

Stiren-Butadien-Stiren Modifikasyonunun Bitümlü Bağlayıcıların Isı Duyarlılığı, Rijitlik ve Yaşlanma Özellikleri Üzerindeki Etkisi

Perviz AHMEDZADE*, Mehmet YILMAZ

Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü / İZMİR
Alınış tarihi: 19.07.2007, Kabul: 24.01.2008

Özet: Bu çalışmada, modifiyer olarak kullanılan Stiren-Butadien-Stiren'in (SBS), bitümlü bağlayıcıların ısı duyarlılığı, rijitlik ve yaşlanma özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Saf ve modifiye bağlayıcılar Dönel İnce Film Halinde Isıtma Deney (RTFOT) yöntemiyle yaşlandırılmıştır. Yaşlandırma işleminden önce ve sonra bağlayıcılara standart bağlayıcı deneyleri (penetrasyon ve yumuşama noktası) uygulanmıştır. B 50/70 penetrasyon seviyesinde bir bağlayıcı, B 70/100 ve B 100/150 ana bağlayıcılarına %3.0, B 160/220 ana bağlayıcısında ise %6.0 SBS kullanılması ile sağlanmıştır. Elde edilen sonuçlardan modifikasyondaki SBS oranı arttıkça bağlayıcı rijitliklerinin arttığı, ısıya karşı duyarlılığın ve yaşlanma etkisinin azaldığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: SBS, Modifikasyon, Yaşlanma, Rijitlik, Isı Duyarlılığı.

The Effect of Styrene-Butadiene-Styrene Modification on the Thermal Sensitivity, Stiffness and Aging Properties of Bituminous Binders

Abstract : In this study, the effects of SBS, which used as a modifier, on the thermal sensitivity, stiffness and aging properties of bituminous binders were investigated. Base and modified binders were aged according to Rolling Thin Oven Test (RTFOT) method. Standard binder tests (penetration and softening point) were applied to binders before and after aging process. Binder with penetration grade B 50/70 was obtained by adding of 3.0% SBS to B 70/100 and B 100/150, and of 6.0% to B 160/220 main binders. From obtained results it was determined that stiffness of binders was increased and thermal sensitivity and effect of aging were decreased with rising SBS content.

Key Words: SBS, Modification, Aging, Stiffness, Thermal Sensitivity.

Giriş

Her geçen gün artan ağır taşıt miktarı ve dingil yükleri, kaplama yapılarının beklenen sürelerden daha önce bozulmalarına, bu nedenle güvenlik, zaman, konfor ve ekonomi bakımından olumsuzluklarla karşılaşılmasına neden olmaktadır. Kaplama yapılarının trafik yüklerinden, yüksek ve düşük sıcaklıklarda oluşan gerilmelerden kaynaklanan bozulmalara karşı dayanımlarını arttırmak amacıyla kullanılacak yöntemlerden biri malzeme özelliklerinin iyileştirilmesidir.

Esnek kaplamalarda bağlayıcı olarak kullanılan bitüm, yüksek taşıt hızlarında ve düşük sıcaklıklarda elastik katı, düşük taşıt hızlarında ve yüksek sıcaklıklarda ise viskoz sıvı özelliği göstermektedir. Normal uygulama şartları uç noktalara ulaşmadığından bitüm genellikle viskoelastik özellik göstermektedir. Bitümün ve bitümlü sıcak karışımların ısıya ve trafik yüklerine karşı dayanımını arttırmak amacıyla genellikle bitüme polimer kökenli katkı maddeleri ilave edilmektedir. Bu katkı maddeleri içerisinde en çok Stiren-Butadien-Stiren (SBS) Blok Kopolimerleri kullanılmaktadır. SBS modifiyeli bitümlerde modifikasyonun etkili şekilde oluşabilmesi; SBS konsantrasyonu ve yapısı, bitümün yapısı, karıştırma sıcaklığı ve süresi gibi bir çok faktöre bağlıdır. Yapılan bir çok çalışma sonucunda SBS'nin bitümün rijitliğini arttırmasına rağmen düşük sıcaklıklarda çatlama, yüksek sıcaklıklarda tekerlek izi oluşumu ve yorulmaya karşı

dayanımı arttırdığı belirlenmiştir (Lu ve Isacson, 2000; Navarro vd., 2002; Airey, 2003; Aglan vd., 1993; Khattak ve Baladi, 1998).

Bitümlü sıcak karışımların hazırlanması, uygulanması ve hizmet ömrü boyunca bitümde yaşlanma adı verilen yapısal değişiklikler meydana gelmektedir. Yaşlanma olayı sonucunda oluşan kalıcı sertleşme, bağlayıcının elastikiyetini kaybederek karışımın daha sert, kırılğan ve çatlak oluşumu ile yapısal dağılmaya karşı daha hassas olmasına neden olmaktadır (Vallerga, 1981; Bell, 1989). Yapılan çalışmalar sonucunda kısa süreli yaşlanma olarak tanımlanan ve yol hizmete açılıncaya kadar bağlayıcıda meydana gelen yaşlanmanın, toplam yaşlanma miktarının yaklaşık % 70'ini oluşturduğu tespit edilmiştir (Whiteoak ve Read, 2003). Bitümün polimer katkıları kullanarak modifiye edilmesiyle yaşlanma etkisinin azaltılabildiği belirlenmiştir (Harlin vd., 1989; Mulder ve Whiteoak, 1992; Vonk vd., 1993).

Bitümlü bağlayıcıların ısıya karşı duyarlılığını belirlemek amacıyla Shell tarafından bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemde standart penetrasyon ve yumuşama noktası değerleri kullanılarak ısıya karşı duyarlılığı ifade eden Penetrasyon İndeksi (PI) belirlenmektedir (Ullidtz, 1987; Huang, 1993; Tunç, 2004).

Bu çalışmada Shell Bitumen şirketi tarafından üretilen SBS kökenli KRATON D 1101 katkı maddesinin TÜPRAŞ rafinerisinden elde edilen üç farklı bitümün yaşlanma, ısı duyarlılığı ve rijitlik özellikleri üzerindeki etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. B 70/100, B 100/150 ve B 160/220 ana bağlayıcıları ile B 50/70 penetrasyon seviyesinde bir modifiye bağlayıcı elde etmek amaçlanmıştır. B 50/70 seviyesinde bir bağlayıcı elde edilinceye kadar ana bağlayıcıya %1.5 ve katları oranında SBS ilave edilmiştir. Saf ve modifiye bağlayıcılar Dönel İnce Film Halinde Isıtma Deneyi (RTFOT) ile yaşlandırılarak kısa süreli yaşlanmanın bitümlerin penetrasyon ve yumuşama noktası değerleri üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Shell yöntemi kullanılarak bütün bağlayıcıların yaşlanmadan önce ve sonraki Penetrasyon İndeksi değerleri tespit edilmiştir.

Materyal ve Metot

Kullanılan Malzemeler

Çalışmada TÜPRAŞ rafinerisinden elde edilen dört farklı bitüm (B 50/70, B 70/100, B 100/150 ve B 160/220) kullanılmıştır. Bütün bitümlü bağlayıcılar üzerinde standart bağlayıcı deneyleri uygulanarak elde edilen sonuçlar TS 1081 EN 12593 şartname limitleriyle karşılaştırılmıştır. Katkı maddesi olarak Shell Bitumen şirketi tarafından üretilen ve Stiren-Butadien-Stiren (SBS) Blok Kopolimer ihtiva eden KRATON D 1101 kullanılmıştır.

Modifiye Bitümlerin Hazırlanması

Modifiye bağlayıcılar B 70/100, B 100/150 ve B 160/220 ana bitümleri kullanılarak hazırlanmıştır. Bu bitümler ile B 50/70 penetrasyon seviyesinde bir bağlayıcı elde edilinceye kadar KRATON D 1101 katkı malzemesinden %1.5 oranında artırılarak kullanılmıştır. Karıştırma

işlemi, 500 rpm hıza sahip bir karıştırıcı ile 170°C sıcaklıkta saf bitüm ve katkı malzemesinin 90 dakika süreyle karıştırılması sonucu elde edilmiştir.

Standart Bağlayıcı Deneyleri

Bütün bağlayıcılar üzerinde yaşlandırma işleminden önce ve sonra penetrasyon ve yumuşama noktası deneyleri uygulanmıştır. Penetrasyon deneyleri ile bağlayıcı kıvamları ve yumuşama noktası deneyleri ile bağlayıcıların yüksek sıcaklık dayanımları belirlenmeye çalışılmıştır (TS 118 EN 1426, 2002; TS 120 EN 1427, 2002).

Bağlayıcıların Kısa Dönem Yaşlandırılması

Saf ve modifiye bitümlerin kısa dönemli yaşlandırılmasında Dönel İnce Film Halinde Isıtma Deneyi (RTFOT) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde asfalt hazırlama tesislerinde karıştırma sırasında bitümlü bağlayıcının maruz kaldığı sertleşmeyi temsil edecek şekilde, ince bir film halinde hareket eden bitümlerin veya bitümlü bağlayıcıların üzerinde, sıcaklık ve havanın birleşik etkisini değerlendirmektedir. RTFOT yöntemine uygun olarak her biri 35 gr bitüm içeren sekiz adet şişe 163°C sıcaklıktaki etüve yerleştirilmiş ve 75 dakika boyunca dakikada 15 devir yapacak şekilde yatay eksen etrafında döndürülmüştür (Şekil 1). Dönme esnasında deney aletinin tabanında bulunan bir hava üfleyici yardımıyla şişelere, akışı 4000 ± 200 mL/dak. olacak şekilde hava verilmiştir (TS EN 12607-1). Deney sonucunda iki şişe kütle kaybını belirlemekte, altı şişe ise diğer standart deneylerde kullanılacak malzemelerin temininde kullanılmıştır. RTFOT yöntemiyle yaşlandırılmış numunelere, penetrasyon ve yumuşama noktası deneyleri uygulanarak meydana gelen değişiklikler tespit edilmiştir.



Şekil 1. Dönel İnce Film Halinde Isıtma Deney Aleti

Bitümlü Bağlayıcıların Isıya Duyarlılıkları

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).

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

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

Deneysel Çalışma

Saf Bitümlü Bağlayıcıların Penetrasyon ve Yumuşama Noktası Deneysel Sonuçları

Saf bitümlere uygulanan standart deneylerden elde edilen sonuçlar ve şartname limitleri Çizelge 1’de verilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda bütün saf bitümlerin şartname limitlerini sağladıkları belirlenmiştir.

Çizelge 1. Saf Bağlayıcıya Uygulanan Deneylerden Elde Edilen Sonuçlar

B 50/70			
Özellikler	Deney Metodu	Sonuç	Şartname Limitleri
Penetrasyon, 25°C, 0,1mm	EN 1426	68	50 – 70
Yumuşama Noktası, °C	EN 1427	52,5	46 – 54
RTFOT Yöntemiyle Yaşlandırıldıktan Sonra			
Kütle Değişimi, %	EN 12607-1	0,42	mak. 0,5
Penetrasyon, 25°C, 0,1mm	EN 12607-1	48	-
Kalıcı Penetrasyon, %	EN 12607-1	71	min. 50
Yumuşama Noktası, °C	EN 1427	60,0	min. 48
Yumuşama Noktasındaki Artış, °C	EN 1427	7,5	mak. 9
B 70/100			
Özellikler	Deney Metodu	Sonuç	Şartname Limitleri
Penetrasyon, 25°C, 0,1mm	EN 1426	92	70 – 100
Yumuşama Noktası, °C	EN 1427	49,2	43 – 51
RTFOT Yöntemiyle Yaşlandırıldıktan Sonra			
Kütle Değişimi, %	EN 12607-1	0,493	mak. 0,8
Penetrasyon, 25°C, 0,1mm	EN 12607-1	57	-
Kalıcı Penetrasyon, %	EN 12607-1	62	min. 46
Yumuşama Noktası, °C	EN 1427	57,1	min. 45
Yumuşama Noktasındaki Artış, °C	EN 1427	7,9	mak. 9
B 100/150			
Özellikler	Deney Metodu	Sonuç	Şartname Limitleri
Penetrasyon, 25°C, 0,1mm	EN 1426	132	100 – 150
Yumuşama Noktası, °C	EN 1427	46,1	39 – 47
RTFOT Yöntemiyle Yaşlandırıldıktan Sonra			
Kütle Değişimi, %	EN 12607-1	0,668	mak. 0,8
Penetrasyon, 25°C, 0,1mm	EN 12607-1	78	-
Kalıcı Penetrasyon, %	EN 12607-1	59	min. 43
Yumuşama Noktası, °C	EN 1427	55,9	min. 41
Yumuşama Noktasındaki Artış, °C	EN 1427	9,8	mak. 10
B 160/220			
Özellikler	Deney Metodu	Sonuç	Şartname Limitleri
Penetrasyon, 25°C, 0,1mm	EN 1426	188	160 – 220
Yumuşama Noktası, °C	EN 1427	42,4	35 – 43
RTFOT Yöntemiyle Yaşlandırıldıktan Sonra			
Kütle Değişimi, %	EN 12607-1	0,958	mak. 1,0
Penetrasyon, 25°C, 0,1mm	EN 12607-1	100	-
Kalıcı Penetrasyon, %	EN 12607-1	53	min. 37
Yumuşama Noktası, °C	EN 1427	52,6	min. 37
Yumuşama Noktasındaki Artış, °C	EN 1427	10,2	mak. 11

Modifikasyonun ve Yaşlanmanın Bağlayıcı Özellikleri Üzerine Etkisi

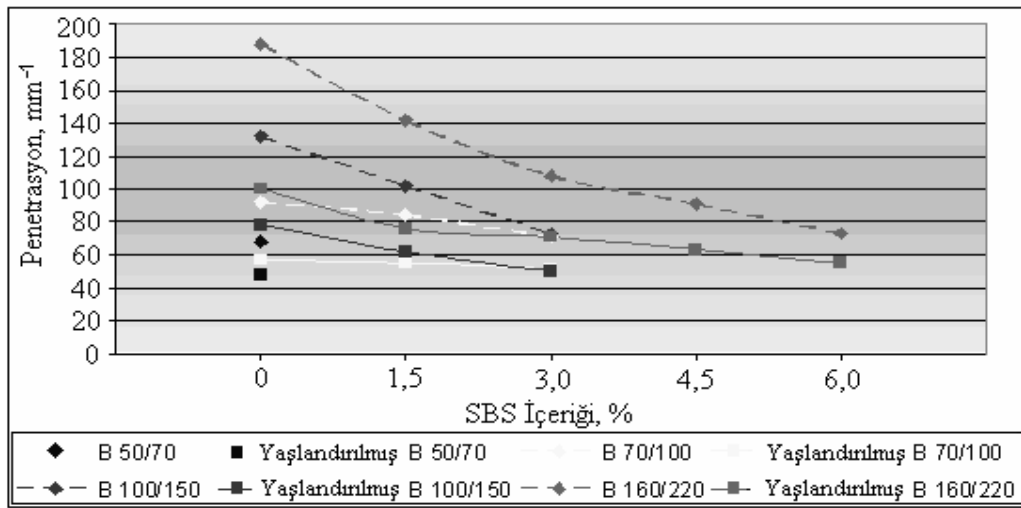
SBS'nin bitüm özellikleri üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla B 70/100, B 100/150 ve B 160/220 bitümlerine değişik oranlarda katkı maddesi ilave edilerek elde edilen modifiye bağlayıcılar, penetrasyon ve yumuşama noktası deneylerine tabi tutulmuştur. Saf ve modifiye bitümler RTFOT yöntemiyle yaşlandırılarak bağlayıcı özelliklerinde meydana gelen değişiklikler tespit edilmiştir. Yaşlandırma önce ve sonrasında saf ve modifiye bağlayıcılara uygulanan deneylerden elde edilen sonuçlar Çizelge 2'de verilmiştir.

SBS katkı maddesi kullanılarak hazırlanan modifiye bitümlerin saf bağlayıcılara göre penetrasyon değerleri

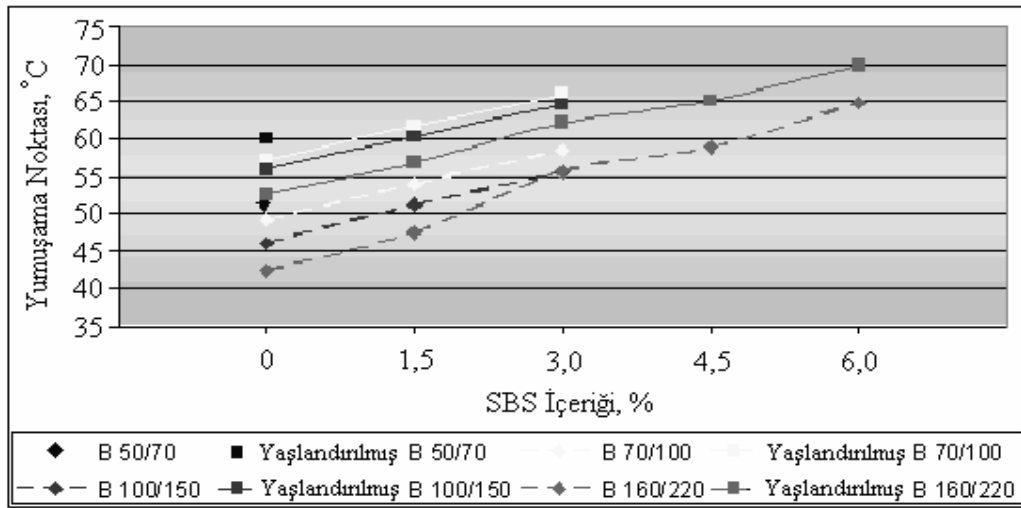
azalmış, yumuşama noktası değerleri ise artmıştır. Katkı oranı arttıkça bu özelliklerdeki değişim miktarının da arttığı tespit edilmiştir. B 70/100 ve B 100/150 bitümlerine %3,0, B 160/220 bitümüne %6,0 SBS eklenmesi ile B 50/70 bitümüne yakın bir penetrasyon seviyesine ulaşılmıştır. Yaşlandırma işlemi sonucunda bütün bağlayıcıların yumuşama noktası değerlerinde artma, penetrasyon değerlerinde ise azalma meydana gelmiştir (Şekil 2-3). Yaşlandırma işlemi nedeniyle saf bağlayıcılarda meydana gelen kütle kayıplarının ilave edilen SBS oranı arttıkça azaldığı tespit edilmiştir (Şekil 4). Ayrıca modifiye bağlayıcılardaki SBS içeriği arttıkça kalıcı penetrasyon oranının arttığı ayrıca yumuşama noktasındaki artışın azaldığı belirlenmiştir.

Çizelge 2. Modifiye Bağlayıcılara Uygulanan Deneylerden Elde Edilen Sonuçlar

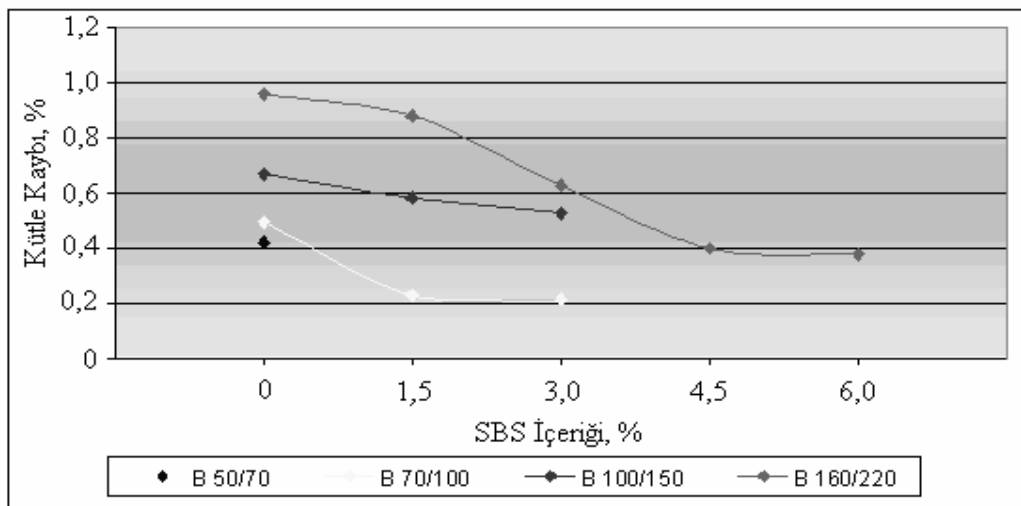
B 70/100 Ana Bağlayıcısı					
Özellikler	B 70/100		B 70/100 + %1,5 SBS		B 70/100 + %3,0 SBS
Penetrasyon, 25°C, 0,1mm	92		84		71
Yumuşama Noktası, °C	49,2		54,0		58,5
RTFOT Sonrası					
Kütle Kaybı, %	0,493		0,228		0,213
Penetrasyon, 25°C, 0,1mm	57		55		51
Kalıcı Penetrasyon, %	62		66		72
Yumuşama Noktası, °C	57,1		61,8		65,9
Yumuşama Noktasındaki Artış, °C	7,9		7,8		7,4
B 100/150 Ana Bağlayıcısı					
Özellikler	B 100/150		B 100/150 + %1,5 SBS		B 100/150 + %3,0 SBS
Penetrasyon, 25°C, 0,1mm	132		102		73
Yumuşama Noktası, °C	46,1		51,2		55,5
RTFOT Sonrası					
Kütle Kaybı, %	0,668		0,581		0,526
Penetrasyon, 25°C, 0,1mm	78		62		50
Kalıcı Penetrasyon, %	59		61		69
Yumuşama Noktası, °C	55,9		60,3		64,6
Yumuşama Noktasındaki Artış, °C	9,8		9,1		9,1
B 160/220 Ana Bağlayıcısı					
Özellikler	B 160/220	B 160/220 + % 1,5 SBS	B 160/220 + % 3,0 SBS	B 160/220 + % 4,5 SBS	B 160/220 + % 6,0 SBS
Penetrasyon, 25°C, 0,1mm	188	142	108	91	73
Yumuşama Noktası, °C	42,4	47,5	55,6	58,9	64,8
RTFOT Sonrası					
Kütle Kaybı, %	0,958	0,878	0,626	0,398	0,376
Penetrasyon, 25°C, 0,1mm	100	76	71	63	55
Kalıcı Penetrasyon, %	53	54	66	69	75
Yumuşama Noktası, °C	52,6	56,8	62,1	65,1	69,8
Yumuşama Noktasındaki Artış, °C	10,2	9,3	6,5	6,2	5,0



Şekil 2. Yaşlandırma İşlemi Önce ve Sonrasında Artan SBS İçeriğiyle Penetrasyon Değerlerinde Meydana Gelen Değişim



Şekil 3. Yaşlandırma İşleminin Önce ve Sonra Artan SBS İçeriğiyle Yumuşama Noktası Değerlerinde Meydana Gelen Değişim



Şekil 4. Artan SBS İçeriğiyle Yaşlandırma İşlemi Nedeniyle Meydana Gelen Kütle Kaybının Değişimi

Penetrasyon İndeksi Değerleri

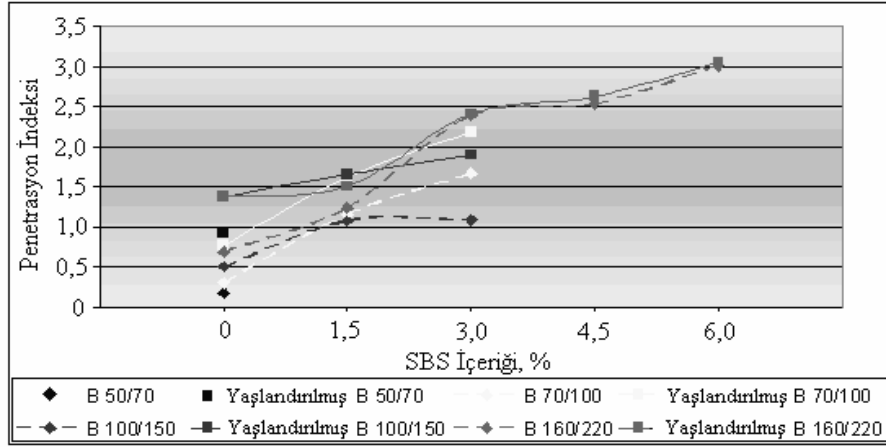
(1) ve (2) numaralı formüller kullanılarak belirlenen saf ve modifiye bitümlü bağlayıcıların yaşlanmadan önce ve sonraki Penetrasyon İndeksi değerleri Çizelge 3.'te verilmiştir.

Çizelge 3. Saf ve Modifiye Bağlayıcıların Penetrasyon İndeksi Değerleri

Bitüm	Penetrasyon İndeksi	
	Yaşlanmadan Önce	Yaşlanmadan Sonra
B 50/70	0,18	0,93
B 70/100	0,20	0,77
B 70/100+ %1,5 SBS	1,16	1,63
B 70/100+ %3,0 SBS	1,67	2,19
B 100/150	0,51	1,38
B 100/150+ %1,5 SBS	1,08	1,66
B 100/150+ %3,0 SBS	1,09	1,90
B 160/220	0,69	1,38
B 160/220 + %1,5 SBS	1,24	1,51
B 160/220 + %3,0 SBS	2,39	2,41
B 160/220 + %4,5 SBS	2,54	2,63
B 160/220 + %6,0 SBS	3,01	3,06

Bitümlü bağlayıcıların ısıya karşı duyarlılığını gösteren Penetrasyon İndeksi sonuçlarından modifiye bağlayıcılardaki SBS oranı arttıkça PI değerinin arttığı belirlenmiştir (Şekil 5). PI değeri arttıkça bitümlü bağlayıcıların ısıya karşı duyarlılığı azaldığından SBS kullanımının bitümlü bağlayıcıların ısıya karşı duyarlılığını azalttığı söylenebilmektedir. Yaşlanmadan

ötürü bitümlü bağlayıcıların PI değeri yükselmiş dolayısıyla ısıya karşı duyarlılıkları azalmıştır. Elde edilen sonuçlardan yaşlanmadan önce ısıya en duyarlı bağlayıcının B 50/70, yaşlanmadan sonra ise B 70/100 olduğu belirlenmiştir. B 160/220 + %6.0 SBS modifiye bitümü, yaşlanmadan önce ve sonra en yüksek PI değerine sahip olmuştur.



Şekil 5. Yaşlanma ve SBS Modifikasyonu Sebebiyle Penetrasyon İndeksi Değerlerinde Meydana Gelen Değişim

Sonuç ve Tartışma

Çalışmada, katkı maddesi olarak kullanılan Stiren-Butadien-Stiren'in (SBS), bitümlü bağlayıcıların ısı duyarlılığı, rijitlik ve yaşlanma özellikleri üzerindeki etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla TÜPRAŞ rafinerisinden elde edilen B 70/100, B 100/150 ve B 160/220 bitümlerine %1.5 ve katları oranında SBS ilave edilerek B 50/70 penetrasyon seviyesinde bir bağlayıcı elde edilmeye çalışılmıştır. B 50/70 penetrasyon seviyesinde bir bağlayıcıya, B 70/100 ve B 100/150 ana bağlayıcılarına %3.0 oranında, B 160/220 ana bağlayıcısına ise %6.0 oranında SBS ilave edilmesiyle ulaşılmıştır. B 70/100 ve B 100/150 ana bağlayıcılarına %3,0 oranında SBS ilave edilmesiyle yaklaşık olarak aynı

penetrasyon seviyesinde modifiye bağlayıcıların elde edilmesi, B 100/150 bitümünün B 70/100 bitümüne göre SBS ile daha iyi uyum sağladığını göstermektedir.

Modifikasyondaki SBS oranı arttıkça penetrasyon değerlerinin azaldığı, yumuşama noktası değerlerinin ise arttığı belirlenmiştir. Penetrasyon ve yumuşama noktası değerlerinden yola çıkarak SBS'nin normal ve yüksek sıcaklıklarda bitümün rijitliğini arttırdığı belirlenmiştir. Yaşlandırma işleminden önce ve sonra B 50/70 seviyesindeki modifiye bağlayıcıların (B 70/100 + %3,0 SBS, B 100/150 + %3,0 SBS, B 160/220 + %3,0 SBS) yumuşama noktası değerinin saf B 50/70 bağlayıcısının

bu değerinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Yumuşama noktası değerlerinden yola çıkarak modifiye bitümlerin saf bağlayıcıya göre yüksek sıcaklık dayanımı bakımından daha iyi sonuç vereceği söylenebilmektedir.

Bütün bağlayıcıların RTFOT yöntemiyle yaşlandırılmasıyla elde edilen yaşlandırılmış numuneler penetrasyon ve yumuşama noktası deneylerine tabi tutulmuştur. Yaşlandırma nedeniyle bütün bağlayıcıların penetrasyon değerleri azalmış, yumuşama noktası değerleri artmış dolayısıyla bağlayıcı rijitlikleri artmıştır. Modifiye bağlayıcılardaki SBS oranı arttıkça yaşlanmadan ötürü meydana gelen kütle kaybı azalmış ayrıca kalıcı penetrasyon değeri artmış ve yumuşama noktasındaki artış miktarı azalmıştır. Dolayısıyla SBS oranı arttıkça yaşlanmanın etkisinin azaldığı belirlenmiştir.

Shell yönteminde belirtilen formüller kullanılarak bağlayıcıların ısıya karşı duyarlılıklarını belirten Penetrasyon İndeksi değerleri tespit edilmiştir. Modifikasyondaki SBS oranı arttıkça yaşlanmadan önce ve sonra Penetrasyon İndeksi değerleri artmış dolayısıyla ısıya karşı duyarlılıkları azalmıştır. Yaşlanmadan sonraki PI değerleri yaşlanmadan önceki değerlere göre daha yüksek çıkmıştır. Çalışma sonucunda, SBS'nin normal ve yüksek sıcaklıklarda bitümün rijitliğini artırıp, yaşlanmanın etkisini ve ısıya karşı duyarlılığı azaltarak bitümün özelliklerini olumlu yönde etkilediği tespit edilmiştir.

Kaynaklar

- Aglan, H., Othman, A., Figueroa, L., Rollings, R. 1993. Effect of Styrene-Butadiene-Styrene Block Copolymer on Fatigue Crack Propagation Behavior of Asphalt Concrete Mixtures. Transportation Research Record, 1417, 178-186.
- Airey, G. D. 2003. Rheological Properties of Styrene Butadiene Styrene Polymer Modified Road Bitumens. Fuel, 82, 1709-1719.
- Bell, C.A. 1989. Aging of Asphalt-Aggregate Systems. Strategic Highway Research Program, A-305.
- Harlin, J. P., Jariel, J. L., Blondel, J. C. 1989. Twelve Years Service Life Without Specific Maintenance for the Bitumen Cariflex TR-I101 Bound Wearing Course of the Saint-Quentin Bridge. Proceedings of 4th Eurobitume Symposium, Vol. I, 125-127.
- Huang, Y.H., 1993. Pavement Analysis and Design. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, pp 792.

Khattak, M. J., Baladi, G. Y. 1998. Engineering Properties of Polymer – Modified Asphalt Mixtures. Transportation Research Record, 1638, 12 – 22.

Lu, X., Isacson, U. 2000. Laboratory Study on the Low Temperature Physical Hardening of Conventional and Polymer Modified Bitumens. Construction and Building Materials, 14, 79-88.

Mulder, E. A., Whiteoak, C. D. 1995 An Objective Assessment of the In-Service Performance Of Thermoplastic Rubber Modified Bitumens for Road Applications. In: Isacson, U., Lu, X. Testing and Appraisal of Polymer Modified Road Bitumens-State of the Art, Materials and Structures, 28, 139-159.

Navarro, F.J., Partal, P., Martinez-Boza, F., Valencia, C., Gallegos, C. 2002. Rheological Characteristics of Ground Tire Rubber-Modified Bitumens. Chemical Engineering Journal, 89, 53-61.

TS 118 EN 1426, 2002. Bitümler ve bitümlü bağlayıcılar – İğne batma derinliği tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara. 12 s.

TS 120 EN 1427, 2002. Bitümler ve bitümlü bağlayıcılar-Yumuşama noktası tayini – Halka ve bilya metodu. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara. 12 s.

TS EN 12607-1, 2003. Bitümler ve Bitümlü Bağlayıcılar – Sıcaklık ve Havanın Etkisiyle Sertleşmeye Karşı Direncin Tayini – Bölüm 1: RTFOT (Etüvde Hareket Halinde İnce Film Deneyi) Yöntemi. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara. 12 s.

Tunç, A. 2004. Esnek Kaplama Malzemeleri Elkitabı. Asil Yayın Dağıtım Ltd. Şti., Ankara, 352 s.

Ullidtz, P. 1987. Pavement Analysis. Elsevier, Amsterdam, pp 318.

Vallerga, B.A. 1981. Pavement Deficiencies Related to Asphalt Durability. Association of Asphalt Paving Technologists, 50, 481-491.

Vonk, W. C., Phillips, M. C., Roele, M. 1993. Ageing Resistance of Bituminous Road Binders: Benefits of SBS Modification. Proceedings of 5th Eurobitume Congress, Stockholm, IA, 156-160.

Whiteoak, D., Read, J. 2003. The Shell Bitumen Handbook. Thomas Telford Ltd., pp 464.