
Araştırma Makalesi / Research Article

EVA Bazlı Reçine Modifikasyonunun Reolojik Özellikler Bakımından SBS Modifikasyonu ile Karşılaştırılması

Beyza FURTANA¹, Erkut YALÇIN^{2*}, Baha Vural KÖK², Mehmet YILMAZ²

¹Munzur University Engineering Faculty Civil Engineering Department, Tunceli, Turkey

²Fırat University Engineering Faculty Civil Engineering Department, Elazığ, Turkey

(ORCID: 0000-0003-4565-7324 (ORCID: 0000-0002-6389-4211)

(ORCID: 0000-0002-7496-6006)(ORCID: 0000-0002-2761-2598)

Öz

Esnek üstyapıların en üst tabakasında kullanılan ve en çok gerilmeye maruz kalan aşınma tabakası artan trafik miktarı ve yüklerinden ötürü çoğunlukla modifiye bağlayıcılarla imal edilmektedir. Aşınma tabakasının polimer tipi katkı maddeleriyle modifiye edilmesi kaçınılmaz bir durum haline gelmiştir. Son zamanlarda bitümlü karışım içinde kullanılan bitüm stiren-butadien-stiren (SBS) polimeri ile modifiye edilmektedir. Bu konuda oldukça başarılı uygulamalar söz konusudur. Ancak SBS'ye olan talep her zaman temin edilebilmesini zorlaştırmakta ve alternatif katkı maddelerinin kullanımını gündeme getirmektedir. Bu çalışmada etilen-vinil-asetat (EVA) bazlı reçinenin (EBR) bitümlü bağlayıcının reolojik özelliklerine olan etkisi araştırılmış ve SBS modifikasyonu ile karşılaştırılmıştır. Sonuçta tekerlek izi ve kohezyon özellikleri bakımından %4 EBR modifikasyonunun %3 SBS modifikasyonu ile benzer performans sergilediği, düşük ve yüksek sıcaklık özelliklerinin birlikte değerlendirilmesi durumunda ise %4,7 EBR modifikasyonunun %3 SBS modifikasyonu ile benzer performansa sahip olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: SBS, EVA Bazlı Reçine, Modifikasyon, Reolojik Özellikler.

The Comparison of the EVA Based Resin with SBS Modification in Terms of Rheological Properties

Abstract

The wear layer, which is used in the top layer of flexible pavements and is subjected to the most stress, is produced mostly with modified binders due to increased traffic volume and loads. Modification of the wear layer with polymer type additives has become inevitable. Recently bitumen used in bituminous mixture is modified with styrene-butadiene-styrene (SBS) polymer. There are quite successful applications in this regard. However, demand for SBS makes it difficult to provide always and brings on the use of alternative additives. In this study, the effect of ethylene-vinyl-acetate (EVA) based resin (EBR) on the rheological properties of bituminous binder was investigated and compared with SBS modification. As a result, it was found that 4% EBR modification in terms of rutting and cohesion properties showed similar performance with 3% SBS modification and in the case of the evaluation of low and high temperature properties together, 4.7% EBR modification had similar performance with 3% SBS modification.

Keywords: SBS, EVA Based Resin, Modification, Rheological Properties.

1. Giriş

Karayolları; her türlü taşıt ve yaya ulaşımı için kamunun yararlanmasına açık olan arazi şeridi olarak tanımlanmaktadır. Karayolu üstyapısı, yolun trafik yüklerini taşımak ve bu yükü taban zeminin taşıma gücünü aşmayacak şekilde taban yüzeyine dağıtmak üzere alt yapı üzerine inşa edilen; alt temel, temel ve kaplama tabakalarından oluşmaktadır. Düzgün bir yuvarlanma yüzeyi oluşturan, taşıt lastiklerinin

*Sorumlu yazar: erkutyalcin@firat.edu.tr

Geliş Tarihi: 25.05.2019, Kabul Tarihi: 11.07.2019

temas ettiği üstyapının en pahalı kısmı olan kaplama tabakaları; sathi kaplamadan bitümlü sıcak karışıma (BSK) kadar değişik yöntemlerle yapılabilmektedir. Bitümlü sıcak karışımlar (BSK) içindeki bağlayıcının ana görevi karışımın adezyon ve kohezyonunu sağlamaktır. Agregalar ise karışımın içsel sürtünme direncini ve stabilitesini sağlamaktadır. Bitümlü bağlayıcılar ayrıca oluşturdukları düzgün yüzeyler ile sürüş konforunu sağlamakta ve karışımın boşluklarını doldurarak geçirimsizliğini sağlamaktadır [1].

Bitümlü sıcak karışımlarda trafik ve çevre koşulları nedeniyle tekerlek izi, nem hasarı, düşük ısı ve yorulma çatlakları gibi bozulmalar meydana gelmektedir [1,2]. Bitümün ve bitümlü sıcak karışımların ısıya ve trafik yüklerine karşı dayanımını ve performansını artırarak üstyapının servis ömrünü uzatmak amacıyla çeşitli katkı maddeleri eklenerek modifiye bitümler kullanılmaktadır [3]. Modifiye bitüm üretilmesinde elastomer (SBS) ve plastomer polimerlerin (EVA) yanı sıra polimer olmayan kimyasal katkı maddeleri ile göl asfaltları, kaya asfaltları gibi doğal katkı maddeleri de kullanılmaktadır [3].

Katkı maddeleri içerisinde en çok stiren-butadien-stiren (SBS) blok kopolimerleri kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalarda, bitüm modifikasyonunda SBS kullanımının, bitümlü sıcak karışımların kalıcı deformasyonuna, nem hasarına, tekerlek izi oluşumu ve yorulmaya karşı dayanımını arttırdığı belirtilmiştir [4-8]. Bitümlü bağlayıcı ve karışımı deformasyon ve mekanik yüklere karşı daha dayanıklı hale getiren bu maddeler ağır taşıt trafiğinin ve ağır statik yüklerin bulunduğu yüksek fiziksel ve mekanik özelliklere ihtiyaç duyulan kaplamalar için kullanılmaktadır [3].

EVA kopolimerleri etilen-vinil-asetat'ın rastgele zincirlerinden oluşur. EVA kristal fazlı ve vinil asetat kauçuk yönünden zengin şekilsiz fazlı iki mikro yapıdan oluşur. Kristallenme derecesi ve EVA kopolimer özellikleri, vinil asetat içeriği ile yakından ilgilidir. Vinil içeriğinin artırılması kristalleşme derecesini azaltır. Kristallenme derecesi bileşeni değiştireceği ve yüksek bitüm içeriğine sahip karışımlarda uyumluluk sorununa neden olacağı yüzünden çok düşük olmalıdır. EVA bitüm etkileşimi, SBS bitüm etkileşimi ile aynıdır. Bitümün hafif bileşenleri EVA tarafından emilir ve bu da bitümün orijinal boyutunun 4-5 katı kabarmasına sebep olmaktadır. Düşük EVA içeriği bitüm bakımından zengin faz gösterirken yüksek EVA içeriğinde ise EVA bakımından zengin faz göstermektedir. Optimum EVA içeriğinde ise bitümün özelliklerini önemli ölçüde geliştirir. Ayrıca tekerle izi ve yorulmaya karşı çatlak direncini artırmaktadır [9-11].

SBS'nin aşırı bir şekilde kullanılması, istenilen zamanda tedarik edilmesini sınırlamaktadır. Bu nedenle araştırmacılar SBS modifikasyonu ile elde edilen karışım kadar iyi bir performans sağlayan alternatif katkı maddelerine odaklanmışlardır. Bu çalışmada etilen-vinil-asetat (EVA) bazlı reçinenin (EBR) bitümlü bağlayıcının reolojik özelliklerine olan etkisi araştırılmış ve SBS modifikasyonu ile karşılaştırılmıştır. EBR bağlayıcı farklı oranlarda, SBS ise %3 oranında saf bitüme eklenmiştir. Saf ve modifiye bitüme dinamik kesme reometresi (DSR), kiriş eğilme reometresi (BBR) ve kuvvet düktilite deneyleri uygulanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Çalışmada TÜPRAŞ Batman rafinerisinden temin edilen B 50/70 sınıfı bitüm, Würth firmasından temin edilen etilen vinil asetat (EVA) bazlı reçine (EBR) ve Shell Bitumen şirketi tarafından üretilen stiren-butadien-stiren (SBS) blok kopolimeri (KRATON D 1101) kullanılmıştır. EBR bağlayıcı ağırlığınca %2,3,4,5 oranlarında SBS ise %3 oranında kullanılmıştır. EBR modifiyeli bağlayıcılar 2EBR, 3EBR, 4EBR ve 5EBR olarak SBS modifiyeli bağlayıcı ise 3SBS ile gösterilmiştir. Modifiye bağlayıcılar, katkı malzemesinin saf bağlayıcıya yavaş yavaş ilave edilerek, dört bıçaklı karıştırıcı ile 1000 devir/dakika hıza sahip karıştırıcıda 170 °C sabit sıcaklıkta 1 saat süre ile karıştırılarak elde edilmiştir. Şekil 1'de kullanılan katkı maddeleri Şekil 2'de ise modifiye bitüm hazırlama mikseri görülmektedir. Modifiye bitüm hazırlama sırasında meydana gelen yaşlanma etkisinin sonuçları etkilememesi için hiç katkı içermeyen saf bağlayıcı da aynı karıştırma işlemine tabi tutulmuştur. Saf ve modifiye bitümler dinamik kesme reometresi (DSR), kiriş eğilme reometresi (BBR) ve kuvvet düktilite deneyine tabi tutulmuştur.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan katkı maddeleri

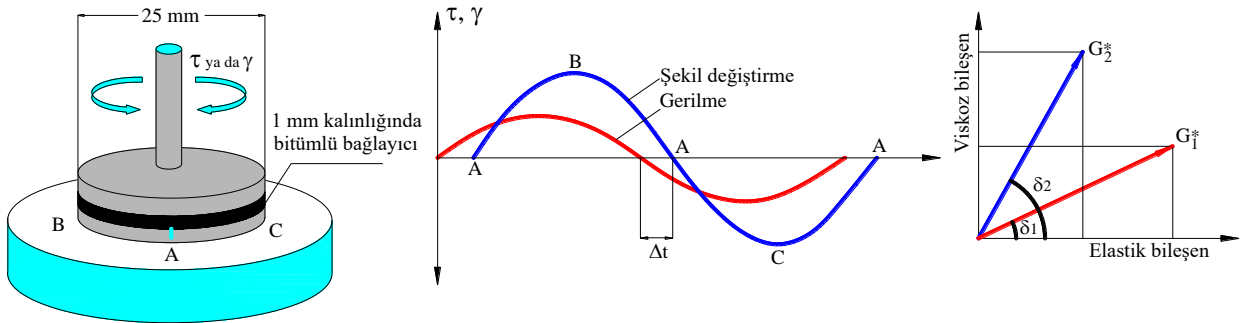


Şekil 2. Modifiye bitüm hazırlama mikseri

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Dinamik Kesme Reometresi (DSR) Deney Sonuçları

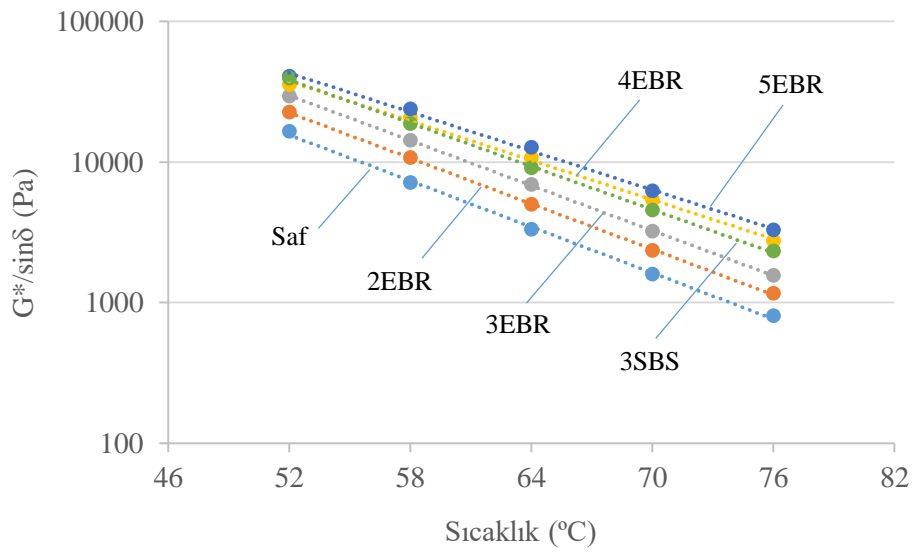
Dinamik kesme reometresi (DSR), bitümlü bağlayıcıların orta ve yüksek sıcaklıklarda viskoz ve elastik davranışlarını karakterize etmek için kullanılan bir deney yöntemidir. DSR deneyinde, bağlayıcıların kompleks kesme modülü (G^*) ve faz açısı (δ) belirlenmektedir. Kompleks kesme modülü, bağlayıcının belirli bir periyotla burulması (Şekil 3) sırasında deformasyona karşı toplam direnci temsil ederken, faz açısı, uygulanan kesme gerilmesi ve ortaya çıkan kesme şekil değiştirmesi arasındaki gecikmeyi temsil etmektedir. Daha büyük faz açısı daha viskoz bir bitümlü bağlayıcıya işaret etmektedir. Kalıcı deformasyon, tekerlek izi parametresini ($G^*/\sin \delta$), yaşlanmamış orijinal bağlayıcılar için 1.0 kPa'dan daha büyük değerlerle sınırlandırarak kontrol edilir [12].



Şekil 3. DSR deneyinde gerilme ve şekil değiştirmeler

Deney, yaşlandırılmamış saf ve modifiye bitümlere gerilme kontrollü olarak Bohlin DSR II reometresi ile ASTM D7175 standardına uygun olarak yapıldı. Deney, 25 mm çapında plak ve 1 mm plak açıklığı ile 1.59 Hz frekans değerinde 52, 58, 64, 70 ve 76  C’de uygulandı. Deneyde bağlayıcıların yüksek sıcaklık performansını ve elastik davranışlarını değerlendirmek amacıyla tekerlek izi parametreleri ve faz açıları tespit edildi.

Şekil 4’te saf ve modifiye bağlayıcıların tekerlek izi parametrelerinde sıcaklığın artması ile meydana gelen değişim verilmiştir. Sıcaklığın artması ile tekerlek izi parametreleri logaritmik olarak azalmaktadır. Bu azalış bütün bağlayıcı tiplerinde benzer bir eğilim göstermektedir. Her 6 derecelik sıcaklık artışı tekerlek izi parametrelerinin %50 azalmasına neden olmaktadır. Saf bağlayıcının $G^*/\sin\delta$ değeri 76  C’de 1000 Pa değerinin altına düşerken, 2EBR ve 3EBR bağlayıcıları 76  C’de sırası ile 1161 Pa ve 1553 Pa $G^*/\sin\delta$ değeri vermektedir. 4EBR, 5EBR ve 3SBS için 82  C’de yapılan deneyde bu bağlayıcıların 1000 Pa limit değerini temin edebildikleri belirlenmiştir. 3SBS bağlayıcısının sıcaklıkla tekerlek izi parametresinde meydana gelen değişim 4EBR bağlayıcısı ile benzer bir eğilim göstermektedir.

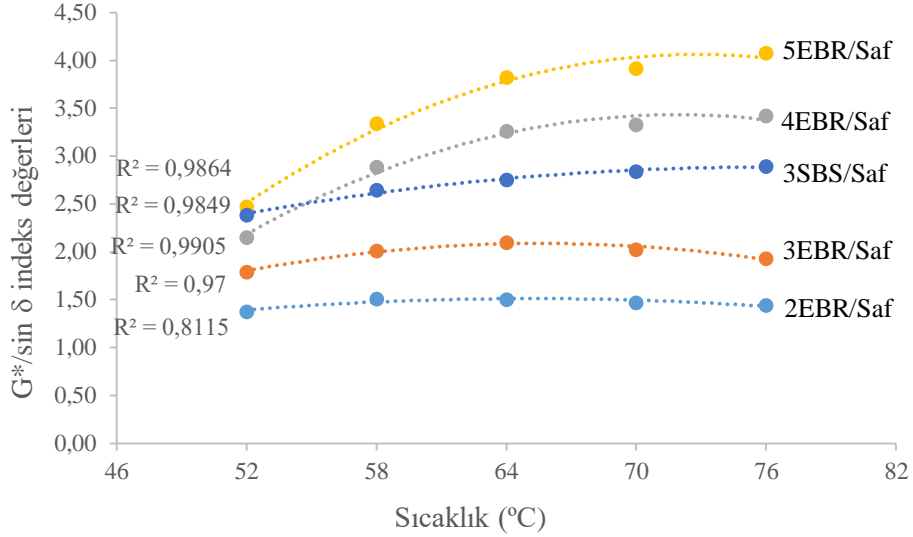


Şekil 4. $G^*/\sin\delta$ değerlerinin sıcaklıkla değişimi

Tablo 1’de modifiye bağlayıcıların 5 farklı sıcaklıktaki $G^*/\sin\delta$ değerlerinin saf bağlayıcının aynı sıcaklıklardaki $G^*/\sin\delta$ değerlerine bölünerek elde edilen indeks değerleri verilmiştir. Şekil 5’te bu indeks değerlerinin sıcaklıkla değişimi grafiksel olarak verilmiştir.

Tablo 1. $G^*/\sin\delta$ değerlerindeki artışlar

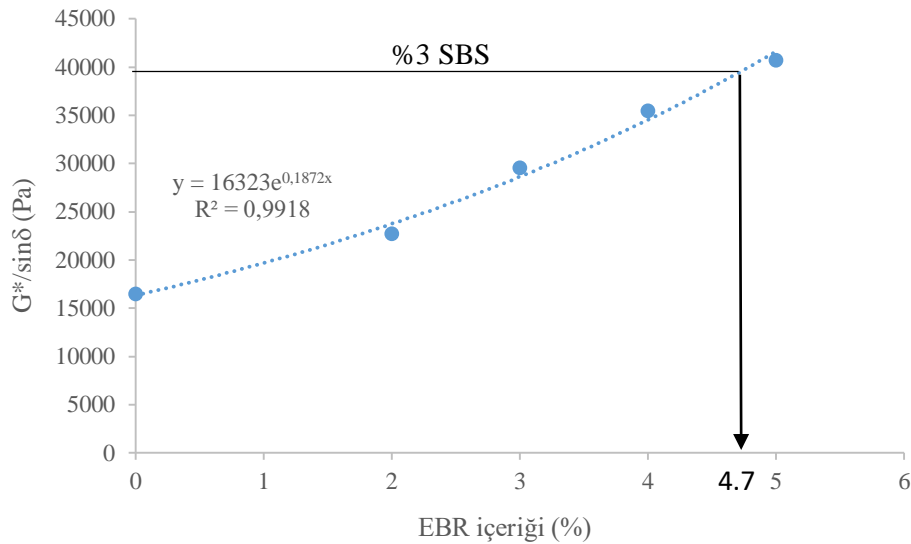
Sıcaklık(�C)	2EBR/Saf	3EBR/Saf	4EBR/Saf	5EBR/Saf	3SBS/Saf
52	1,38	1,79	2,15	2,47	2,39
58	1,51	2,01	2,89	3,34	2,64
64	1,50	2,10	3,26	3,82	2,75
70	1,47	2,03	3,33	3,92	2,84
76	1,45	1,93	3,42	4,08	2,89



Şekil 5 G*/sinδ indeks değerlerinin sıcaklıkla değişimi

Bağlayıcıya %2 ve %3 oranında EBR ilavesi saf bağlayıcının G*/sinδ değerlerini her sıcaklıkta yaklaşık olarak sırasıyla 1,5 ve 2 kat artırmaktadır. %4 ve %5 EBR ilavesinde ise artış oranları sıcaklığın artması ile artmaktadır. Bu durum %4 oranından daha fazla miktardaki EBR modifikasyonunun yüksek sıcaklıklarda deformasyon oluşumuna karşı daha fazla direnç gösterdiğine işaret etmektedir. 3SBS bağlayıcısı, 3EBR ve 4EBR bağlayıcılarının sahip olduğu indeks değerlerinin yaklaşık olarak ortalaması kadar indeks değerleri vermektedir. SBS modifikasyonunda indeks değerlerinin sıcaklıkla artışı 4EBR ve 5EBR bağlayıcılarındaki kadar yüksek olmamaktadır.

%3 SBS modifikasyonu ile aynı G*/sinδ değerini veren EBR oranını tespit etmek amacıyla Şekil 6'da 52 °C için G*/sinδ değerlerinin EBR oranı ile değişimi verilmiştir. Burada görüldüğü üzere %3 SBS modifikasyonu ile aynı performans %4,7 EBR içeriği ile elde edilmektedir. Diğer sıcaklıklar için belirlenen oranlar Tablo 2'de verilmiştir. Bütün sıcaklıklar dikkate alındığında ortalama %4 EBR modifiyeli bağlayıcının %3 SBS modifikasyonu ile benzer performans verdiği tespit edilmiştir.

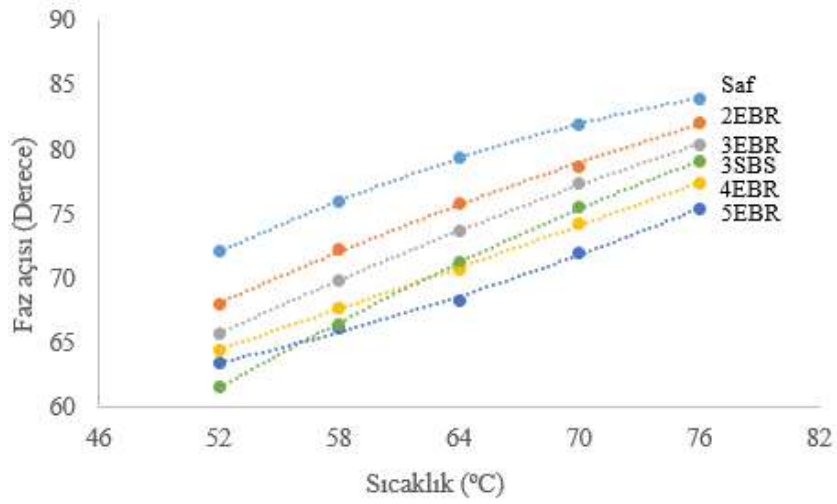


Şekil 6. 52 °C'de EBR içeriği ile G*/sinδ değişimi

Tablo 2. %3 SBS modifikasyonu ile aynı G*/sinδ değerini veren EBR oranı

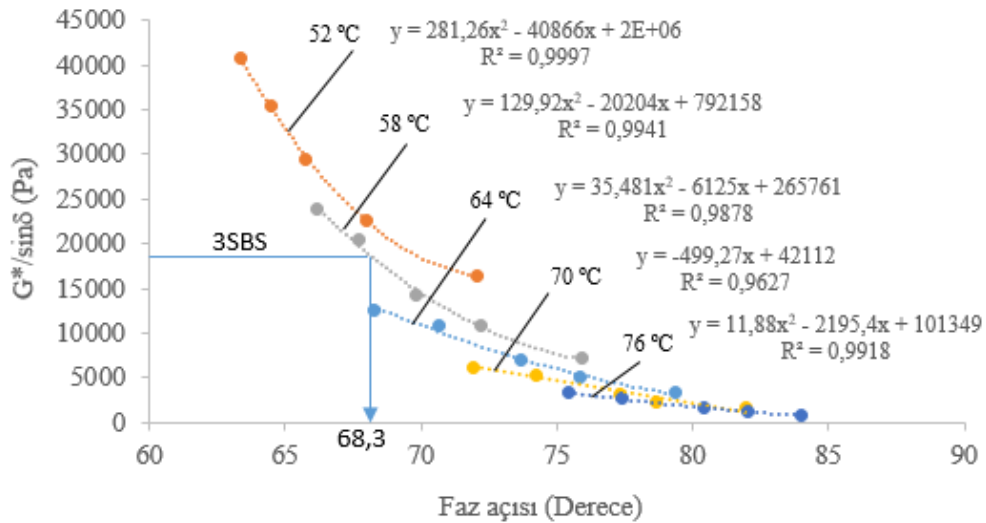
Sıcaklık (°C)	52	58	64	70	76	Ortalama
EBR (%)	4,7	3,9	3,8	3,9	3,9	4,04

Şekil 7’de bağlayıcıların faz açıları sıcaklıkla meydana gelen değişim verilmiştir. Sıcaklığın artışı ile bütün bağlayıcıların faz açıları artarak daha viskoz bir davranış sergilemektedirler. SBS modifikasyonunda faz açısının sıcaklıkla artış hızı herhangi bir EBR modifikasyonundan daha fazladır. Bu durum SBS modifiyeli bağlayıcıların 52 ve 58 °C’deki faz açıları diğer sıcaklıklardaki faz açılarından önemli derecede düşük olmasından kaynaklanmaktadır. 3SBS bağlayıcısının faz açısı değerleri 64 °C’nin üstünde 3EBR ve 4EBR modifikasyonlarının faz açıları arasında kalmaktadır. 2EBR, 3EBR, 4EBR ve 5EBR bağlayıcıları saf bağlayıcıdan bütün sıcaklıklarda sırasıyla ortalama %5, %8, %11 ve %12 daha düşük faz açısı değerleri verirken, 3SBS bağlayıcısı 52 °C’de %15, 76 °C’de ise %6 daha düşük faz açısı vermektedir.



Şekil 7. Bağlayıcıların faz açıları sıcaklıkla değişimi

Faz açıları incelendiğinde 4EBR ve 5EBR bağlayıcılarının 64 °C’nin üstünde 3SBS bağlayıcısından daha düşük faz açısına sahip olarak daha fazla elastik özellik gösterdiği düşünülebilir. Bağlayıcıların elastik özelliklerini değerlendirmek için aynı tekerlek izi parametresine karşılık gelen faz açıları değerlendirilmesi elastik bileşenlerin karşılaştırması bakımından daha gerçekçi olmaktadır. Şekil 8’de EBR modifikasyonunda faz açısına karşılık tekerlek izi parametresindeki değişimler farklı sıcaklıklar için verilmiştir. Bu grafikte örnek olarak 58 °C’deki 3SBS bağlayıcısının tekerlek izi parametresi de gösterilmektedir. Bu grafikten 3SBS bağlayıcısının tekerlek izi parametresi ile aynı değere sahip EBR modifikasyonundaki faz açıları tespit edilmiştir. Tablo 3’te elde edilen sonuçlar verilmiştir.



Şekil 8. Faz açısına karşılık tekerlek izi parametrelerindeki değişim

Tablo 3. Bağlayıcıların aynı tekerlek izi parametresindeki faz açıları

Sıcaklık (°C)	52	58	64	70	76
G*/sin α (Pa)	39323	18823	9116	4526	2324
EBR (α)	63,6	68,3	71,6	74,8	78,1
SBS (α)	61,6	66,4	71,2	75,5	79,1

Tablo 3'ten görüldüğü üzere SBS modifikasyonu 64 °C'ye kadar EBR modifikasyonundan daha düşük faz açısı vermekte dolayısıyla bu sıcaklıklara kadar daha fazla elastik davranış gösterebilmektedir ancak 64 °C'nin üstünde EBR modifikasyonu daha düşük faz açısı vererek yüksek sıcaklıkta SBS modifikasyonuna göre daha fazla elastik bileşene sahip olmuştur.

3.2. Kiriş Eğilme Reometresi (BBR) Deney Sonuçları

Termoplastik bir malzeme olan bitümlü bağlayıcılar düşük sıcaklıkta büzülme eğilimindedirler. Bitümlü bağlayıcı ile agreganın termal genleşme katsayıları arasındaki fark, hava sıcaklığının düşüşü sırasında bitümlü karışımlarda termal gerilmelere neden olur. Sıcaklığın kritik sıcaklığın çok altına tek bir defa düşmesi veya normal düşük sıcaklıklardaki tekrarlanan termal büzülme, termal çatlamaya neden olabilmektedir [13]. BBR testi ile, düşük sıcaklıkta bağlayıcıların sünme rijitliği (St) ve sünme oranı (m değeri) tespit edilmektedir. Bu parametreler bitümlü karışımların düşük sıcaklıkta çatlamaya dayanma kabiliyetini göstermektedir. Bir asfalt kiriş numunesinin herhangi bir yükleme anında (t) sünme rijitliği formül (1) ile tespit edilmektedir.

$$St = PL^3 / (4bh^3 \delta_t) \quad (1)$$

Burada St is sünme rijitliği (MPa), P uygulanan sabit yük(N), L asphalt kiriş numunesinin uzunluğu (102 mm), b kirişin genişliği (12.7 mm), h kirişin yüksekliği (6.35 mm) ve δ_t t zamanındaki deformasyondur (mm). m -value sünme rijitliğinin 60. saniyedeki eğimini ifade etmektedir. Yüksek m -value değeri yüksek eğime, dolayısıyla rijitliğin zamanla çabuk düşmesine diğer bir ifade ile bağlayıcının rijitliği üzerinde tutma süresinin düşük olduğuna yani daha esnek olduğuna işaret etmektedir.

Deney -10 °C ve -20 °C'de ASTM D6648 standardına göre yapılmıştır. Tablo 4'te deneyden elde edilen sonuçlar verilmiştir. -10 °C'de sünme rijitliği değerlerinde düzenli bir artış olurken, -20 °C'de düzenli bir artış söz konusu değildir. m -value değerleri de her iki sıcaklıkta EBR oranı ile düzenli bir değişim göstermemiştir. -10 °C'de 5EBR bağlayıcısı saf bağlayıcıdan %17 daha yüksek sünme rijitliği değeri verirken -20 °C'de saf bağlayıcı ile benzer rijitlik değerine sahip olmuştur. %3 SBS modifiyeli bağlayıcı her iki sıcaklıkta da saf ve EBR modifiyeli bağlayıcılardan daha düşük rijitlik değeri vermiştir. 3SBS bağlayıcısı -10 ve -20 °C'de sırasıyla saf bağlayıcıdan %11 ve %20 daha düşük sünme rijitliğine sahiptir. SBS modifikasyonunun esneklik özelliğini sıcaklığın azalması ile saf ve EBR modifikasyonuna göre daha fazla koruduğu görülmektedir.

Tablo 4. BBR deney sonuçları

Bağlayıcı	-10 (°C)		-20 (°C)		-10 (°C)	-20 (°C)
	St (Mpa)	m-value	St (Mpa)	m-value	St/m-value	St/m-value
Saf	34,07	0,448	163,57	0,337	75,93	484,22
2EBR	35,57	0,421	162,22	0,315	84,42	513,51
3EBR	35,88	0,414	168,60	0,326	86,49	516,38
4EBR	38,79	0,406	162,05	0,307	95,37	527,85
5EBR	40,10	0,410	165,24	0,310	97,80	533,03
3SBS	30,11	0,419	130,31	0,3145	71,80	414,34

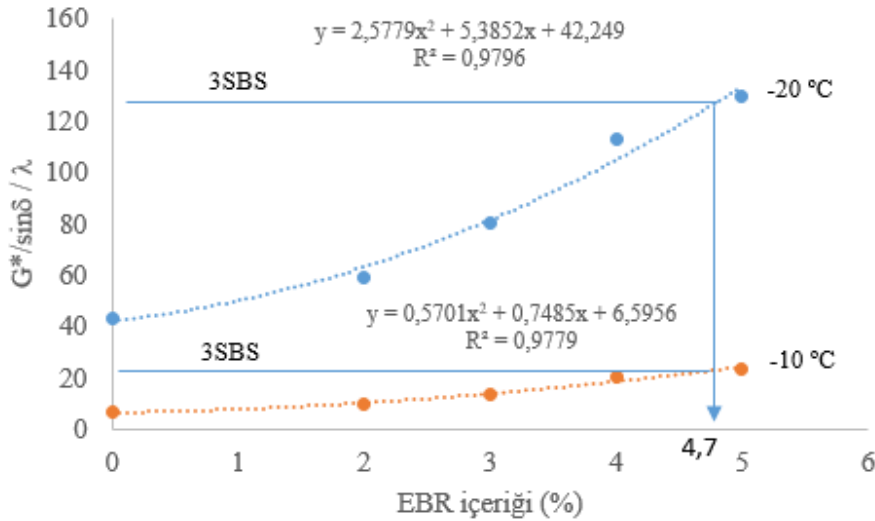
Düşük sünme rijitliği ve yüksek sünme oranı (m -value) düşük sıcaklıkta iyi bir esnek davranış için istenen bir durumdur. Bu sebeple sünme rijitliğinin m -value değerlerine oranı olan " λ "nın

belirlenmesi daha gerçekçi bir değerlendirme olmaktadır. λ 'nın düşük değerleri düşük sıcaklıktaki esnek davranışa işaret etmektedir [14].

Rijitlik ve m-value değerlerinin katkı içeriği ile düzenli bir değişim göstermediği deneyde, λ değerlerinin düzenli değiştiği görülmektedir. Rijitliğin göstergesi olan λ değerlerine göre en düşük λ dolayısıyla en yüksek esneklik özelliğini 3SBS bağlayıcısı göstermiştir. 2,3,4 ve %5 EBR modifikasyonu saf bağlayıcıdan -10 °C'de sırasıyla %11, %14, %26 ve %29 daha fazla λ değerleri vermiştir. Bu oranlar -20° C için %6, %7, %9 ve %10 olmaktadır. Buna göre EBR modifikasyonunun çok düşük sıcaklıklarda daha uygun olduğu görülmektedir.

Diğer bir değerlendirme yüksek ve düşük sıcaklık davranışını birlikte ele alınarak yapılmıştır. BBR deneyinden tespit edilen λ değerleri düşük sıcaklıkta yük dağıtma kabiliyetinin bir ölçüsü olup bu değerlerin düşük olması esnek davranışa işaret etmektedir. $G^*/\sin\delta$ değeri ise yüksek sıcaklıkta iyi bir kalıcı deformasyon direnci bakımından yüksek olması istenen bir değerdir. Bitümlü karışımların yüksek sıcaklıkta stabil ve düşük sıcaklıkta esnek davranış göstermesi arzu edilen bir durum olduğundan bu iki özelliği birlikte değerlendiren $G^*/\sin\delta/\lambda$ oranı bir indeks değeri olarak tespit edilmiştir. Yüksek indeks değerleri, kalıcı deformasyonlara karşı daha iyi bir direnç ve daha iyi bir termal çatlama direnci anlamına gelmektedir.

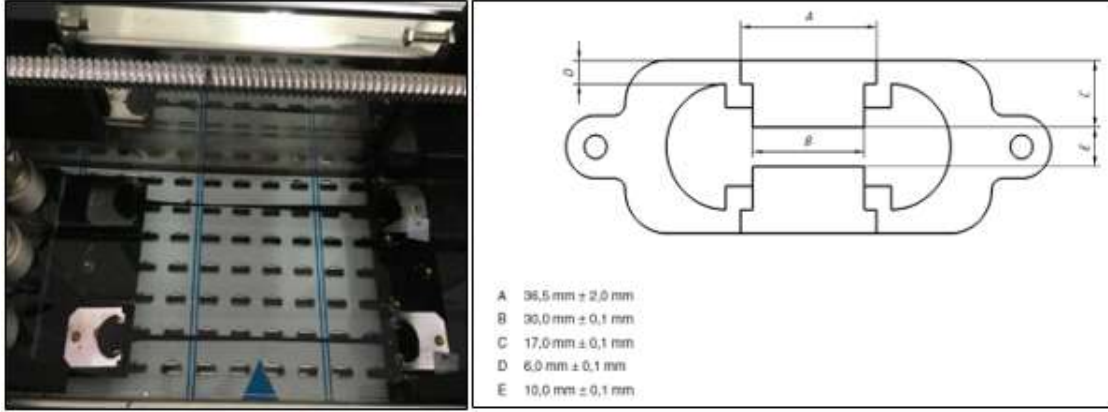
Şekil 9'da 64 °C'deki tekerlek izi parametresinin -10 ve -20 °C'deki λ değerlerine oranı olan indeks değerlerinin EBR içeriği ile değişimi verilmiştir. İndeks değerleri EBR içeriği ile sürekli artmaktadır. EBR modifiyeli bağlayıcıların sünme rijitliklerinin saf bağlayıcıya göre en fazla %30 daha fazla olmasına karşılık tekerlek izi parametrelerinin de çok yüksek olması indeks değerlerinin yüksek olmasına neden olmuştur. Bağlayıcıların yüksek ve düşük sıcaklık performansları birlikte değerlendirildiğinde EBR modifikasyonunun saf bağlayıcıdan önemli derecede üstün olduğu görülmektedir. 3SBS bağlayıcısı ile aynı indeks değerleri %4,7 EBR modifikasyonu ile elde edilmektedir.



Şekil 9. $G^*/\sin\delta / \lambda$ indeks değerlerinin EBR içeriği ile değişimi

3.3. Kuvvet Düktilite Deney Sonuçları

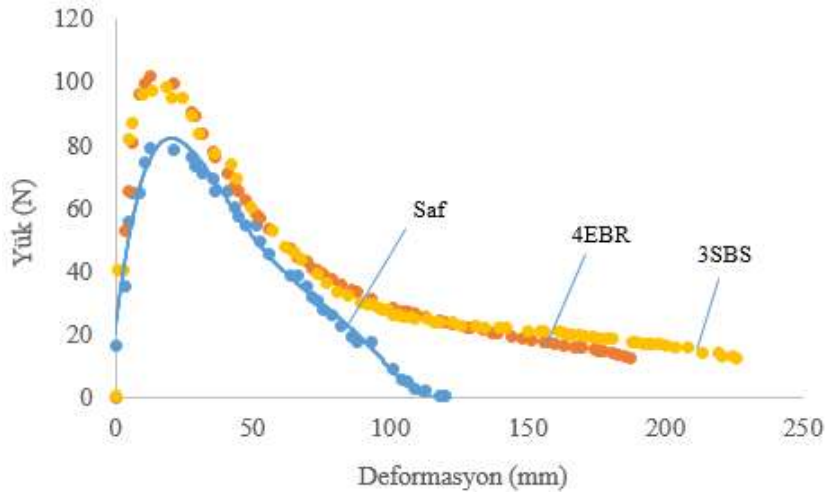
Kohezyon malzemenin moleküllerini bir arada tutan kuvvet olarak, düktilite deneyi ise bu molekülleri birbirinden ayırmaya neden olan kuvveti ölçen deney olarak tanımlanmaktadır. Düktilite, bitümlü bağlayıcının belirli bir çekme hızında kopmadan uzayabilme yeteneğidir. Deney 5°C sıcaklıkta 50 mm/min \pm 2,5 mm/min çekme hızında BS EN 13589:2003 standardına uygun olarak yapılmıştır [15]. Şekil 10'da deney numuneleri görülmektedir.



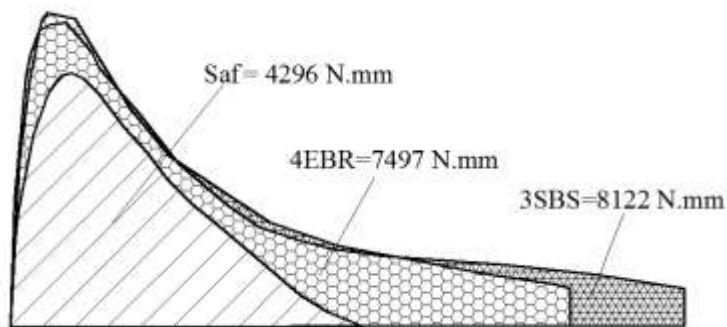
Şekil 10. Kuvvet düklilite deney aleti ve numune kalıbı

Saf, %4 EBR ve %3 SBS modifiyeli bağlayıcılar deneye tabi tutulmuştur. Bağlayıcıların uzama sırasında gösterdikleri dirençteki değişim Şekil 11’de verilmiştir. Saf bağlayıcı 120 mm, 4EBR bağlayıcısı 187 mm ve 3SBS bağlayıcısı ise 226 mm deformasyon seviyesine kadar yük almış ve sonrasında kopmuşlardır. 4EBR ve 3SBS bağlayıcısı benzer bir davranış göstermiş, ancak 187 mm deformasyon seviyesinden sonra 3SBS bağlayıcısı çekme yüküne daha fazla direnç göstererek daha yüksek bir deformasyon seviyesinde kopmuştur.

Yük- deformasyon eğrisinin altında kalanlar bağlayıcıların deformasyon enerjilerini vermektedir. Şekil 12’de hesaplanan alan değerleri görülmektedir. 3SBS bağlayıcısı 4EBR bağlayıcısından %8 daha fazla deformasyon enerjisine sahiptir. 4EBR ve 3SBS bağlayıcılarının deformasyon enerjileri saf bağlayıcıdan sırası ile %74 ve %89 daha fazladır.



Şekil 11. Bağlayıcıların kuvvet-deformasyon ilişkisi



Şekil 12. Bağlayıcıların alan değerleri

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada bitüm modifikasyonunda yaygın olarak kullanılan SBS katkısına alternatif olarak etilen-vinil-asetat bazlı reçinenin (EBR) bitümün reolojik özelliklerine olan etkisi araştırılmış ve SBS modifikasyonu ile karşılaştırılmıştır. SBS oranı bitüm ağırlığında %3 olarak, EBR ise 5 farklı oranda kullanılmıştır.

Dinamik kesme reometresi deneyine göre saf bağlayıcının 70 °C’de, %2 ve %3 EBR modifiyeli bağlayıcıların 76 °C’de %4, %5 EBR ve %3 SBS modifiyeli bağlayıcıların ise 82 °C’de 1000 Pa tekerlek izi parametresini sağladığı tespit edilmiştir. Saf bağlayıcıya göre tekerlek izi parametresinde meydana gelen artışların, %4 ve %5 EBR modifikasyonunda yüksek sıcaklıkta %3 SBS modifikasyonuna göre daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bütün sıcaklıklar birlikte değerlendirildiğinde %3 SBS modifikasyonu ile aynı tekerlek izi parametresi ortalama %4 EBR modifikasyonu ile elde edilmektedir. SBS modifikasyonu 64 °C’ye kadar EBR modifikasyonundan daha düşük faz açısı dolayısıyla daha fazla elastik davranış gösterirken, 64 °C’nin üstünde EBR modifikasyonu daha düşük faz açısı vermektedir.

Kiriş eğilme reometresi deneyine göre saf ve EBR modifikasyonunda sıcaklığın düşmesi rijitliğin artmasına neden olurken, SBS modifikasyonunda rijitlik azalması söz konusudur. EBR modifikasyonunda katkı oranının artması ile rijitlikte meydana gelen artış çok fazla olmamaktadır. Tekerlek izi parametresinin ve sünme rijitliğinin birlikte değerlendirilmesi durumunda %4,7 EBR modifikasyonunun %3 SBS modifikasyonu ile benzer özellik gösterdiği tespit edilmiştir.

Düktilite deneyine göre %4 EBR modifikasyonu %3 SBS modifikasyonu ile benzer kohezyon özelliklerine sahiptir. 4EBR ve 3SBS bağlayıcılarının deformasyon enerjileri saf bağlayıcıdan sırası ile %74 ve %89 daha fazladır.

SBS’nin temininde sorun olması durumunda EBR katkısı alternatif olarak kullanılabilir ancak düşük ve yüksek sıcaklık bakımından SBS modifikasyonu ile benzer performansın elde edilebilmesi için EBR içeriğinin SBS içeriğinden 1,5 kat daha fazla kullanılması gerekmektedir.

Yazarların Katkısı

Çalışmayı hazırlayan 4 yazar çalışmaya eşit oranda (%25) katkı sunmuştur.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada, araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Janoo V.C., Korhonen, C. 1999. Performance Testing of Hot-Mix Asphalt Aggregates. US Army Corps of Engineering Project, 99-20.
- [2] Roque R., Birgisson B., Drakos C., Sholar G. 2005. Guidelines for Use of Modified Binders. Florida Department of Transportation Project, 4910-4504-964-12.
- [3] Yalçın E. 2014. Filler olarak kireç kullanımının modifiye bitümlerle hazırlanan karışımların performansına etkisinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 102s, Elazığ.
- [4] Kumar P., Chandra S., Bose S. 2006. Strength characteristics of polymer modified mixes. International Journal of Pavement Engineering, 7 (1): 63-71.
- [5] Tayfur S., Özen H., Aksoy A. 2007. Investigation of Rutting Performance of Asphalt Mixtures Containing Polymer Modifiers. Construction and Building Materials, 21 (2): 328-337.
- [6] 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.

- [7] 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.
- [8] Cortizo M.S., Larsen D.O., Bianchetto H., Alessandrini J.L. 2004. Effect of the thermal degradation of SBS copolymers during the ageing of modified asphalts. *Polymer Degradation and Stability*, 86: 275-282.
- [9] Singh B., Kumar P. 2019. Effect of polymer modification on the ageing properties of asphalt binders: Chemical and morphological investigation. *Construction and Building Materials*, 205: 633-641.
- [10] 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.
- [11] Stark W., Jaunich M. 2011. Investigation of Ethylene/Vinyl Acetate Copolymer (EVA) by thermal analysis DSC and DMA. *Polymer Testing*, 30: 236-242.
- [12] Airey G., Hunter A., Rahimzadeh B. 2017. The influence of geometry and sample preparation on dynamic shear rheometer testing. in: *Perform. Bitum. Hydraul. Mater. Pavements*, CRC Press, Taylor & Francis Group, 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300, Boca Raton, FL 33487-2742.
- [13] Marasteanu M.O., Li X., Clyne T.R., Voller V.R., Timm D.H., Newcomb D.E. 2004. *Low Temperature Cracking of Asphalt Concrete Pavements*. Pillsbury Drive S.E. Minneapolis, MN.
- [14] Liu S., Cao W., Fang J., Shang S. 2009. Variance analysis and performance evaluation of different crumb rubber modified (CRM) asphalt. *Construction and Building Materials*, 23: 2701-2708.
- [15] BSI (British Standards Institution). 2003. *Methods of test for petroleum and its products-BS 2000-520: Bitumen and bituminous binders-Determination of the tensile properties of modified bitumen by the force ductility method*. BS EN 13589:2003. London: BSI.