



Saf ve polimer modifiyeli bitümlü bağlayıcıların karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarının dönel viskozimetre deneyi ile belirlenmesi

Taner ALATAŞ¹, Mustafa Ethem KIZIRGİL²

¹Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü

²Fırat Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu

ÖZET

Bitümlü bağlayıcıların agregayla karıştırma ve sıkıştırma sırasında doğru sıcaklığa sahip olmaları yapım kolaylığı ve kaplamaların ömrü açısından büyük öneme sahiptir. Bağlayıcı sıcaklıklarının düşük olması boşluk oranlarının fazla olmasına, yüksek olması ise bağlayıcının aşırı yaşlanmasına ve sıkışmanın fazla olmasına neden olmaktadır. Çalışmada saf ve iki farklı oranda SBS içeren bağlayıcılar değerlendirilmiştir. Öncelikle saf ve modifiye bitümlere kısa dönem yaşlanmadan önce ve sonra penetrasyon ve yumuşama noktası deneyleri uygulanmıştır. Böylece SBS katkı maddesinin bitümlü bağlayıcının kıvamı ve ısı hassasiyeti üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Daha sonra saf ve SBS modifiyeli bağlayıcıların agregayla karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları, AASHTO TP48 standardına göre belirlenen dönel viskozimetre deney sonuçlarından faydalanılarak tespit edilmiştir. Dönel viskozimetre deneyleri sonucunda SBS içeriği arttıkça hem 135°C sıcaklıkta hem de 165°C sıcaklıkta bağlayıcıların viskozite değerlerinin arttığı belirlenmiştir. Viskozite değerlerine bağlı olarak bağlayıcıların karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarının arttığı tespit edilmiştir.

Anahtar

Kelimeler:

Bitüm,
SBS,
viskozite,
modifikasyon.

Determination of the mixing and compacting temperatures of pure and polymer modified binders by rotational viscosimeter test

ABSTRACT

It is of capital importance with respect to ease of construction and service life of the pavement that bituminous binders possess the right temperature during the course of mixing with the aggregate and compaction. Binder temperatures colder than this ideal level lead to excessively high void contents, while higher temperatures lead to excessive ageing of the binder coupled with excessive compaction. In this study, pure and modified binders containing two different proportions of SBS were analyzed. Firstly, penetration and softening point tests were conducted on the pure and modified bitumens prior to and after short term ageing. Thereby, the influence of SBS admixture on stiffness of the bituminous binder and heat sensitivity were determined. Afterwards, the temperatures of mixing with aggregate and compaction for pure and SBS modified binders were determined by the assistance of rotational viscosimeter test results obtained in accordance with AASHTO TP48 standard. In light of the results of the rotational viscosimeter test, viscosity values of the binders were found to be increasing at both 135°C and 165°C of temperature with rising levels of SBS content. Finally, it was determined that the compaction and mixing temperatures of the binders increased depending on the value of viscosity.

Keywords:

Bitumen,
SBS,
viscosity,
a modification.

1. Giriş

Karayolu üstyapıları esnek ve rijit olmak üzere iki şekilde yapılabilmektedir. Bağlayıcı olarak bitümlü malzemelerin kullanıldığı esnek üstyapılar; konforun yüksek olması, yapımının kolay olması gibi nedenlerden dolayı rijit üstyapılara göre daha fazla tercih edilmektedir. Son yıllarda karayollarına olan talep dünyanın her yerinde hızlı bir biçimde artmış, trafik ağırlaşmış, dingil yükleri ve lastik basınçları yükselmiş, saf bitüm ve yoğun gradasyonlu klasik asfalt betonunun ihtiyaca cevap veremediği ve beklenen performansı gösteremediği gözlenmiştir. Bu yetersizlik tekerlek izi oluşumunun (kalıcı deformasyon), yorulma çatlaklarının ve termal çatlakların oluşumunun hızlanmasına dolayısıyla kaplamaların servis ömrünün azalmasına neden olmuştur [Işıkyakar, 2009].

Kaplamaların servis ömrünü uzatmak, oluşabilecek bozulmaları önlemek yada geciktirmek için değişik katkıları kullanılır [Al-Hadidy ve Yi-qiu, 2009; Ahmadinia ve diğ., 2011]. Bu katkıları, ya bitüme katkı olarak yada agrega-asfalt karışımına katkı olarak kullanılırlar [Roque ve diğ., 2005]. Bitüme katkı olarak en yaygın polimerler kullanılır. Polimerler, plastikler, elastomerler, fiberler ve diğer katkıları olarak dörde ayrılırlar. Bitümün özelliklerini geliştirmek için bu polimerlerden biri kullanıldığında bağlayıcıyla kimyasal reaksiyona girer ve yeni bir denge kurulur. Styrene-butadiene-styrene (SBS) bir termoplastik elastomerdur ve çok yaygın olarak kullanılan blok kopolimerlerdendir [Kök ve Yılmaz, 2009]. Yapılan birkaç çalışma, Sıcak Karışım Asfaltlarda bitüme katkı olarak SBS kullanımının kalıcı deformasyonlara [Ozen, 2011; Wong ve diğ., 2004; Khodai ve Mehrara, 2009], yorulmaya [Birliker, 1998] ve nem hasarına [Görkem ve Şengöz, 2009; Yılmaz ve Kök, 2009] karşı dayanımı artırdığını göstermiştir.

Bitümlü bağlayıcıların agregayla karıştırma ve sıkıştırma sırasında doğru sıcaklığa sahip olmaları yapım kolaylığı ve kaplamaların ömrü açısından büyük öneme sahiptir. Bu çalışmada TÜPRAŞ rafinerisinden temin edilen saf bitüm ile bu saf bitüm ve iki farklı oranda SBS kullanılarak hazırlanan modifiye bitümlerin standart bağlayıcı deneyleri yapılmıştır. Ayrıca 135 ve 165°C sıcaklıklarda dönel viskozimetre deneyleri uygulanarak bağlayıcıların viskozite değerleri belirlenmiştir. Viskozite sonuçları yardımıyla bağlayıcıların bitümlü sıcak karışım hazırlanmasında gerekli sıcaklıkları belirlenmiştir.

2. Materyal ve metot

Çalışmada öncelikle TÜPRAŞ rafinesinden temin edilen B 160/220 penetrasyon sınıfına ait bitümün TS EN 12591 standardına göre kullanılabilirliği belirlenmiştir. Katkı maddesi olarak Shell Chemical Co. firması tarafından

üretilen Kraton D 1101 stiren-butadien-stiren (SBS) kullanılmıştır. SBS'in özellikleri Tablo 1.'de verilmiştir. Önceden yapılan çalışmalarda saf bitümün özelliklerini önemli miktarda iyileştirebilmek için SBS'in bitüm ağırlığının %2-6'sı aralığında kullanılması gerektiği belirtilmiştir [Lu ve Isacsson, 1997]. Bu nedenle çalışmada, tavsiye edilen üst sınır (%6) ve bu değer yarısı (%3) SBS oranı olarak belirlenmiştir. SBS ve saf bitüm mikserde karıştırılarak SBS modifiyeli bitüm elde edilmiştir. Karıştırma işlemi 180 °C 'da, dakikada 1000 devirde ve 60 dak. süreyle uygulanmıştır.

Tablo 1. Kraton D 1101 polimerinin özellikleri.

Özellikler	Kraton D 1101
Moleküler yapı	Lineer
Styrene/kauçuk oranı	31/69
Özgül ağırlık	0.94
Çekme dayanımı (MPa)	31.8
Sertlik (A)	71
Fiziksel form	Poroz, ince daneli
Erime indeksi	< 1
Uzama (%)	880

2.1. Standart bağlayıcı deneyleri

Bağlayıcıların TS EN 12591 standardına göre kullanılabilirliklerinin belirlenmesinde penetrasyon, yumuşama noktası deneyleri kullanılmıştır. Bağlayıcıların kısa dönem yaşlandırılmasında dönel ince film halinde ısıtma (RTFOT) deney yöntemi kullanılmıştır.

2.1.1. Penetrasyon deneyi (ts 118)

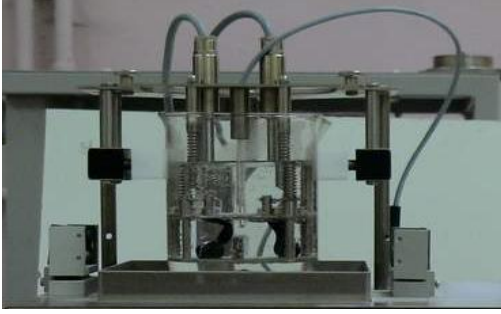
Penetrasyon deneyi, asfalt çimentosunun sertlik veya kıvamını belirlemek amacıyla yapılmaktadır. Standart penetrasyon deneyi, 100 gr. ağırlığındaki bir iğnenin 25 °C sıcaklıkta ve 5 saniye süreyle bitüm içerisinde kat ettiği düşey mesafe olarak tanımlanmaktadır. Penetrasyonun birimi 10⁻¹ mm.dir. Asfalt çimentolarının penetrasyon değeri kıvamla ters orantılıdır. Penetrasyon deney aleti Şekil 1.'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Penetrasyon deney aleti.

2.1.2. Yumuşama noktası deneyi (ts 120)

Bitümlü bağlayıcıların yumuşama sıcaklığının tespiti amacıyla yapılan bir deneydir. Bu deneyde bitüm doldurulmuş standart halka düzeneğe yerleştirilir ve bitüm üzerine standart bir bilye bırakılır. Deney başlangıç sıcaklığı 5 °C'dir ve sıcaklık dakikada 5 °C artırılır. Yumuşama noktası değeri, bitümlü maddenin tabana değdiği anda termometrenin gösterdiği değerdir. Otomatik yumuşama noktası deney aleti Şekil 2.'de görülmektedir.



Şekil 2. Yumuşama noktası deneyi

2.1.3. Bağlayıcıların ısıya karşı hassasiyetlerinin belirlenmesi

Bitümlü bağlayıcıların ısıya karşı duyarlılığını tespit etmek amacıyla Penetrasyon İndeksi (PI) kullanılmaktadır. Penetrasyon İndeksi, standart penetrasyon ve yumuşama noktası deney sonuçları kullanılarak belirlenmektedir (Formül 1-2). Formüldeki P_{25} , bitümün 25°C'deki penetrasyon değerini, T_{YN} ise yumuşama noktasını göstermektedir. Bitümlü bağlayıcıların ısıya karşı duyarlılıkları arttıkça PI değerleri azalmaktadır. Penetrasyon İndeksi'nin -2'den küçük olması bitümün ısıya çok duyarlı olduğunu, +2'den büyük olması ise ısıya karşı az duyarlı olduğunu göstermektedir [Ullidtz, 1987].

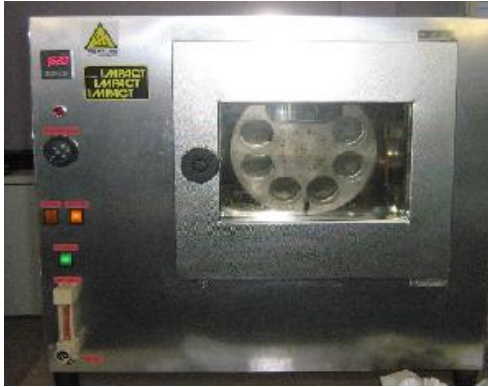
$$A = \frac{\log 800 - \log P_{25}}{T_{YN} - 25} \quad (1)$$

$$PI = \frac{20 - 500A}{1 + 50A} \quad (2)$$

2.1.4. Dönel ince film halinde ısıtma deneyi (RTFOT)

Agregayla karıştırılması sırasında bitümlü bağlayıcılarda meydana gelen kısa dönem yaşlanma, RTFO (dönel ince film fırını) deneyi ile laboratuvar ortamına taşınmaktadır. TS EN 12607-1'de belirtilen bu deney, 163°C sıcaklığa sahip etüve yerleştirilen 8 adet şişe kullanılarak yapılmaktadır. Her bir şişeye 35 gram asfalt çimentosu doldurulup düşey ekseninde dakikada 15 devir yapacak şekilde 75 dakika süreyle döndürülmektedir. Dönme esnasında deney aletinin tabanında bulunan bir hava üfleyici yardımıyla şişelere, akışı 4000 ± 200 mL/dak. olacak şekilde hava verilmektedir. Sıcaklığın etkisiyle bitüm, şişeleri tam olarak kaplayarak ince bir film tabakası oluşturmakta ve bu sayede yaşlanmanın meydana gelişi kolaylaştırılmaktadır. Dönel ince film etüvü ve deney öncesinde ve sonrasındaki şişelerin durumu Şekil 3.'de verilmiştir. Bu sürenin sonunda iki numune kütle kaybını tayin etmek amacıyla, geri kalan altı şişe ise asfalt çimentosunun yaşlandıktan sonraki fiziksel özelliklerini tespit etmekte kullanılmaktadır. Kütle kaybı aşağıdaki formül kullanılarak belirlenmektedir. Denklemden M_1 yaşlanmadan önceki ağırlığı, M_2 ise yaşlanmadan sonraki ağırlığı ifade etmektedir.

$$\text{Kütle Kaybı, \%} = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100 \quad (3)$$



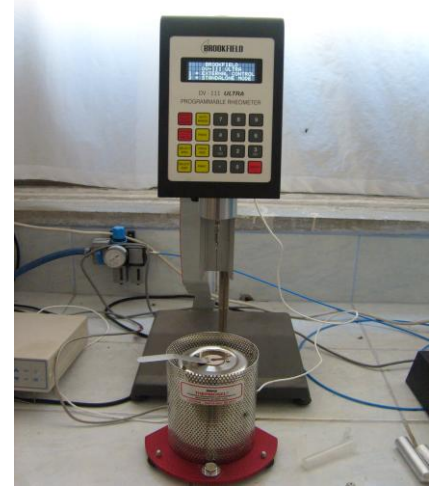
Şekil 3. Dönel ince film etüvü ve deney öncesinde ve sonrasındaki şişelerin durumu.

2.2. Bağlayıcıların agregayla karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarının belirlenmesi

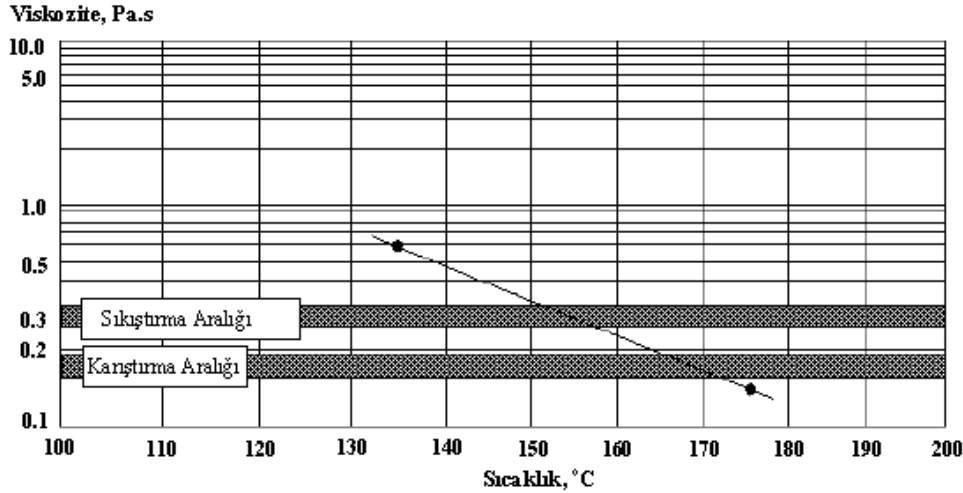
Dönel viskozimetre (RV) deneyi, bitümlü bağlayıcıların yüksek sıcaklıktaki akışkanlık karakteristiklerini belirlemek amacıyla yapılmaktadır. Bu amaçla AASHTO TP48 standardına uygun olarak “Brookfield Viskozimetresi” kullanılmaktadır. Bağlayıcıların yüksek sıcaklık viskozite değerleri, pompalama ve karıştırma sırasında bağlayıcıların yeterince akışkan olduklarının tespiti amacıyla belirlenmektedir. Deneyde, bağlayıcı içerisinde 20 rpm hızla dönen bir milin, dönmeye karşı gösterdiği direnç ile viskozite değerleri elde edilmektedir (Şekil 4.). Orijinal bağlayıcılar üzerinde uygulanan RV deneyinde 135°C’deki viskozite değerlerinin 3 Pa.s’yi (3000 cP) aşmaması istenmektedir [Zaniewski ve Pumphrey, 2004; McGennis ve diğ., 1994].

Deney için bağlayıcıdan yaklaşık olarak 30 gr. numune alınmakta ve sıcaklığı 150°C’den daha düşük olan etüvde ısıtılarak akışkan hale getirilmektedir. Bu malzemeden yaklaşık 11 gr. numune, bölmesine doldurulmakta, numune bölmesi sıcaklığı sabit değere ulaşmış sıcaklık kontrollü kaba yerleştirilmektedir. Numune 15 dakika sabit sıcaklıkta bekletildikten sonra deney yapılmaktadır. Yaklaşık olarak eşit viskozite değerlerine erişildikten itibaren üç adet okuma yapılmakta ve bu üç değer ortalamasından, bağlayıcının viskozitesi elde edilmektedir.

Bitümlü sıcak karışımların (BSK) karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarını tespit etmek amacıyla viskozite değerleri kullanılmaktadır. Bu amaçla 135°C ve 165°C sıcaklıklarda RV deneyi uygulanmaktadır. Çizilen sıcaklık–viskozite grafiğinde viskozite değerleri işaretlenerek bu değerler bir doğru ile birleştirilmektedir. Bu grafiğe örnek Şekil 5.’te görülmektedir. BSK’ların karıştırılmasında bitümlü bağlayıcının 0,170 ± 20 Pa.s, sıkıştırılmasında ise 0,280 ± 30 Pa.s viskozite değerine sahip olması istenmektedir [Zaniewski ve Pumphrey, 2004; McGennis ve diğ., 1994]. Bu viskozite değerlerine karşılık gelen sıcaklık değerleri karıştırma ve sıkıştırma sıcaklığı olarak alınmaktadır.



Şekil 4. Brookfield Viskozimetresi ve sıcaklık sistemi.



Şekil 5. Asfalt bağlayıcı için tipik viskozite eğrisi [Geçkil, 2008].

3. Deneysel çalışma

Bu çalışmada bağlayıcıların kıvamlarını belirlemek amacıyla geleneksel deneyler (penetrasyon ve yumuşama noktası), yüksek sıcaklıklarda işlenebilirliğini belirlemek

amacıyla da dönel viskozimetre (RV) deneyleri uygulanmıştır.

3.1. Yumuşama noktası ve penetrasyon deney sonuçları

noktası deneylerinden elde edilen sonuçlar sırasıyla Tablo 2 ve Tablo 3'de verilmiştir.

Bitümlü bağlayıcılara kısa süreli yaşlandırma işleminden önce ve sonra uygulanan penetrasyon ve yumuşama

Tablo 2. Orijinal bağlayıcılara uygulanan deneylerden elde edilen sonuçlar.

Özellikler	Standart	B _{160/220}	Şartname limiti	MB _{3%SBS}	MB _{6%SBS}
Penetrasyon (0.1 mm), 100 g, 5 s	ASTM D5	183	160-220	112	76
Yumuşama noktası (°C)	ASTM D36	41.7	35 – 43	54.8	63.5
Penetrasyon indeksi (PI)	-	0.28	-	2.33	2.89

Tablo 2.'de görüldüğü üzere saf bağlayıcı şartname kriterlerini sağlamıştır. SBS içeriği arttıkça penetrasyon değerleri azalmış, yumuşama noktası değerleri artmıştır. %3 oranında SBS kullanılması durumunda penetrasyon değeri saf bağlayıcıya göre %38.8 azalırken yumuşama noktası değeri ise %31.4 oranında artmıştır. %6 oranında

SBS kullanılması durumunda ise penetrasyon değeri saf bağlayıcıya göre %58.5 azalırken yumuşama noktası değeri ise %52.3 oranında artmıştır. SBS içeriği arttıkça penetrasyon indeksi değerleri artmıştır. PI değerlerinden yola çıkarak SBS içeriği arttıkça bağlayıcıların ısıya karşı hassasiyetlerinin azaldığı belirlenmiştir.

Tablo 3. Yaşlandırılmış bağlayıcılara uygulanan deneylerden elde edilen sonuçlar.

Özellikler	Standart	B _{160/220}	Şartname limiti	MB _{3%SBS}	MB _{6%SBS}
Kütle kaybı (%)	ASTM D2872	0.872	mak. 1.0	0.683	0.569
Penetrasyon (0.1 mm), 100 g, 5 s	ASTM D5	89	-	73	53
Kalıcı penetrasyon, (%)	-	49	min. 37	65	70
Yumuşama noktası (°C)	ASTM D36	50.5	min. 37	60.9	67.2
Yumuşama noktasındaki artış (°C)	-	8.8	mak. 11	6.1	3.7
Penetrasyon indeksi (PI)	-	0.45	-	2.25	2.52

Tablo 3.'te görüldüğü üzere RTFOT sonrası saf bağlayıcı bütün şartname kriterlerini sağlamıştır. SBS içeriği arttıkça kütle kaybı azalmıştır. Yaşlanma öncesinde olduğu gibi SBS içeriği arttıkça penetrasyon değerleri azalmış, yumuşama noktası değerleri artmıştır. Yaşlandırma sonrasında %3 oranında SBS kullanılması durumunda penetrasyon değeri saf bağlayıcıya göre %18.0 azalırken yumuşama noktası değeri ise %20.6 oranında artmıştır. %6 oranında SBS kullanılması durumunda ise penetrasyon değeri saf bağlayıcıya göre %40.4 azalırken yumuşama noktası değeri ise %33.1 oranında artmıştır. SBS içeriği arttıkça kalıcı penetrasyon değerleri artmış, yumuşama noktasındaki artış değerleri azalmıştır. Bu durum SBS içeriği arttıkça yaşlanmanın etkisinin azaldığını göstermektedir. SBS içeriği arttıkça penetrasyon indeksi değerleri artmıştır. PI değerlerinden yola çıkarak yaşlandırma sonrasında da SBS içeriği

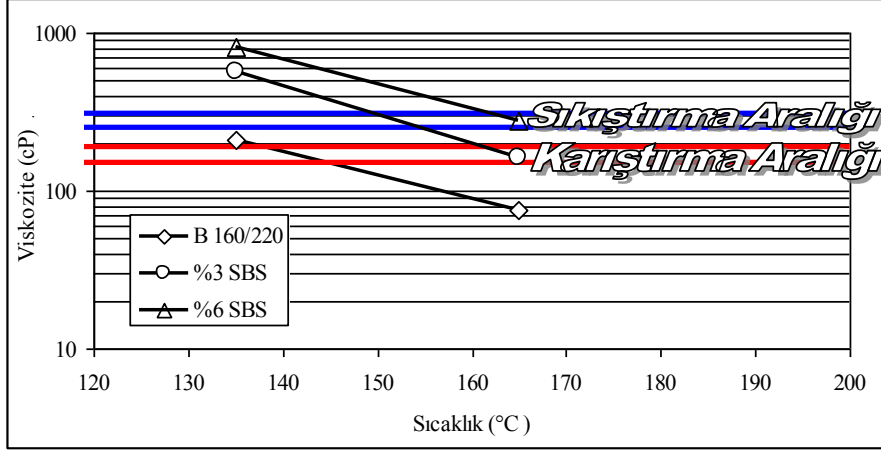
arttıkça bağlayıcıların ısıya karşı hassasiyetlerinin azaldığı belirlenmiştir.

3.2. Dönel viskozimetre deneyi sonuçları

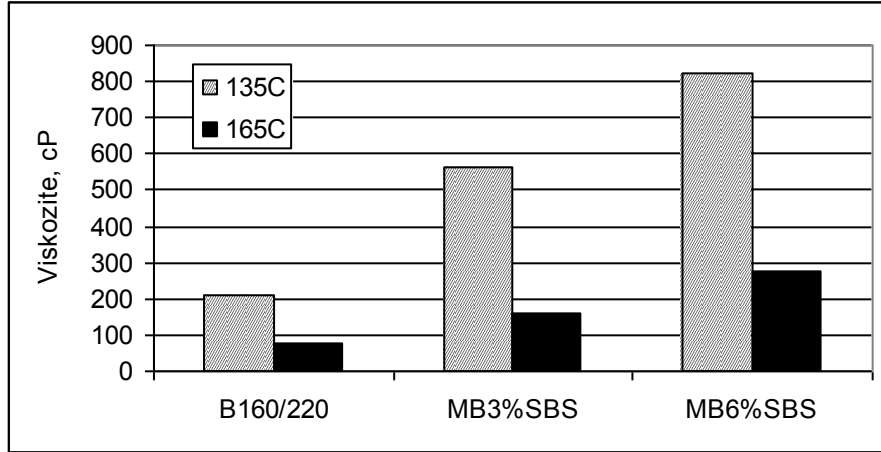
DV-III Ultra Brookfield viskozimetresi kullanılarak 135 ve 165°C sıcaklıklarda bağlayıcıların işlenebilirlikleri belirlenmiştir. 135 ve 165°C sıcaklıklarda yapılan dönel viskozite deneylerinden elde edilen sonuçlar Tablo 4.'te verilmiştir. Bağlayıcı viskozite değerleri viskozite-sıcaklık grafiğinde işaretlenerek bitümlü bağlayıcıların karışımlarda kullanılması durumunda agregayla karıştırma ve arazide sıkıştırma sırasında gerekli viskozite değerlerini (sırasıyla 0,170 ± 20 Pa.s ve 0,280 ± 30 Pa.s) sağlayacak sıcaklık değerleri tespit edilmiştir. Bağlayıcıların viskozite-sıcaklık ilişkisi Şekil 6.'da verilmiştir. Bağlayıcıların viskozite değerlerinin SBS içeriği ile değişimi Şekil 7.'de, karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarının SBS içeriği ile değişimi ise Şekil 8.'de verilmiştir.

Tablo 4. Dönel viskozimetre deneyi sonuçları

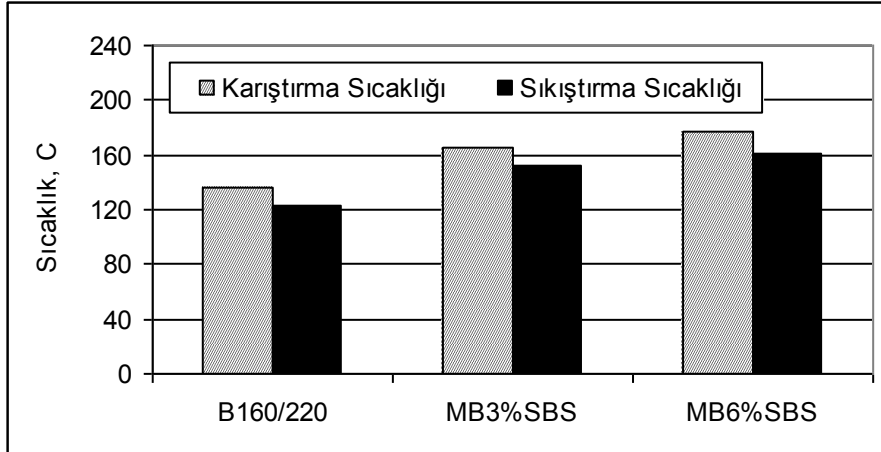
Özellikler	Standart	Bağlayıcı türü		
		B _{160/220}	MB _{3%SBS}	MB _{6%SBS}
Viskozite (cP, 135°C)	ASTM D4402	212.5	562.5	825.0
Viskozite (cP, 165°C)	ASTM D4402	75.0	162.5	276.5
Karıştırma sıcaklığı aralığı (°C)	-	132.1–139.1	162.2–168.5	173.4–181.1
Sıkıştırma sıcaklığı aralığı (°C)	-	121.0–126.1	149.8–155.1	158.5–164.9



Şekil 6. Bağlayıcıların viskozite-sıcaklık ilişkisi



Şekil 7. Bağlayıcıların viskozite değerlerinin SBS içeriği ile değişimi



Şekil 8. Bağlayıcıların karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları

Şekil 7.'de görüldüğü üzere bütün bağlayıcıların viskozite değerlerinin şartname limitlerine uygun olduğu, değerlerin 3000 cP değerinin altında olduğu belirlenmiştir. SBS içeriği arttıkça viskozite değerleri artmıştır. %3 oranında SBS kullanılması durumunda 135°C sıcaklıktaki viskozite değerleri saf bağlayıcıya göre 2.6 kat artarken 165°C sıcaklıkta 2.2 kat artmıştır. %6 oranında SBS kullanılması durumunda ise 135°C sıcaklıktaki viskozite değerleri saf bağlayıcıya göre 3.9 kat artarken 165°C sıcaklıkta 3.7 kat artmıştır.

Şekil 8.'de görülen bağlayıcıların karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları elde edilen değerlerin ortalaması alınarak belirlenmiştir. Viskozite değerlerindeki artışa bağımlı olarak hem karıştırma hem de sıkıştırma sıcaklıklarının arttığı belirlenmiştir. %3 oranında SBS kullanılması durumunda karıştırma sıcaklığı değerleri saf bağlayıcıya göre %21,9 oranında artarken sıkıştırma sıcaklığı değerleri %23,4 oranında artmıştır. %6 oranında SBS kullanılması durumunda ise karıştırma sıcaklığı değerleri saf bağlayıcıya göre %30,7 oranında artarken sıkıştırma sıcaklığı değerleri %30,9 oranında artmıştır.

4. Sonuçlar

Çalışmada öncelikle saf bitüm kısa dönem yaşlanmadan önce ve sonra penetrasyon ve yumuşama noktası deneylerine tabi tutularak EN 12697 standardına göre kullanılabilirlikleri belirlenmiştir. Bu bitüme iki farklı oranda (%3 ve %6) SBS ilave edilerek modifiye bitümler elde edilmiştir. SBS içeriği arttıkça penetrasyon değerlerinin azaldığı, yumuşama noktası değerlerinin ise arttığı belirlenmiştir. RTFOT sonrası elde edilen değerlerden SBS kullanımının yaşlanma etkisini azalttığı belirlenmiştir. Ayrıca PI değerlerinden SBS kullanımı ile bağlayıcıların ısı hassasiyetlerinin azaldığı tespit edilmiştir.

Saf ve SBS modifiyeli bağlayıcıların agregayla karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları AASHTO TP48 standardına göre belirlenen dönel viskozite deney sonuçlarından faydalanılarak tespit edilmiştir. Dönel viskozimetre deneyleri sonucunda SBS içeriği arttıkça hem 135°C sıcaklıkta hem de 165°C sıcaklıkta bağlayıcıların viskozite değerlerinin arttığı belirlenmiştir. Viskozite değerlerinden faydalanılarak sıcaklık-viskozite grafikleri çizilmiştir. Viskozite değerlerine bağlı olarak, SBS oranı arttıkça bağlayıcıların sıkıştırma ve karıştırma sıcaklıklarının arttığı tespit edilmiştir.

Kaynaklar

1. Ahmadinia, E., Zargar, M., Karim, M. R., Abdelaziz, M., Shafigh, P., Using Waste Plastic Bottles as

- Additive for Stone Mastic Asphalt, Mater Design, 32:4844-49, 2011.
2. Al-Hadidy, A. I., Yi-qiu, T., Mechanistic Approach for Polypropylene-Modified Flexible Pavements, Mater Design, 30:1133-40, 2009.
3. Birliker, R.Y., Additives can be Added to Bituminous Mixtures and Investigation of Behaviour of This Mixtures and a Prediction Model for Fatigue Curve, Istanbul, PhD Thesis, Istanbul Technical University, Turkish, 1998.
4. Geçkil, T., Siyah Karbonun Bitümlü Sıcak Karışımların Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2008.
5. Gorkem, C., Sengoz, B., Predicting Stripping and Moisture Induced Damage of Asphalt Concrete Prepared with Polymer Modified Bitumen and Hydrated Lime. Constr. Build Mater., 23:2227-36, 2009.
6. Işıkyakar, G., Polimer Modifiye Asfaltların Reolojik ve Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesinde Floresan Mikroskopi Yönteminin Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2009.
7. Khodaii, A., Mehrara, A., Evaluation of Permanent Deformation of Unmodified and SBS Modified Asphalt Mixtures Using Dynamic Creep Test, Constr. Build Mater., 23:2586-92, 2009.
8. Kok, B.,V., Yilmaz, M., The Effects of Using Lime and Styrene-Butadiene-Styrene on Moisture Sensitivity Resistance of Hot Mix Asphalt, Constr. Build Mater., 23:1999-2006, 2009.
9. Lu, X., Isacson, U., Rheological Characterization of Styrene-Butadiene-Styrene Copolymer Modified Bitumens, J. Construct. Building Mater., 11(1), 1997.
10. Mcgennis, R. B., Shuler, S., Bahia, H. U., Background of Superpave Asphalt Binder Test Methods, Report No: FHWA-SA-94-069, p:104, 1994.
11. Ozen, H., Rutting Evaluation of Hydrated Lime and SBS Modified Asphalt Mixtures for Laboratory and Field Compacted Samples, Constr. Build. Mater., 25:756-65, 2011.
12. Roque, R., Birgisson, B., Drakos, C., Sholar, G., Guidelines for Use of Modified Binders, Florida Department of Transportation Project Number: 4910-4504-964-12, 2005.
13. Ullidtz, P., Pavement Analysis, Elsevier, pp. 318, Amsterdam, 1987.
14. Wong, W.G., Han, H., He, G., Wang, K.C.P., Lu, W., Rutting Response of Hot-Mix Asphalt to Generalized Dynamic Shear Moduli of Asphalt Binder, Constr. Build. Mater., 18:399-408, 2004.
15. Yilmaz, M., Kok, B.V., Effects of Ferrochromium Slag with Neat and Polymer Modified Binders in Hot

- Bituminous Mix, Indian J. Eng. Mater., S:16, 310-8, 2009.
- 16.Zaniewski, J. P., Pumphrey, M. E., Evaluation of Performance Graded Asphalt Binder Equipment and Testing Protocol, Asphalt Technology Program, p:107, 2004.