



Bitüm Modifikasyonda Atık Halı, Stiren Etilen Bütadien Stiren ve Elvaloy RET Kullanılarak Fiziksel Özelliklerin Geliştirilmesi

Improvement of Physical Properties by Using Waste Carpet, Styrene Ethylene Butadiene Styrene and Elvaloy RET in Bitumen Modification

Pelin Akgül Bayraktaroğlu , Seyfullah Keyf* 

Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Davutpaşa Kampüsü, Esenler, İstanbul, Türkiye

Öz

Bu çalışmada TUPRAŞ 50/70 penetrasyonlu orijinal bitüm modifiyesi için reaktif elastomerik terpolimer (Elvaloy RET) ve SEBS, atık halı polimerleri kullanılmıştır. Yumuşama noktası ve penetrasyon değeri polimer modifiye bitümün fiziksel özellikler geliştirilmesinde öncelikli parametrelerdir. 50/70 penetrasyonlu orijinal bitüm modifiye edildikten sonra, yumuşama noktası ve viskozitesi değerinin arttığı, penetrasyon değerinin ise azaldığı belirlenmiştir. Çalışmada geliştirilen polimer modifiye bitüm (CPMB); Türkiye Karayolları Polimer Modifiye Bitüm (TPMB) şartnamesinde yumuşama noktası ve penetrasyon değerlerine göre tanımlanmış 8 farklı polimer modifiye bitüm ile karşılaştırılmıştır. Polimer modifiye bitümün artımlı bileşimlerini (SEBS, atık halı ve Elvaloy RET) içeren 7. saatteki 15 numunenin tamamının penetrasyon değerlerinin, TPMB şartnamesinde tanımlı polimer modifiye bitüm değerlerinden yedi tanesini ve sekiz yumuşama noktası değerinin tamamını sağladığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Polimer modifiye bitüm, Penetrasyon, Yumuşama noktası, Viskozite

Abstract

In this study, reactive elastomeric terpolymer (Elvaloy RET) and SEBS, waste carpet polymers were used for the modification of original TUPRAŞ 50/70 penetration bitumen. Softening point and the penetration value are the primary parameters in the development of the physical properties of the polymer modified bitumen. After the 50/70 penetration original bitumen was modified, softening point and viscosity values were determined to increase whereas the penetration value was determined to decrease. Polymer modified bitumen (CPMB) developed in the present study was compared with 8 different polymer modified bitumen defined according to the softening point and penetration values indicated in the Turkish Highways Polymer Modified Bitumen (TPMB) specification. It was determined that the penetration values at the 7 th hour of all 15 samples containing the incremental compositions of polymer modified bitumen (SEBS, waste carpet and Elvaloy RET) of the present study provided seven of the polymer modified bitumen values and all eight softening point values in the TPMB specification.

Keywords: Polymer modified bitumen, Penetration, Softening point, Viscosity

1. Giriş

Trafik yoğunluğunun aşırı artmasıyla birlikte; ağır vasıtaların fazlalığı, yeni aks tasarımları ve lastiklerin basınçları dik-kate alındığında karayollarının uzun süre dayanıklılığı için asfaltın mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesini zorunlu

kılmaktadır. Bitüm modifiyesinde kullanılan polimerler, kimyasal yapıları ve özelliklerine göre temel olarak üç ana gruba ayrılır: elastomer, plastomer ve reaktif polimer (Zhu vd. 2014).

Genel olarak polimerler, (1) disperse , (2) reaksiyona girmiş sistemler olarak görülebilir. Disperse sistemler en yaygın olanları olmakla birlikte (EVA, neopren, SEBS: stiren etilen bütadien stiren, SBR ve PE: polietilen), polimerlerden bazıları bir polimer ağı oluşturur, ancak bitümden ayrı bir faz oluşturdukları zaman içinde tespit edildi (Yıldırım 2007). Dispers sistemlerin aksine, reaksiyona giren polimerler o kadar yaygın değildir (Elvaloy® 4170) ancak polimer ile as-

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: keyf@yildiz.edu.tr

Pelin Akgül Bayraktaroğlu  orcid.org/0000-0003-0299-8671
Seyfullah Keyf  orcid.org/0000-0001-8846-0674



falt çimentosu arasında kimyasal bir reaksiyonun meydana gelmesi ile karakterize edilir (Witczak vd. 1995).

Polimer modifiye bitümde önemi gittikçe artan reaktif polimer Elvaloy RET polimerleri tipik olarak etilen, glisidil-metakrilat (GMA) ve metil, etil veya butil akrilat gibi bir ester grubunu içerir. RET'nin benzersiz bir özelliği, moleküller arasında kovalent bağlar kurarak bir bitümdeki reaktif bileşene kimyasal olarak bağlanmasıdır. Yüksek sıcaklıklarda elastik özelliğini artırır (Jasso vd. 2015). RET polimerleri düşük yüzdelerde (ağırlıkça %1.5-2.5 arasında) kullanılır, çünkü daha yüksek bileşimde çözünmeyen ve erimeyen bir asfalt ağı oluşumuna yol açar (Harold vd. 1995). Bulatoviç et al. reaktif fonksiyonel grupların (GMA'lar) farklı yüzdelerini içeren RET polimerleri ile modifiye edilen bitümler elde edilir. Ağırlıkça %1.9 RET kullanımı; asfalt ağı oluşum sınır değeri (asfalt karışımının akışkanlık viskozitesi) şartlarında bitüm elastikiyeti ve tekerlek izi direnci değerleri dikkate alınır (Bulatovic vd. 2014).

Luo ve arkadaşları bitüme EVA ve EVA-g-MAH polimerlerini katarak polimer modifiye bitüm elde etmişlerdir. EVA-g-MAH ile modifiye edilen bitümün düşük ısı duyarlılığı olduğunu ve kalıcı deformasyona dayanıklılığı arttığını belirtmişlerdir (Luo vd. 2011).

Metli; %2, %3, %4, %5 ve %6 oranlarda ağırlıkça SBS bazlı polimerle saf bitümü modifiye etmişlerdir. Deney sonuçlarına göre, SBS ilavesi bitümün viskozitesini ve yapışkanlığını, yük altında dayanımını, yüksek sıcaklığa dayanıklılığını ve yaşlanmaya karşı direncini artırarak bitümün mühendislik özelliklerinin iyileştirdiğini belirtmiştir (Metli 2007).

Polimer modifiye bitümde adhezyon özelliğini geliştirmek için, Kütlece %2'lik epoksi reçinesi bitüm kıvamınlığını artırıp, adhezyon özelliğini geliştirip, çatlak ve soyulma direncinin arttırdığı tespit edilmiştir. Ayrıca kütlece %2'lik fenol-formaldehit ilavesi, epoksi reçine ilavesiyle benzer sonuçlar vermiştir (Çubuk 2007).

Saf bitümün RET modifikasyonunun yüksek sıcaklık özelliklerini önemli ölçüde iyileştirir, orta ve düşük sıcaklık özelliklerinin ise temel bitüme benzerlik gösterir. RET'in modifikasyonu, yorulma direncini artırır, yaşlanma direncini geliştirir (Holleran vd. 2022). Farklı elastomer olarak Stiren-etilen-bütadien-stiren kopolimer (SEBS) saf bitümün fiziksel özelliklerindeki geliştirmek için ortaya çıkmıştır. Bitümün yaşlanması, asfalt kaplamaların dayanıklılığının azalmasının önemli bir nedenidir. Bu nedenle, malzemenin dayanıklılığını artırmak için polimer modifiye bitümlerde tercih edilir. SEBS polimerinin kullanımının, fiziksel

ve reolojik özellikleri üzerindeki yaşlanma etkisini azalttığı bilinmektedir (Djaffar vd. 2016). Stiren-etilen-bütadien-stiren kopolimer (SEBS)/organ-montmorillonit (OMMT) modifiye asfaltın fiziksel özellikleri; SEBS'nin hem yüksek hem de düşük sıcaklık performansını önemli ölçüde arttırabileceği, ancak SEBS ve asfalt arasındaki zayıf uyum nedeniyle, modifiye asfaltın sıcak depolanması sırasında ciddi faz ayrımı istenmeyen durum olarak gerçekleşir (Yunbin vd. 2022).

Son zamanlarda literatürde polimer modifiye bitüm çalışmalarında özellikle elvaloy RET'in önemi artmaktadır. Bu çalışmamızda, SEBS elastomer, atık halı (ATH) plastomer, Elvaloy RET reaktif terpolimer olmak üzere 3 farklı bitüm modifiyeri kullanılarak birbiriyle etkileşim sonuçları verilmiştir. Türkiye karayollarında kullanılan polimer modifiye bitüm (TPMB) teknik şartnamesindeki penetrasyon, yumuşama noktası değerleriyle Çalışılan 3 farklı polimer katkılı modifiye bitümlerin (ÇPMB) yumuşama noktası ve penetrasyon değerleriyle karşılaştırılmıştır.

1.1. Bitüm Performans Testlerinde En Önemli Parametreler

Yol kaplamasının dayanıklılığına önemli derecede etkisi olan modifiye bitümün özellikleri Yumuşama noktası (TS 120 EN 1427), Penetrasyon (TS 118 EN 1426) ve Viskozite (ASTM D 4402-87) test methodları ile ölçülebilmektedir (Yüknü vd. 2021).

Polimer modifiye bitüm, yol yapım çalışmalarında asfaltın mühendislik özelliğini arttırmak (çatlakları geciktirmek, yorulma direncini arttırmak, viskoelastik özelliği geliştirmek, kayma direnci yüksek kaplama, düşük sıcaklıkta yüksek mukavemet) amacıyla çeşitli polimerler ve katkılar belirli oranlarda karıştırılması olarak tanımlanmaktadır (Malkoç vd. 2002, Hunter vd. 1994, Choquet vd. 1994, Ertekin vd. 2003).

Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) tarafından tanımlanan, Türkiye karayollarında kullanılmakta olan bitüm sınıfları Çizelge 1'de Türkiye karayolları polimer modifiye bitüm (TPMB) teknik şartnamesi Çizelge 2'de verilmiştir.

2. Gereç ve Yöntemler

Saf bitüm, SEBS, atık halı(ATH) ile fiziksel karışım ve Elvaloy RET ile reaksiyona girerek modifiye edilmiştir. Sonuçların incelenmesi için modifiye edilmiş bitüme yumuşama noktası, viskozite ve penetrasyon, testleri uygulanmıştır. Orijinal bitüm, SEBS%1, ATH %1 ve Elvaloy RET %2 bileşimde SEM resimleri çekilmiştir.

Çizelge 1. Türkiye karayollarında kullanılan bitüm sınıfları (KGM, 2013).

Sıra No	Standartı	Deney Adı	Bitüm Sınıfları				
			B 40/60	B 50/70	B 70/100	B 100/150	B 160/220
1	TS 118 EN 1426	Penetrasyon, (25°C) 0,1 mm	40-60	50-70	70-100	100-150	160-220
2	TS 120 EN 1427	Yumuşama Noktası, °C	48-56	46-54	43-51	39-47	35-43

Çizelge 2. Türkiye karayollarında kullanılan polimer modifiye bitüm (TPMB) teknik şartnamesi (Sağlık vd. 2012).

Deney adı	Birim	TSE	TPMB 64-28	TPMB 70-16	TPMB 70-22	TPMB 70-28	TPMB 76-16	TPMB 76-22	TPMB 78-28	TPMB 82-16
Penetrasyon (25°C,100g, 5sn)	0.1mm	TSEN 1426	50-90	30-70	30-90	30-90	20-60	20-70	20-70	10-50
Yumuşama noktası min. °C	°C	TSEN 1427	52	62	62	62	67	67	67	70

2.1. Bitüm Modifiyesinde Kullanılan Polimerler

2.1.1. Elvaloy RET

Elvaloy RET, içerisinde Etilen/ Glisid/Akrilat kimyasal bileşimli reaktif terpolimerdir. Dupont firması özellikle ürettiği Elvaloy RET polimer bitüm modifikasyonundaki fiziksel özellikleri geliştirmek için tasarlanmıştır. Şekil 1'de Elvaloy RET'in reaksiyon veren yapısı ve Çizelge 3'de kimyasal bileşim gösterilmiştir (Keyf , 2010).

Çizelge 3. Elvaloy RET'in kimyasal bileşimi.

Malzeme	Kütlice %'si
Etilen akrilat kopolimer	>99
Glisid metaakrilat	<0.4
n-bütül akrilat	<0.4
Düzenlenmemiş katkıları	<1

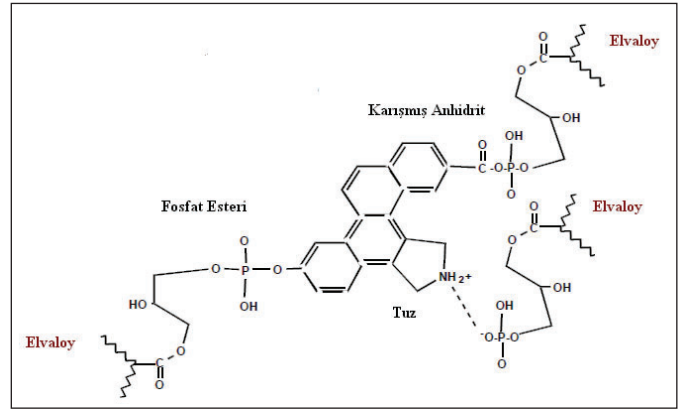
Elvaloy RET; bütül, etilen akrilat ve glisid metakrilatı (gMA, orijinal bitüm ile ısıyla reaksiyon veren yapı) içeren bir terpolimerdir. Elvaloy RET bitüm molekülüyle aşağıdaki şekildeki gibi süper polifosforik asit katalizör etkisiyle kovalent bağ oluşturduğu kabul edilmiştir.

2.1.2. Süper Polifosforik Asit (SPFA)

Süper polifosforik asit katalizörü genel formülü $n > 1$ için $H_{n+2}P_nO_{3n+1}$ 'dir ve Elvaloy RET' in bitümdeki asfaltenik asitlerle reaksiyonu hızlandıracak katalizör olarak % 105 lik süper polifosforik asit kullanılır (Keyf 2010).

2.1.3. Atık Halı (ATH)

Deneyel çalışmada SAMUR marka halıfleks halı atıkları



Şekil 1. Bitümün Elvaloy RET ile reaksiyonu (Keyf 2010).

kullanıldı. Atık hali kıvrımlı tüylenmiş lifler formunda ortalama 1 mm kalınlık 1.1 cm boyunda kesilmiştir. Atık halı bileşimi; %52 erime noktası 220°C olan poliamid 6, %25 kalsit, %10 erime noktası 215°C stiren bütadien kauçuk, %15 erime noktası 260-270 °C olan selüloz içeren jut (ku- maş) içermektedir.

2.1.4. Stiren Etilen Bütülen Stiren (SEBS)

SEBS (Kraton G 1701) stirenik blok kopolimer bazlı termoplastik elastomerdır (Kraton 2022).

2.1.5. Deneyin Yapılışı

TUPRAŞ 50/70 penetrasyonlu bitümden 3.8 kg tartılır, 195 °C'ye kadar ısıtılır ve 120 devir/dk hızla karıştırılır. SEBS ve atık halının bitümle fiziksel karışmasıyla bitüm modifiye edilmiştir. Daha sonra ilave edilen Elvaloy RET'in kimyasal reaksiyon ilavesiyle çalışma polimer modifiye bitüm (ÇPMB) için numuneler 1., 3., 4., 5., 6. ve 7. saatlerde 200 gram olacak şekilde alınmıştır.

Başlama Zamanı (0.saat): 195 °C'de saf bitüme, yüzdesi belli olan SEBS katılır.

1.Saat: 1 saat boyunca SEBS ile karışmış 1.saat örnek numune alınır. Sonra yüzdesi belli atık halı (ATH) ilave edilir.

3. Saat: 2 saat boyunca saf bitüm, SEBS ve ATH aynı sıcaklıkta karıştırılır. 3. saat örnek numune alındıktan sonra yüzdesi belli Elvaloy RET ve %0,2 oranında süper polifosforik asit (SPFA) ilave edilip karıştırılmaya devam edilir (S.B +SEBS +ATH alınan ve RET reaksiyon başlangıç). 3.saat sonu numune alınır.

4. Saat: 1 saat boyunca saf bitüm, atık halı. SEBS ve Elvaloy RET karıştırılır. 4. Saat sonu örnek numune alınır.

5. Saat: saf bitüm + SEBS + Atık halı + Elvaloy RET aynı sıcaklık ve karıştırma hızında devam edilir. 5. Saat sonu numune alınır.

6. Saat: 6 saat sonu (7.saat) numune (S.B+SEBS+ATH+RET reak.son) karışımdan alınır.

6. saat sonu ile 5 saat sonu numune yumuşama noktası çok değişmediği için reaksiyonun sonlandırılabilceği ne karar verilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

Saf bitüm; SEBS, ATH, Elvaloy RET olarak % 0.5, 1, 1.5, 2 ve 2.5 artımlı her biri katılırken ilaveten diğer farklı 2 polimer %1 sabit olarak bitüme eklenmiştir. Deneysel çalışma sonucu elde edilen numunelere; ilgili testler yapılır.

- Penetrasyon,
- Yumuşama noktası tayini,
- Viskozite

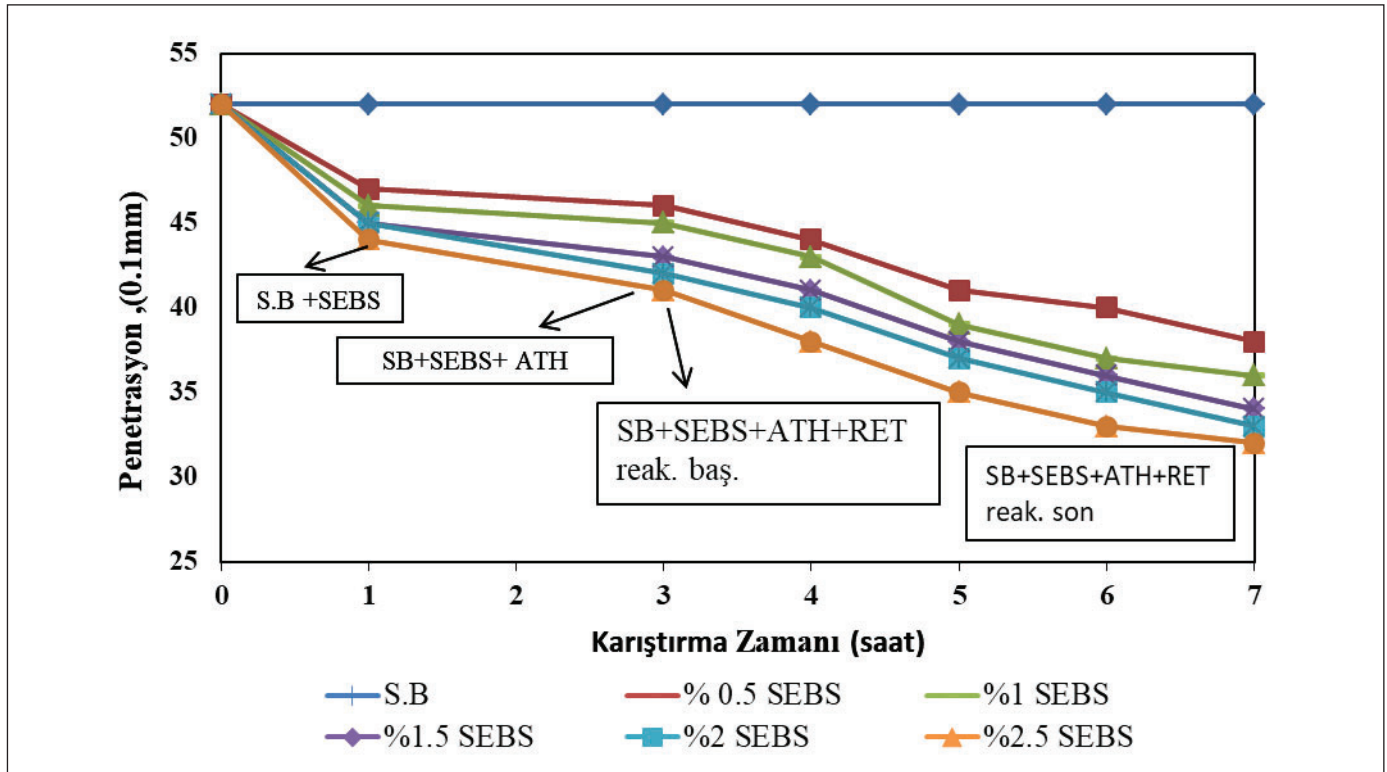
3.1. Değişen SEBS, ATH, Elvaloy RET Oranlarının Penetrasyon ve Yumuşama Noktası Derecesine Etkisi

Polimer modifiye bitüm çalışmalarında amaç; penetrasyon değerinin azaltılması ve yumuşama noktası değerinin artması yönünde geliştirilmesidir.

3.1.1. Penetrasyon Sonuçları

Penetrasyon deneyinde Testform marka TF-B056 model penetrasyon ölçme cihazı kullanıldı.

Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4 incelendiğinde penetrasyon değerleri özellikle Elvaloy RET'in ağırlıkça yüzde değişimi arttıkça penetrasyon değerinin daha etkin azaldığı belirlendi.

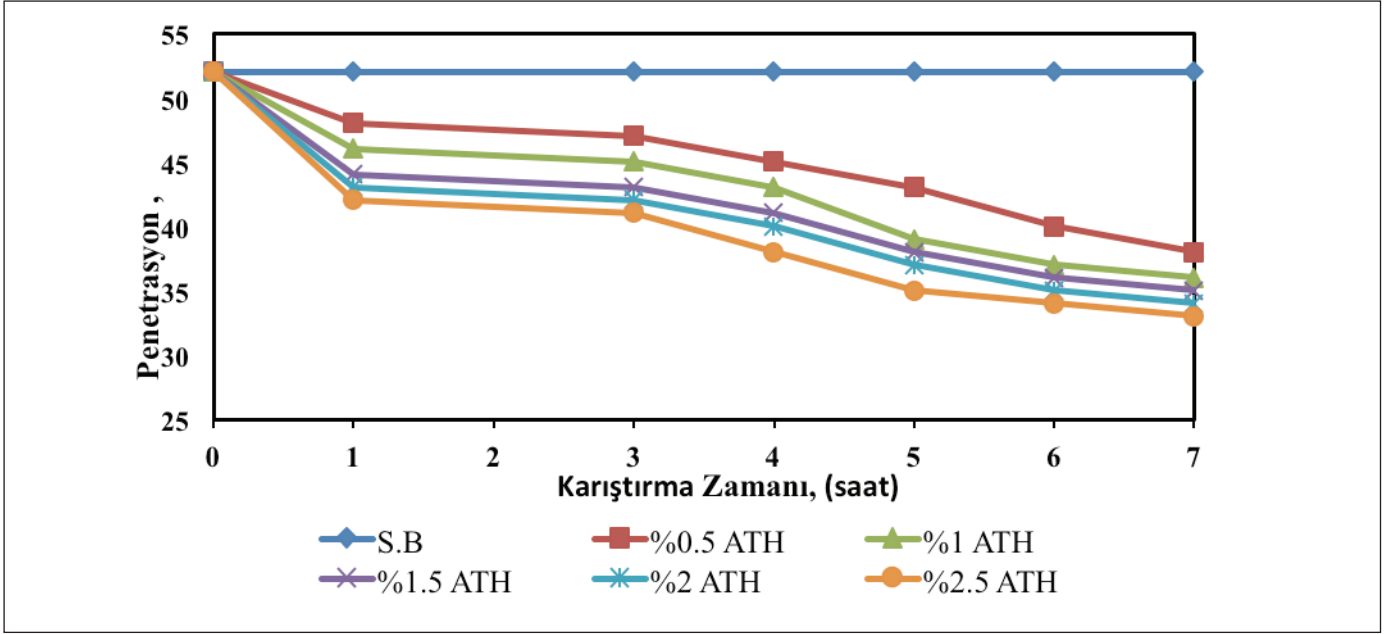


Şekil 2. SEBS Serisi ve %1 Atık Halı %1 RET için penetrasyon değişimi (1.saat S.B+SEBS alınan, 3.saat S.B+SEBS+ATH alınan ve RET reaksiyon başlangıç (ilave), 7.saat S.B+SEBS+ATH+ RET reak.son).

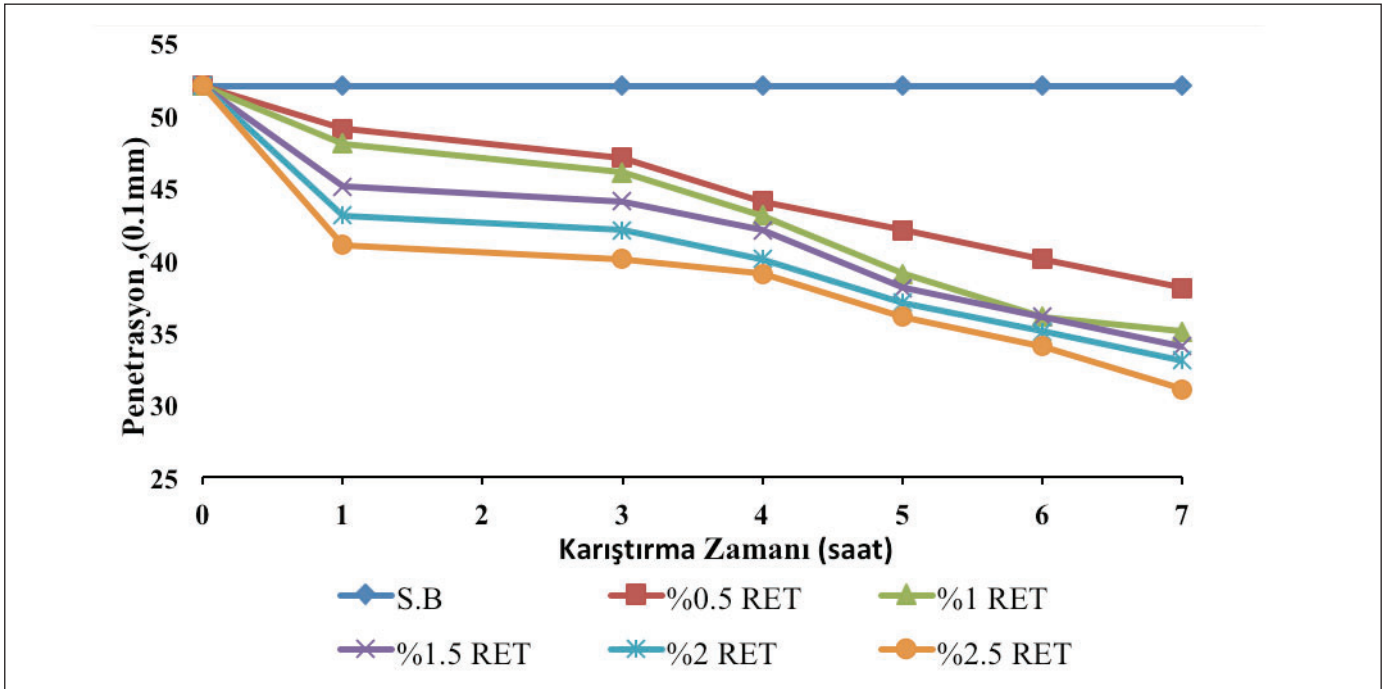
3.1.2. Yumuşama Noktası Sonuçları

Yumuşama noktası deneyinde Testform marka TF-B072 model yumuşama noktası tayin cihazı kullanıldı. Şekil 5,

Şekil 6 ve Şekil 7 incelendiğinde özellikle Elvaloy RET ağırlıkça yüzde değişimi arttıkça yumuşama noktası değeri arttığı tespit edildi.



Şekil 3. Atık Halı Serisi ve %1 SEBS %1 RET için penetrasyon değişimi (1.saat S.B+SEBS alınan, 3.saat S.B+SEBS+ATH alınan ve RET reaksiyon başlangıç (ilave), 7.saat S.B+SEBS+ATH+ RET reak.son).

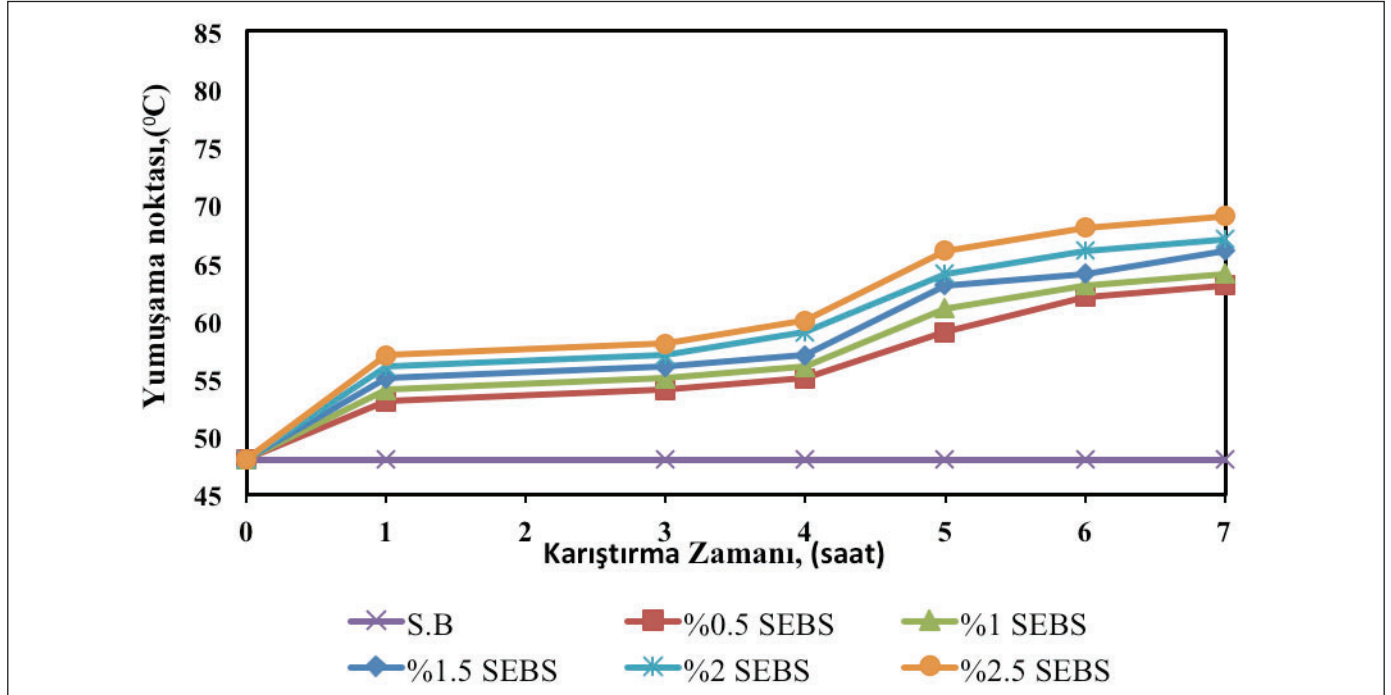


Şekil 4. RET Serisi ve %1 SEBS %1 Atık Halı için penetrasyon değişimi(1.saat S.B+SEBS alınan, 3.saat S.B+SEBS+ATH alınan ve RET reaksiyon başlangıç (.ilave), 7.saat S.B+SEBS+ATH+ RET reak.son).

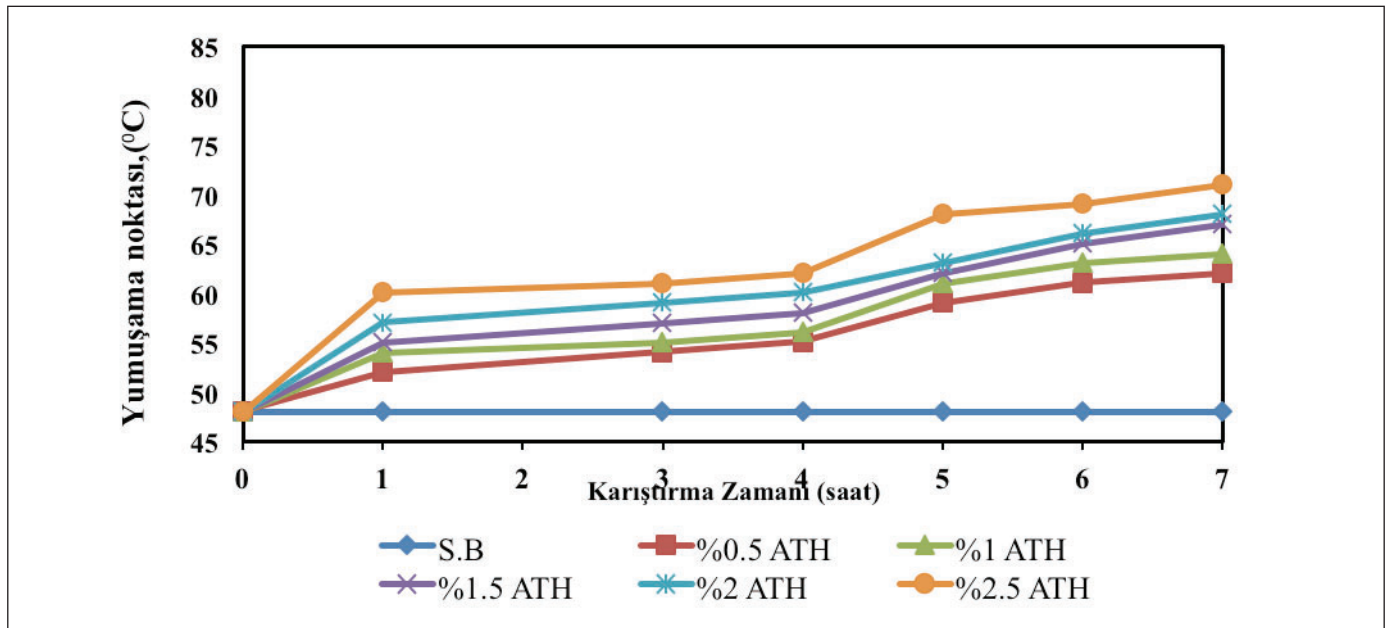
3.2. Viskozite (Ölçümler Hangi Cihazda Hangi Parametrelerle Yapıldı)

Viskozite deneyleri Brookfield marka DV2TL marka viskozimetresinde 130 °C sıcaklıkta yapıldı. Viskozite ölçümleri Şekil 8 de verilmektedir.

%2 RET %1 SEBS %1 Atık halı bileşimindeki polimer modifiye bitüm viskozitesi saf bitüm 50/70 bitüm için 850-950 cP olarak belirlendi. 1. Saate SEBS etkisiyle bitüm viskozitesi 1100 cP ye kadar arttı. 3. Saate ise SEBS + ATH ile birleşik etkisiyle yaklaşık 1900-2000 cP aralığındadır. 3. saatin



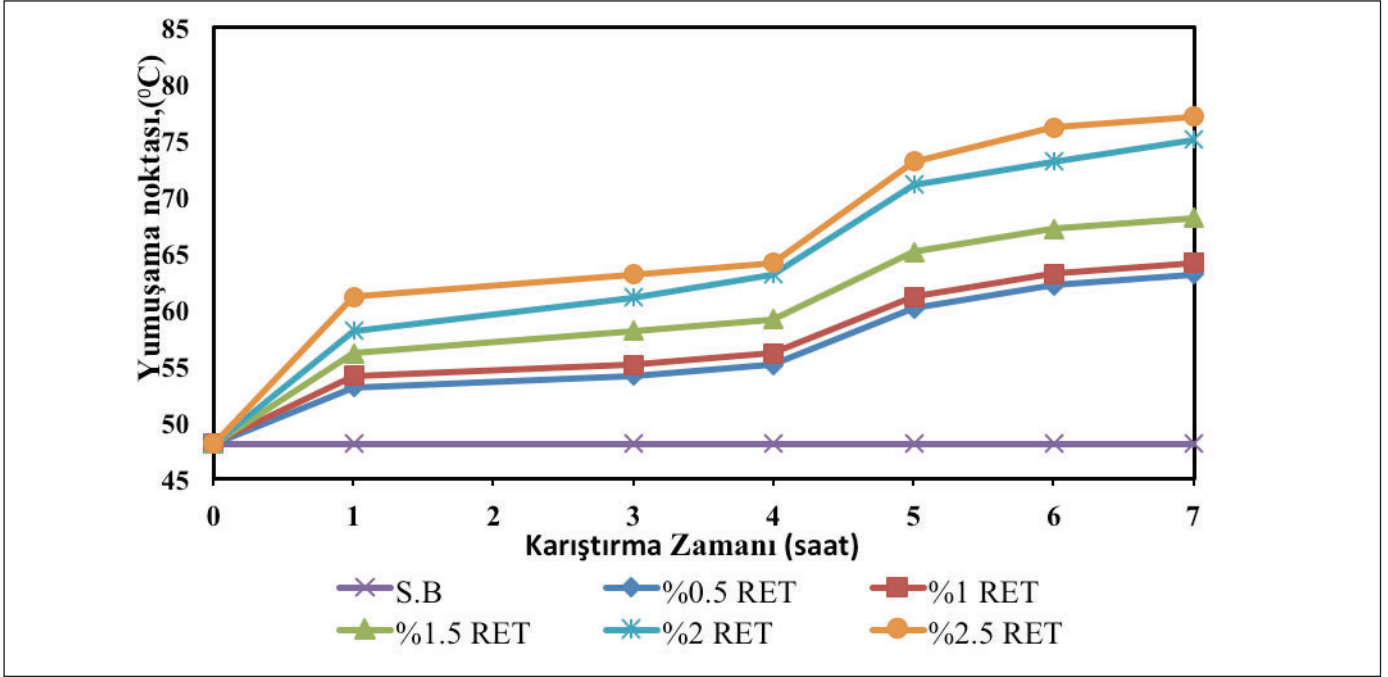
Şekil 5. SEBS Serisi ve %1 Atık Halı %1 RET için yumuşama noktası (1.saat S.B+SEBS alınan, 3.saat S.B+SEBS+ATH alınan ve RET reaksiyon. başlangıç (ilave), 7.saat S.B+SEBS+ATH+ RET reak.son).



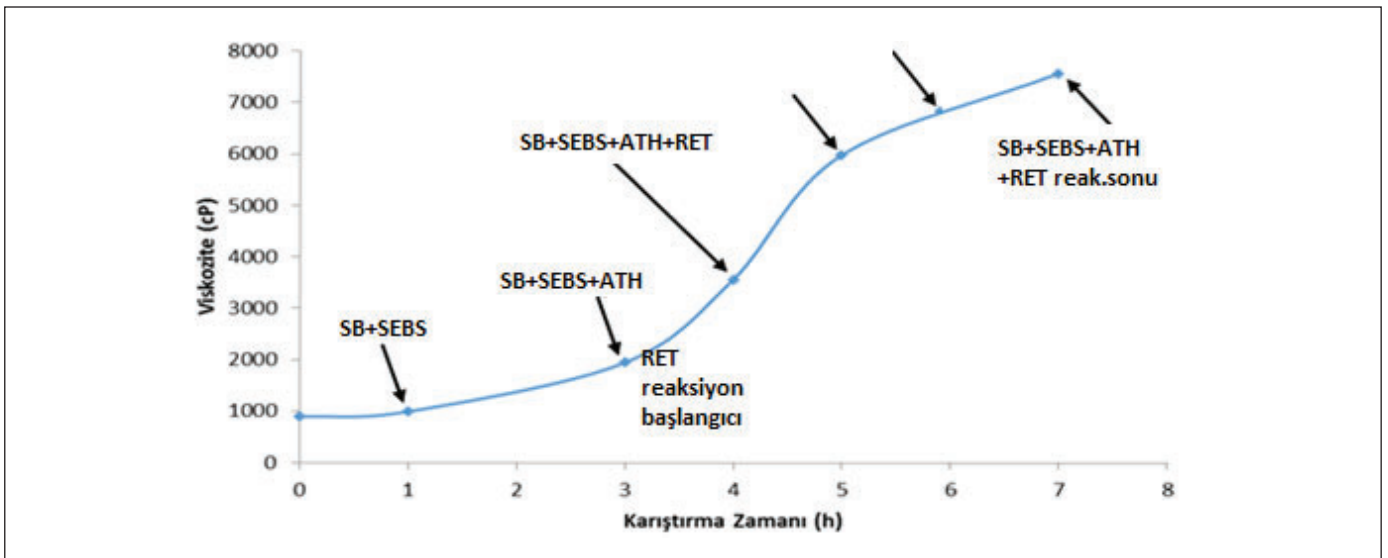
Şekil 6. Atık Halı Serisi ve %1 SEBS %1 RET için yumuşama noktası (1.saat S.B+SEBS alınan, 3.saat S.B+SEBS+ATH alınan ve RET reaksiyon başlangıç (ilave), 7.saat S.B+SEBS+ATH+ RET reak.son).

başında eklenen elvaloy RET'in etkisiyle 7. saatteki numunenin bitüm viskozitesi 7200-7500 cP değerine ulaşmıştır. Viskozitedeki artış özellikle 3. Saatin başından 7 saate kadar olan aralıkta elvaloy RET'in bileşimindeki glisid metakrilat grubuyla asfaltenik asitlerin polifosforik asit katalizörlüğünde reaksiyona girmesinden dolayı yaklaşık 5100-5400 cP'lık viskozite artışı tespit edildi. Elvaloy RET'in glisid metaakri-

lat grubuyla bitüm içindeki asfaltenik asitle elvaloy RET'in reaksiyon sonunda kovalent bağ oluşması sonucu bağlı etilen zincirinin bitüm içindeki sarmal zincir dağılımı bitümü topaklandırarak, büzerek mukavemet artımına sebep olmaktadır. Çalışılan polimer modifiye bitümde akışkanlığın korunabilmesi için ağırlıkça %2 RET miktarı üzerinde asfalt ağı topaklanacağından dolayı tavsiye edilmez.



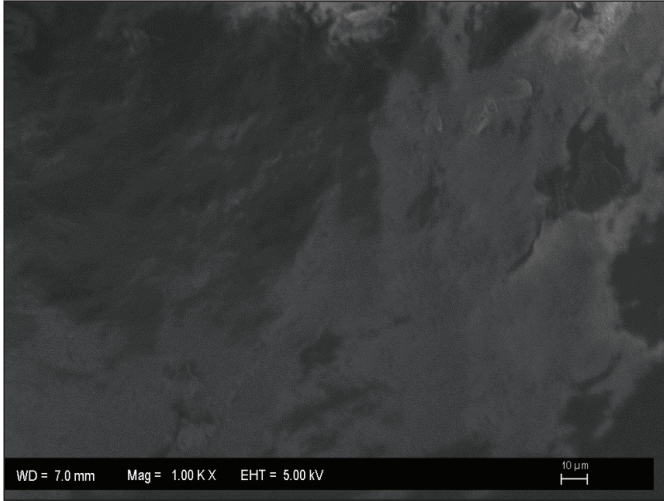
Şekil 7. RET Serisi ve %1 SEBS için yumuşama noktası (1. saat S.B+SEBS alınan, 3. saat S.B+SEBS+ATH alınan ve RET reaksiyon başlangıcı (ilave), 7. saat S.B+SEBS+ATH+ RET reak.son).



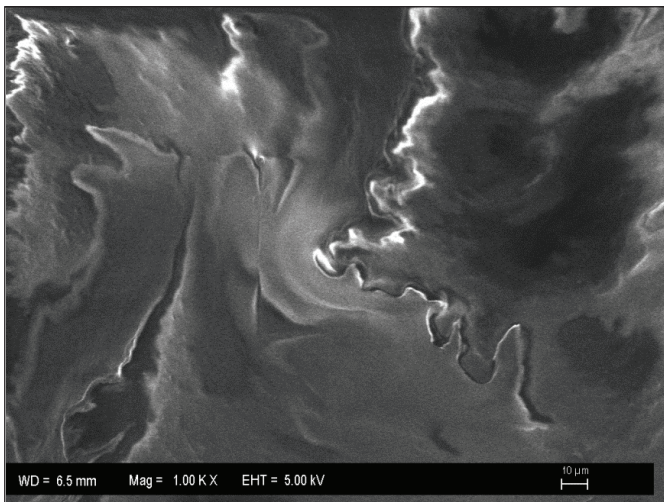
Şekil 8. %2 RET %1 SEBS %1 ATH için 130 °C deki viskozitenin (cP) zamanla değişimi (1. saat S.B+SEBS alınan, 3. saat S.B+SEBS+ATH ve RET reaksiyon başlangıcı), 7. saat S.B+SEBS+ATH+RET reaksiyon sonu).

3.3. Elektron Mikroskobu (SEM) Sonuçları

Elvaloy RET'in reaksiyon sonrasında modifiye edilmiş bitümün, saf bitüme göre değişen morfolojik yapısı hakkında bilgi edinebilmek amacıyla SEM mikrografları için Zeiss marka EVO LS 10 kullanılmıştır. Aynı büyütme ölçeği kullanılarak Saf bitüm ve modifiye bitüm için alınan görüntüler Şekil 9-10'de sunulmuştur. Saf bitümün SEM sonuçları incelendiğinde, saf bitüm yapısında bulunan doymunlar, asfalttenler, reçineler birbirine girgin olduğundan renk tonlarına bakıldığında homojen bir yapı görünmektedir. Reaksiyon sonrasında modifiye edilmiş bitümde ise, dağılım bölgelerinde modifiyer polimerlerin morfolojiyi nasıl değiştirdiği görülmektedir.



Şekil 9. Saf bitüm SEM mikrografı.



Şekil 10. 7.saat örnek modifiye bitüm (S.B+SEBS+ATH+ RET reak.son) SEM mikrografı.

3.4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada polimer modifiye bitümde ATH, SEBS ve reaktif terpolimer (Elvaloy RET) karışımı denendi. Saf bitüme göre penetrasyon değerlerinde azalma, yumuşama noktasında değerlerinde ve viskozitede artış belirlendi. Saf bitüm, SEBS atık halı karışımındaki viskozite değeri yaklaşık 1900-2000 cP aralığındadır fakat Elvaloy RET'in bileşimindeki glisid metakrilat grubuyla asfalttenik asitlerin polifosforik asit katalizörlüğünde reaksiyona girmesinden dolayı viskozitedeki artış özellikle 3. Saatin başından 7 saate sonuna kadar olan aralıkta yaklaşık 5100-5400 cP'lık viskozite artışı gerçekleşir.

Saf bitüm ile reaksiyon sonrası modifiye edilmiş bitümün gözenek yapısının incelenebilmesi için taramalı elektron mikroskobu (SEM) yöntemi kullanılmıştır. SEM mikrografları incelendiğinde, modifiye olmuş bitümün saf bitüme göre morfolojik yapısının değiştiği görülmektedir.

ÇPMB; SEBS 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5% ağırlıkça yüzde artımlı ve sabit %1 ATH + %1 Elvaloy RET içerikli, ATH 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5% ağırlıkça yüzde artımlı ve sabit % 1 SEBS + Elvaloy RET %1 içerikli ve Elvaloy RET 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 % yüzde ağırlıkça artımlı ve sabit %1 ATH + SEBS %1 içerikli 7. Saat alınan çalışma polimer modifiye bitüm 15 numune TPMB şartnamede 8 farklı koddaki yumuşama noktası sıcaklık değerlerini sağlamaktadır. Ayrıca çalışma polimer modifiye bitüm penetrasyon değerleri, TPMB şartnamedeki 64-28 kodlu 50-90 penetrasyon değeri hariç diğer 7 TPMB (Türkiye karayolları polimer modifiye bitüm şartnamesinde) koddaki penetrasyon değerlerini sağlamaktadır.

Çalışılan polimer modifiye bitüm; sıcaklığa dayanımı arttırdığından, penetrasyon değerinin azaltılmasından dolayı yüke dayanım değerinin artmasıyla karayolları polimer modifiye bitüm performansı şartnamesi dikkate alındığında, Çalışılan polimer modifiye bitüm; penetrasyon ve yumuşama noktası değerleri açısından oldukça önemli katkı sağlayacağı tespit edilmiştir.

4. Kaynaklar

Bulatovic, V.O., Rek, V., Markovic. J. 2014. Rheological properties of bitumen modified with ethylene butylacrylate glycidylmethacrylate, *Polym. Eng. Sci.*, 54 (5) pp. 1056-1065, <https://doi.org/10.1002/pen.23649>

Choquet, F. 1994. "Polymers and Modified Binders", Technical Note Presented at Belgian Road Research Center, 1:25-26.

- Çubuk, M. 2007.** Katkı Maddeleri ile Bitümün Reolojik Özelliklerinin Geliştirilmesi ve Esnek Kaplama Malzeme Oluşumunda Problemlerin Giderilmesi, Doktora Tezi, GÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Ertekin, S.B. 2003.** Polyefin Katkılarının Asfaltın Kıvamı ve Yumuşama Noktasına Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Harold, R., Paul, P.E. and Chris, P.E. (1995).** "Pavement Distress, Technical Assistance Report, Louisiana Transportation Research Center.,1:12-16.
- Holleran, I., Masad, E., Wilson, D.J., Malmstrom, J., Holleran, G. & Alrashdyah, E. 2022.** Effect of reactive ethylene terpolymer modification on bitumen's microstructure, rheology, and porous asphalt mix properties. *International Journal of Pavement Engineering*. pp.1-22 DOI:10.1080/10298436.2022.2086693
- Hunter, F.M. 1994.** Bituminous Mixtures in Road Construction, Thomas Telford, London.
- Jasso, M., Hampl, R., Vacin, O., Bakos, D., Stastna, J., Zanzotto, L. 2015.** Rheology of conventional asphalt modified with SBS, Elvaloy and polyphosphoric acid. *Fuel Process. Technol.* DOI:10.1016/j.fuproc.2015.09.002
- Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM), Karayolu Teknik Şartnamesi, 2013** ,412/9, Ankara. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.tam.gov.tr/UserFiles/Content/KGM_Teknik_Sartnamesi_2013.pdf
- Keyf, S. 2010.** Investigation of penetration and penetration index in bitumen modified with SBS and reactive terpolymer. *Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi* 28, 26-34.
- Kraton Polymers G(SEBS).2022.** <https://kraton.com/products/pdsDocs/polymer/G1701M.pdf>
- Luo, W. and Chen, J. 2011.** "Preparation and Properties of Bitumen Modified by EVA Graft Copolymer". *Construction and Building Material*. 25: 1830-1835, DOI:10.1016/j.conbuildmat.2010.11.079
- Malkoç, G. 2002.** Yol Üst Yapılarında Kullanılan Modifiye Asfaltlar ve Modifiye Bitüm Şartnamesi, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Metli, M. 2007.** The Effect of SBS Based Polymer Modified Bitumen and Bituminous Mixtures on The Performance of Pavements, Yüksek Lisans Tezi, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Sağlık, A., Orhan, F. ve Güngör, A.G. 2012.** BSK Kaplamalı Yollar İçin Bitüm Sınıfı Seçim Haritaları, Ulaştırma Denizcilik Ve Haberleşme Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü, Araştırma ve Geliştirme Dairesi Başkanlığı Üstyapı Geliştirme Şubesi Müdürlüğü, sayfa 7.
- Si Bachir, D., Dekhli, S., Mokhtar, K.A., 2016.** Rheological Evaluation of Ageing Properties of SEBS Polymer Modified Bitumens. *Periodica Polytechnica Civil Engineering* 60(3), pp. 397-404, DOI: 10.3311/PPci.7853
- Witczak, M.W., I. Hafez., X. Qi. 1995.** Laboratory Characterization of Elvaloy® Modified Asphalt Mixtures: Vol. I-Technical Report., University of Maryland, College Park, Maryland.
- Yıldırım, Y. 2007.** Polymer modified asphalt binders, *Construction and Building Materials*, 21, pp. 66-72 72. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.07.007>
- Yunbin, K., Jitao, C., Song, X., Chongyu, B., Chao, Z., Xiaojuan, J., 2022.** Storage stability and anti-aging performance of SEBS/ organ-montmorillonite modified asphalt, *Construction and Building Materials*, Vol. 341,127875 pp. 1-10 <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127875>
- Yükü, K., Öztürk, T., Komut, M. 2021.** Bitümlü Bağlayıcılar Laboratuvar El Kitabı, Ulaştırma Ve Altyapı Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü, Araştırma ve Geliştirme Dairesi Başkanlığı Üstyapı Geliştirme Şubesi Müdürlüğü, Ankara.
- Zhu, J., Birgisson, B., Kringos, N. 2014.** Polymer modification of bitumen Advances and challenges. *Eur. Polym. J.*, 54 18-38. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2014.02005>