
Araştırma Makalesi / Research Article

Saf ve Modifiye Bitümlerin Farklı Frekans ve Sıcaklıklardaki Reolojik Özelliklerinin İncelenmesi

Erkut YALÇIN*

*Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye
(ORCID: 0000-0002-6389-4211)*

Öz

Çalışmada, farklı kaynaklardan temin edilen saf bağlayıcıların ve bu bağlayıcılarla hazırlanan modifiye bitümlerin farklı sıcaklık ve frekanslardaki reolojik özellikleri belirlenmiştir. Çalışmada ana bağlayıcı olarak Batman TÜPRAŞ ve Irak LANAZ rafinerilerinden temin edilen B 160/220 sınıfı saf bitüm kullanılmıştır. Katkı maddesi olarak Kraton SBS D1101 kullanılmış olup katkı oranları %2, %3 ve %4 olarak seçilmiştir. Saf ve modifiye bitümlere 4 farklı sıcaklıkta (40, 50, 60 ve 70°C) sıcaklıkta ve 10 farklı frekansta (0,01 ile 10 Hz aralığında) dinamik kayma reometresi (DSR) deneyi uygulanmıştır. Uygulanan DSR deneyleri sonucunda Irak LANAZ bitümü ve bu bitüm kullanılarak hazırlanan modifiye bitümlerin Batman TÜPRAŞ bitümü ve bu bitüm kullanılarak hazırlanan modifiye bitümlerden daha yüksek kompleks kayma modülü ve daha düşük faz açısı değerlerine sahip olduğu dolayısıyla daha elastik davranış sergilediği belirlenmiştir. Kompleks kayma modülü değerleri üzerinde %2 ve %3 katkı içeriklerinde Batman TÜPRAŞ bitümünün %4 katkı içeriğinde ise Irak LANAZ bitümünün daha etkin olduğu belirlenmiştir. Deney sonuçlarından Irak LANAZ bitümü ve %4 oranında SBS kullanılması ile en uygun modifiye bitümün elde edildiği tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Bitüm, Reoloji, Stiren Butadiyen Stiren, Dinamik Mekanik Analiz.

Investigation of Rheological Properties of Neat and Modified Binders at Different Temperatures and Frequencies

Abstract

In this study, rheological properties of pure binders obtained from different sources and modified bitumen prepared with these binders at different temperatures and frequencies were determined. B 160/220 pure bitumen obtained from Batman TÜPRAŞ and Iraq LANAZ refineries was used as the main binder in the study. Kraton SBS D1101 was used as the additive and the additives were selected as 2%, 3% and 4%. Dynamic shear rheometry (DSR) was applied to pure and modified bitumen at 4 different temperatures (40, 50, 60 and 70 ° C) and 10 different frequencies (0.01 to 10 Hz). As a result of DSR experiments, Iraq LANAZ bitumen and modified bitumen prepared using this bitumen have higher complex shear modulus and lower phase angle values than Batman TÜPRAŞ bitumen and modified bitumen prepared using this bitumen. It was determined that Batman TÜPRAŞ bitumen was more effective in 2% and 3% additive contents of complex shear modulus values and Iraq LANAZ bitumen was more effective in 4% additive content. The most suitable modified bitumen was obtained by using LANAZ bitumen and 4% SBS in Iraq.

Keywords: Bitumen, Rheology, Styrene Butadiene Styrene, Dynamic Mechanical Analysis.

1. Giriş

Karayolu esnek üstyapı kaplama tabakaları, agrega ve bağlayıcı olarak kullanılan bitümlü malzemelerden oluşmaktadır. Bitümlü sıcak karışımlarda (BSK) karışımın ağırlıkça %93-95'i agregadan oluşurken %5-7'si bitümlü malzemelerden oluşmaktadır [1]. Türkiye'de Karayolları Genel Müdürlüğü denetimi altındaki yolların tamamına yakını esnek üstyapı olup 2019 verilerine göre 24.082

*Sorumlu yazar: erkutyalcin@firat.edu.tr

Geliş Tarihi: 29.07.2019, Kabul Tarihi: 06.12.2019

km'si BSK, 39.333 km'si ise sathi kaplamalıdır [2]. Petrolün rafine edilmesi sonucu elde edilen bitümlü bağlayıcılar çoğu yol kesimi için yeterli performans sergilemesine rağmen özellikle artan trafik hacimleri, ağır taşıt sayıları çeşitli iklim koşullarında yeterli performansı sağlayacak bitümlü bağlayıcılara ihtiyaç duyulmasına neden olmaktadır.

Bitümlü bağlayıcılar, asfalttenler ve maltenlerden oluşmakta olup, farklı seviyelerde polarite ve molar kütleli koloidal kompleks bileşikler sistemi olduğu kabul edilmektedir [3]. Asfalttenlerin maltenler içindeki dağılım derecesi ve hidrokarbonların karakteri, asfaltın yorulma çatlağı, tekerlek izi direnci, düşük sıcaklık çatlağı ve oksidasyon direnci gibi fiziksel özelliklerini etkilemektedir [4]. Bitümlü bağlayıcıların dolayısıyla bitümlü sıcak karışımların performansını artırmak amacıyla en sık kullanılan yöntem katkı malzemesi kullanılmasıdır. Bitüm katkı maddeleri içerisinde en çok polimer türü malzemeler kullanılmaktadır [5]. Polimerler, uzun zincirler oluşturmak için daha küçük moleküller (monomerler) arasındaki kimyasal reaksiyon yoluyla sentezlenen makromoleküllerdir. Elde edilen polimerin fiziksel özellikleri, monomerlerin kimyasal yapısı ve polimer içindeki dizileri ile belirlenir [6]. Rastgele veya blok düzeninde olabilen iki farklı monomerin bir araya gelmesi, bir eş kopolimer oluşturmaktadır.

İki ana polimer grubu olan elastomerler ve plastomerler, bitüm modifikasyonu amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır [7]. Plastomerler (polietilen (PE) ve etilen vinil asetat (EVA) gibi) ve elastomerlerin (stiren butadiyen-stiren (SBS) ve stiren-butadiyen-kauçuk (SBR) gibi) bitüm modifikasyonunda kullanılması ile bitümün dolayısıyla bitümlü sıcak karışımların tekerlek izi, yorulma ve termal çatlak oluşumuna ve nem hasarına karşı dayanımı artmaktadır [8-15]. SBS kopolimerlerinin dayanım ve elastikiyeti, üç boyutlu ağ yapısına sahip moleküllerin fiziksel ve çapraz bağları sayesinde sağlanmaktadır. SBS polimerinde polistiren uç bloklar polimere mukavemet verirken polibutadiyen kauçuk matris bloklar malzemeye elastikiyet sağlamaktadır [16]. SBS bitüme ilave edildiğinde SBS kopolimerinin elastomerik fazı, bitümdeki yağsı fraksiyonları emerek başlangıç hacminin dokuz katına kadar hacim artışı gösterebilmektedir. Yeterli miktarda SBS kullanıldığında polimer modifiye bitümde sürekli bir polimer fazı oluşmakta ve saf bitümün özellikleri önemli ölçüde değişmektedir [17]. Polimer içeriği genellikle ağırlıkça %2 ila 5 arasında olup daha yüksek polimer içeriğinin ekonomik bir dezavantaj olduğu düşünülmektedir [4].

Bitümlü sıcak karışımlarda az miktarda bitümlü bağlayıcı kullanılmasına rağmen, asfalt karışımlarının performansında önemli bir rol oynamaktadır. Bitümlü bağlayıcılar, zamana ve sıcaklığa bağlı özellikleri değişen viskoelastik malzemeler olarak sınıflandırılmaktadır [18]. Bitümlü bağlayıcılar, yüksek sıcaklıklarda Newton sıvıları gibi davranırken, normal sıcaklıklarda viskoelastik katı ve düşük sıcaklıklarda aşırı olmayan yüklerde bile çatlamaya yatkın kırılğan viskoelastik malzemelere benzer davranış sergilemektedir [18]. Bu nedenle bağlayıcıların performansının değerlendirilmesinde sabit sıcaklıkta ve yükleme hızlarında deneyler uygulanması yerine bağlayıcıları farklı sıcaklıklarda ve değişik yüklenme hızlarında deneylere tabi tutmak daha gerçekçi sonuçlar vermektedir.

Bu çalışmada 2 farklı kaynaktan (Irak ve Batman) temin edilen B 160/220 sınıfı bitümlü bağlayıcılara 3 farklı oranda (%2, %3 ve %4) SBS ilave edilerek modifiye bitümler hazırlanmıştır. 6 farklı modifiye bitüm üzerinde 4 farklı sıcaklıkta (40, 50, 60 ve 70°C) ve 10 farklı frekansta (0,01 ile 10 Hz aralığında) dinamik kayma reometresi (DSR) deneyi uygulanarak farklı sıcaklık ve yüklenme hızlarında bağlayıcı reolojik özellikleri değerlendirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Çalışmada, Batman TÜPRAŞ ve Irak LANAZ rafinerilerinden temin edilen B 160 sınıfı bitümü bağlayıcı temin edilmiştir. Katkı maddesi olarak Shell Kraton firması tarafından üretilen stiren butadiyen stiren (SBS D-1101) blok kopolimeri kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan katkı maddesinin genel özellikleri Tablo 1'de görülmektedir. Bitüm ve katkı maddesi sabit bir kap içerisinde 180°C sıcaklıkta 1000 rpm dönme hızında 1 saat süresince karıştırılarak modifiye bitümler hazırlanmıştır [20]. Çalışmada kullanılan mikser ve karıştırma başlığı Şekil 1'de görülmektedir.

Tablo 1. Kraton D 1101 polimerinin genel özellikleri [19]

İçerik	Kraton D 1101
Molekül yapısı	Lineer
Sitiren/kauçuk oranı	31/69
Özgül ağırlık	0.94
Kırılmadaki çekme dayanımı (MPa)	31.8
Shore sertliği (A)	71
Fiziksel form	Poroz pellet, toz
Yumuşama indeksi	< 1
Kırılmadaki uzama (%)	880

**Şekil 1.** SBS polimeri, kullanılan başlık ve karıştırma mikseri

Saf ve SBS modifiyeli bağlayıcıların çalışmada kullanılan kısaltmaları Tablo 2’de verilmiştir. Saf ve SBS modifiyeli bitümlerin penetrasyon, yumuşama noktası, viskozite ve dinamik kayma reometresi deney sonuçları Tablo 3’de verilmiştir [21]. Tablo 3’te görüldüğü üzere her iki saf bağlayıcı kullanılması durumunda da SBS içeriği arttıkça penetrasyon değerlerinin azaldığı, yumuşama noktası değerlerinin ve viskozite değerlerinin arttığı belirlenmiştir. Irak LANAZ rafinerisinden temin edilen saf bağlayıcının Batman TÜPRAŞ rafinerisinden temin edilen bağlayıcıya göre daha yüksek penetrasyon, yumuşama noktası ve viskozite değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir.

Tablo 2. Çalışmada kullanılan bitümlerin kısa isimlendirmeleri

Bitüm Kaynağı	SBS İçeriği (%)			
	0	2	3	4
Batman TÜPRAŞ	B1	B1-%2	B1-%3	B1-%4
Irak LANAZ	B2	B2-%2	B2-%3	B2-%4

Tablo 3. Saf ve SBS modifiyeli bitümlerin konvansiyonel bağlayıcı deney sonuçları [21]

Bağlayıcı türü	Penetrasyon (mm ⁻¹)	Yumuşama noktası (°C)	Viskozite (cP)	
			135°C	165°C
B1	175	44,0	237,5	87,5
B1-%2	114	49,0	400	150
B1-%3	106	54,0	600	187,5
B1-%4	96	59,2	862,5	287,5
B2	191	46,9	262,5	100
B2-%2	116	53,2	500	175
B2-%3	102	56,8	750	212,5
B2-%4	81	61,2	1213	375

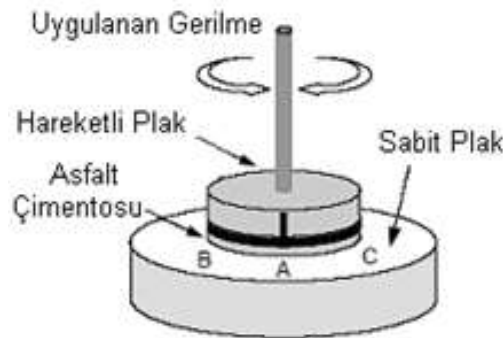
Günümüzde, bitümlü bağlayıcıların reolojik özelliklerinin tespitinde en yaygın kullanılan yöntem dinamik mekanik analizdir. Bu analizde Şekil 2’de görülen dinamik kayma reometresi kullanılmaktadır. Şekil 3’te görüldüğü gibi bitümlü bağlayıcılara uygulanan salınım (sinüsoidal) gerilmeleri ile bitümlü bağlayıcı numunelerinin davranışı değerlendirilmektedir. Deneyde sabit bir sıcaklıkta tutulan iki paralel metal plak arasına ince bir bitümlü bağlayıcı numunesi yerleştirilmektedir.

Plaklardan biri sinüsoidal hareket ederken diğeri sabit tutulmaktadır. Tam bir DSR yükleme devri Şekil 3'de görülmektedir. DSR motoru tork uyguladığında hareketli üst plak A noktasından B noktasına gitmekte geri dönerek A noktasına geldikten sonra C noktasına gitmektedir. Daha sonrada tekrar A noktasına ulaşmaktadır. Bu döngüye bir devir denilmektedir ve deney boyunca tekrarlanmaktadır [22].

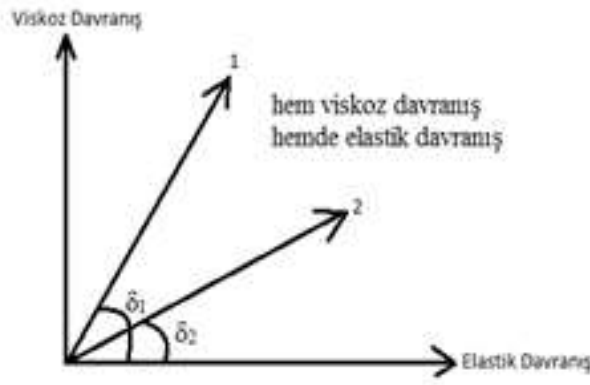
DSR'den elde edilen ana viskoelastik parametreler, kompleks kayma modülü (G^*) ve faz açısıdır (δ). G^* , maksimum (kayma) gerilmenin maksimum şekil değiştirmeye oranı olarak tanımlanır ve bitüm kayma yüküne maruz kaldığında deformasyona karşı toplam direncin bir ölçüsünü ifade etmektedir [23]. Kompleks kayma modülü, depolama (elastik) modülü (G') ve kayıp (viskoz) modül (G'') olarak belirtilen elastik ve viskoz bileşenler içermektedir. Bu iki bileşen, kompleks (kayma) modülü ve faz açısı (δ) ile ilişkilidir. Bir salmım deneyinde gerilme ile şekil değiştirme arasındaki gecikme olarak tanımlanan faz açısı, malzeme davranışının viskoelastik dengesinin bir ölçüsüdür. Eğer δ , 90'a eşitse, o zaman bitümlü malzemenin tamamen viskoz olduğu kabul edilebilir, diğer taraftan faz açısı 0 ise malzeme tamamen elastik davranışa tekabül eder. Bu iki uç nokta arasında malzeme davranışının, viskoz ve elastik yanıtların bir kombinasyonu ile viskoelastik olduğu kabul edilir (Şekil 4) [24]. Çalışmada numune geometrisi 25 mm çap ve 1 mm yüksekli olarak seçilmiş, bağlayıcılara 4 farklı sıcaklıkta (40, 50, 60 ve 70°C) ve 10 farklı frekansta (0,01 ile 10 Hz arasında) DSR deneyi uygulanmıştır.



Şekil 2. DSR deney aleti



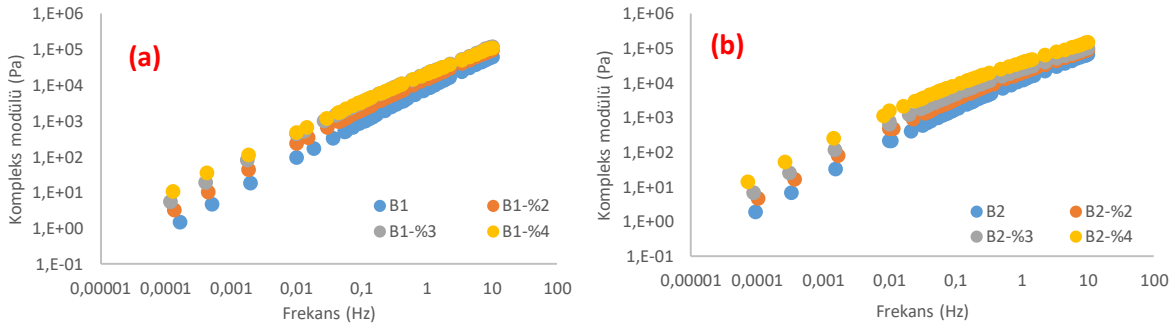
Şekil 3. DSR deneyinde numunelere uygulanan deformasyon yönleri [22]



Şekil 4. DSR deneyine göre elastik ve viskoz davranışın gösterilişi [22]

3. Deneysel Çalışma

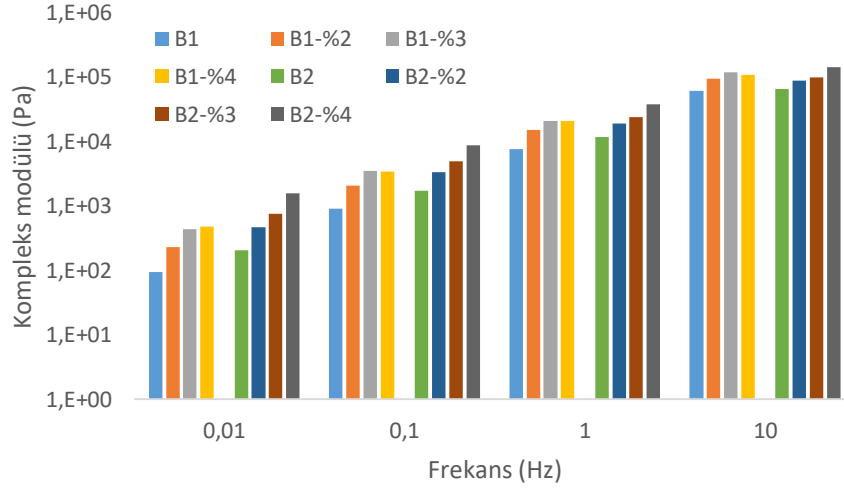
Çalışmada saf ve modifiye bitümlere 40, 50, 60 ve 70°C sıcaklıkta 0,01-10 Hz frekans aralığında 10 farklı frekansta dinamik kayma reometresi deneyi uygulanarak bitümlü bağlayıcıların farklı şartlardaki reolojik davranışı değerlendirilmiştir. Elde edilen deney sonuçları superpoze edilerek ana eğrileri (master curve) Malvern Bohlin DSR yazılımı kullanılarak çizilmiştir. Irak LANAZ bitümü kullanılarak hazırlanan SBS modifiyeli bitümlerin kompleks modüllerinin ana eğrileri ve siyah diyagramları Şekil 5'de görülmektedir.



Şekil 5. Batman TÜPRAŞ (a) ve Irak LANAZ (b) bitümleri kullanarak hazırlanan bağlayıcıların kompleks kayma modülü değerlerinin frekansla değişimi

Şekil 5'te görüldüğü üzere frekansın (yükleme hızının) artması ile kompleks kayma modülü değerleri artmıştır. Hem Irak LANAZ bitümü hem de Batman TÜPRAŞ bitümü kullanılması durumunda katkı maddesi olan SBS içeriği arttıkça bağlayıcıların kompleks modülü değerleri artmıştır. Düşük frekanslarda katkı maddelerinin etkisi daha belirgin iken yüksek frekanslarda SBS içeriğinin etkisi azalmıştır. Grafiklerde hem yatay eksen hem de dikey eksen logaritmik verildiğinden bağlayıcılar arasındaki farklar belirgin olmasına rağmen değerler birbirine yakın olarak görülmektedir. Bağlayıcıların kompleks modüllerini daha rahat değerlendirebilmek amacıyla bağlayıcıların ana eğrilerinden elde edilen 0.01, 0.1; 1 ve 10 Hz frekanslardaki kompleks modülü değerleri Şekil 6'da verilmiştir.

Şekil 6'da görüldüğü üzere frekans ve katkı içeriği arttıkça kompleks modül değerleri artmıştır. Irak LANAZ rafinerisinden elde edilen saf bitümün (B2) kompleks kayma modülünün Batman TÜPRAŞ rafinerisinden temin edilen bitüme (B1) göre daha yüksek kompleks modül değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca Irak LANAZ rafinerisinden temin edilen bitüm kullanılarak hazırlanan modifiye bitümlerin kompleks kayma modülü değerlerinin Batman TÜPRAŞ rafinerisinden temin edilen bağlayıcıya göre daha yüksek değerlere sahip olduğu tespit edilmiştir. Modifiye bitümlerin kompleks kayma modülü değerlerinin saf bağlayıcının kompleks modülü değerlerine oranı Tablo 4'te verilmiştir.

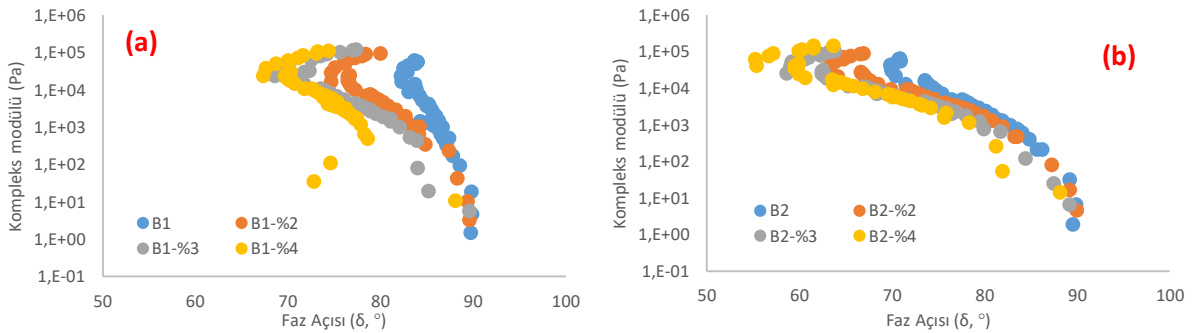


Şekil 6. Bağlayıcıların 4 farklı frekandaki kompleks modülü değerleri

Tablo 4. Modifiye bağlayıcıların G^* değerlerinin saf bağlayıcıların G^* değerlerine oranı

$G^*_{B1-\%2} / G^*_{B1}$	$G^*_{B1-\%3} / G^*_{B1}$	$G^*_{B1-\%4} / G^*_{B1}$	$G^*_{B2-\%2} / G^*_{B2}$	$G^*_{B2-\%3} / G^*_{B2}$	$G^*_{B2-\%4} / G^*_{B2}$
2,49	4,67	5,11	2,26	3,70	7,64
2,30	3,85	3,81	1,94	2,85	5,08
1,96	2,69	2,71	1,63	2,05	3,21
1,54	1,96	1,77	1,37	1,53	2,21

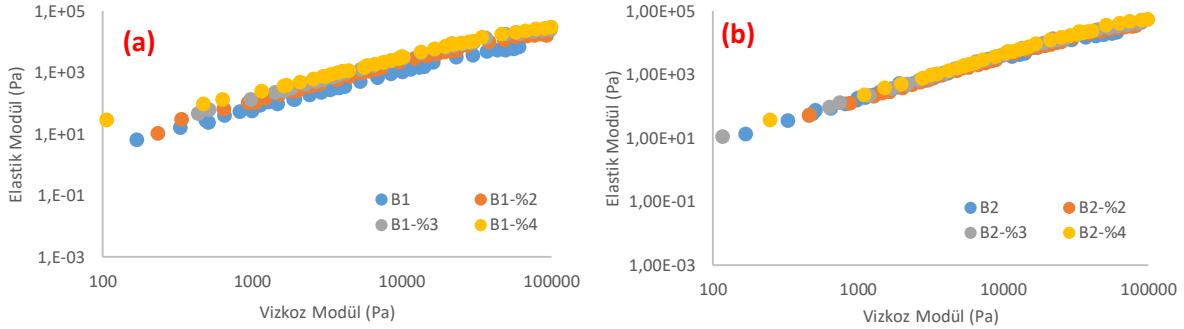
Tablo 4'te görüldüğü üzere %2 ve %3 SBS katkılı bitümlerde Batman TÜPRAŞ (B1) bitümü kullanılması durumunda daha etkin bir modifikasyon elde edilmiştir. %4 SBS içeriğinde ise Irak LANAZ bitümü (B2) bitümü kullanılması ile modifiye bitümün daha etkin olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, Irak LANAZ bitümü kullanılması durumunda %4 katkı içeriğinden itibaren polimer modifiye bitümde üç boyutlu ağların oluşmasından, daha düşük katkı içeriğinin bu ağların oluşması için yeterli olmamasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Saf ve modifiye bitümlerin siyah diyagramları Şekil 7'de görülmektedir.



Şekil 7. Batman TÜPRAŞ (a) ve Irak LANAZ (b) bitümleri kullanılarak hazırlanan bağlayıcıların kompleks kayma modülü – faz açısı ilişkisi (siyah diyagramlar)

Faz açısı değerlerinin düşük ve kompleks kayma modülü değerlerinin yüksek olması bağlayıcıların daha elastik davranış sergilediğini göstermektedir. Şekil 7(a) incelendiğinde saf bitümde kompleks modülü değerlerinde meydana gelen artışla faz açısından çok az miktarda azalma meydana gelmiştir. Modifiye bitümler dikkate alındığında ise katkı içeriği arttıkça özellikle $1,0E+5$ Pa civarı kompleks modül değerlerinde faz açısı değerleri en düşük seviyeye ulaşmış ve katkı içeriğinin artması ile faz açısı değerleri düzenli olarak azalmıştır. En düşük faz açısı değerlerinin %4 SBS modifiye bitümde elde edildiği ve $65-70^\circ$ aralığında olduğu gözlenmiştir. Şekil 7(b) incelendiğinde ise en düşük faz açısı değerlerine B1 bitümü kullanılan modifiye bitümlerde olduğu gibi $1,0E+5$ Pa'ya yakın G^*

değerlerinde elde edildiği sonrasında ise bu değerlerin arttığı belirlenmiştir. Hem B1 ve hem B2 bitümleri kullanılan modifiye bitümlerde G^* değerlerinin $1,0E+5$ Pa değerine kadar faz açısı değerlerinin azalması sonrasında ise artması her iki bağlayıcı ile hazırlanan modifiye bitümlerin sınır kayma gerilmesi dayanımlarının benzer olduğunu göstermektedir. B2 saf bağlayıcısının faz açısı değerleri 70° 'ye kadar azalırken en iyi sonucu veren %4 SBS modifiye bitümde faz açısı değeri 55° civarında olduğu belirlenmiştir. Bu durum hem saf hem de modifiye bitümlerde Irak LANAZ (B2) bitümünün elastik davranış açısından Batman TÜPRAŞ (B1) bitümüne göre daha iyi sonuçlara sahip olduğunu göstermektedir. Bağlayıcıların elastik modüllerinin viskozimodülleri ile değişimleri (cole-cole diyagramları) ise Şekil 8'de görülmektedir.



Şekil 8. Batman TÜPRAŞ (a) ve Irak LANAZ (b) bitümleri kullanılarak hazırlanan bağlayıcıların elastik modül – viskoz modül ilişkileri (cole-cole diyagramları)

Şekil 8'de görüldüğü üzere Irak LANAZ (B2) bitümü ve bu bitüm kullanılarak hazırlanan modifiye bitümlerde elastik modül-viskoz modül grafiklerinde eğimin Batman TÜPRAŞ bitümü ve bu bitümle hazırlanan modifiye bitümlere göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu durum Irak LANAZ bitümünü saf olarak kullanılması veya bu bitümle hazırlanan modifiye bitümlerin kullanılması durumunda Batman TÜPRAŞ rafinerisinden temin edilen bitüm kullanılmasına göre daha elastik davranış elde edileceğini göstermektedir.

4. Sonuçlar

Çalışmada iki farklı kaynaktan (Batman TÜPRAŞ ve Irak LANAZ) temin edilen B 160/220 sınıfı bitümler ve 3 farklı oranda (%2, %3 ve %4) Kraton SBS D1101 katkı maddesi kullanılarak modifiye bitümler hazırlanmıştır. Hazırlanan modifiye bitümler üzerinde 4 farklı sıcaklık ve 10 farklı frekansta dinamik kayma reometresi deneyi uygulanarak bağlayıcıların farklı koşullardaki reolojik özellikleri ve reolojik özelliklerindeki değişimler değerlendirmeye çalışılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda Irak LANAZ bitümü ve Batman TÜPRAŞ bitümlerinin aynı penetrasyon sınıflarında olmalarına rağmen kompleks kayma modülleri ve faz açısı değerlerinin önemli oranda farklı oldukları tespit edilmiştir. Irak LANAZ bitümü kullanılan modifiye bitümlerin daha yüksek kompleks modülü değerlerine sahip olmalarına rağmen %2 ve %3 SBS içeriklerinde Batman TÜPRAŞ bitümünün %4 SBS içeriğinde ise Irak LANAZ bitümünün kompleks kayma modülü değerleri üzerinde daha etkin olduğu belirlenmiştir. Bağlayıcıların siyah diyagramlarından Irak LANAZ bitümünün ve bu bitümden hazırlanan modifiye bitümlerin Batman TÜPRAŞ bitümü ve bu bitümle hazırlanan modifiye bitümlere göre daha elastik davranış sergiledikleri belirlenmiştir.

Günümüzde penetrasyon sınıflandırmasında tek bir sıcaklıkta yapılan statik bir deneyle bitümlü bağlayıcıların kıvamı belirlenirken Superpave yönteminde tek bir frekansta uygulanan DSR deneylerinden bağlayıcıların tekerlek izi ve yorulma parametreleri belirlenmektedir. Çalışmada görüldüğü üzere bitümlü bağlayıcılar farklı sıcaklıklarda ve farklı yükleme hızlarında farklı reolojik davranış sergileyebilmektedir. Bu nedenle özellikle modifiye bitümlerin kıvamlarının ve reolojik davranışlarının değerlendirilmesinde geniş bir aralıkta uygulanan reoloji deneylerinin uygulanmasının daha uygun olacağı düşünülmektedir. Ayrıca farklı kaynaklardan elde edilen bitümlerin reolojik davranışları birbirinden farklı çıkmıştır. Bu durumun saf bitümün kimyasal yapısıyla ilişkili olabileceği düşünülmektedir. Asfaltın içeriği yüksek olan bitümlerde modifikasyonun etkinliği azalmaktadır. Farklı

bitümlerle hazırlanan modifiye bağlayıcıların reolojik özelliklerinde meydana gelen değişikliklerin ana bağlayıcıların kimyasal yapısıyla ilgili olabileceği düşünülmektedir. Bu nedenle özellikle modifiye bitümlerle uygulama yapılması durumunda farklı kaynaklardan saf bitümler temin edilerek geniş bir laboratuvar analizleriyle en etkin ve uygun sonucu veren bağlayıcının seçilmesinin daha uygun olacağı düşünülmektedir.

Yazarların Katkısı

Makalede tüm katkı şahsıma aittir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Singh M., Kumar P., Maurya M.R. 2013. Strength Characteristics of SBS Modified Asphalt Mixes with Various Aggregates. *Construction and Building Materials*, 41: 815-823.
- [2] KGM. 2019. <http://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Istatistikler/DevletIIYolEnvanter/SatihYolAgiUzunlugu.pdf> (Erişim Tarihi: 28.07.2019).
- [3] Anderson J.L. 1988. *Advanced in Chemical Engineering*. Academic Press, 1988, ISBN 0-12-008514-3 98–134.
- [4] 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 Processing Technology*, 140: 172-179.
- [5] Topal A. 2010. Evaluation of the properties and microstructure of plastomeric polymer modified bitumens. *Fuel Processing Technology*, 91: 45-51.
- [6] Porto M., Caputo P., Loise V., Eskandarsefat S., Teltayev B., Rossi C.O. 2019. Bitumen and Bitumen Modification: A Review on Latest Advances. *Applied Sciences*, 9: 742.
- [7] Behnood A., Gharehveran M.M. 2018. Morphology, rheology, and physical properties of polymer-modified asphalt binders. *European Polymer Journal*, S0014-3057 (18): 31801-31809.
- [8] Stark W., Jaunich M. 2011. Investigation of Ethylene/Vinyl Acetate Copolymer (EVA) by thermal analysis DSC and DMA,. *Polymer Testing*, 30: 236-242.
- [9] Saoula S., Mokhtar K.A., Haddadi S., Ghorbel E. 2009. Improvement of The Performances of Modified Bituminous Concrete with EVA and EVA-Waste. *Phys. Procedia*, 2: 1319-1326.
- [10] Luo W., Chen J. 2011. Preparation and Properties of Bitumen Modified by EVA Graft Copolymer. *Construction and Building Materials*, 25 (4): 1830-1835.
- [11] Kök B.V., Yılmaz M. 2009. The Effects of Using Lime and Styrene–Butadiene–Styrene on Moisture Sensitivity Resistance of Hot Mix Asphalt. *Construction and Building Materials*, 23: 1999-2006.
- [12] Kumar P., Chandra S., Bose S. 2006. Strength Characteristics of Polymer Modified Mixes. *International Journal of Pavement Engineering*, 7 (1): 63-71.
- [13] Görkem Ç., Şengöz B. 2009. Predicting Stripping and Moisture Induced Damage of Asphalt Concrete Prepared with Polymer Modified Bitumen and Hydrated Lime. *Construction and Building Materials*, 23: 2227-2236.
- [14] Alataş T., Kizirgil M. 2013. The Effects of Using Styrene-Butadiene-Styrene and Fly Ash Together on The Resistance to Moisture-Induced Damage, Permanent Deformation and Fatigue of Hot Mixture Asphalt. *KSCE J. Civ. Eng.* 17: 1030-1039.
- [15] Zhang J., Wang J., Wu Y., Sun W., Wang Y. 2009. Thermal Behaviour and Improved Properties of SBR and SBR/Natural Bitumen Modified Bitumens. *Iran. Polym. J.*, 18: 465-478.

- [16] Isacsson U., Lu X. 1995. Testing and Appraisal of Polymer Modified Road Bitumens: State of the Art. *Mater. Struct.*, 28: 139-159.
- [17] Cavaliere M.G., Diani E., Dia M.D. 1996. Dynamic Mechanical Characterization of Binder and Asphalt Concrete. *Proceedings of the Euroasphalt and Eurobitume Congress*, No. 5551.
- [18] Carreau P.J., Bousmina M., Bonniot F. 2000. The Viscoelastic Properties of Polymermodified Asphalts. *Can. J. Chem. Eng.*, 78 (3): 495-503.
- [19] Shell, 1995. Preparing Blends of Kraton D Polymers and Bitumen. *Shell Technical, Bulletin*.
- [20] Yılmaz M., Çeloğlu E.M. 2013. Effects of SBS and different natural asphalts on the properties of bituminous binders and mixtures. *Construction and Building Materials*, 44: 533-540.
- [21] Yalçın E. 2019. Investigation of the Effects of Sbs on Various Bitumen's Rheological Properties at Moderate and High Temperatures. *International Conference of Civil Engineering & Architecture Conference (ICEARC 2019)*.
- [22] Zaniwski J.P., Pumphrey M.E. 2004. Evaluation of Performance Graded Asphalt Binder Equipment and Testing Protocol. *Asphalt Technology Program*, s.107.
- [23] Airey G.D., 2002. Rheological Evaluation of Ethylene Vinyl Acetate Polymer Modified Bitumens. *Constr. Build. Mater.* 16 (8): 473-487.
- [24] Airey G.D. 2003. Rheological Properties of Styrene Butadiene Styrene Polymer Modified Road Bitumens. *Fuel*, 82: 1709-1719.