

Irak ve Batman Bitümleri Kullanılan SEBS Modifiyeli Bağlayıcıların Reolojik Özelliklerinin İncelenmesi

Erkut YALÇIN^{1*}, Anıl BAYKARA¹, Mehmet YILMAZ¹, Baha Vural KÖK¹

¹İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

*¹ erkutyalcin@firat.edu.tr, ¹ anilbykr@gmail.com, ¹ mehmetyilmaz@firat.edu.tr, ¹ bvural@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 08/07/2019;

Kabul/Accepted: 18/01/2020)

Öz: Çalışmada, Kuzey Irak'ta bulunan LANAZ rafinerisinden ve Batman TÜPRAŞ rafinerisinden 2 farklı B 160/220 sınıfı saf bitüm temin edilmiştir. Bu bitümlere 3 farklı oranda (%2, %3 ve %4) stiren-etilen-bütadien-stiren (SEBS) ilave edilerek modifiye bitümler hazırlanmıştır. Saf ve modifiye bitümlere penetrasyon, yumuşama noktası, iki farklı sıcaklıkta (135 ve 165°C) dönel viskozite deneyleri uygulanmıştır. Ayrıca dinamik kayma reometresi (DSR) deneyleri ile tekerlek izi oluşumuna karşı dayanım parametreleri ($G^*/\sin \delta$) belirlenmiştir. Farklı sıcaklık ve yükleme hızlarında DSR deneyi uygulanarak farklı koşullarda kompleks kayma modülü (G^*) değerleri ile faz açıları belirlenmiştir. SEBS katkısı kullanılması ile bağlayıcıların penetrasyon ve faz açısı değerlerinin azaldığı, yumuşama noktası, viskozite, tekerlek izi parametresi, kompleks kayma modülü değerlerinin ise arttığı tespit edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda yüksek sıcaklık dayanımı açısından Irak LANAZ rafinerisinden temin edilen bitümün Batman TÜPRAŞ rafinerisinden temin edilen saf bitüme göre daha olumlu sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Modifiye bitümler değerlendirildiğinde Irak LANAZ bitümüne göre Batman TÜPRAŞ bitümü kullanılması durumunda daha etkili modifiye bitümler elde edildiği tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Bitüm, Modifikasyon, Polimer, SEBS, Reoloji.

Investigation of Rheological Properties of SEBS Modified Binders Using Iraq and Batman Bitumens

Abstract: In the study, 2 different B 160/220 class pure bitumen were obtained from LANAZ refinery located in Northern Iraq and Batman TÜPRAŞ refinery. Modified bitumens were prepared by adding styrene-ethylene-butadiene-styrene (SEBS) in 3 different ratios (2%, 3% and 4%). Penetration, softening point and rotational viscosity tests at two different temperatures (135 and 165°C) were applied to pure and modified bitumens. In addition, resistance to rutting parameters ($G^*/\sin \delta$) were determined by dynamic shear rheometer (DSR) tests. The complex shear modulus (G^*) values and phase angles were determined in different conditions by applying DSR test at different temperature and loading rates. It was determined that the penetration and phase angle values of the binders were decreased and the softening point, viscosity, resistance to rutting parameter and complex shear modulus values increased with SEBS additive. As a result of the analyzes, it was determined that bitumen obtained from Iraq LANAZ refinery gave more positive results in terms of high temperature resistance than pure bitumen obtained from Batman TÜPRAŞ refinery. When modified bitumens were evaluated, it was found that more effective modified bitumens were obtained according to Iraq LANAZ bitumen in case Batman TÜPRAŞ bitumen was used.

Key words: Bitumen, Modification, Polymer, SEBS, Rheology.

1. Giriş

Avrupa şartnamesine (EN 12597) göre bitüm, ham petrolden üretilen veya doğal asfaltta bulunan, toluen içinde tamamı veya tamamına yakını çözünen, ortam sıcaklıklarında aşırı viskoz veya katıya yakın kıvamda olan, yapışkan ve su geçirmez bir malzeme olarak tanımlanmaktadır [1]. Bitüm özellikleri, üretildiği ham petrol özelliklerinin yanı sıra, üretim ve işleme prosedürüne büyük ölçüde bağlıdır [2]. Kaliteli ham petrol ve uygun damıtma işlemleri bitüm özelliklerini iyileştirebilmektedir [3]. Karayolu esnek üstyapıları tabakalı bir yapıya sahip olup en üst tabakada bağlayıcı olarak bitüm türevlerinin kullanıldığı kaplama tabakaları yer almaktadır. Bitümlü bağlayıcılar, adezyon ve kohezyon özelliği ile agregaları bağlayarak kaplamaya dayanım sağlamanın yanı sıra geçirimsiz bir yüzey oluşturmaktadır [4]. Böylece trafik yüklerine ve çevresel etkenlerden oluşan gerilmelere dayanıklı karayolu üstyapıları elde edilebilmektedir. Kaplama sınıfı bitümlü bağlayıcılar rafinerilerde petrolün rafinajından elde edilmekte olup kıvamına göre çeşitli alt gruplara ayrılmaktadır. Kıvamı yüksek olan (B 160/220 gibi) bitümler genellikle sathi kaplama ve yama işlerinde kullanılırken kıvamı düşük olan bitümler (B 50/70) gibi genellikle bitümlü sıcak karışım üretiminde tercih edilmektedir. Düşük kıvamlı bitümler yüksek kıvamlı bitümlere göre daha iyi yüksek sıcaklık performansı sergilemektedir.

* Sorumlu yazar: erkutyalcin@firat.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0002-6389-4211, ¹ 0000-0001-5532-1950, ¹ 0000-0002-2761-2598, ¹ 0000-0002-7496-6006

Rafinerilerde üretilen yüksek kıvamlı bitümler normal trafik hacimlerinde, ağır taşıt miktarının fazla olmadığı bölgelerde ve sıcaklığın aşırı yüksek olmadığı kesimlerde yeterli performans sergilemesine rağmen günümüzde artan ağır taşıt sayısı, bitüm kalitesindeki değişim ve iklimsel farklılıklar gibi nedenlerle üstyapıların servis ömrünü tamamlamadan erken bozulmalara neden olabilmektedir. Ayrıca agrega gibi bitümde yenilenemeyen bir kaynaktır. Bu nedenle sürdürülebilirlik açısından doğaya verilecek zararı en aza indirecek çözümler üretilmesi gerekmektedir. Bitüme özelliklerini iyileştirecek katkı maddeleri ilave ederek ekonomi, çevre ve performans açısından fayda elde etmek bu alanda son yıllarda üzerinde en fazla çalışılan konuların başında gelmektedir. Bitümlü bağlayıcılar kullanılan üstyapı tabakalarında tekerlek izi oluşumu, düşük ısı çatlakları, nem hasarı, yorulma çatlakları, yaşlanma gibi tasarım, malzeme veya yapım kaynaklı kusurlar meydana gelmektedir. Bu kusurları engellemek veya geciktirmek amacıyla çeşitli katkı maddeleri kullanılmaktadır. Katkı maddelerinin genel sınıflarını; polimerler, kimyasal modifiyerler, genleştiriciler, antioksidanlar, hidrokarbonlar ve soyulma önleyiciler oluşturmaktadır [5]. Bu katkılar içerisinde en fazla tercih edilenler başta stiren-bütadien-stiren (SBS) olmak üzere elastomer grubu polimerlerdir [6]. SBS, tüm doymamış kauçuklar gibi yaşlanmaya maruz kalır ve bu nedenle kaplamada kullanılan asfaltın geri dönüşüm olasılığını azaltmaktadır [7]. Bu nedenle, SBS'ye benzer yapıya sahip fakat yaşlanma direnci yüksek doymuş polimerlere ilgi artmaktadır [7]. Bu bağlamda, oldukça belirgin bir seçenek, SBS'nin basit hidrojenlenmesi ile elde edilen stiren-etilen-bütadien-stiren blok kopolimeridir (SEBS) [7]. SEBS elastomer polimer grubunda yer almakta olup bitüme ilave edildiğinde bitümlü bağlayıcıların yüksek sıcaklık dayanımlarını, yaşlanmaya ve ultraviyole ışınlar karşı dayanımını olumlu etkilemektedir [8-12].

Bitüm; yapı olarak asfaltten ve maltenlerden (doymuş yağlar, aromatikler ve reçineler) oluşmaktadır [13]. Asfaltten bitümün kıvamını sağlayan bileşenken maltenler bitümün elastik davranış sergilemesini sağlamaktadır. Elastomer grubu (SEBS gibi) polimerler bitüme ilave edildiklerinde bitümün yapısında bulunan maltenleri bünyesine almakta böylece bitümün polimer benzeri davranış sergilemesini sağlamaktadır. Bu nedenle etkili bir modifiye bitüm elde edilmesi katkı türüne, kullanılan katkı oranına, bitümün kimyasal yapısına ve karıştırma prosedürüne bağlıdır [14,15].

Çalışma kapsamında iki farklı kaynaktan (Irak LANAZ ve Batman TÜPRAŞ rafinerileri) temin edilen bitümlü bağlayıcılara 3 farklı oranda (%2, %3 ve %4) SEBS polimeri ilave edilerek modifiye bitümler elde edilmiştir. Saf ve modifiye bağlayıcılar üzerinde geleneksel deneylerin (penetrasyon, yumuşama noktası, viskozite) yanı sıra dinamik kayma reometresi (DSR) deneyi uygulanarak bağlayıcıların reolojik özellikleri incelenmiştir. DSR deneyi, farklı sıcaklıklarda ve frekanslarda uygulanmış, modelleme yapılarak bağlayıcıların ana eğrileri elde edilmiştir. Uygulanan deneylerle, farklı kaynaklardan temin edilen bağlayıcıların SEBS ile modifiye edilmesi durumunda bağlayıcı özelliklerinde meydana gelen değişimler belirlenerek modifiye bitüm hazırlanmasında kullanılan saf bağlayıcıların etkisi değerlendirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Çalışmada, Irak'ın kuzeyinde bulunan LANAZ Rafinerisi'nden ve TÜPRAŞ Batman Rafinerisi'nden temin edilen B 160/220 sınıfı bitümler ana bağlayıcı olarak, Shell Bitumen şirketi tarafından üretilen SEBS G 1650 polimer katkı maddesi kullanılmıştır. SEBS, saf bitüme %2, %3 ve %4 oranlarında ilave edilmiştir. Modifiye bitümler, 1000 rpm hıza sahip bir karıştırıcı ile 180°C sıcaklıkta saf bitüm ve katkı malzemesinin 60 dakika süreyle karıştırılması sonucu elde edilmiştir [16]. Çalışmada kullanılan modifiye bitüm mikseri ve SEBS polimeri Şekil 1'de görülmektedir.



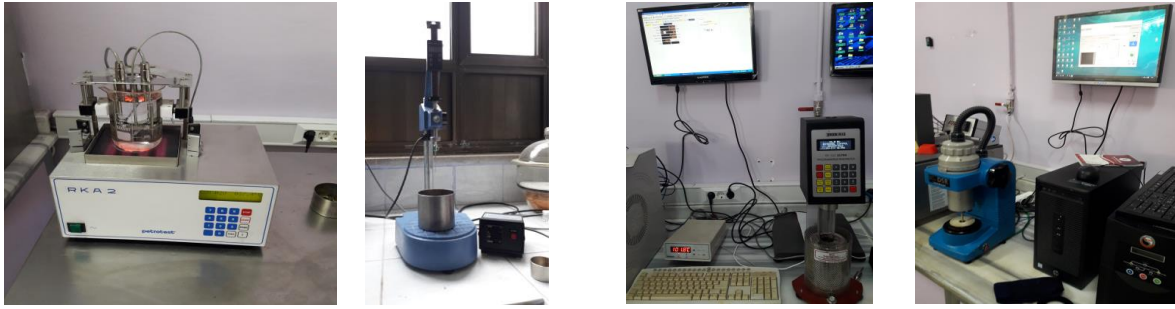
Şekil 1. Modifiye bitüm mikseri ve SEBS'nin görünüşü

Çalışmada, kullanılan bağlayıcı türüne ve SEBS içeriğine göre modifiye bitümlerin kısa isimlendirmeleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan bitümlerin kısa isimlendirmeleri

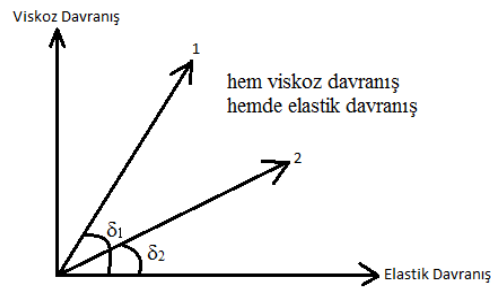
Bitüm Kaynağı	SEBS İçeriği (%)			
	0	2	3	4
Irak LANAZ	I-SAF	I-SEBS-2	I-SEBS-3	I-SEBS-4
Batman TÜPRAŞ	B-SAF	B-SEBS-2	B-SEBS-3	B-SEBS-4

Bağlayıcılar üzerinde EN 1426 standardına uygun olarak penetrasyon, EN 1427 standardına uygun olarak yumuşama noktası, ASTM D4402 standardına uygun olarak dönel viskozite ve AASHTO TP5 standardına uygun olarak dinamik kayma reometresi deneyi uygulanmıştır [17-20]. Çalışmada kullanılan bağlayıcı deney cihazları Şekil 2’de görülmektedir.



Şekil 2. Çalışmada kullanılan bağlayıcı deney cihazları

Bitümün viskoelastik ve termoplastik davranışını dikkate alarak bitümün karakteristik reolojik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla farklı sıcaklık ve frekanslarda DSR deneyi yapılmıştır. Bu deneyde, karakteristik özellikler, bağlayıcıların kompleks kayma modülü (G^*) ve faz açısı (δ) ölçülerek belirlenmiştir. Bu özellikler yüklenme sıcaklığına ve yüklenme süresine bağlıdır. DSR deneyinde düşük frekans yavaş yüklenme hızını ifade ederken yüksek frekans hızlı yüklemeleri göstermektedir. Bitümlü bağlayıcılar yüksek sıcaklıklarda viskoz akışkanlar gibi ve düşük sıcaklıklarda ise elastik katılar gibi davranırlar [21].

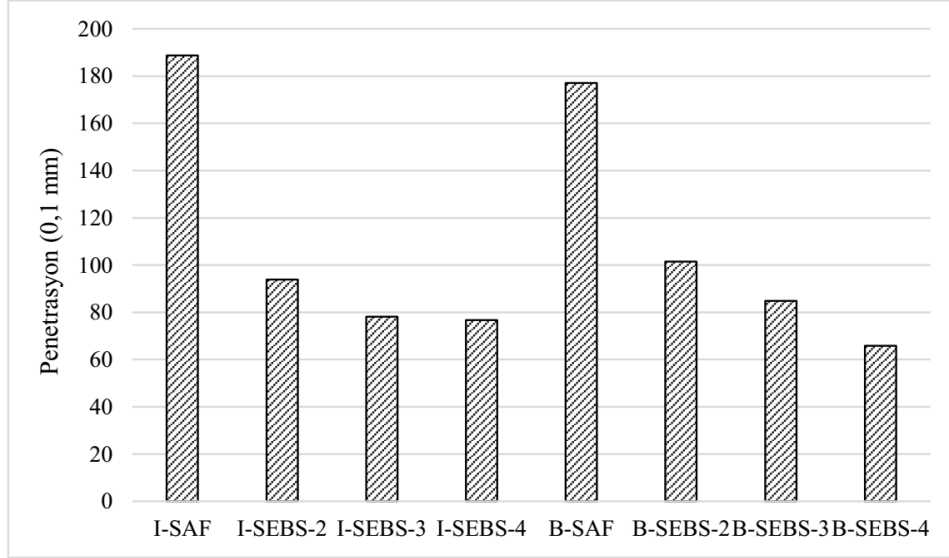


Şekil 3. Viskoz ve elastik davranış [19]

Asfaltlar normal ortam sıcaklıklarında hem viskoz sıvılar ve hem de elastik katılar gibi davranırlar. Kaplamaya yük uygulandığı zaman deformasyonun bir kısmı elastiktir yani geri alınabilir bir kısmı ise viskozdur yani geri alınamaz. Asfaltın visko-elastik malzeme olarak adlandırılmasının nedeni hem viskoz hem de elastik davranış göstermesi sebebiyledir. Şekil 3’te 1 ve 2 ile gösterilen her iki malzeme de viskoelastiktir. Ancak şekilde 2 ile gösterilen malzeme şekilde 1 ile gösterilen malzemedan daha esnektir [21, 22]. Çalışma kapsamında saf ve modifiye bağlayıcılara 40, 50, 60 ve 70°C sıcaklıklarda 0,01 ile 10 Hz aralığında 10 farklı frekansta dinamik kayma reometresi deneyi uygulanarak bağlayıcıların farklı koşullardaki reolojik davranışları geniş bir aralıkta değerlendirilmiştir.

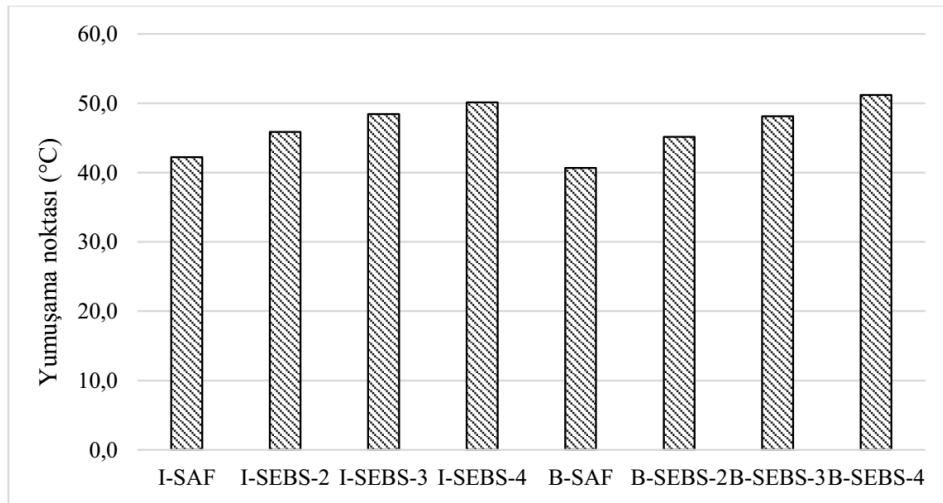
3. Deneysel Çalışma

Irak LANAZ ve Batman TÜPRAŞ saf bitümleri ile bu bitümler kullanılarak 3 farklı oranda SEBS ilave edilerek hazırlanan modifiye bitümlere uygulanan penetrasyon deney sonuçları Şekil 4'te görülmektedir.



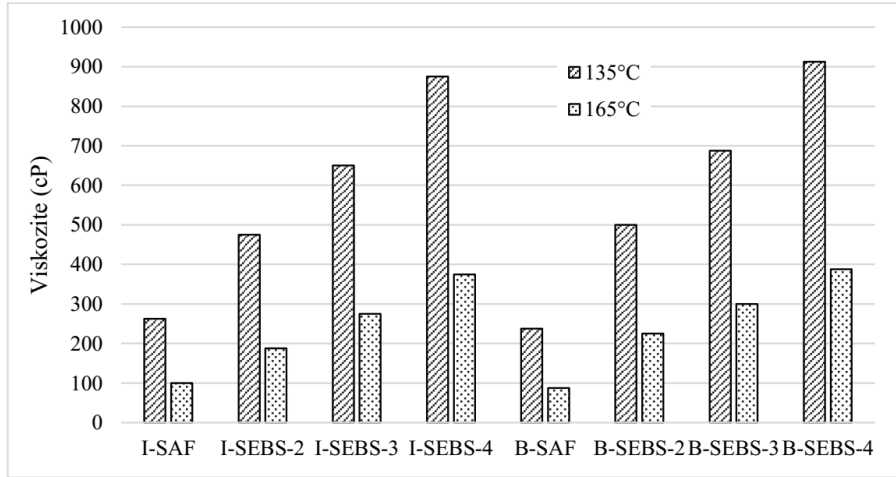
Şekil 4. Saf ve SEBS modifiyeli bitümlerin penetrasyon deney sonuçları

Şekil 4'te görüldüğü üzere hem SEBS kullanımı ile bağlayıcı kıvamları artmış, bu nedenle penetrasyon değerleri azalmıştır. Hem LANAZ hem de TÜPRAŞ'tan temin edilen bitümler B 160/220 sınıfı olmalarına rağmen LANAZ bitümünün penetrasyonunun daha yüksek, TÜPRAŞ rafinerisinden temin edilen bitümün penetrasyon değerinin daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Irak LANAZ bitümüne %2, %3 ve %4 oranlarında SEBS ilave edildiğinde ise penetrasyon değerleri sırasıyla %50,3; %58,6 ve %59,4 oranlarında azalırken TÜPRAŞ bitümü kullanılması ile penetrasyon değerleri saf bitüme göre sırasıyla %42,7; %52,1 ve %62,8 oranlarında azalmıştır. SEBS modifiyeli bitümlerde, %2 ve %3 katkı içeriğinde LANAZ bitümünün %4 katkı içeriğinde ise TÜPRAŞ bitümünün daha etkili olduğu, farklı bitüm kullanımının modifiye bitümlerin penetrasyon değerleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Bağlayıcıların yumuşama noktası değerleri Şekil 5'te görülmektedir.



Şekil 5. Saf ve SEBS modifiyeli bitümlerin yumuşama noktası deney sonuçları

Şekil 5'te görüldüğü üzere katkı kullanımı ile yumuşama noktası değerleri artmıştır. Irak bitümünü ve Batman bitümünün yumuşama noktası değerlerinin birbirine yakın olduğu gözlenmiştir. Ana bağlayıcı olarak LANAZ bitümü kullanılması durumunda %2, %3 ve %4 SEBS modifiyeli bitümlerde yumuşama noktası değerleri saf bitüme göre sırasıyla %8,6; %14,8 ve %18,7 oranlarında artmıştır. TÜPRAŞ bitümü kullanılması durumunda ise yumuşama noktası değerleri saf bitüme göre sırasıyla %11,1; %18,3 ve %26,0 oranlarında artmıştır. Yumuşama noktası değerlerinden bitüm menşei ve katkı içeriğinin modifiye bitümün etkinliği üzerinde büyük etkisi olduğu söylenebilmektedir. Penetrasyon ve yumuşama noktası değerlerinden SEBS katkısının bitümlü bağlayıcıların yüksek sıcaklık dayanımını arttırdığı belirlenmiştir. Saf ve modifiye bitümlere 135 ve 165°C sıcaklıkta uygulanan dönel viskozite deneylerinden elde edilen viskozite sonuçları Şekil 6'da görülmektedir.



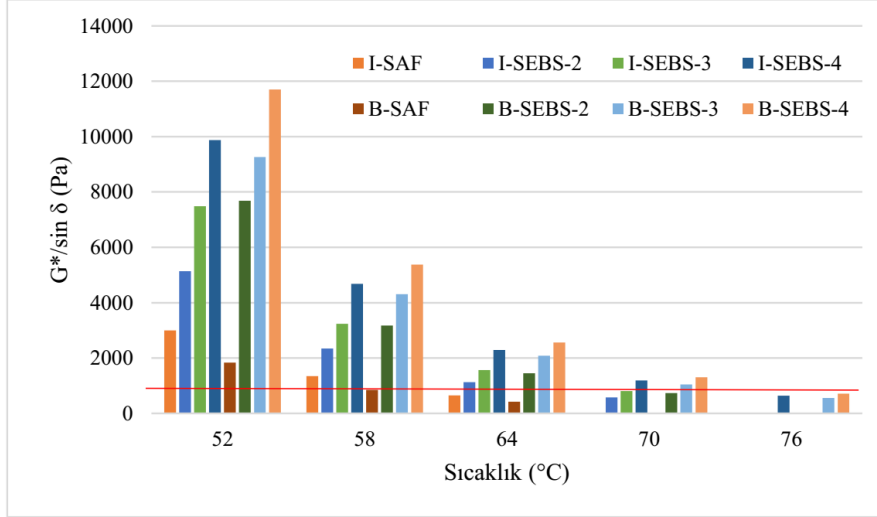
Şekil 6. Saf ve SEBS modifiyeli bitümlerin 135 ve 165°C sıcaklıktaki viskozite değerleri

Şekil 6'da görüldüğü üzere saf Irak bitümünün viskozite değerlerinin saf Batman bitümünün viskozite değerlerinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Hem 135 hem de 165°C sıcaklıkta katkı kullanımı ile viskozite değerleri önemli oranda artmıştır. Bütün bağlayıcıların 135°C sıcaklıktaki viskozite değerlerinin 3000 cP değerinden düşük olması, bağlayıcıların işlenebilirlik ve pompalanabilirlik açısından uygun olduğunu göstermektedir.

135°C sıcaklıkta LANAZ bitümü kullanılması ile %2, %3 ve %4 SEBS modifikasyonu ile viskozite değerleri saf bitüme göre %81,0; %147,6 ve %233,3 oranlarında artarken TÜPRAŞ bitümü kullanılması ile %110,5; %189,5 ve %284,2 oranlarında artmıştır. 165°C sıcaklıkta ise %2, %3 ve %4 SEBS modifikasyonunda viskozite değerleri LANAZ bitümü kullanılması ile sırasıyla %87,5; %175,0 ve %275,0 oranlarında artarken TÜPRAŞ bitümü kullanılması ile %157,1; %242,9 ve %342,9 oranlarında artmıştır. Viskozite deney sonuçlarından modifikasyonda kullanılacak ana bağlayıcının modifikasyon üzerinde önemli oranda etkili olduğu tespit edilmiştir. Bağlayıcılara farklı sıcaklıklarda uygulanan DSR deneylerinden elde edilen tekerlek izi parametresi ($G^*/\sin \delta$) değerleri Şekil 7'de verilmiştir.

Katki kullanımı ile tekerlek izi parametresi değerleri artarken sıcaklığın artması ile bu değerler azalmıştır. Saf bitümler değerlendirildiğinde aynı penetrasyon sınıfına sahip olmalarına rağmen LANAZ bitümünün TÜPRAŞ bitümüne göre tekerlek izi oluşumuna karşı dayanım açısından daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir. Superpave tasarım yöntemine göre orijinal (yaşlandırılmamış) bağlayıcılarda tekerlek izi oluşmaması için uygulanan deney sıcaklığında tekerlek izi parametresinin ($G^*/\sin \delta$) en az 1000 Pa olması gerekmektedir. Şekil 7'de görüldüğü üzere 52, 58 ve 64°C sıcaklıkta bütün modifiye bitümler tekerlek izi parametresi şartname gereksinimi olan 1000 Pa şartını sağlamıştır. 70°C sıcaklıkta Irak bitümü kullanılan %4 SEBS modifiyeli bitümün, Batman bitümü kullanılan %3 ve %4 SEBS modifiyeli bitümlerin tekerlek izi şartname gereksinimini sağladığı tespit edilmiştir. 76°C sıcaklıkta ise hiçbir bağlayıcı şartı sağlayamamıştır. Irak bitümü kullanılması durumunda %2 SEBS modifikasyonunda $G^*/\sin \delta$ değerinde ortalama %73,4; %3 SEBS modifikasyonunda %144,0 ve %4 SEBS modifikasyonunda ortalama %243,7 oranında artış meydana gelmiştir. Batman bitümü kullanılması durumunda ise modifikasyonda SEBS katkı maddesinden %2, %3 ve %4 kullanılması ile tekerlek izi parametresi değeri sırasıyla %278,1; %400,5 ve %525,0 oranlarında artmıştır. Her ne kadar Irak bitümünün tekerlek izi

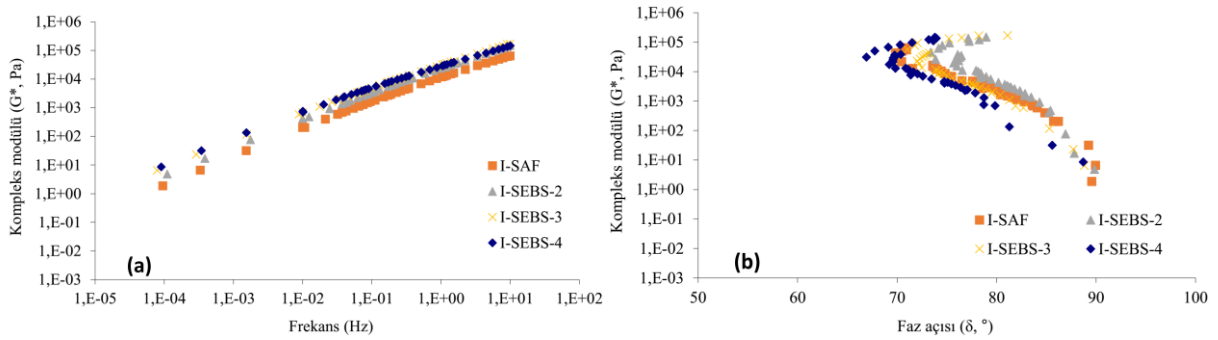
parametresi Batman bitümünden yüksek olsa da modifikasyon sonucunda Batman bitümü kullanılan bağlayıcılar tekerlek izi parametresini saf bağlayıcıya göre daha fazla arttırmıştır. Bu durum SEBS modifikasyonu için tekerlek izi dayanım parametresi açısından Batman bitümünün Irak bitümüne göre daha iyi sonuç verdiğini göstermektedir.



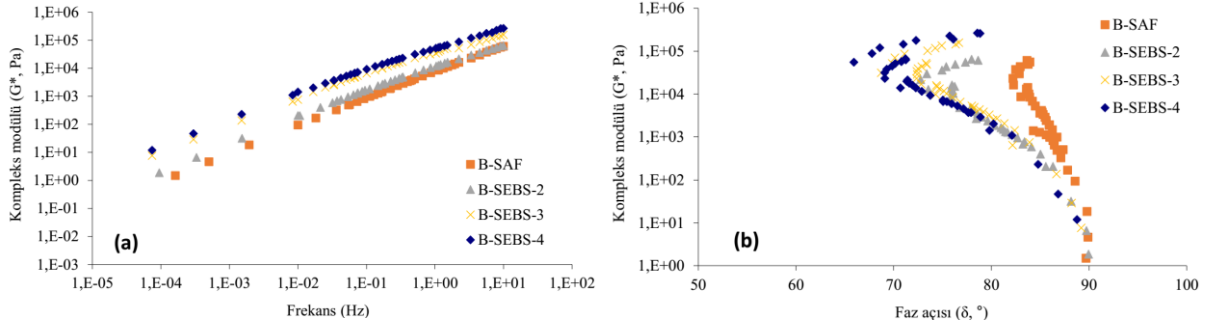
Şekil 7. Tekerlek izi parametrelerinin bitüm türü ve SEBS içeriği ile değişimi

DSR deney sonuçlarından SEBS kullanımı ile bağlayıcıların tekerlek izi dayanım parametrelerinin arttığı belirlenmiştir. Sıcaklığın artması ile bu değerler azalmıştır. Saf bağlayıcılar karşılaştırıldığında Irak LANAZ bitümünün Batman TÜPRAŞ bitümüne göre daha iyi sonuç verdiği, modifiye bitümler karşılaştırıldığında ise modifikasyonda Batman TÜPRAŞ bitümünün daha etkili sonuçlar sağladığı tespit edilmiştir. Tekerlek izi parametrelerinden saf bitüm kullanılması durumunda Irak LANAZ bitümünün modifiye bitüm üretiminde ise Batman TÜPRAŞ bitümünün tercih edilmesinin daha uygun olacağı söylenebilmektedir.

Çalışmada ayrıca saf ve modifiye bitümlere 40, 50, 60 ve 70°C sıcaklıkta 0,01-10 Hz frekans aralığında 10 farklı frekansta dinamik kayma reometresi deneyi uygulanarak bitümlü bağlayıcıların farklı şartlardaki reolojik davranışı değerlendirilmeye çalışılmıştır. Elde edilen deney sonuçları superpoze edilerek ana eğrileri (master curve) Malvern Bohlin DSR yazılımı kullanılarak çizilmiştir. Irak LANAZ bitümü kullanılarak hazırlanan SEBS modifiyeli bitümlerin kompleks modüllerinin ana eğrileri ve siyah diyagramları Şekil 8'de, Batman TÜPRAŞ bitümü kullanılarak hazırlanan SEBS modifiyeli bitümlerin kompleks modüllerinin ana eğrileri ve siyah diyagramları ise Şekil 9'da görülmektedir.



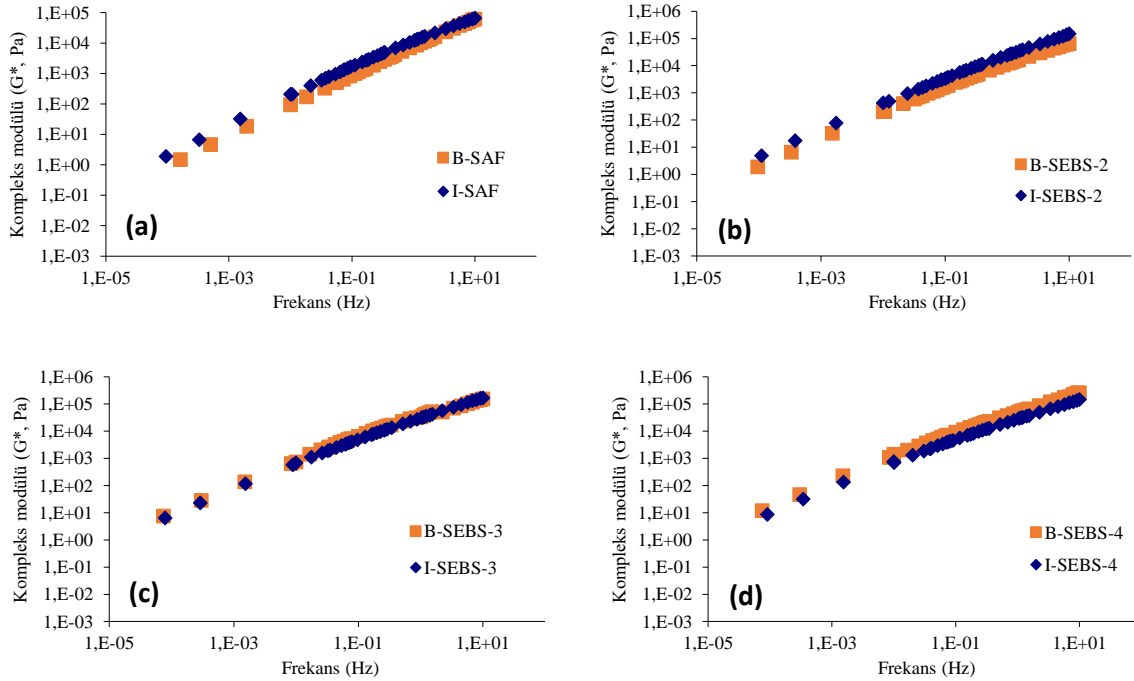
Şekil 8. Irak LANAZ bitümü ile hazırlanan SEBS modifiyeli bitümlerin ana eğrileri (a) ve siyah diyagramları (b)



Şekil 9. Batman TÜPRAŞ bitümü ile hazırlanan SEBS modifiyeli bitümlerin ana eğrileri (a) ve siyah diyagramları (b)

Şekil 8 (a) ve Şekil 9 (a)'da görüldüğü üzere frekansın ve SEBS içeriğinin artması ile kompleks kayma modülü değerleri artmıştır. Şekil 8 (a)'da görüldüğü üzere Irak LANAZ bitümü kullanılması durumunda ana eğriler birbirine yakın çıkarken Şekil 9 (a)'da görüldüğü üzere özellikle %3 ve %4 SEBS içeriğinde kompleks kayma modülü değerlerinin saf bağlayıcıdan önemli oranda yüksek olduğu belirlenmiştir.

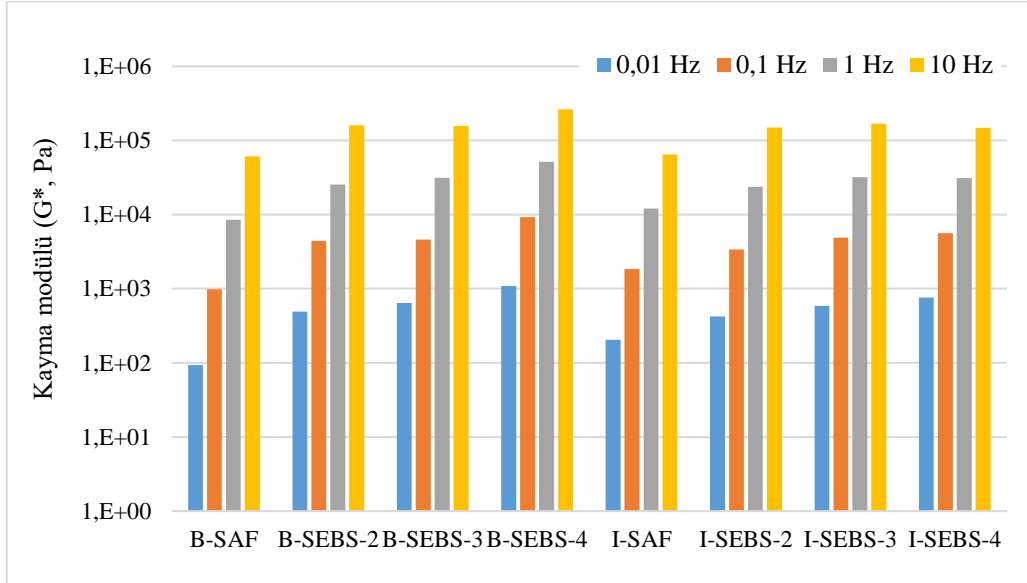
Kompleks modülü değerlerinin yüksek olması ile birlikte faz açısı değerlerinin düşük olması bağlayıcıların daha elastik özellik gösterdiğinin göstergesidir. Şekil 8 (b) ve Şekil 9 (b)'de görüldüğü üzere hem Irak LANAZ bitümü kullanılması hem de Batman TÜPRAŞ bitümü kullanılması durumunda G^* değerlerinin artması ile birlikte faz açısı değerleri azalmıştır. Bu durum SEBS ilavesi ile bitümlerin daha elastik davranış sergileyeceğini göstermektedir. Şekil 8 (b)'de görüldüğü üzere bağlayıcıların siyah diyagramlarının birbirine yakın olduğu (kümelenme olduğu) gözlenirken Batman TÜPRAŞ bitümü kullanılması durumunda katkı içeriğinin artması ile hem kompleks modülünün önemli oranda arttığı hem de faz açısı değerlerinin önemli oranda azaldığı gözlenmiştir (Şekil 9 (b)). Aynı SEBS içeriğine sahip Irak LANAZ ve Batman TÜPRAŞ rafinerilerinden temin edilen bitümler kullanılarak hazırlanan modifiye bitümlerin kompleks kayma modülü ana eğrileri Şekil 10'da görülmektedir.



Şekil 10. Aynı SEBS içeriğine sahip bitümlerin ana eğrilerinde G^* değerlerinin frekansla değişimi

Şekil 10’da görüldüğü üzere saf bağlayıcı ve %2 SEBS içeren modifiye bitümlerde Irak LANAZ bitümü ve Irak LANAZ bitümü kullanılarak hazırlanan modifiye bitümlerin kompleks kayma modülü ana eğrilerinin Batman TÜPRAŞ rafinerisinden temin edilen ve bu bitüm kullanılarak hazırlanan %2 modifiye bitümden elde edilen sonuçlardan daha yüksek olduğu belirlenmiştir. %3 SEBS içeriğinde Irak LANAZ ve Batman TÜPRAŞ bitümü kullanılması durumunda benzer değerler elde edilirken %4 SEBS içeriğinde Batman TÜPRAŞ rafisinden temin edilen bitüm kullanılması durumunda Irak LANAZ bitümüne göre daha yüksek kompleks kayma modülü değerleri elde edildiği belirlenmiştir.

Ana eğrilerden elde edilen 0,01; 0,1; 1 ve 10 Hz frekanslarda bağlayıcıların kompleks kayma modülü değerleri Şekil 11’de verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere katkı kullanımı ve frekanstaki artış ile bağlayıcıların kompleks kayma modülü değerleri önemli oranda artmıştır. Düşük frekans yavaş yükleme hızını ifade ederken yüksek frekans hızlı yüklemeleri göstermektedir. Bu durum, yüksek frekanslarda bağlayıcıların daha elastik davranış sergileyeceğini göstermektedir. 0,01 Hz frekansta Irak LANAZ bitümü kullanılan %2, %3 ve %4 SEBS modifiye bitümlerde G^* değerleri saf bağlayıcıya göre sırasıyla 2,05; 2,86 ve 3,70 kat artarken Batman TÜPRAŞ bitümü kullanılması durumunda artışlar 5,24; 6,88 ve 11,65 kat olmuştur. 10 Hz frekansta ise Irak LANAZ bitümü ile modifiye bitümlerde kompleks kayma modülü değeri saf bağlayıcıya göre %2 SEBS içeriğinde 2,3 kat; %3 SEBS içeriğinde 2,6 kat ve %4 SEBS içeriğinde ise 2,27 kat artış göstermiştir. Batman TÜPRAŞ bitümü kullanılması durumunda 10 Hz frekansta %2 SEBS kullanılması durumunda 2,62 kat; %3 SEBS içeriğinde 2,67 kat ve %4 SEBS içeriğinde 4,32 kat daha yüksek çıkmıştır. Elde edilen sonuçlardan Batman TÜPRAŞ bitümü kullanılması durumunda daha etkili modifiye bitümler elde edileceğini göstermektedir.



Şekil 11. Bağlayıcıların kompleks modülü değerlerinin frekansla değişimi

4. Sonuç ve Değerlendirme

Çalışmada Kuzey Irak’ta bulunan LANAZ rafinerisinden ve Batman TÜPRAŞ rafinerisinden temin edilen B 160/220 sınıfı bitümlere 3 farklı oranda (%2, %3 ve %4) stiren-etilen-bütadien-stiren (SEBS) ilave edilerek modifiye bitümler elde edilmiştir. Bağlayıcılar üzerinde penetrasyon, yumuşama noktası, döneel viskozite ve dinamik kayma reometresi deneyleri uygulanarak farklı kaynaklardan temin edilen bağlayıcıların modifiye bitümlerin reolojik özelliklerine etkisi değerlendirilmiştir.

Penetrasyon deneyleri sonucunda %2 ve %3 SEBS içeriğinde LANAZ bitümünün %4 katkı içeriğinde ise TÜPRAŞ bitümünün daha etkili olduğu, yumuşama noktası, viskozite ve dinamik kayma reometresi deneyleri sonucunda ise bütün SEBS içeriklerinde TÜPRAŞ bitümü kullanılması durumunda daha etkili modifiye bitümler elde edildiği tespit edilmiştir. Saf bağlayıcılar karşılaştırıldığında ise Irak LANAZ bitümünün daha yüksek yumuşama noktası, viskozite ve tekerlek izi parametresi, kompleks kayma modülü değerlerine sahip olduğu, dolayısıyla reolojik olarak daha üstün yüksek sıcaklık dayanım parametrelerine haiz olduğu belirlenmiştir. Farklı frekanslarda ve sıcaklıklarda uygulanan dinamik kayma reometresi deneyleri sonucunda ise Batman TÜPRAŞ

bitümü kullanılan modifiye bitümlerin daha elastik davranış sergilediği, katkı içeriğinin artması ile Batman TÜPRAŞ rafinerisinden temin edilen bitüm kullanılmasının daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir.

Saf bitüme polimerik katkı ilave edilmesi durumunda bitümde bulunan asfaltlar katkı ile herhangi bir etkileşimde bulunmazken, polimerler malten yapı içerisinde bulunan yağsı fraksiyonlarla etkileşime geçerek polimerik ağ yapısını oluşturmaktadır [3]. Bitüm içerisindeki asfalt miktarının fazla olması saf bitümün daha yüksek dayanım göstermesini sağlarken katkı maddeleri ile etkileşime geçmediğinden modifikasyonun başarısını azaltmaktadır. Türkiye'deki rafinerilerde üretilen bitümler içerisinde Batman bitümünün performans seviyesi yüksek sıcaklık değerinin diğer rafinerilerde üretilen bitümlerden daha yüksek olduğu önceki çalışmalarda belirlenmiştir. Bu durum Batman bitümünün asfalt içeriğinin yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Çalışmada saf bitüm olarak değerlendirildiğinde Irak LANAZ bitümünün daha yüksek sonuç vermesi modifikasyonda Batman bitümünün daha olumlu sonuçlar vermesi LANAZ bitümünde asfalt içeriğinin daha yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Çalışma sonucunda modifiye bitüm hazırlanmasında bitüm kaynağının ve kimyasal yapısının önemi tekrar vurgulanmıştır. Modifiye bitüm hazırlanmasında farklı kaynaklardan numuneler tedarik edilerek laboratuvar deneyleri ile performanslarının değerlendirilmesi, modifiye bitümlerle hazırlanan yolların servis kabiliyetleri ve ekonomik ömürlerinin artması açısından fayda sağlayacaktır.

Kaynaklar

- [1] European Committee for Standardization EN 12597 Bitumen and Bituminous Binders- Terminology; European Committee for Standardization: Brussels, Belgium, 2000.
- [2] Paliukait M, Vaitkusa A, Zofkab A. Evaluation of bitumen fractional composition depending on the crude oil type and production technology. In Proceedings of the 9th International Conference "Environmental Engineering" Selected Papers, Vilnius, Lithuania, 22–23 May 2014.
- [3] Read J. Witheoak, D. The Shell Bitumen Handbook, 5th ed; Thomas Telford Publishing: London, UK, 2003.
- [4] Lesueur D. The colloidal structure of bitumen: consequences on the rheology and on the mechanisms of bitumen modification. *Adv. Colloid Interface Sci.* 2009; 145: 42–82.
- [5] Porto M, Caputo P, Loise V, Eskandarsefat S, Teltayev B, Oliviero Rossi C. Bitumen and bitumen modification: A review on latest advances. *Applied Sciences*, 2019; 9(4): 742.
- [6] Dong F, Zhao W, Zhang Y, Wei J, Fan W, Yu Y, Wang Z. Influence of SBS and asphalt on SBS dispersion and the performance of modified asphalt. *Constr. Build. Mater.*, 2014; 62: 1-7.
- [7] Djaffar S B, Samy D, Khadidja A M. Rheological properties and storage stability of SEBS polymer modified bitumen. *International Journal of Engineering Science and Technology*, 2013; 5(5): 1031-1038.
- [8] Zapién-Castillo S, Rivera-Armenta J L, Chávez-Cinco M Y, Salazar-Cruz B A, Mendoza-Martínez A M. Physical and rheological properties of asphalt modified with SEBS/montmorillonite nanocomposite. *Constr. Build. Mater.*, 2016; 106: 349-356.
- [9] Bachir D S, Dekhli S, Mokhtar K A. Rheological evaluation of ageing properties of SEBS polymer modified bitumens. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 2016; 60(3): 397-404.
- [10] Lu X, Isacson U, Ekblad J. Rheological properties of SEBS, EVA and EBA polymer modified bitumens. *Materials and Structures*, 1999; 32(2): 131-139.
- [11] Polacco G, Muscente A, Biondi D, Santini S. Effect of composition on the properties of SEBS modified asphalts. *European polymer journal*, 2006; 42(5): 1113-1121.
- [12] Zhu J, Birgisson B, Kringos N. Polymer modification of bitumen: Advances and challenges. *European Polymer Journal*, 2014; 54: 18-38.
- [13].Ashoori S, Sharifi M, Masoumi M, Salehi M M. The relationship between SARA fractions and crude oil stability. *Egypt. J. Pet.* 2017; 26: 209–213.
- [14] King G N, King H W, Harders O, Arant W, Planche P P. Influence of asphalt grade and polymer concentration on the low temperature performance of polymer modified asphalt. *Asphalt Paving Technologists*1993; 62: 1-22.
- [15] Brulé B, Brion Y, Tanguy A. Paving asphalt polymer blends; relationships between composition, structure and properties. *Proc. Assoc. Asphalt Paving Technologists* 1988; 57: 41-64.
- [16] Yılmaz M, Kök B V, Kuloğlu N, Alataş T. Elastomer türü polimerler ile modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcıların depolama stabiliteilerinin ve reolojik özelliklerinin incelenmesi. *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi* 2013; 15 (1): 67-77.
- [17] EN 1426. "Bitüm ve Bitümlü Bağlayıcılar-İğne Batma Derinliği Tayini", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara 2015.
- [18] EN 1427. "Bitüm ve Bitümlü Bağlayıcılar-Yumuşama Noktası Tayini-Halka ve Bilye Metodu", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara 2015.
- [19] AASHTO TP 5. "Standard Test Method for Determining the Rheological Properties of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer (DSR)", American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), Washington DC, 1998.

- [20] ASTM D4402/D4402M. “Standard Test Method for Viscosity Determination of Asphalt at Elevated Temperatures Using a rotational Viscometer”, ASTM International, West Conshohocken, PA., 2015.
- [21] McGennis R B, Shuler S, Bahia H U. Background of Superpave Asphalt Binder Test Methods, National Asphalt Training Center Demonstration Project 101, Publication No. FHWA-SA-94-069, Asphalt Institute, Lexington, KY, 104 p., 1994.
- [22] Airey G D. Styrene butadiene styrene polymer modification of road bitumens. *Journal of Materials Science* 2004; 39(3): 951-959.