A	C	B	V	D _p	D _T	V _h	VMA	V _f	1	2	3	ORT.				
0%	1	4,740	4,53	1162,7	688,2	1164,5	476,3	2,441	2,5328	3,568	13,271	73,111	60,4	60,1	59,9	60,1	1092	1,096	1196,8	2,34
	2			1177,4	697,7	1179,5	481,8	2,444					59,6	59,8	59,8	59,7	1073	1,109	1190,0	2,35
	3			1169,2	693,3	1172,0	478,7	2,442					59,3	59,7	59,5	59,5	1073	1,115	1196,4	1,84
								2,442											1194,4	2,18
3%	4	4,820	4,60	1176,7	704,9	1181,2	476,3	2,471	2,5261	3,188	13,228	75,896	60,2	60,1	60,2	60,2	964	1,093	1053,7	2,28
	5			1174,3	702,8	1176,8	474,0	2,477					59,6	59,7	59,8	59,7	945	1,109	1048,0	2,56
	6			1188,6	698,8	1196,4	497,6	2,389					60,1	60,7	60,5	60,4	975	1,087	1059,8	2,36
								2,446											1053,8	2,40
4%	7	4,820	4,60	1191,4	702,1	1196,7	494,6	2,409	2,5264	3,137	13,171	76,186	59,8	59,7	59,8	59,8	966	1,106	1068,4	2,39
	8			1185,7	709,8	1186,3	476,5	2,488					60,1	60,9	60,7	60,6	965	1,081	1043,2	2,54
	9			1164,4	689,9	1166,3	476,4	2,444					57,5	57,8	57,6	57,6	929	1,178	1094,4	2,85
								2,447											1068,6	2,59
5%	10	4,820	4,60	1182,0	700,4	1184,8	484,4	2,440	2,5261	3,055	13,108	76,696	60,1	60,2	60,3	60,2	993	1,093	1085,3	3,08
	11			1179,1	702,9	1187,7	484,8	2,432					60,1	60,1	60,2	60,1	1001	1,096	1097,1	2,80
	12			1191,2	712,9	1194,3	481,4	2,474					60,5	60,9	60,6	60,7	989	1,078	1066,1	2,75
								2,449											1082,9	2,88
6%	13	4,820	4,60	1183,5	708,9	1184,3	475,4	2,489	2,5258	3,025	13,091	76,893	60,3	60,2	60,3	60,3	1005	1,090	1095,5	2,23
	14			1190,0	708,2	1197,6	489,4	2,432					59,3	59,4	60,1	59,6	1002	1,112	1114,2	2,86
	15			1187,1	707,6	1196,7	489,1	2,427					60,0	60,8	60,7	60,5	984	1,084	1066,7	3,11
								2,449											1092,1	2,73
7%	16	4,820	4,60	1193,9	703,5	1198,2	494,7	2,413	2,5255	3,290	13,338	75,333	59,7	59,6	59,7	59,7	993	1,109	1101,2	2,81
	17			1184,8	709,7	1188,1	478,4	2,477					60,1	60,2	60,1	60,1	1001	1,096	1097,1	2,65
	18			1178,9	701,1	1184,8	483,7	2,437					59,8	60,0	60,0	59,9	992	1,103	1094,2	2,85
								2,442											1097,5	2,77
Bitümün Özgül Ağırlığı (Gb)				1,030		Kaba Agreganın Özgül Ağırlığı (Gk)				52,0		Kaba Agreganın Özgül Ağırlığı (Gk)				2,686				
Penetrasyon				50/70		İnce Agreganın Özgül Ağırlığı (Gi)				42,0		İnce Agreganın Özgül Ağırlığı (Gi)				2,687				
Agreganın Bitüm Absorbsiyonu(Pba)				0,454		Filler % (F%)				6,0		Fillerin Özgül Ağırlığı (Gf)				2,725				
Karışımın Efektif Özgül Ağırlığı(Gef)				2,721		Karışımın Hacim Özgül Ağırlığı (Gsb)				2,689		Agrega Miktarı (gr.)				1150				



Şekil 5.16 Evatene® 2805 içeren modifiye karışım için stabilite değerler



Şekil 5.17 Evatene® 2805 içeren modifiye karışım için akma, boşluk oranı ve agregalar arası boşluk oranı değerleri

5.3.4 Elvaloy® 3427 Katkılı Modifiye Bitümle Hazırlanan Karışımlar

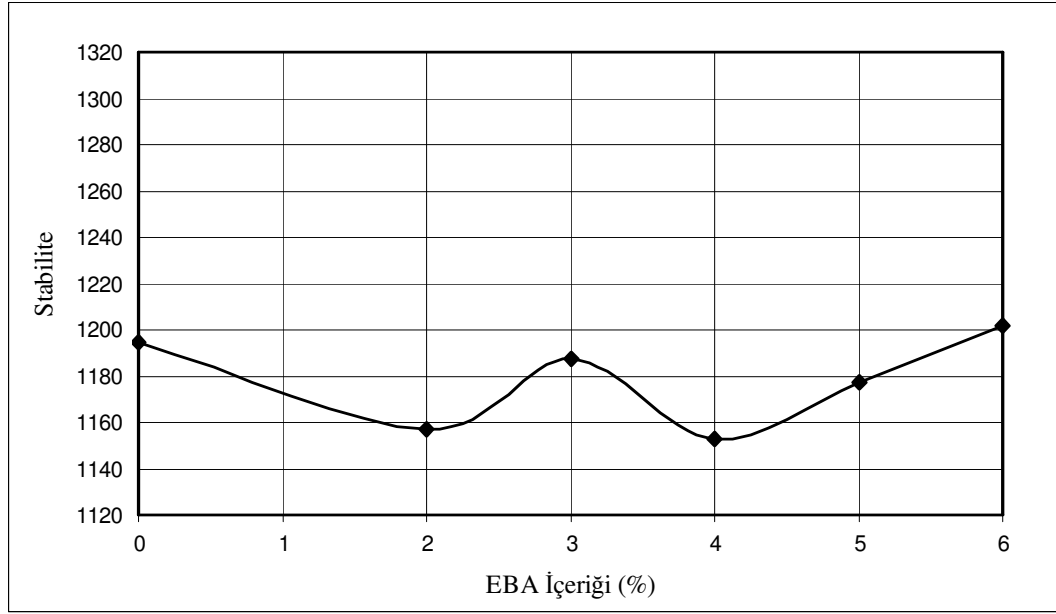
Üzerinde Uygulanan Deneyler

Elvaloy® 3427 polimer esaslı katkı maddesi %2, %3, %4, %5 ve %6 oranlarında saf bitüme ilave edilmesiyle hazırlanan asfalt betonu üzerinde uygulanan Marshall Stabilite deneyleri sonuçları Tablo 5.9’da, Şekil 5.18 ve 5.19’da verilmektedir.

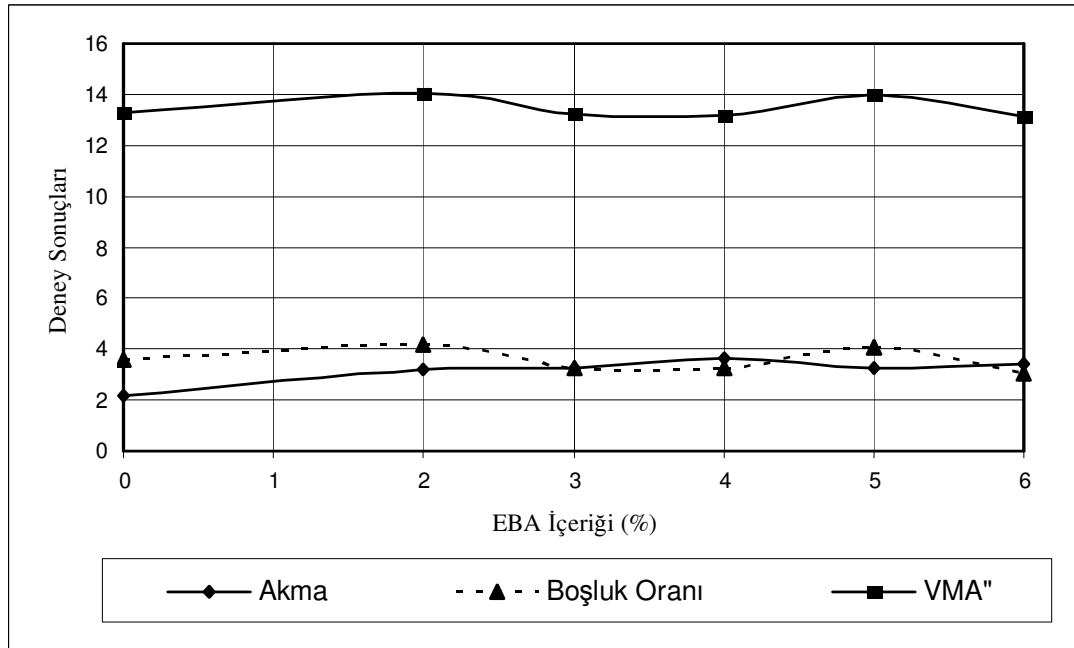
Deney sonuçları incelendiğinde tüm katkıların için stabilite, akma, boşluk oranı ve mineral agregada içindeki boşluk değerleri şartnamenin belirlediği sınırlar içinde kalmaktadır. Ancak katkısının modifiye bitümün özelliklerini değiştirmesine rağmen, asfalt betonunun stabilitesi üzerinde önemli bir etkisi olmadığı gözlenmiştir (Şekil 5.18).

Tablo 5.9 Elvaloy® 3427 katkısı içeren polimer modifiye karışımlar için Marshall tasarımı

	Sıkıştırma Sayısı : 75				MARSHALL TASARIMI										Bitümün Özgül Ağırlığı				1,030	
															Karışımın Hacim Özgül Ağırlığı				2,689	
															Karışımın Efektif Özgül Ağırlığı				2,721	
% EBA İçeriği	BRIKET NO	BİTÜM YÜZDESİ		HAVADAKİ AĞIRLIK (gr)	SUDAKİ AĞIRLIK (gr)	KURU YÜZEY DOYGUN AĞIRLIK (gr)	HACİM	HACİM ÖZGÜL AĞIRLIK	MAK. TEORİK ÖZ. AĞIRLIK	BOŞLUK %	VMA %	ASFALT DOLU BOŞLUK %	BRIKET YÜKSEKLİĞİ (mm)				STABİLİTE (KG)	DÜZELTME FAKTÖRÜ	DÜZELTİLMİŞ STABİLİTE (KG)	AKMA (mm)
		W _a	W _b	A	C	B	V	D _p	D _T	V _h	VMA		1	2	3	ORT.				
0%	1	4,740	4,53	1162,7	688,2	1164,5	476,3	2,441	2,5328	3,568	13,271	73,111	60,4	60,1	59,9	60,1	1092	1,096	1196,8	2,34
	2			1177,4	697,7	1179,5	481,8	2,444					59,6	59,8	59,8	59,7	1073	1,109	1190,0	2,35
	3			1169,2	693,3	1172,0	478,7	2,442					59,3	59,7	59,5	59,5	1073	1,115	1196,4	1,84
2%	4	4,820	4,60	1185,4	700,0	1186,7	486,7	2,436	2,5278	4,151	14,033	70,418	60,7	60,2	60,2	60,4	1062	1,087	1154,4	3,17
	5			1160,2	683,9	1163,9	480	2,417					59,1	59,2	59,5	59,3	1045	1,121	1171,4	3,21
	6			1186,9	697,9	1189,2	491,3	2,416					61,1	61,2	61,3	61,2	1078	1,062	1144,8	3,22
3%	7	4,820	4,60	1179,2	700,5	1183,2	482,7	2,443	2,5275	3,263	13,246	75,366	60,5	60,6	60,5	60,5	1154	1,084	1250,9	3,75
	8			1185,3	704,2	1189,5	485,3	2,442					60,7	60,8	60,8	60,8	1089	1,074	1169,6	3,11
	9			1205,5	715,8	1207,9	492,1	2,450					61,0	61,1	61,2	61,1	1073	1,065	1142,7	2,98
4%	10	4,820	4,60	1174,1	695,4	1176,1	480,7	2,442	2,5280	3,236	13,202	75,490	60,1	60,1	60,5	60,2	1068	1,093	1167,3	3,31
	11			1178,3	699,5	1181,3	481,8	2,446					60,6	60,9	60,2	60,6	1085	1,081	1172,9	3,88
	12			1196,4	710,7	1198,9	488,2	2,451					61,1	60,1	60,5	60,6	1034	1,081	1117,8	3,78
5%	13	4,820	4,60	1200,2	702,1	1203,7	501,6	2,393	2,5269	4,092	14,008	70,792	61,2	61,1	61,0	61,1	1123	1,065	1196,0	3,89
	14			1168,6	690,4	1171,9	481,5	2,427					59,1	59,4	59,6	59,4	1061	1,118	1186,2	2,15
	15			1186,7	704,5	1188,7	484,2	2,451					60,5	60,4	60,4	60,4	1058	1,087	1150,0	3,65
6%	16	4,820	4,60	1201,8	713,4	1203,4	490	2,453	2,5258	3,061	13,124	76,672	61,1	61,0	61,1	61,1	1106	1,065	1177,9	3,65
	17			1184,5	704,3	1188,2	483,9	2,448					60,0	60,1	60,1	60,1	1138	1,096	1247,2	3,00
	18			1173,8	697,4	1177,5	480,1	2,445					61,4	61,3	61,2	61,3	1115	1,059	1180,8	3,58
Specific Gravity of Bitumen (Gb)				1,030				Coarse Aggregate % (K%)				52,0				Specific Gravity of Coarse Agg. (Gk)				2,686
Penetration				50/70				Fine Aggregate % (I%)				42,0				Specific Gravity of Fine Agg. (Gi)				2,687
Bitumen Abs. of Aggregate (Pba)				0,454				Filler % (F%)				6,0				Specific Gravity of Filler (Gf)				2,725
Effective Sp. Grav. of Mix (Gef)				2,721				Bulk Specific Gravity of Mix (Gsb)				2,689				Aggregate (gr.)				1150



Şekil 5.18 Elvaloy® 3427 içeren modifiye karışım için stabilite değerleri



Şekil 5.19 Elvaloy® 3427 içeren modifiye karışım için akma, boşluk oranı ve agregalar arası boşluk oranı değerleri

5.3.5 Elvaloy® 4170 Katkılı Modifiye Bitümle Hazırlanan Karışımlar

Üzerinde Uygulanan Deneyler

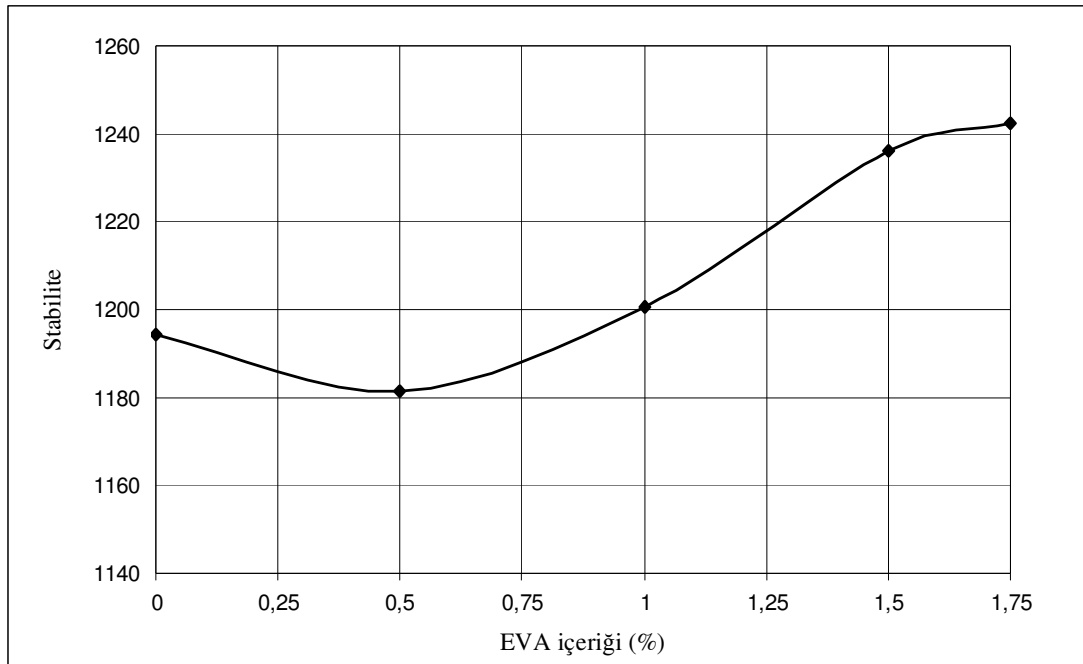
%0.5, %1, %1,5 ve %1,75 Elvaloy® 4170 polimer polimer katkısı ihtiva eden modifiye bitüm örnekleri ile hazırlanan asfalt beton briketleri üzerinde Marshall stabilite deneyleri uygulanmıştır. Sonuçlar Tablo 5.10'da, Şekil 5.20 ve 5.21'de verilmektedir.

Sonuçlara göre, tüm Elvaloy® 4170 katkılı modifiye bitümle hazırlanan asfalt beton örneklerine ilişkin Marshall stabilite değerleri şartnamede belirtilen minimum 900 kg.'ı sağlamakta ve en yüksek stabilite değeri olan 1242,5 kg değeri %1,75 Elvaloy® 4170 içeriğinde görülmüştür.

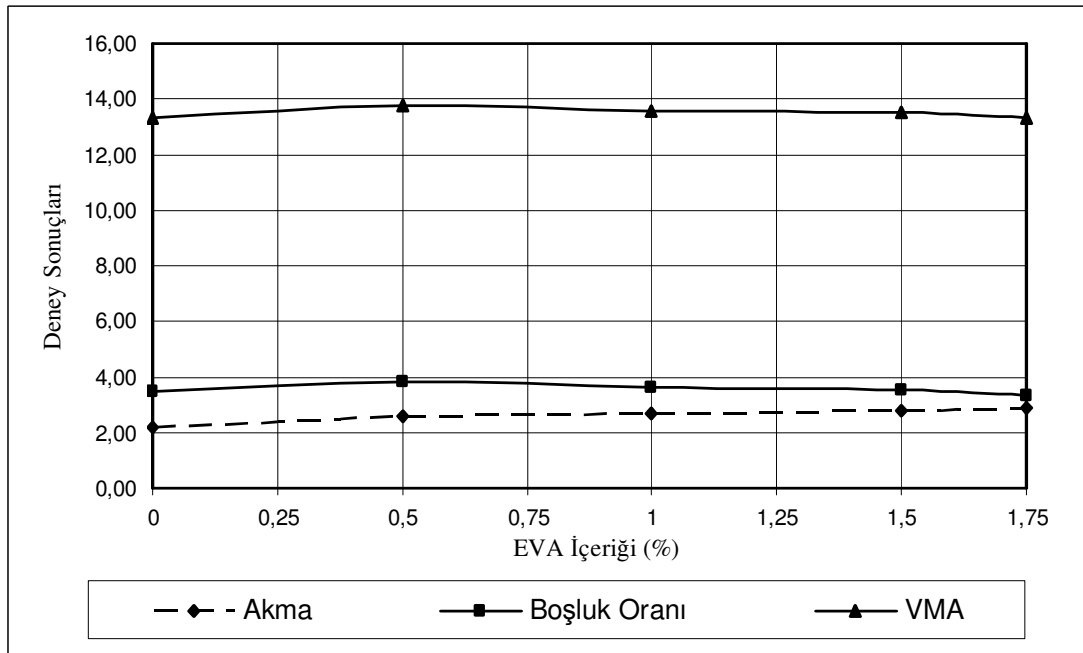
Ayrıca, Şekil 5.21'den de görülebileceği gibi polimer yüzdesi artışıyla beraber akma değerlerinde artış; boşluk yüzdelерinde de azalma gözlenmektedir.

Tablo 5.10 Elvaloy® 4170 katkısı içeren polimer modifiye karışımlar için Marshall tasarımı

	Sıkıştırma Sayısı : 75			MARSHALL TASARIMI										Bitümün Özgül Ağırlığı				1,030		
														Karışımın Hacim Özgül Ağırlığı				2,689		
														Karışımın Efektif Özgül Ağırlığı				2,721		
% EVA İçeriği	BRİKET NO	BİTÜM YÜZDESİ		HAVADAKİ AĞIRLIK (gr)	SUDAKİ AĞIRLIK (gr)	KURU YÜZEY DOYGUN AĞIRLIK (gr)	HACİM	HACİM ÖZGÜL AĞIRLIK	MAK. TEORİK ÖZ. AĞIRLIK	BOŞLUK %	VMA %	ASFALT DOLU BOŞLUK %	BRİKET YÜKSEKLİĞİ (mm)				STABİLİTE(KG)	DÜZELTME FAKTÖRÜ	DÜZELTİLMİŞ STABİLİTE (KG)	AKMA (mm)
		1	2	3	ORT.															
0%	1	4,740	4,53	1162,7	688,2	1164,5	476,3	2,441	2,5328	3,568	13,271	73,111	60,4	60,1	59,9	60,1	1092	1,096	1196,8	2,34
	2			1177,4	697,7	1179,5	481,8	2,444					59,6	59,8	59,8	59,7	1073	1,109	1190,0	2,35
	3			1169,2	693,3	1172,0	478,7	2,442					59,3	59,7	59,5	59,5	1073	1,115	1196,4	1,84
								2,442											1194,4	2,18
0,5%	4	4,820	4,60	1167,8	687,3	1168,4	481,1	2,427	2,5278	3,843	13,757	72,063	59,2	59,0	59,4	59,2	1056	1,124	1186,9	2,35
	5			1183,6	698,2	1185,2	487,0	2,430					59,8	59,9	60,0	59,9	1065	1,103	1175,2	2,73
	6			1184,2	699,3	1185,8	486,5	2,434					60,1	60,2	60,1	60,1	1079	1,096	1182,4	2,67
								2,431											1181,5	2,58
1,0%	7	4,820	4,60	1189,6	718,7	1211,4	492,7	2,414	2,5275	3,634	13,579	73,237	59,8	60,1	60,4	60,1	1098	1,096	1203,1	2,05
	8			1157,9	691,2	1160,0	468,8	2,470					59,9	60,0	60,1	60,0	1085	1,099	1198,6	3,87
	9			1178,8	713,5	1200,1	486,6	2,423					59,9	60,1	60,1	60,0	1092	1,099	1200,5	2,18
								2,436											1200,7	2,70
1,5%	10	4,820	4,60	1196,1	707,3	1198,4	491,1	2,436	2,5266	3,528	13,513	73,890	59,5	60,1	59,7	59,8	1095	1,106	1211,1	2,71
	11			1174,4	694,3	1177,0	482,7	2,433					59,7	60,4	60,4	60,2	1126	1,093	1230,7	3,41
	12			1196,8	709,2	1198,9	489,7	2,444					59,6	59,9	59,3	59,6	1139	1,112	1266,6	2,29
								2,437											1236,1	2,80
1,75%	13	4,820	4,60	1195,3	708,9	1196,1	487,2	2,453	2,5264	3,307	13,324	75,181	60,0	60,1	60,3	60,1	1121	1,096	1228,5	2,91
	14			1190,8	706,3	1192,2	485,9	2,451					60,5	60,6	61,3	60,8	1139	1,074	1223,3	2,51
	15			1178,7	695,2	1181,4	486,2	2,424					58,9	59,1	58,7	58,9	1125	1,134	1275,8	3,25
								2,443											1242,5	2,89
	Bitümün Özgül Ağırlığı (Gb)					1,030		Kaba Agreganın Özgül Ağırlığı (K%)				52,0	Kaba Agreganın Özgül Ağırlığı (Gk)				2,686			
Penetrasyon					50/70	İnce Agreganın Özgül Ağırlığı (I%)				42,0	İnce Agreganın Özgül Ağırlığı (Gi)				2,687					
Agreganın Bitüm Absorbsiyonu (Pba)					0,454	Fillerlerin Özgül Ağırlığı (F%)				6,0	Fillerlerin Özgül Ağırlığı (Gf)				2,725					
Karışımın Efektif Özgül Ağırlığı (Gef)					2,721	Karışımın Hacim Özgül Ağırlığı (Gsb)				2,689	Agrega Miktarı (gr.)				1150					



Şekil 5.20 Elvaloy® 4170 içeren modifiye karışım için stabilite değerleri

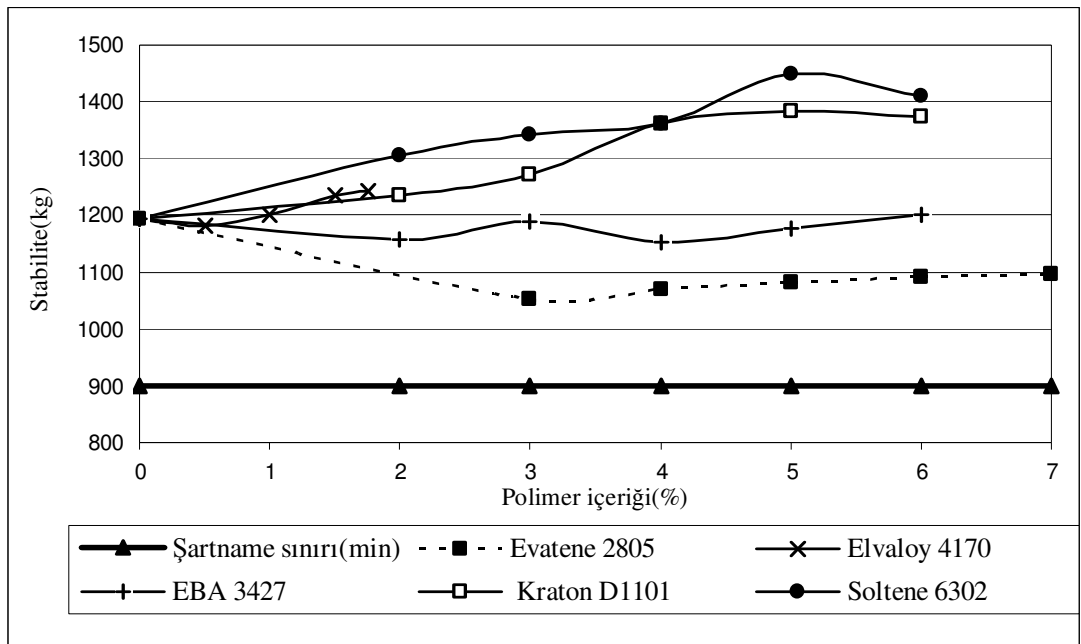


Şekil 5.21 Elvaloy® 4170 içeren modifiye karışım için akma, boşluk oranı ve mineral agregalar arası boşluk oranı değerleri

5.4 PMB Örnekleri ile Hazırlanan Karışımların Mekanik Özelliklerinin

Değerlendirilmesi

Bu bölümde elastomer grubuna ait SBS Kraton® D 1101 ve Soltane® 6302 ile plastomer grubuna ait Evatene® 2805, Elvaloy® 4170 ve Elvaloy® 3427 polimerler ile hazırlanmış olan PMB örnekleri ile üretilmiş sıcak karışımların mekanik özellikleri Marshall stabilite, akma ve hava boşluk oranları bakımından incelenecek ve yorumlanacaktır.



Şekil 5.22 Polimer modifiye BSK örneklerinin Marshall stabilite değerleri

Şekil 5.22’de farklı polimer oranlarındaki PMB’lerle hazırlanan sıcak karışımların stabilite değerleri verilmektedir. Şekilden de görüleceği üzere PMB örnekleri ile hazırlanan sıcak karışımların her birinin stabilite değeri, Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM)’nin Aşınma Tabakaları için belirlenen şartname minimum değerini (>900 kg) sağlamaktadır. Karışımındaki SBS Kraton® D 1101 ve Soltane® 6302 polimer içerikleri arttıkça, stabilite değerleri, kontrol numunelerine (modifiye edilmemiş) göre artış göstermiştir. Ancak, her iki elastomer için de %5 polimer içeriğinden sonra, stabilite değerlerinde düşüş gözlenmiştir. Bu nedenle stabilite değerleri açısından bakıldığında, Kraton® D 1101 ve Soltane® 6302 polimerleri ile

hazırlanmış modifiye bitümlü sıcak karışımlar için %5 polimer içeriği, optimum değer olarak düşünülebilir.

Elvaloy® 4170 polimeri katkısının karışımın stabilitesine etkisi yok denecek kadar azdır. Diğer taraftan, Elvaloy® 3427 ve Evatene® 2805 katkılı PMB'li sıcak karışım örneklerinin stabilite değerleri ise kontrol numunesinin altında değerler vermiştir. Bu yüzden, Elvaloy® 3427 ve Evatene® 2805 polimerlerinin özelliklerinin geleneksel yöntemler kullanılarak değerlendirilebilmesine karşın, adı geçen katkıların performansları, BSK özellikleri (Marshall stabilitesi) yönünden değerlendirilmesinin uygun olmadığı söylenebilir.

Ayrıca elde edilen stabilite değerleri ile polimer yüzdeleri, birbirine bağlı olarak incelenmiş ve regresyon analizleri sonucunda aşağıdaki bağıntılar elde edilmiştir:

$$St_{kraton} = -0,5036x^2 + 38,326x + 1183,2 \quad r = 0,92 \quad (5.1)$$

$$St_{Soltane} = -4,1524x^2 + 64,034x + 1192,3 \quad r = 0,97 \quad (5.2)$$

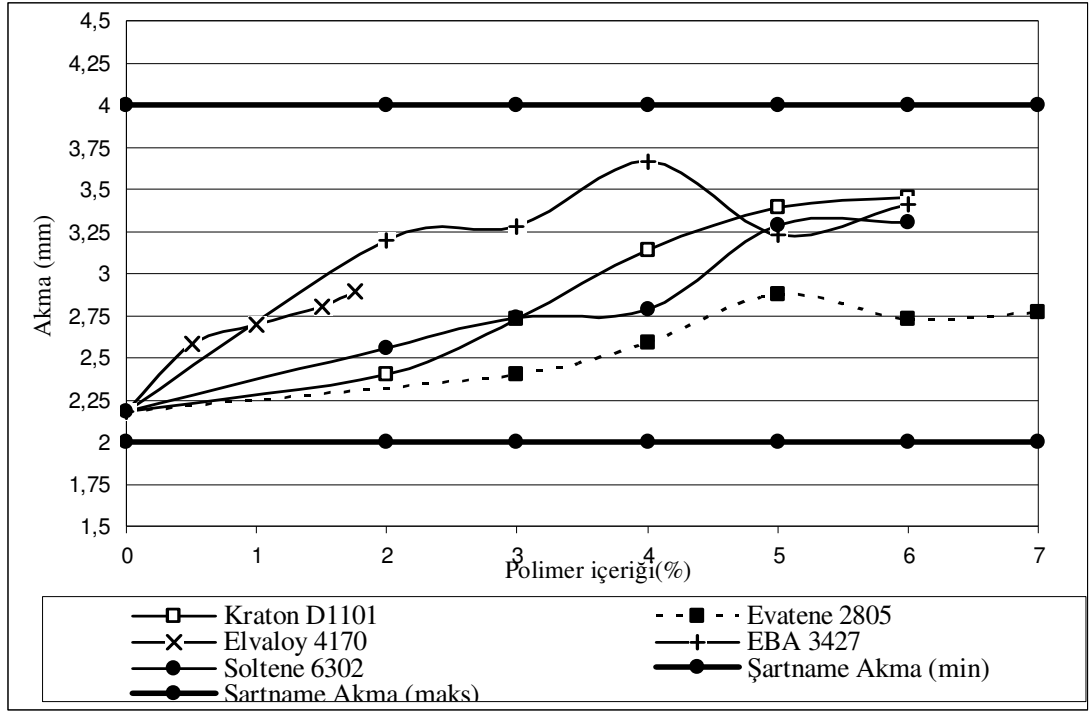
$$St_{Elvaloy4170} = 32,43x^2 - 24,402x + 1191,7 \quad r = 0,98 \quad (5.3)$$

$$St_{Elvaloy3427} = 3,5952x^2 - 20,871x + 1194,2 \quad r = 0,74 \quad (5.4)$$

$$St_{evatene} = 6,6143x^2 - 57,586x + 1189,3 \quad r = 0,97 \quad (5.5)$$

Burada x değerleri; polimer içeriklerini (%); St değerleri ise çeşitli polimerler ile hazırlanan asfalt betonuna ilişkin Marshall stabilite (kg) değerlerini belirtmektedir.

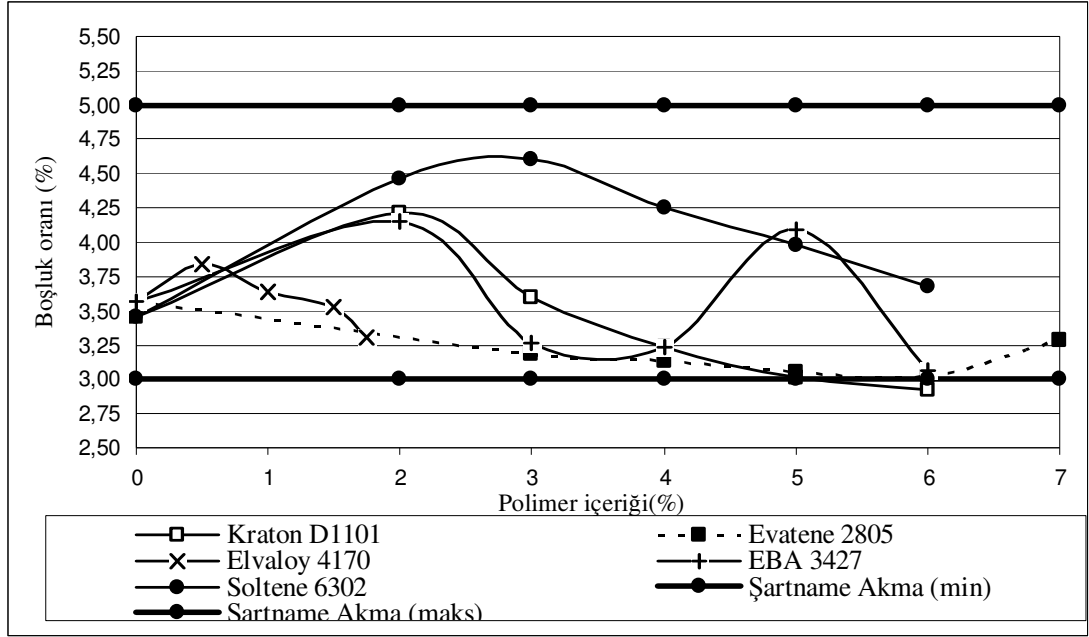
Elvaloy® 3427 polimeri dışında diğer polimer katkılarına ilişkin elde edilen bağıntılarda r (korelasyon katsayısı) değerinin 1'e yaklaşması, stabilite ve polimer yüzdeleri arasında yakın bir ilişki olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.23 Polimer modifiye BSK örneklerinin akma değerleri

Polimer modifiye bitümlerle hazırlanan sıcak karışımlar için bulunan akma değerleri Şekil 5.23’de verilmektedir. Yukarıdaki şekilden tez kapsamında kullanılan bütün polimerlerin akma değerlerinin, belirtilen şartname sınırları içinde kaldığı görülmektedir. Ayrıca elastomerlerle hazırlanmış polimer modifiye bitümlerin, diğer polimerlerle hazırlanmış modifiye bitümlere göre, polimer yüzdesi artışına bağlı olarak, daha üniform bir dağılım gösterdiği söylenebilir.

Şekilden de görülebileceği gibi, genel bir eğilim olarak polimer içerikleri arttıkça akma değerleri artmaktadır. Akma değerinin artması, BSK’ların daha yüksek şekil değiştirme kapasitesine sahip olduğu anlamına gelmektedir. Genelde yüksek bitüm oranı içeren BSK’ların, daha fazla plastik deformasyon gösterdiği, bu nedenle de kalıcı deformasyonlara karşı dayanımının düştüğü görüşü hakimdir. Ancak her ne kadar polimer modifiye BSK’ların optimum bitüm oranı, modifiye edilmemiş bitümlü karışımlara nazaran daha yüksek olsa da, modifiye edilmiş karışımların kalıcı deformasyonlara karşı daha dayanıklı oldukları bu konuda yapılan çalışmalarda ortaya çıkmıştır (Roberts F.L., Kandhal, P.S., Brown, E.R. ve Lee, D.Y 1991).



Şekil 5.24 Polimer modifiye BSK örneklerinin boşluk oranı değerleri

Polimerlerle modifiye edilmiş BSK'lar üzerinde uygulanan Marshall deneyi sonucunda elde edilen boşluk oranı değerleri Şekil 5.24'de verilmektedir.

Şekilden de görüleceği gibi tüm PMB örnekleri ile hazırlanan sıcak karışımların boşluk oranı değerleri, Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM)'nin Aşınma Tabakaları için belirlenen minimum (3 mm) ve maksimum (5 mm) Şartname değerlerini sağlamaktadır.

Buna göre, özellikle ağırlıkça %2 polimer içeriğinden sonra, polimer içeriği arttıkça boşluk oranlarında genel bir azalma gözlenmiştir.

5.5 PMB Örneklerinin Flüoresan Mikroskopu Kullanılarak Elde Edilen Görüntülerinin Morfolojik Özellikleri

Her bir polimer türü ve içeriği için elde edilen 100x büyütülmüş görüntülerin örnekleri Şekil 5.25-5.29'da verilmektedir. Görüntülerde beyaz olarak görünen bölümler polimeri, siyah bölümler ise bitümü göstermektedir.

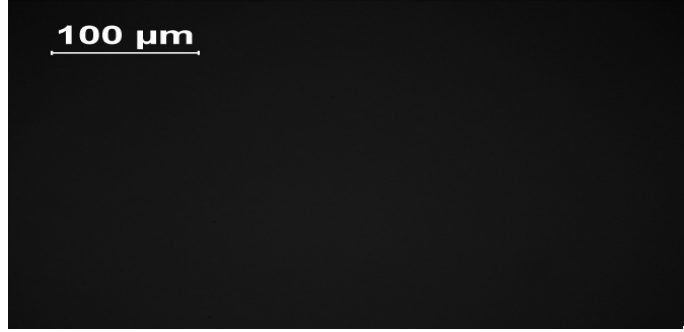
Görüntüler incelendiğinde; genel bir eğilim olarak polimer içeriği arttıkça, elastomer ve plastomer cinsi polimerlerin dağılımları artmaktadır. Bu durum, polimerlerin bitüm içindeki düşük molekül ağırlığına sahip maltenlerle birleşip büyümelerinden kaynaklanmaktadır. Böylece, modifiye bitümün özelliklerinde polimerlerin etkileri daha çok görülmektedir.

Düşük polimer içeriklerinde; polimerler bitüm içinde homojen bir şekilde dağılmış halde bulunmaktadır ve morfolojik olarak, bitüm sürekli fazı oluşturur. Bu nedenle, PMB'lerin özelliklerinin belirlenmesinde polimerin etkisi fazla olmamaktadır.

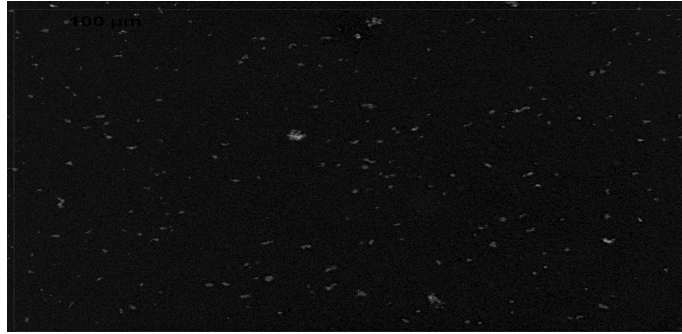
Yüksek polimer içeriklerinde polimer sürekli faz haline gelmektedir ve PMB örneklerinin ve karışımlarının reolojik ve mekanik özelliklerinde polimerin etkisi daha fazla olmaktadır.

Bazı PMB örneklerinde ise, hem polimerin hem de bitümün birbiri içinde dağılmış halde bulunduğu ara fazlar görülmektedir.

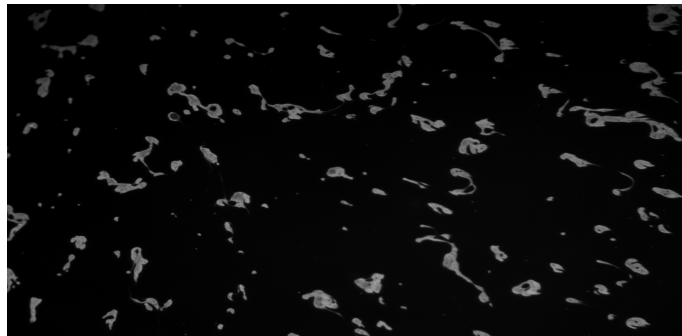
**5.5.1 SBS Kraton® D 1101 Polimeri ile Hazırlanmış PMB Örneklerinin
Fluoresan Mikroskobu Kullanılarak Elde Edilen Görüntüleri**



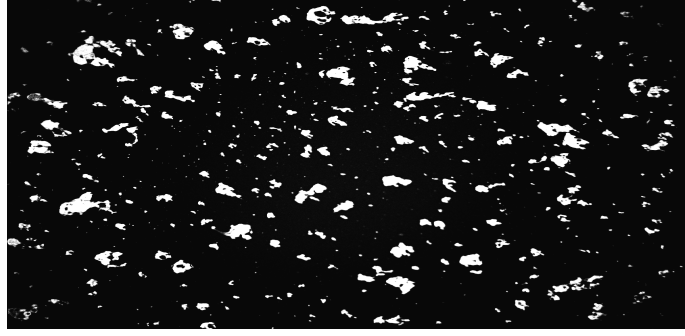
Şekil 5.25a) katkısız bitüm



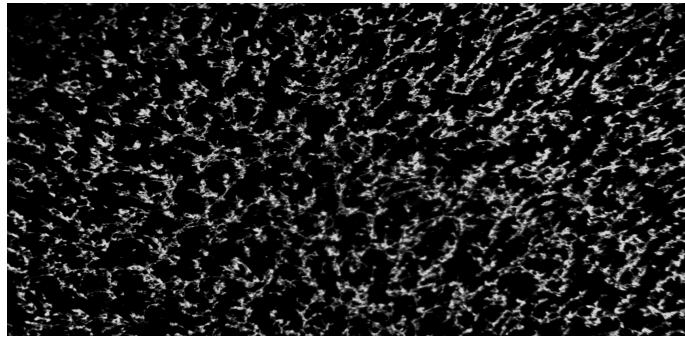
Şekil 5.25b) %2 SBS polimeri ile hazırlanmış bitüm
örneklerinin 100x büyütülmüş görüntüleri



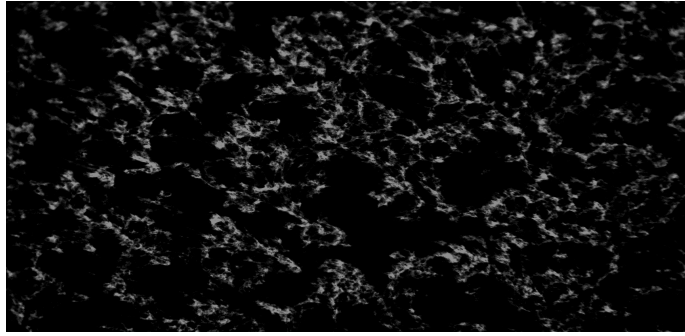
Şekil 5.25c) %3 SBS polimeri ile hazırlanmış bitüm
örneklerinin 100x büyütülmüş görüntüleri



Şekil 5.25d) %4 SBS polimeri ile hazırlanmış bitüm örneklerinin 100x büyütülmüş görüntüleri



Şekil 5.25e) %5 SBS polimeri ile hazırlanmış bitüm örneklerinin 100x büyütülmüş görüntüleri

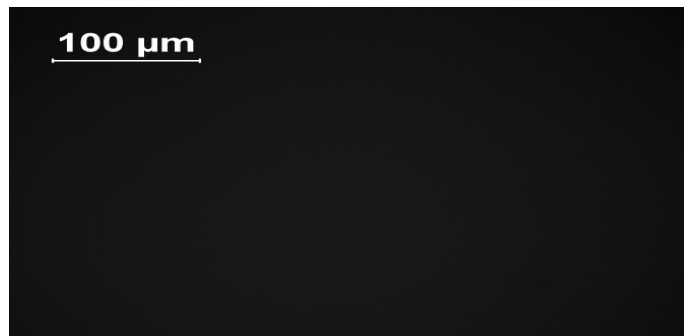


Şekil 5.25f) %6 SBS polimeri ile hazırlanmış bitüm örneklerinin 100x büyütülmüş görüntüleri

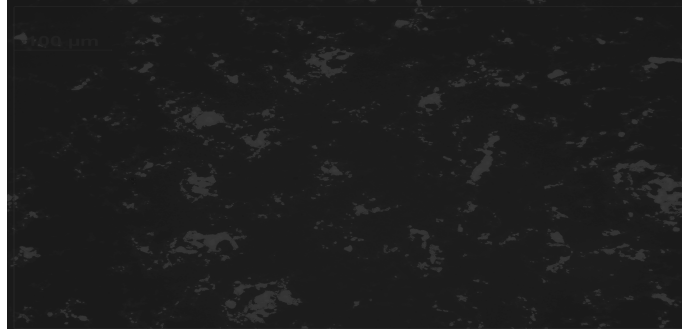
Şekil 5.25 a-f incelendiğinde, SBS Kraton® D 1101 içeriği arttıkça, polimerin bitüm içindeki dağılımlarında bir artış meydana gelmektedir. Bu durum da, PMB örneklerinde ve karışımlarında polimerin etkisini arttırmaktadır. Düşük polimer içeriklerinde (%5 ten küçük değerler), bitüm sürekli fazı oluşturmakta ve polimerler küçük tanecikler halinde bitüm içinde dağılmış bulunmaktadır. Yüksek polimer içeriklerinde ise (%5 ten büyük değerler) polimer sürekli fazı oluşturmaktadır.

%5 polimer içeren PMB örneğine ait görüntülerde, morfolojik olarak ağsı bir yapı ortaya çıktığı görülmektedir. Morfolojik yapıda görülen bu ağsı yapı, modifiye bitümün elastisitesinde (esnekliğinde) artış meydana getirmekle birlikte PMB'nin reolojik ve mekanik özelliklerini iyileştirmekte, esnek yol üst yapının kalıcı deformasyon (tekerlek izi) oluşumlarına karşı daha iyi performans göstermesini sağlamaktadır. Bu sebeple, özellikle kraton tipi elastomerlerle hazırlanmış PMB'lerin morfolojik yapılarında, ağsı bir yapının oluştuğu polimer yüzdesi, PMB için ideal bir yüzde olarak değerlendirilebilir. Benzer sonuçlar SBS Kraton® D 1101 modifiye bitümün geleneksel ve sıcak karışım içindeki mekanik özelliklerinden de elde edilmiştir.

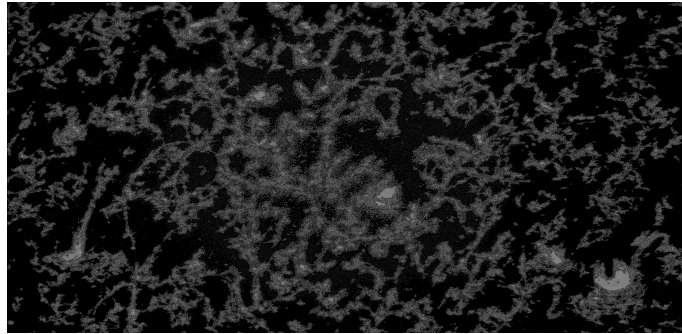
5.5.2 Soltene® 6302 Polimeri ile Hazırlanmış PMB Örneklerinin Fluoresan Mikroskobu Kullanılarak Elde Edilen Görüntüleri



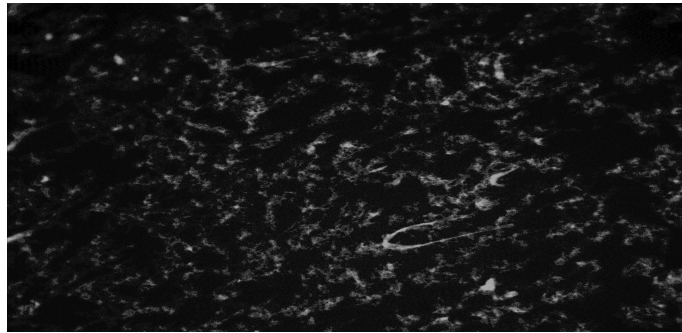
Şekil 5.26-a) katkısız bitüm



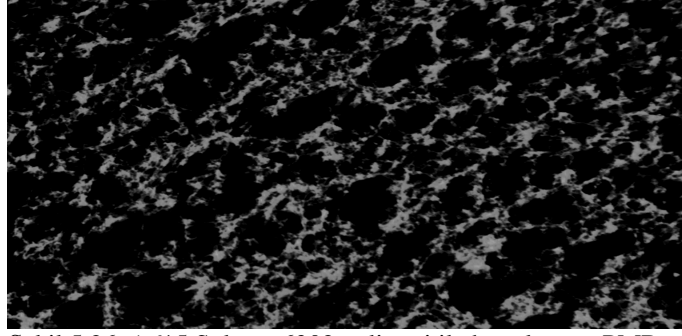
Şekil 5.26-b) %2 Soltene 6302 polimeri ile hazırlanmış PMB örneklerinin 100x büyütülmüş görüntüleri



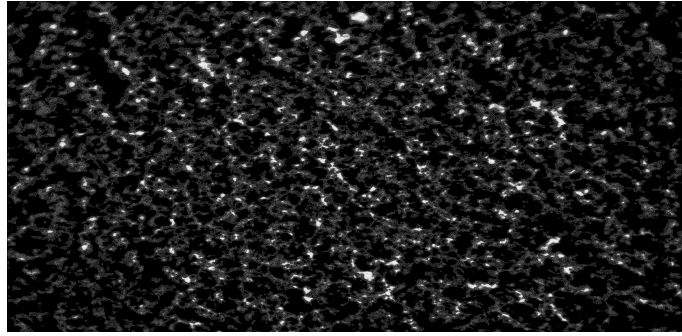
Şekil 5.26-c) %3 Soltene 6302 polimeri ile hazırlanmış PMB örneklerinin 100x büyütülmüş görüntüleri



Şekil 5.26-d) %4 Soltene 6302 polimeri ile hazırlanmış PMB örneklerinin 100x büyütülmüş görüntüleri



Şekil 5.26-e) %5 Soltene 6302 polimeri ile hazırlanmış PMB örneklerinin 100x büyütülmüş görüntüleri



Şekil 5.26-f) %6 Soltene 6302 polimeri ile hazırlanmış PMB örneklerinin 100x büyütülmüş görüntüleri

Şekil 5.26 a-f incelendiğinde, Soltene® 6302 polimerinin içeriği arttıkça, bitüm içindeki dağılımında bir artış meydana gelmektedir. Özellikle %3 polimer içeriğinden sonra (Şekil 5.26-d,e,f) ağsı bir yapının oluşmaya başladığı gözlenmektedir. Bu durum, PMB'ler ile BSK'lar üzerinde uygulanmış olan deneylerin sonuçlarında da ortaya çıkmaktadır. Örneğin stabilite değerleri, polimer içeriğine paralel olarak artış göstermekte ve %5 polimer içeriğinde en yüksek değere ulaşmaktadır.

Elastomerlerle modifiye edilmiş bitümlerin floresan mikroskobu yoluyla elde edilen görüntülerinde, ağsı yapının görüldüğü polimer içeriklerinin, PMB'lerin pek çok özelliğinde (penetrasyon, yumuşama noktası, stabilite vb.) polimerin etkisini en iyi şekilde gösterdiğini ortaya koymaktadır. Elde edilen görüntüler, SBS Kraton® D1101 polimerinden karşılaştırıldığı zaman benzer dağılımların meydana geldiği görülmektedir. Bu durum, incelenen iki farklı elastomerin PMB'li bağlayıcının morfolojik yapısına bir etkisi olmadığını göstermektedir.

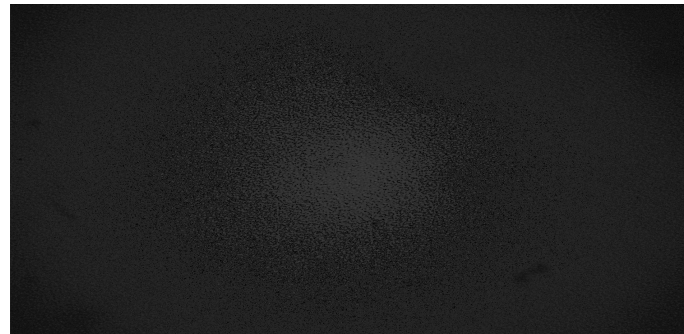
5.5.3 Evatene® 2805 Polimeri ile Hazırlanmış PMB Örneklerinin Fluoresan Mikroskobu Kullanılarak Elde Edilen Görüntüleri



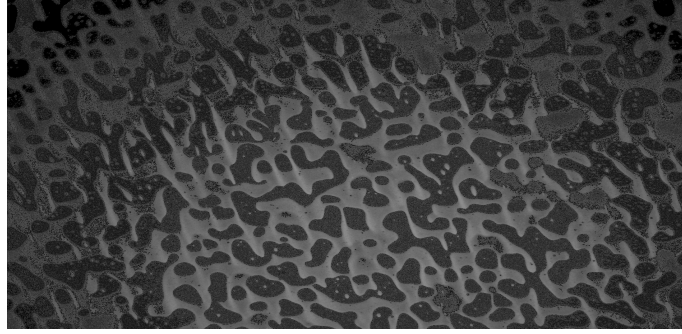
Şekil 5.27-a) katkısız bitüm



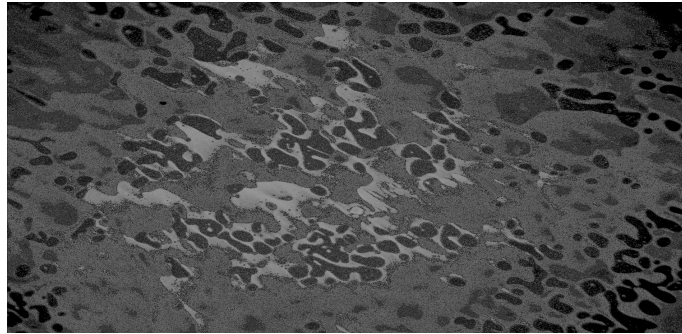
Şekil 5.27-b) %3 Evatene® 2805 polimeri ile hazırlanmış modifiye bitüm örneklerinin 100x büyütülmüş görüntüleri



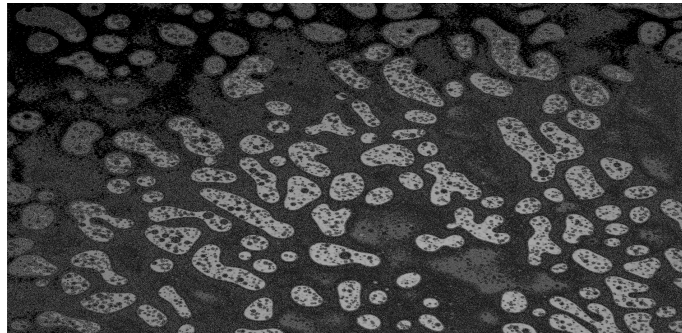
Şekil 5.27-c) %4 Evatene® 2805 polimeri ile hazırlanmış modifiye bitüm örneklerinin 100x büyütülmüş görüntüleri



Şekil 5.27-d) %5 Evatene® 2805 polimeri ile hazırlanmış modifiye bitüm örneklerinin 100x büyütülmüş görüntüleri



Şekil 5.27-e) %6 Evatene® 2805 polimeri ile hazırlanmış modifiye bitüm örneklerinin 100x büyütülmüş görüntüleri



Şekil 5.27-f) %7 Evatene® 2805 polimeri ile hazırlanmış modifiye bitüm örneklerinin 100x büyütülmüş görüntüleri

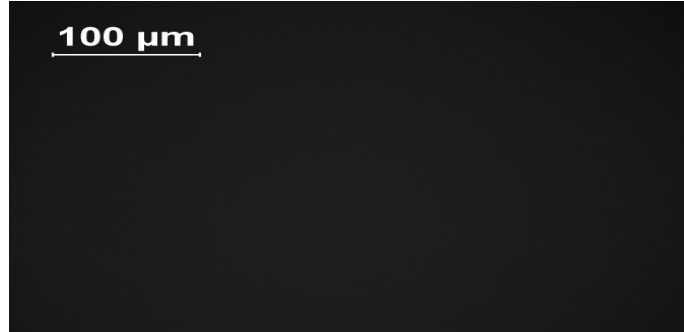
Evatene® 2805 polimeri ile modifiye edilmiş bitümlere ait 100x büyütülmüş görüntüler Şekil 5.27 a-f'de verilmiştir. Görüntüler incelendiğinde, %5 polimer içeriğine kadar bitümün sürekli fazı oluşturduğu gözlenmektedir. Bunun nedeni, polimer taneciklerinin seçilemeyecek kadar küçük boyutlarda kalması ve bitümlü bağlayıcı içinde homojen bir şekilde çözülmesi olarak yorumlanabilir. %5 polimer içeriğinde (Şekil 5.27-d), polimer ve bitümün birbiri içinde dağılarak ara fazı

oluşturduğu görülmektedir. %6 polimer içeriğinde (Şekil 5.27-e) ise, polimerin sürekli fazı oluşturduğu görülmektedir.

Evatene® 2805 polimerinden elde edilen görüntüler, diğer plastomer cinsi (Elvaloy® 4170 ve Elvaloy® 3427) polimerlerden elde edilen görüntüler ile karşılaştırıldığında, farklı dağılımların meydana geldiği görülmektedir. Bu durum, farklı plastomerlerin PMB'ün morfolojik yapısında etkili olduğunu ortaya koymaktadır.

%4 polimer içeriği ile hazırlanmış Evatene® 2805 ve Kraton® D 1101 örneklerin görüntüleri karşılaştırıldığında, Evatene® 2805 polimerinin bitüm içinde daha ince daneli bir dağılım gösterdiği söylenebilir.

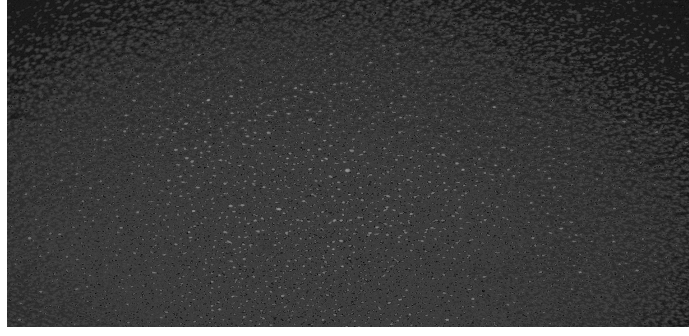
5.5.4 Elvaloy® 3427 Polimeri ile Hazırlanmış PMB Örneklerinin Fluoresan Mikroskobu Kullanılarak Elde Edilen Görüntüleri



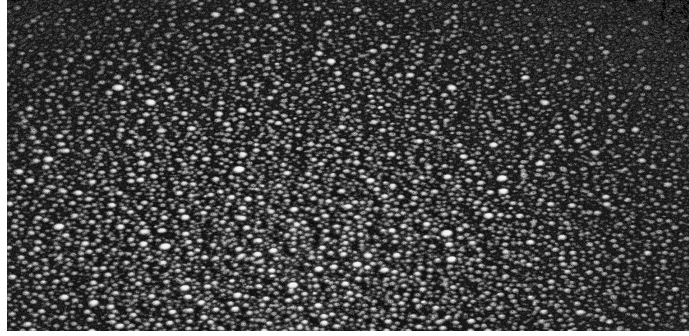
Şekil 5.28-a) katkısız bitüm



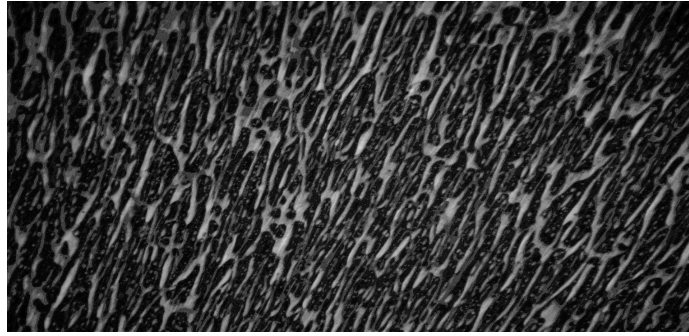
Şekil 5.28-b) %2 Elvaloy® 3427 polimeri ile hazırlanmış modifiye bitüm örneklerinin 100x büyütülmüş görüntüleri



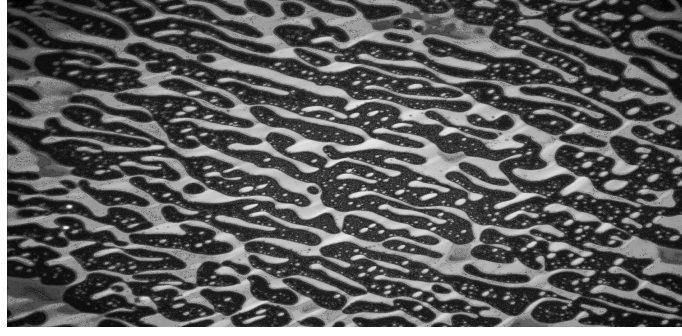
Şekil 5.28-c) %3 Elvaloy 3427® polimeri ile hazırlanmış
modifiye bitüm örneklerinin 100x büyütülmüş görüntüleri



Şekil 5.28-d) %4 Elvaloy 3427® polimeri ile hazırlanmış
modifiye bitüm örneklerinin 100x büyütülmüş görüntüleri



Şekil 5.28-e) %5 Elvaloy 3427® polimeri ile hazırlanmış
modifiye bitüm örneklerinin 100x büyütülmüş görüntüleri



Şekil 5.28-f) %6 Elvaloy 3427® polimeri ile hazırlanmış
modifiye bitüm örneklerinin 100x büyütülmüş görüntüleri

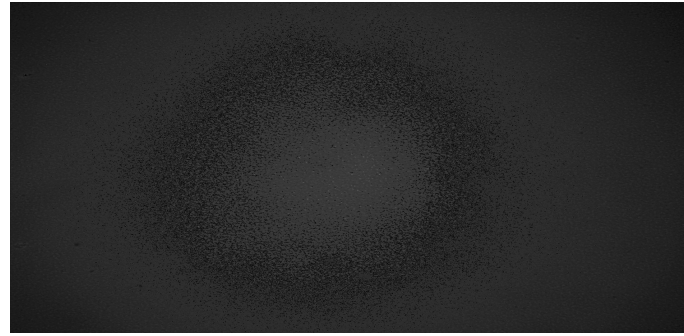
Elvaloy® 3427 polimeri ile hazırlanan modifiye bitüm örneklerinin görüntüleri Şekil 5.28 a-f’de verilmektedir. Elde edilen görüntülere göre, ağırlıkça %3 polimer içeriğinde (Şekil 5.28-c), polimerlerin tanecikli bir yapı oluşturarak bitüm içinde homojen bir şekilde dağıldığı görülmektedir. Ağırlıkça %4 polimer içeriğine (Şekil 5.28-d) kadar bitüm sürekli fazı gözlenmektedir. Diğer polimerlerden elde edilen görüntüler ile karşılaştırıldığında, %5 ve %6 polimer içeriklerinde (Şekil 5.28-e-f) ara faz olduğu söylenebilir.

Elvaloy® 3427 polimerine ilişkin görüntüler, SBS Kraton® D 1101’e ait görüntüler ile karşılaştırıldığında morfolojik olarak farklı yapıların ortaya çıktığı görülmektedir. Örneğin %5 içeriğinde hazırlanan her iki cins polimer modifiye bitüme ait görüntüler incelendiğinde, Kraton® D 1101’de ağsı yapı görülürken, Elvaloy® 3427’de şerit cinsi bir dağılım göze çarpmaktadır. Bu durum polimer cinsinin morfolojik yapı üzerinde etkisini ortaya koymaktadır.

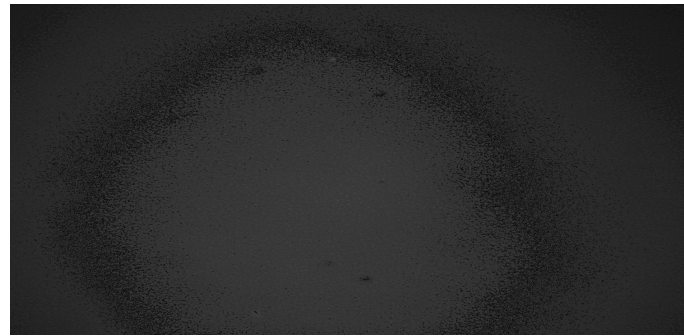
5.5.5 Elvaloy® 4170 Polimeri ile Hazırlanmış PMB Örneklerinin Fluoresan Mikroskobu Kullanılarak Elde Edilen Görüntüleri



Şekil 5.29-a) katkısız bitüm



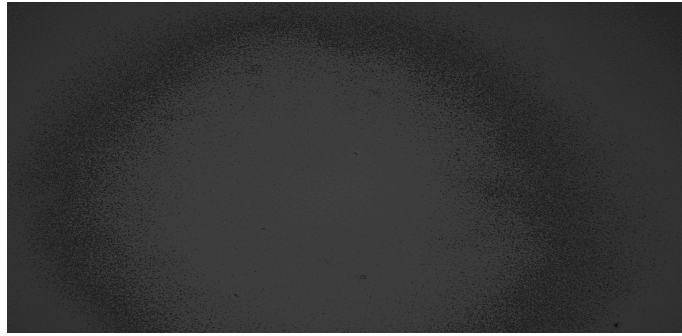
Şekil 5.29-b) %0,5 Elvaloy 4170® polimeri ile hazırlanmış modifiye bitüm örneklerinin 100x büyütülmüş görüntüleri



Şekil 5.29-c) %1,0 Elvaloy 4170® polimeri ile hazırlanmış modifiye bitüm örneklerinin 100x büyütülmüş görüntüleri



Şekil 5.29-d) %1,5 Elvaloy 4170® polimeri ile hazırlanmış modifiye bitüm örneklerinin 100x büyütülmüş görüntüleri



Şekil 5.29-e) %1,75 Elvaloy 4170® polimeri ile hazırlanmış modifiye bitüm örneklerinin 100x büyütülmüş görüntüleri

Şekil 5.29 a-e’de, Elvaloy® 4170 polimeri ile hazırlanmış modifiye bitüm örneklerinin görüntüleri verilmektedir. Mikroskopik görüntüler, Elvaloy® 4170 polimer içeriğindeki değişimin bitüm sürekli fazı değiştirmediğini göstermektedir. Bunun nedeni, (üretici firmanın -Du Pont- tavsiyesi doğrultusunda polimer modifiye içerikleri kullanılmasına rağmen) polimer içeriğinin, taneciklerin seçilemeyeceği kadar düşük değerlerde olmasındandır (en çok %1,75).

Adı geçen polimerin morfolojik yapısı hakkında, mikroskopik görüntülerden yeterli bilgi elde edilememesine rağmen, bitümlü bağlayıcının geleneksel özelliklerini iyileştirdiği ilgili bölümlerde (bkz. bölüm 5.1 Polimer Modifiye Bitüm Örneklerinin Geleneksel Özellikleri) ortaya çıkmıştır.

Sonuç olarak, Elvaloy® 4170 polimerinin performans üzerindeki etkileri, floresan mikroskobu yoluyla elde edilen görüntülerle değil, bitümlü bağlayıcı

üzerine yapılan penetrasyon, yumuşama noktası vb. geleneksel deneyler ile belirlenmesi gerektiği söylenebilir.

5.6 PMB Örneklerinin Flüoresan Mikroskop Kullanılarak Elde Edilen Görüntülerinin Q-win Analiz Programı ile Analizleri

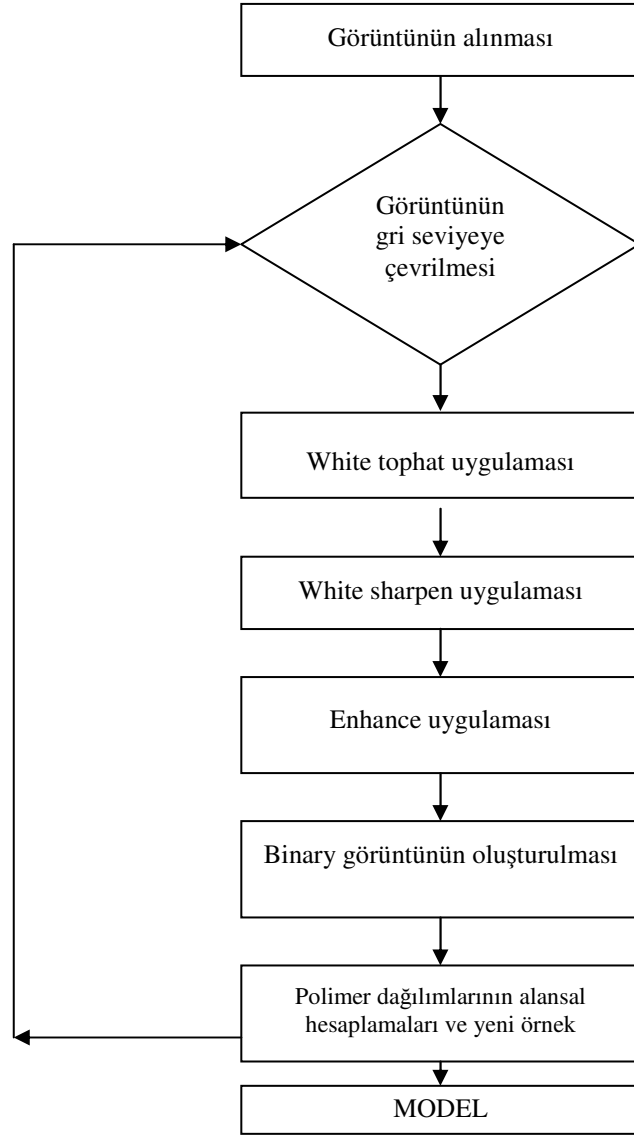
Tez kapsamında, polimer modifiye bitüm örneklerinin görüntüleri, fluoresan mikroskobu kullanılarak elde edilmiş ve Leica DFC 320 kamera yardımıyla bilgisayara aktarılmıştır. Görüntü işleme adımlarından önce elde edilen görüntüler, analiz işlemine kolaylık sağlaması amacıyla gri seviyeye (grey scale) dönüştürülmüştür.

Daha sonra görüntü işleme adımına geçilmiştir. Q-win Plus görüntü analiz programı içinde erosion-dilation; enhance-delineate, white tophat, black tophat, sharpen, vb. farklı görüntü işleme adımları bulunmaktadır. Bu görüntü işleme adımlarından white tophat, white sharpen ve enhance fonksiyonları, tez kapsamında sıklıkla kullanılan görüntü işleme adımlarındandır.

White tophat işlemi, arka plana göre daha beyaz olan kısımların net olarak belirlenebilmesi amacıyla, görüntünün belirlenen sayıda (cycle) açılarak, orijinal görüntüden çıkarılmasıdır.

White sharpen, görüntüdeki beyaz kısımları daha belirgin hale getirmek için, orijinal görüntüye white tophat işlemi uygulayarak, elde edilen görüntünün orijinal görüntüye eklenmesi işlemidir. Her iki işlem de özellikle modifiye bitüm örneklerine ait görüntülerin işlenmesi için en uygun fonksiyonlardır.

Enhance işlemi ise, görüntülerdeki polimer dağılımlarının sınırlarını belirginleştirmek amacıyla kullanılmaktadır. Şekil 5.30'da görüntü analiz adımlarını gösteren bir akış şeması görülmektedir.

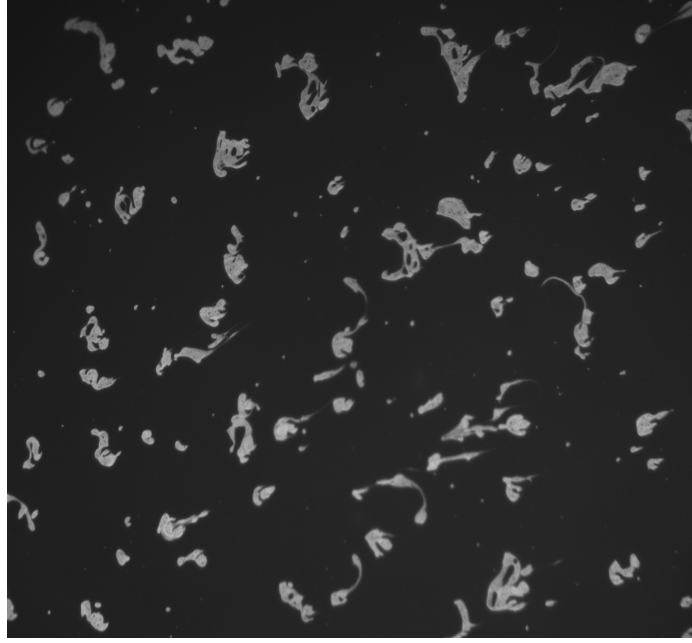


Şekil 5.30 Görüntü analizi akış şeması

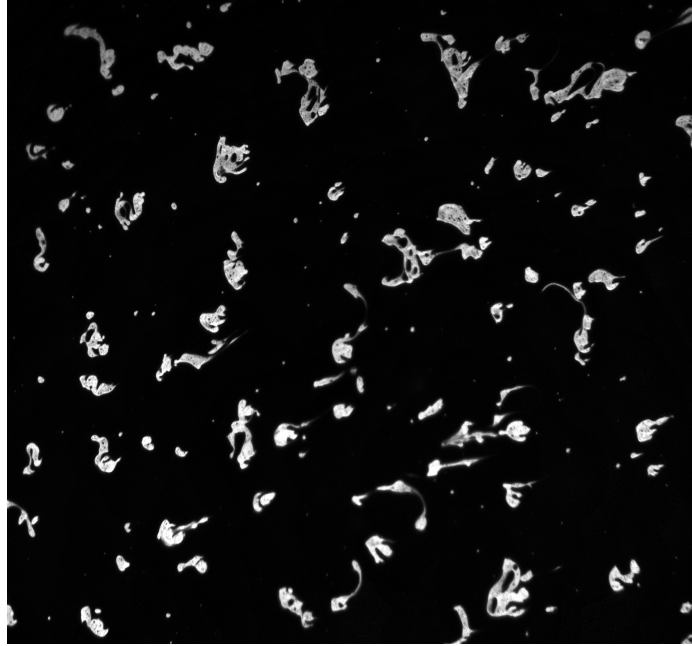
Analizlerin yapımından önceki son adım ise, ikili (binary) görüntülerin elde edilmesidir. Bunun için, görüntü işlemleri sonucunda elde edilen görüntü üzerinde, analizi yapılacak olan kısımlar belirlenir ve görüntü, analiz işlemine hazır hale getirilir.

Analiz sonuçları, bitümlü bağlayıcı içindeki polimer dağılımları (%) ile polimer içerikleri arasında bir ilişki (model) kurularak yorumlanacaktır.

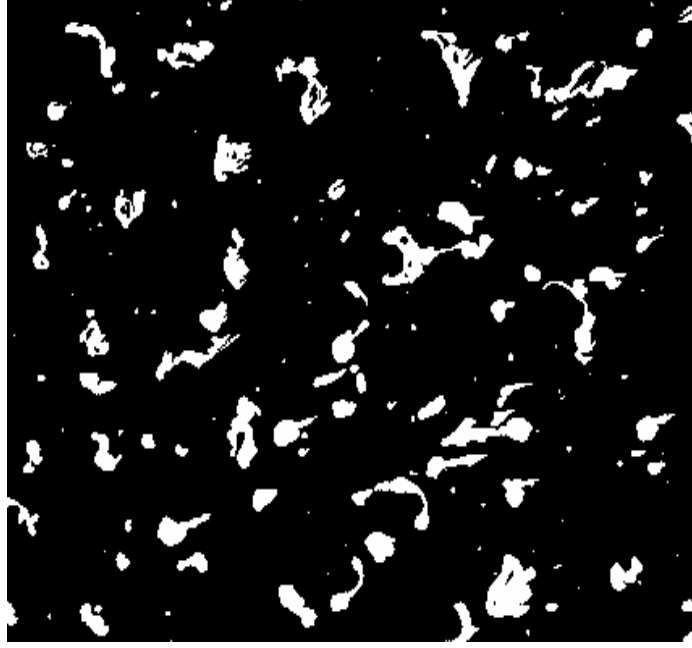
Yukarıda anlatılan adımların ışığında, Şekil 5.31-5.33’de görüntü analiz adımlarına ilişkin örnekler verilmiştir. Her bir polimer cinsi ve içeriği için benzer adımlar tekrarlandığı için aşağıdaki şekillerde yalnızca örnek olarak seçilen Kraton® D 1101 polimerine ait görüntüler verilmiştir.



Şekil 5.31 %3 Kraton® D 1101 polimeriyle modifiye edilmiş bitüm örneği (gri seviyede)



Şekil 5.32 White tophat + enhance uygulaması sonrası elde edilen görüntü (100 kademe)



Şekil 5.33 Binary hale getirilmiş örnek (beyaz seviyesi: 50)

Bir mikroskop tarafından görüntülenen küçük bir araştırma alanı, yapının bütününe kesin olarak temsil etmez. Bu nedenle, bulunan sonuçların güvenilirlik seviyesinin artması için çok sayıda örnek üzerinde çalışılması (analiz işlemleri) gerekmektedir. Polimer modifiye bitüm örneklerinden elde edilen görüntüler üzerinde uygulanan analiz işlemleri için aşağıdaki adımlar göz önüne alınmıştır.

- 1- Her bir polimer içeriğine ilişkin 30 adet görüntü alınmış ve her bir görüntüye ilişkin polimer dağılım yüzdeleri tespit edilmiştir.
- 2- Her polimer oranı için elde edilen dağılımların ortalama değerleri hesaplanmıştır.
- 3- Polimer oranına bağlı olarak elde edilen ortalama değerler üzerinden modeller oluşturulmuştur.

Burada dikkat edilmesi gereken nokta, oluşturulan modellerin üretici firmaların tavsiye ettikleri karışım oranları için geçerli olduğudur.

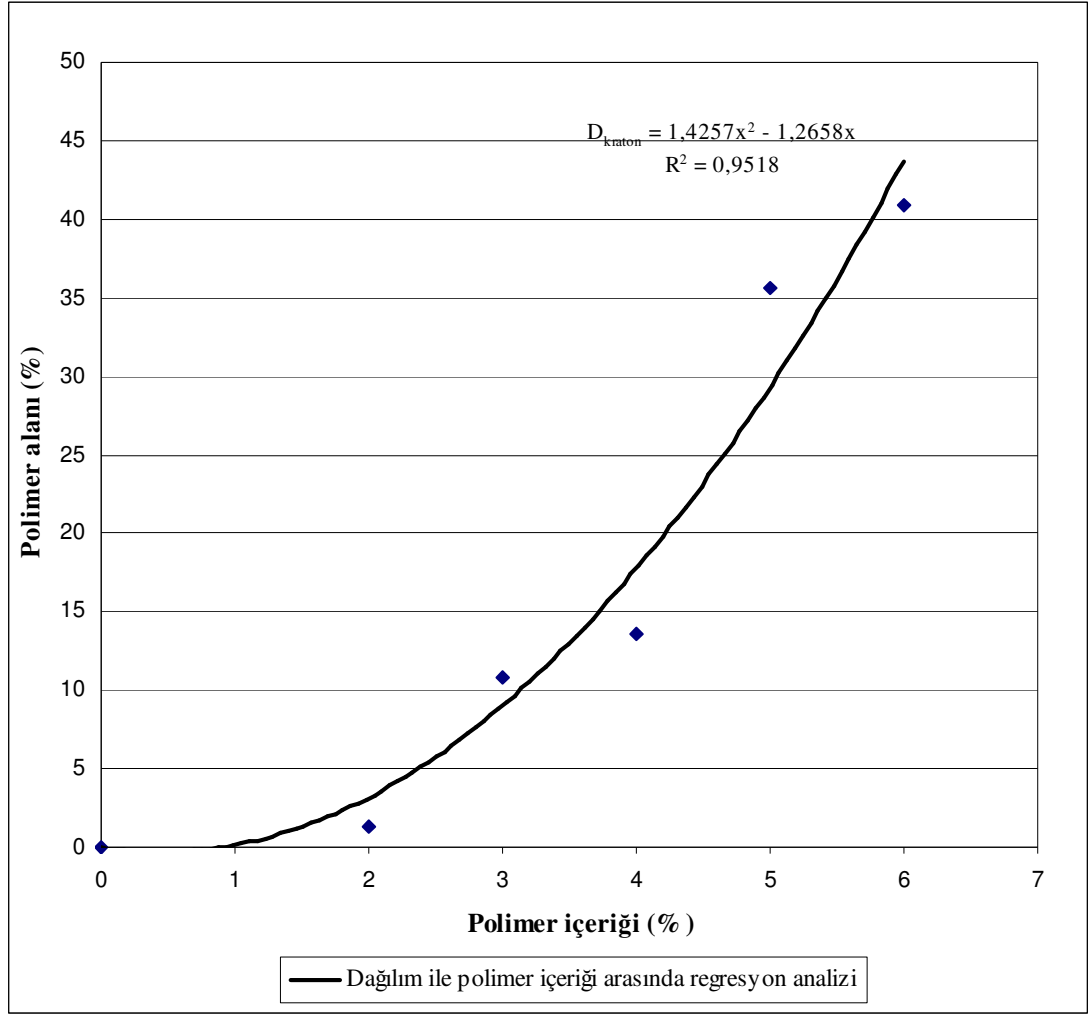
Elde edilen modeller, asfalt kaplaması yapımında bitümün özelliklerini iyileştirmek amacı ile bitümlü bağlayıcıya eklenen polimer içeriğinin istenilen oranda kullanılıp kullanılmadığına ilişkin kalite kontrol çalışmaları amacı ile üretilmiştir.

Bu amaçla, aşınma tabakasından alınan karot örneklerinden geri kazanılan polimer içeren bitümlü bağlayıcı üzerinde, görüntü alma, işleme ve analiz işlemleri ile polimer dağılımı belirlenebilecek, daha sonra da aşağıda üretilen modeller yardımı ile şantiyede uygun polimer içeriğinin kontrolü yapılabilecektir.

5.6.1 Kraton ®D 1101 Polimeri İle Hazırlanmış PMB Örneklerinin Dağılımına İlişkin Modelleme

Bu bölümde, SBS Kraton® D 1101 elastomeri ile hazırlanmış modifiye bitüm örneklerinin, floresan mikroskop yardımıyla elde edilen 100 kat büyütülmüş görüntülerinin analiz sonuçları ve bu sonuçların değerlendirilmesi yer almaktadır.

Her bir polimer içeriği için alınacak görüntü sayısı, analiz işlemleri sonuçlarının kabul edilebilir değerler verebilmesi açısından önem taşımaktadır. Bu nedenle, hazırlanan polimer modifiye bitüm örneklerinin farklı kesimlerinden ince kesit örnekleri alınmış ve bu ince kesit örneklerden de çok sayıda görüntü alınarak, daha önceki bölümde belirtilen adımlar yardımıyla analiz işlemleri gerçekleştirilmiştir. Görüntü analiz işlemleri sonucunda, her bir polimer içeriği için görüntülerdeki polimer dağılımını alanları hesaplanmış ve dağılım yüzdelerinin ortalamaları ile polimer içerikleri (%) arasında bir ilişki kurulmaya çalışılmıştır. Şekil 5.34’de elde edilen sonuçlar verilmektedir.



Şekil 5.34 SBS Kraton D 1101 polimeri ile hazırlanmış PMB örneklerinin görüntü analizi sonuçları

SBS Kraton® D 1101 polimeri ile hazırlanmış modifiye bitüm örneklerinin 100 kat büyütülmüş görüntülerinden elde edilen analiz sonuçlarına göre, polimerin içeriği arttıkça, bitümlü bağlayıcı içindeki dağılım yüzdesi de artış göstermektedir. Bu artış;

$$D_{\text{Kraton}} = 1,4257x^2 - 1,2658x \quad r=0,97 \quad (5.6)$$

denklemini ile ifade edilmiştir.

Burada;

D_{Kraton} = SBS Kraton® D1101 polimerinin dağılımını (%)

x = Polimer içeriğini (%)

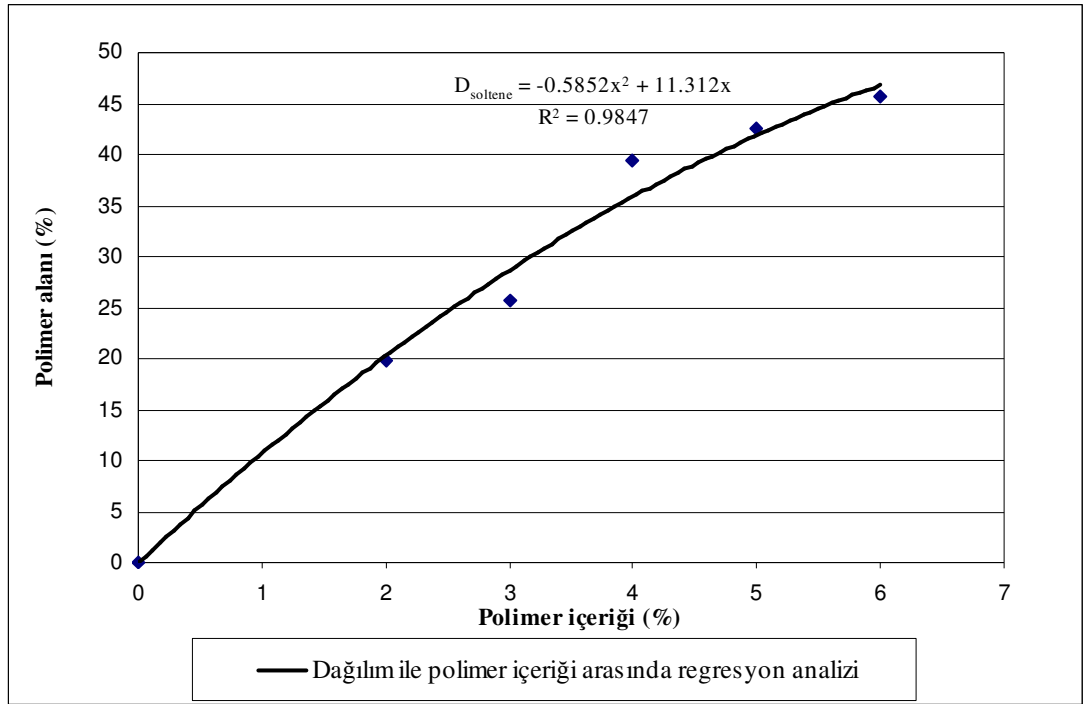
temsil etmektedir.

SBS Kraton D® 1101 polimerinin bitümlü bağlayıcı içindeki dağılımı ile polimer içeriğine ilişkin yukarıda verilen bağıntıda, r (korelasyon katsayısı) değerinin 1'e

yaklaşması, dağılım ve polimer içeriği arasındaki ilişkiyi ifade eden yukarıdaki modelin kabul edilebilir bir düzeyde olduğunu göstermektedir.

5.6.2 Soltane® 6302 Polimeri İle Hazırlanmış PMB Örneklerinin Dağılımına İlişkin Modelleme

Soltene® 6302 elastomeri ile hazırlanmış PMB örneklerinin, floresan mikroskop yardımıyla elde edilen 100 kat büyütülmüş görüntülerinin analiz sonuçları Şekil 5.35’de verilmektedir.



Şekil 5.35 Soltane® 6302 polimeri ile hazırlanmış PMB örneklerinin görüntü analizi sonuçları

Elde edilen analiz sonuçlarına göre, Soltane® 6302 polimerinin içeriği arttıkça, dağılım içindeki alanı da artmakta, ancak artış oranı giderek azalmaktadır. Bu durum, regresyon analizi sonucunda aşağıda verilen denklemlerle ifade edilmektedir:

$$D_{\text{Soltene}} = -0,5852x^2 + 11,312x \quad r=0,99 \quad (5.7)$$

Burada;

D_{Soltene} = Soltane® 6302 polimerinin dağılımını (%),

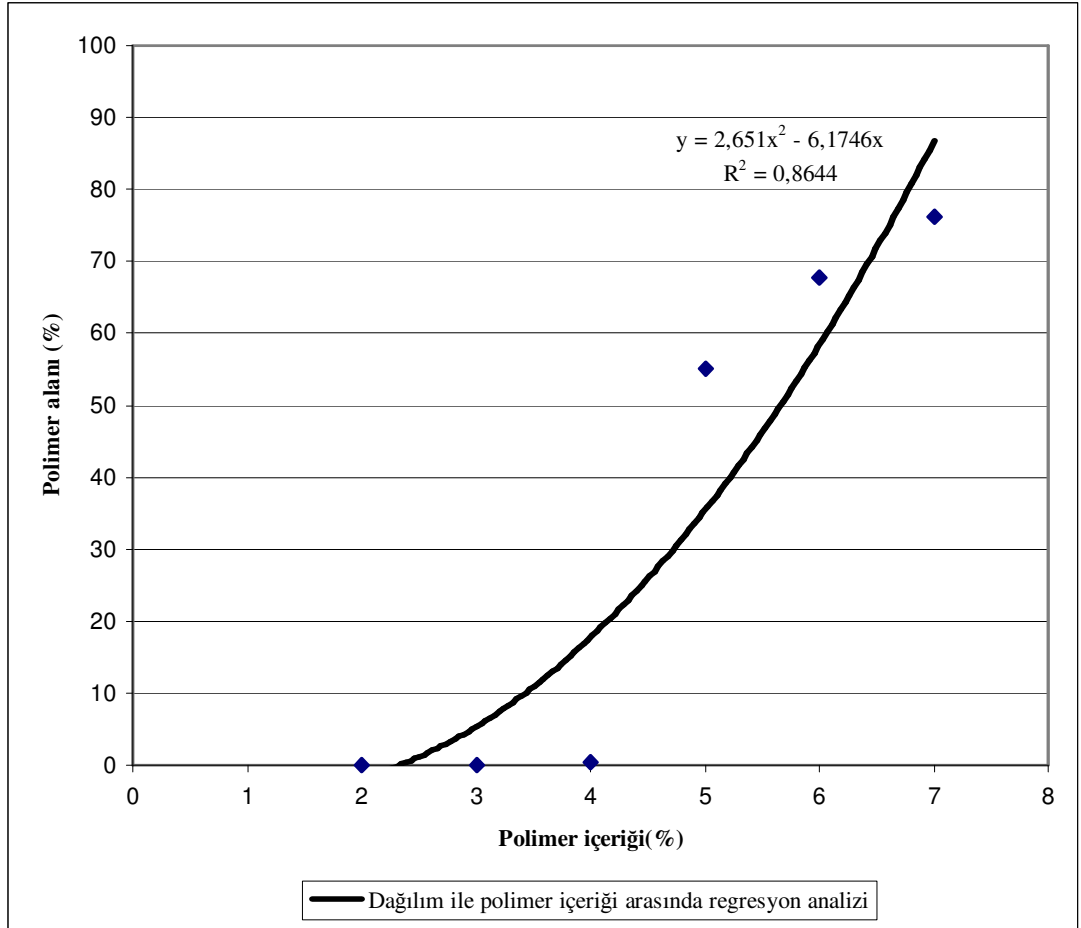
x = Polimer içeriğini (%),

temsil etmektedir.

Soltane® 6302 polimerinin bitümlü bağlayıcı içindeki dağılımı ile polimer içeriğine ilişkin yukarıda verilen bağıntıda, r (korelasyon katsayısı) değerinin 1'e yakın çıkması, dağılım ve polimer içeriği arasındaki ilişkiyi ifade eden yukarıdaki modelin kabul edilebilir bir düzeyde olduğunu göstermektedir.

5.6.3. Evatene® 2805 Polimeri İle Hazırlanmış PMB Örneklerinin Dağılımına İlişkin Modelleme

Evatene® 2805 elastomeri ile hazırlanmış PMB örneklerinin, floresan mikroskop yardımıyla elde edilen 100 kat büyütülmüş görüntülerinin analiz sonuçları Şekil 5.36'da verilmektedir.



Şekil 5.36 Evatene® 2805 polimeri ile hazırlanmış PMB örneklerinin görüntü analizi sonuçları

Elde edilen analiz sonuçlarına göre, Evatene® 2805 polimerinin içeriği arttıkça, dağılım içindeki alanı da artmakta, ancak artış oranı giderek azalmaktadır. Bu durum, regresyon analizi sonucunda aşağıda verilen denklemle ifade edilmektedir:

$$D_{\text{Evatene}} = 2,651x^2 - 6,1746x \quad r=0,93 \quad (5.8)$$

Burada;

D_{Evatene} = Evatene® 2805 polimerinin dağılımını (%),

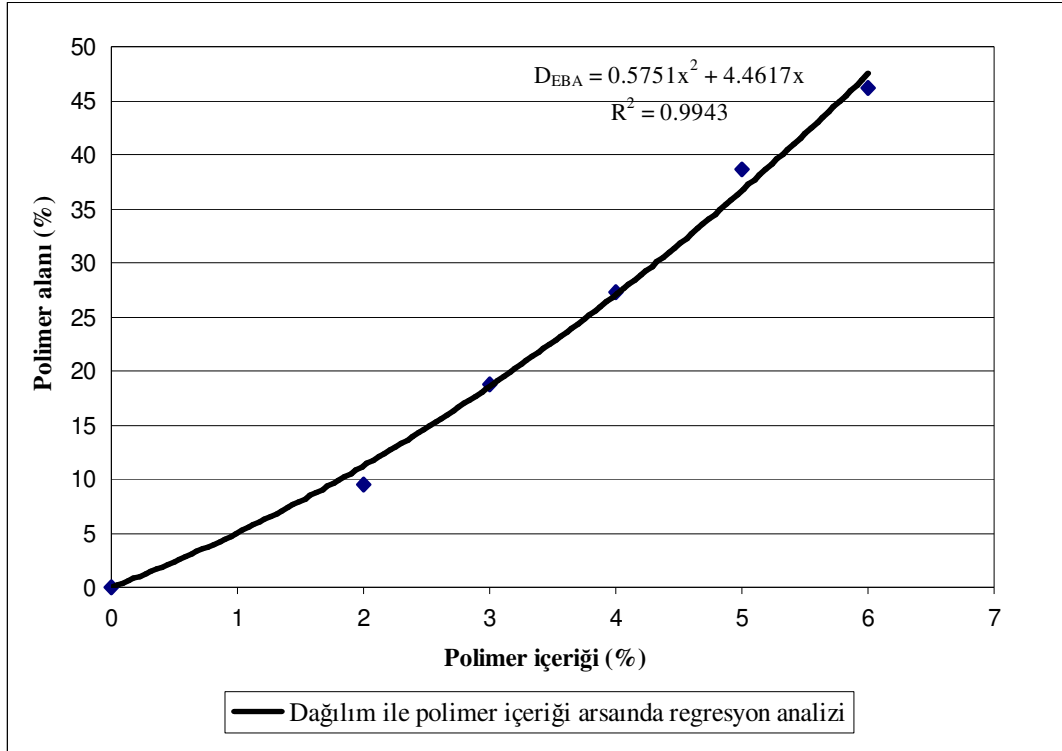
x = Polimer içeriğini (%),

temsil etmektedir.

Evatene® 2805 polimerinin bitümlü bağlayıcı içindeki dağılımı ile polimer içeriğine ilişkin yukarıda verilen bağıntıda, r (korelasyon katsayısı) değerinin 1'e yakın çıkması, dağılım ve polimer içeriği arasındaki ilişkiyi ifade eden yukarıdaki modelin kabul edilebilir bir düzeyde olduğunu göstermektedir.

5.6.4 Elvaloy® 3427 Polimeri İle Hazırlanmış PMB Örneklerinin Dağılımına İlişkin Modelleme

Elvaloy® 3427 plastomeri ile hazırlanmış PMB örneklerinin, floresan mikroskop yardımıyla elde edilen 100 kat büyütülmüş görüntülerinin analiz sonuçları Şekil 5.37'de verilmektedir.



Şekil 5.37 Elvaloy® 3427 polimeri ile hazırlanmış PMB örneklerinin görüntü analizi sonuçları

Elvaloy® 3427 polimeri ile hazırlanmış PMB örneklerinin 100 kat büyütülmüş görüntülerinden elde edilen analiz sonuçlarına göre, Kraton D 1101 polimeri ile hazırlanmış PMB görüntülerinin analiz sonuçlarına benzer olarak, polimer içeriği arttıkça, polimerin dağılımdaki yüzdesinin de arttığı gözlenmektedir. Bu artış;

$$D_{\text{Elvaloy}} = 0,5751x^2 + 4,4617x \quad r=0,99 \quad (5.9)$$

denklemini ile ifade edilmiştir.

Burada;

D_{Elvaloy} = EBA 3427 polimerinin dağılımını (%),

x = Polimer içeriğini (%),

temsil etmektedir.

5.6.5 Elvaloy® 4170 Polimeri ile Hazırlanmış Modifiye Bitüm Örneklerinin Dağılımına İlişkin Modelleme

Elvaloy® 4170 polimeri ile hazırlanmış modifiye bitüm örneklerine ait görüntüler, Bölüm 5.5.5' te verilmiştir.

Görüntüler incelendiğinde polimer içeriğinin, taneciklerin seçilemeyeceği kadar düşük değerlerde kalmasından dolayı, Elvaloy® 4170 polimeri ile modifiye edilmiş bitüm örnekleri için görüntü analizi yapılamamıştır.

BÖLÜM ALTI

SONUÇLAR

Polimer modifiye bitümlerin kullanımı, birçok ülkede olduğu gibi ülkemizde de yaygınlaşmaktadır. SBS kökenli elastomer sınıfı polimerler daha yaygın kullanılmaktadır. Bunu EVA kökenli plastomer sınıfı polimerler izlemektedir.

Bu amaçla SBS ve EVA kökenli farklı polimer tipleri ve içerikleri ile hazırlanan örnekler üzerinde geleneksel bitüm deneylerinin uygulanması, bu örnekler üzerinde flüoresan mikroskop kullanılarak morfolojik yapının ortaya çıkartılması, bu tezin ana hatlarını oluşturmuştur.

Geleneksel penetrasyon, yumuşama noktası, ince film halinde ısıtma deneyi, vb. ile Brookfield viskozite deneyi sonuçları PMB'lerin sertliklerinin (stiffness) arttığını ve sıcaklık değişimlerine karşı duyarlılıklarının azaldığını göstermiştir. Sertliğin artması, termal çatlaklara karşı duyarlılığın artması anlamına gelebilir ancak konu ile ilgili daha önce yapılan çalışmalar, polimerlerin özellikle esnek kaplamalarda görülen düşük sıcaklık çatlakları üzerinde önemli katkıları olmadığını göstermiştir. Tez kapsamında elde edilen veriler ışığında, geleneksel bitüm deneyleri, aynı tip bitüm ile üretilmiş elastomer ve plastomer bazlı PMB örneklerinin geleneksel özellikleri arasındaki farkları ortaya çıkarmıştır.

Tüm polimer modifiye bitüm katkıları ile hazırlanmış asfalt betonunun mekanik özellikleri incelendiğinde, stabilite, akma, boşluk oranı gibi belirlenen değerler Karayolları Genel Müdürlüğü Yollar Fenni Şartnamesi'nde aşınma tabakası için belirtilen şartname sınırlarını sağlamaktadır. Özellikle stabilite deneyi sonuçları, tez kapsamında kullanılan elastomer ile plastomer katkı türleri arasındaki farkları ortaya koymaktadır. Elvaloy® 3427 ve Evatene® 2805 katkıları ile hazırlanmış asfalt betonu örneklerinin stabilite değerleri, kontrol numunelerinininkinden daha düşük sonuçlar vermiştir. Bu durum, Elvaloy® 3427 ve Evatene® 2805 polimerlerinin özelliklerinin, mekanik yönden değerlendirilmelerinin uygun olmadığını göstermiştir. Ancak daha genelleştirilmiş bir sonuç elde edilebilmesi için farklı tip

katkısız bitüm ve polimer ile hazırlanmış asfalt betonu örnekleri üzerinde deneylerin uygulanması gerekmektedir.

Polimer modifiye bitümlerin morfolojik özellikleri polimerler ve bitümün karşılıklı etkileşimlerinin bir sonucu olarak ortaya çıkmakla birlikte büyük oranda polimer katkılarının yapısına ve içeriklerine bağlıdır. Bu tezde flüoresan mikroskop kullanılarak elastomer ve plastomer bazlı bitüm örneklerinin morfolojik yapıları bitüm sürekli faz, polimer sürekli faz ve ara faz şeklinde gruplandırılabilmiştir. Elvaloy® 4170 polimer haricindeki tüm modifiye bitüm örneklerinde; %5'ten daha düşük içeriklerde bitümün sürekli fazı oluşturduğu; %5'ten daha yüksek içeriklerde ise polimerlerin sürekli fazı oluşturduğu gözlenmiştir.

Tez kapsamında, görüntü işleme ve analiz yöntemleri sonucu belirlenen ve PMB örnekleri içindeki polimer dağılımını belirten modellerin, polimer katkıları kullanılarak inşa edilmiş esnek kaplamalarına ilişkin kalite kontrol uygulamalarında kullanılabileceği düşünülmektedir. Kalite kontrol uygulamaları; polimer modifiye bitüm içeren asfalt betonu tabakasından alınan karotlardan, polimer katkı içeren bitümün geri kazanılması ve yukarıda adı geçen yöntemler yardımı ile bu polimer örneğinin hangi polimer sınıfı ve içeriğine ait olduğunun belirlenmesi aşamalarını içermektedir.

Tez çalışmaları sonucunda elde edilen veriler, yalnızca bir çeşit agrega ve penetrasyon sınıfı bitüm kullanımı ile ilgili sonuçları kapsamaktadır. Bu konuda yapılan araştırmalar, polimer modifiye bitüm örneklerinin geleneksel ve morfolojik özellikleri ile bu örneklerle hazırlanan sıcak karışımların mekanik özelliklerinin hem agrega hem de bitüm özellikleri tarafından etkilendiğini göstermektedir. Bu nedenle, kaynağı farklı bitümlü bağlayıcı ve farklı minerolojik kökenli agrega ve gradasyon kullanılarak çalışma kapsamı geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

- Airey, G. D. (2002). Rheological evaluation of EVA polymer modified bitumen. *Journal of Construction and Building Materials*, 16, 473-487.
- Bull, A. L. ve Vonk, W. C. (1984). Thermoplastic rubber/bitumen blends for roof and road. *Shell Chemicals Technical Manual*, 8 (15).
- Chen, J., Liao, M. ve Shiah, M. (2002). Asphalt modified by SBS triblock copolymer morphology and model. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 14 (3), 224–229.
- Choquet, F. (1994). Polymers and modified binders. *Technical Note presented at Belgian Road Research Center*.
- Choyce, P. W. ve Woolley, K. G. (1988). EVA modified binders. *Highways*, 56, 18–34.
- Denning, J. H. ve Carswell, J. (1981). Improvements in road asphalt surfacings by the addition of organic polymers. *Transport and Road Research Laboratory Report*, 989.
- Hoban, T. W. S. (1987). Modified binders: An underexploited road maintenance tool. *Highways*, 1926 (55), 13-19.
- Hunter, F. M. (1994). *Bituminous mixtures in road construction*. Thomas Telford, Ltd.
- Lu X. ve Isacsson U. (1997). Characterization of SBS PMB-comparison of conventional methods and DMA. *Journal of Testing and Evaluation*, 383-390.

- Malkoç, G. (2002). *Yol üst yapılarında kullanılan modifiye asfaltlar ve modifiye bitüm şartnamesi*. KGM Teknik Araştırma Dairesi Teknik Not.
- Pratt, W. K. (2001). *Digital image processing: PIKS inside*. John Wiley & Sons, Inc., 3.
- Resinex. (2004). *Booklet on EVA polymer*. Resinex Company.
- Roberts, F.L., Kandhal, P.S., Brown, E.R. ve Lee, D.Y. (1991). Hot mix asphalt materials, mixture design and construction. *NAPA*.
- Shell. (1995). Kraton based polymers. *Shell Tech. Bulletin*.
- Topal, A. (2009). *Agregaların geometrik özelliklerinin belirlenmesine yönelik yeni görüntü analiz yöntemleri geliştirilmesi*. Fen bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi.
- Vonk, W.C. ve Gooswilligen, G. (1989). Improvement of paving grade bitumens with SBS polymers. *Proceeding of the Fourth Eurobitume Symposium*, 289–303.
- Whiteoak, D. ve Read, J. M. (2003). *The Shell bitumen handbook*. Thomas Telford Services Ltd.
- Woolley, G. (1986). Polymer modified bitumen for Eetra value asphalt. *Asphalt Technology*, 38, 45-51.