

# SAF VE SBS MODİFİYELİ BİTÜMLÜ BAĞLAYICILARIN KISA DÖNEM YAŞLANMADAN SONRAKİ ÖZELLİKLERİNİN İKİ FARKLI YAŞLANDIRMA YÖNTEMİ KULLANILARAK İNCELENMESİ

**Mehmet YILMAZ ve Perviz AHMEDZADE**

İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, [myilmaz23@gmail.com](mailto:myilmaz23@gmail.com),  
[pahmedzade@firat.edu.tr](mailto:pahmedzade@firat.edu.tr)

(Geliş/Received: 17.07.2007; Kabul/Accepted: 23.06.2008)

## ÖZET

Bu çalışmada bitümlü bağlayıcıların kısa dönem yaşlanmasını laboratuvar ortamına yansıtmak amacıyla en çok kullanılan iki yöntem olan İnce Film Halinde Isıtma Deneyi (TFOT) ve Dönel İnce Film Halinde Isıtma Deneyi (RTFOT) yöntemleri karşılaştırılmıştır. B 160/220 ana bağlayıcısına dört farklı oranda (% 1,5-3,0-4,5-6,0) Stiren-Butadiyen-Stiren (SBS) ilave edilerek modifiye bağlayıcılar hazırlanmıştır. Saf ve modifiye bağlayıcılar TFOT ve RTFOT yöntemleriyle yaşlandırılmıştır. Yaşlandırılmamış ve TFOT ile RTFOT yöntemleri ile yaşlandırılmış bağlayıcılara penetrasyon ve yumuşama noktası deneyleri uygulanmıştır. Ayrıca bağlayıcıların ısıya karşı duyarlılıkları ve yaşlandırma etkisiyle meydana gelen kütle kayıpları belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlardan yaşlandırmadan önce ve sonra SBS içeriği arttıkça bağlayıcıların yumuşama noktası değerlerinin arttığı, penetrasyon ve ısıya karşı duyarlılıklarının azaldığı belirlenmiştir. TFOT yönteminde RTFOT yöntemine göre daha fazla yaşlanma meydana geldiği, penetrasyon değerlerinin daha düşük, kütle kaybı ve yumuşama noktası değerlerinin ise daha yüksek olduğu, ısıya karşı duyarlılıklarının benzer olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yaşlanma, modifikasyon, RTFOT, TFOT, SBS.

## INVESTIGATION OF PURE AND SBS MODIFIED BITUMINOUS BINDER PROPERTIES AFTER SHORT TERM AGEING BY USING TWO DIFFERENT AGEING METHODS

### ABSTRACT

In this study Thin Film Oven Test (TFOT) and Rolling Thin Film Oven Test (RTFOT) methods which are the most common methods used to reflect binders short term ageing in laboratory conditions were compared. Four different ratios of Styrene-Butadiene-Styrene (SBS) (1.5%; 3.0%; 4.5% and 6.0%) were added to B 160/220 main bitumen to prepare modified binders. Pure and modified binders were aged with TFOT and RTFOT methods. Penetration and softening point tests were applied to unaged binders and binders aged by TFOT and RTFOT methods. Furthermore thermal sensitivity of binders and mass loss occurring by the effect of ageing were determined. From obtained results it was determined that softening point values were increased and penetration and thermal sensitivity were decreased with rising SBS content before and after ageing. According to results of both methods, it can be said that occurred ageing, mass loss and softening point values of binders aged by TFOT was found to be higher; penetration values to be lower; temperature sensitivity to be same in comparison with values of binders aged by RTFOT.

**Keywords:** Ageing, modification, RTFOT, TFOT, SBS.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Dünyada olduğu gibi ülkemizde de karayolları en çok

esnek üstyapı şeklinde projelendirilmekte ve uygulanmaktadır. Esnek üstyapılar içerisinde en yüksek dayanımı agrega ve bitümlü bağlayıcıların

ısıtılıp karıştırılmasıyla elde edilen bitümlü sıcak karışımlar göstermektedir. Bitümlü sıcak karışımlarda bağlayıcı görevi gören bitümlü bağlayıcılar, temel olarak karbon ve hidrojenle oluşmaktadır [1].

Yapı olarak viskoelastik özellik gösteren bitüm, yüksek taşıt hızlarında ve düşük sıcaklıklarda elastik katı, düşük taşıt hızlarında ve yüksek sıcaklıklarda ise viskoz sıvı özelliği göstermektedir. Bitümlü bağlayıcıların trafik yüklerine ve termal gerilmelere karşı dayanımlarını arttırmak amacıyla katkı maddeleri kullanılmaktadır. Bu amaçla en çok polimer kökenli katkı maddeleri kullanılmaktadır. Yapılan birçok çalışma sonucunda polimer kökenli katkı maddelerinin, bitüm ve bitümlü sıcak karışımların özelliklerini olumlu yönde etkilediğini belirlenmiştir [2-6].

Bitümlü sıcak karışımların hazırlanışından servis ömrünün sonuna kadar bitümlü bağlayıcılarda yaşlanma olarak isimlendirilen yapısal sertleşme meydana gelmektedir. Yaşlanma, başlıca asfalt karışımların hazırlanması sırasında bitümün oksidasyonu ve buharlaşabilen bileşenlerin kaybıyla (kısa süreli yaşlanma) ve araziye uygulanmış malzemelerin artan oksidasyonu (uzun süreli yaşlanma) ile ilgilidir. Her iki faktör, bitümün sertliğinin artmasıyla sonuçlanmaktadır. Bu durum, karışımın daha sert, kırılğan ve çatlak oluşumu ile yapısal dağılmaya karşı daha hassas olmasına neden olmaktadır [7]. Bitümün kısa süreli yaşlanmasını laboratuvar ortamına taşımak amacıyla çeşitli yöntemler geliştirilmiş fakat bunlar içerisinde en çok kabul görenler İnce Film Halinde Isıtma Deneyi (TFOT) ve Dönel İnce Film Halinde Isıtma Deneyi (RTFOT) yöntemleri olmuştur [8].

Bu çalışmada çeşitli oranlarda polimer kökenli olan Stiren-Butadien-Stiren (SBS) Blok Kopolimer muhteva eden KRATON D 1101 katkı maddesi kullanılarak modifiye bitümler hazırlanmıştır. Saf ve modifiye bağlayıcılar penetrasyon ve yumuşama noktası deneylerine tabi tutularak özellikleri tespit edilmiştir. Bu bitümler TFOT ve RTFOT yöntemleriyle yaşlandırılmış, elde edilen numunelere penetrasyon ve yumuşama noktası deneyleri uygulanmıştır. Sonuçta SBS modifikasyonunun ve yaşlanmanın etkisi araştırılmış ayrıca kullanılan iki yaşlandırma yönteminin etkisi karşılaştırılmıştır.

## 2. TFOT VE RTFOT YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI (COMPARISON OF TFOT AND RTFOT METHODS)

Bitümlü bağlayıcılarda meydana gelen kısa süreli yaşlanmayı temsil etmek amacıyla en çok kabul edilen iki yöntem olan TFOT ve RTFOT yöntemleri, prosedür bakımından (etüvde yüksek sıcaklıkta ısıtma) benzer olmasına rağmen uygulama şekli, süre ve kullanılan deney ekipmanları bakımından

farklılıklar göstermektedir. Tablo 1., TFOT ve RTFOT yöntemleri arasındaki farkları göstermektedir [8].

**Tablo 1.** TFOT ve RTFOT yöntemleri arasındaki farklılıklar (Difference of TFOT and RTFOT methods) [8]

Parametre	TFOT (TS EN 12607-2)	RTFOT (TS EN 12607-1)
Numune Kabı	Çelik silindirik kap	Cam şişe
Kap Ölçüleri	140 mm Çapında, 9,5 mm derinliğinde	64 mm Çapında, 140 mm derinliğinde
Numune Miktarı	Her kaba 50 gr.	Her şişeye 35 gr.
Düşey Eksen Etrafında Dönüş	5,5 devir/dakika	-
Yatay Eksen Etrafında Dönüş	-	15 devir/dakika
Hava Akışı	-	4000 mL/dak.
Deney Süresi	300 dakika	75 dakika
Deney Sıcaklığı	163°C	163°C
Film kalınlığı	3,2 mm	1,25 mm
Bitüm Hareketi	-	Var

TFOT yönteminin eleştirilen en büyük yanı, yaşlandırılmış bağlayıcının yüzeyini oluşturan ince bağlayıcı film tabakasıdır. Deney süresince numunede dönme veya çalkalanma olmadığından dolayı, yaşlanma (özellikle buharlaşma) bitüm numunesinin yüzeyiyle sınırlandırılmış olmaktadır.

TFOT yönteminin en uygun şekilde değiştirilmiş hali olan RTFOT yönteminde bitüm, cam şişe içerisine doldurularak yatay eksen etrafında döndürülmekte ve bu suretle yüzeyde tabaka oluşumu engellenmektedir. TFOT yönteminde 3,2 mm film kalınlığı kullanılırken RTFOT yönteminde bu kalınlık 1,25 mm'ye düşürülmüştür. Bu sayede RTFOT, asfalt karıştırma boyunca bitümün yaşlanmasını daha iyi bir şekilde laboratuvar ortamına yansıtabilmektedir. Superpave yönteminde kısa dönem yaşlanmayı temsil etmek amacıyla kullanılan bu metod; ısı, hava ve sürekli hareket etme sayesinde yüzeyde bir katman oluşumunu engellemekte ve böylece bitümün korunmasını sağlamaktadır. Deney şartları uygulama şartlarını ifade etmemesine rağmen yapılan deneyler, RTFOT yöntemindeki sertleşme miktarı ile normal batch mikserinde meydana gelen sertleşme miktarı arasında bir uyum olduğunu göstermiştir [9]. Buna rağmen kıvamı yüksek ve modifiye bağlayıcılarda hareket oluşmadığı bu nedenle bu tip bağlayıcıların yaşlandırılmasında RTFOT yönteminin uygun olmadığı belirtilmektedir [10].

### 3. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

#### 3.1. Bitüm Modifikasyonu Ve Standart Bağlayıcı Deney Yöntemleri (Modification of Bitumen and Standard Binder Test Methods)

Çalışmada TÜPRAŞ rafinerisinden elde edilen bitüm üzerinde standart bağlayıcı deneyleri uygulanarak bağlayıcı sınıfı ve TS 1081 EN 12591 standardına uygunluğu tespit edilmiştir. Katkı maddesi olarak SBS kökenli olan ve Shell Bitümen şirketi tarafından üretilen KRATON D 1101 kullanılmıştır. Katkı oranları %1,5-3,0-4,5 ve 6,0 olarak seçilmiştir. Modifiye bağlayıcılar, malzemelerin 170°C sıcaklıkta, 500 rpm hıza sahip bir karıştırıcıda, 90 dakika süreyle karıştırılması sonucu elde edilmiştir. Modifiye bağlayıcılar üzerinde penetrasyon ve yumuşama noktası deneyleri uygulanarak katkı maddesinin etkisi tespit edilmiştir.

#### 3.2. İnce Film Halinde Isıtma Deneyi (TFOT) (Thin Film Oven Test)

İnce Film Halinde Isıtma Deney (TFOT) yöntemi, plentte agragayla karıştırma sırasında bitümlü bağlayıcılarda meydana gelen yaşlanmayı temsil etmesi amacıyla Lewis ve Welborn tarafından 1940 yılında geliştirilmiştir. TFOT yönteminde 140 mm çapında düz bir kaba 50 ml bitüm doldurulmakta ve böylece kapta 3,2 mm kalınlığında bir film tabakasının oluşması sağlanmaktadır. İki veya daha fazla kap, etüv içerisindeki dönel askıya yerleştirilerek 163°C'de 5 saat boyunca bekletilmektedir (Şekil 1). Deney süresince kaplar düşey eksen etrafında 5 devir/dakika hızla döndürülmektedir [11].

Deney sonucunda aşağıdaki formül kullanılarak kütle kaybı belirlenmektedir. Elde edilen yaşlandırılmış numunelere penetrasyon ve yumuşama noktası gibi bağlayıcı deneyleri uygulanarak meydana gelen değişiklikler tespit edilmektedir. Denklemde  $m_1$

yaşlanmadan önceki bağlayıcı ağırlığını,  $m_2$  ise yaşlanmadan sonraki bağlayıcı ağırlığını ifade etmektedir [11].

$$\text{Kütle Kaybı, \%} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (1)$$

#### 3.3. Dönel İnce Film Halinde Isıtma Deneyi (RTFOT) (Rolling Thin Film Oven Test)

Karıştırma süresince bağlayıcıların yaşlanmasında kullanılan diğer bir yöntem olan RTFOT (Dönel İnce Film Halinde Isıtma Deney) yöntemi, Kaliforniya Karayolları Bölümü tarafından geliştirilmiştir. RTFO deneyi ile bağlayıcıların ısıtma sonucu uçucu madde kaybı belirlenebilmekte ayrıca sıcaklık ve havanın etkisiyle bitümlü malzemelerin fiziksel özelliklerindeki değişimi tespit etmek amacıyla gerekli malzeme elde edilebilmektedir.

TS EN 12607-1'de belirtilen RTFOT yöntemi, 163°C sıcaklığa sahip etüve yerleştirilen 8 adet şişe kullanılarak yapılmaktadır. Her bir şişeye 35 gram bitüm doldurulup düşey ekseninde dakikada 15 devir yapacak şekilde 75 dakika süreyle döndürülmektedir (Şekil 2). Dönme esnasında deney aletinin tabanında bulunan bir hava üfleme yardımcıyla şişelere, akışı 4000±200 ml/dak olacak şekilde hava verilmektedir. Sıcaklığın etkisiyle bitüm, şişeleri tam olarak kaplayarak 1,25 mm kalınlığında ince bir film tabakası oluşturmakta ve bu sayede yaşlanmanın meydana gelişi kolaylaştırılmaktadır [12].

Deney süresinin sonunda iki numune kütle kaybını tayin etmek, geri kalan altı şişe ise bitümün yaşlandıktan sonraki fiziksel özelliklerini tespit etmek amacıyla kullanılmaktadır. Kütle kaybı, (1) numaralı formül kullanılarak belirlenmektedir. RTFOT yönteminden elde edilen yaşlandırılmış numuneler üzerinde yaşlandırılmamış bağlayıcılara uygulanan standart deneyler uygulanarak meydana gelen



Şekil 1. İnce film halinde ısıtma deney aleti (Thin film oven test device)



Şekil 2. Dönel ince film halinde ısıtma deney aleti (Rolling thin film oven test device)



değişiklikler tespit edilebilmektedir.

### 3.4. Bitümlü Bağlayıcıların Isıya Karşı Duyarlılıkları (Thermal Sensitivity of Bituminous Binders)

Bitümlü bağlayıcıların ısıya karşı duyarlılıkları, karşım hazırlama sırasında enerji ve süre bakımından, uygulamada ise kaplamaların yüksek sıcaklıklarda kalıcı deformasyon ve düşük sıcaklıklarda termal çatlak oluşumu bakımından büyük önem arz etmektedir. Isı hassasiyeti düşük bağlayıcılar karşım hazırlama sırasında olumsuzluklara neden olmasına rağmen kaplama performansının artmasını sağlamaktadır. Bitümlü bağlayıcıların ısıya karşı duyarlılığını tespit etmek amacıyla Shell tarafından geliştirilen yöntemde yumuşama noktası ve standart penetrasyon deney sonuçları kullanılarak Penetrasyon İndeksi (PI) değeri belirlenmektedir (Formül 1-2) [13].

$$A = \frac{\log 800 - \log P_{25}}{T_{YN} - 25} \quad (2)$$

$$PI = \frac{20 - 500A}{1 + 50A} \quad (3)$$

Formüldeki  $P_{25}$ , bitümün  $25^{\circ}\text{C}$ '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.

## 4. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

Çalışmanın ilk aşamasında saf ve hazırlanan modifiye bağlayıcılar üzerinde penetrasyon ve yumuşama noktası deneyleri uygulanarak SBS'nin etkisi belirlenmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında ise saf ve modifiye bağlayıcılar TFOT ve RTFOT yöntemleriyle yaşlandırılmış ve meydana gelen kütle kayıpları tespit

edilmiştir. Yaşlandırılmış numuneler penetrasyon ve yumuşama noktası deneylerine tabi tutularak meydana gelen değişiklikler tespit edilmiştir. Ayrıca yumuşama noktası ve penetrasyon değerlerinden faydalanılarak yaşlandırılmış ve yaşlandırılmamış bağlayıcıların ısıya karşı duyarlılıkları tespit edilmiştir.

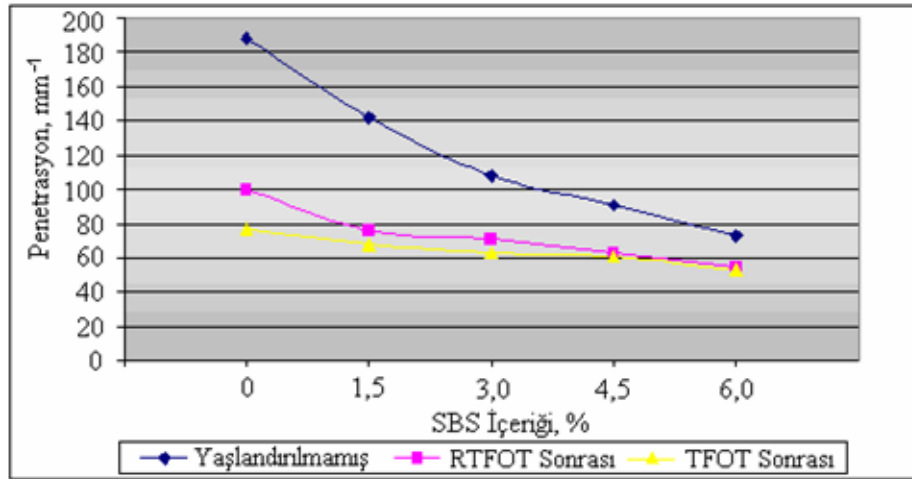
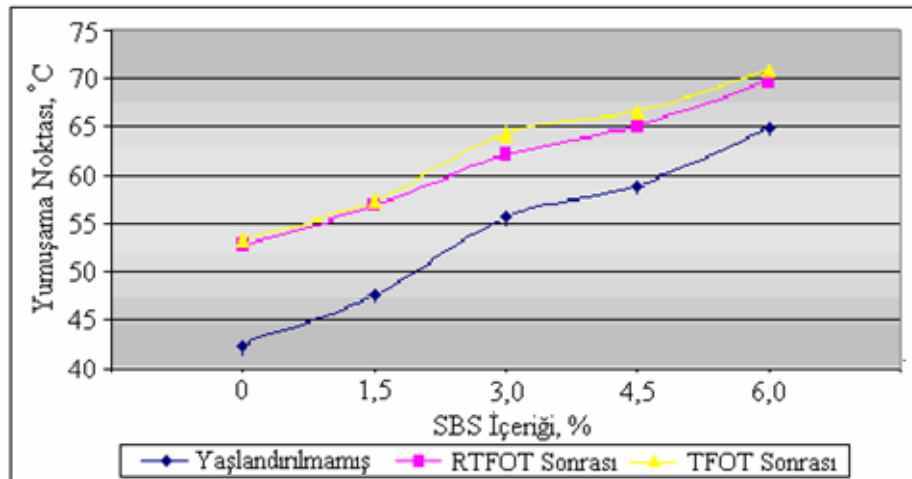
### 4.1. Saf Ve Modifiye Bağlayıcılar Üzerinde Kısa Süreli Yaşlanmanın Etkisi (Effect of Short Term Ageing on Pure and Modified Binders)

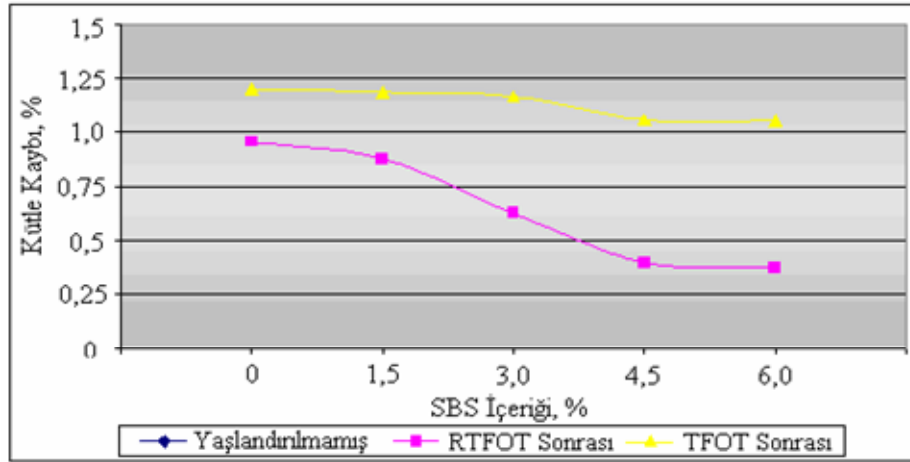
B 160/220 saf bağlayıcısına dört farklı oranda (% 1,5–3,0–4,5–6,0) SBS ilave edilerek modifiye bağlayıcılar elde edilmiştir. Saf ve modifiye bağlayıcılar TFOT ve RTFOT standartlarına uygun olarak yaşlandırılmıştır. Bağlayıcılar yaşlandırılmadan önce ve sonra penetrasyon ve yumuşama noktası deneylerine tabi tutulmuştur. Deneylerden elde edilen sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir.

Bağlayıcılara uygulanan deneylerden yaşlandırma öncesi ve sonrasında artan SBS içeriğiyle penetrasyon değerlerinin azaldığı, yumuşama noktası değerlerinin ise arttığı belirlenmiştir. Bütün modifiye bağlayıcılarda yaşlandırma nedeniyle meydana gelen kütle kaybı TFOT yönteminde RTFOT yöntemine göre daha yüksek çıkmıştır. Ayrıca TFOT yöntemi ile yaşlandırılan bağlayıcıların penetrasyon değerlerinin RTFOT yöntemiyle yaşlandırılanlara göre daha düşük, yumuşama noktası değerlerinin ise daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Modifikasyonun ve yaşlanmanın etkisiyle bağlayıcıların penetrasyon değerinde meydana gelen değişim Şekil 3'te, yumuşama noktasında meydana gelen değişim Şekil 4'te verilmiştir. TFOT ve RTFOT yöntemleriyle yaşlandırmadan kaynaklanan kütle kayıpları ise Şekil 5'te verilmiştir.

**Tablo 2.** Bağlayıcılara yaşlanmadan önce ve sonra uygulanan deneylerden elde edilen sonuçlar (Results of binder tests before and after ageing)

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
TFOT Sonrası					
Kütle Kaybı, %	1,199	1,188	1,167	1,058	1,056
Penetrasyon, 25°C, 0,1mm	77	68	63	61	53
Kalıcı Penetrasyon, %	41	48	58	67	73
Yumuşama Noktası, °C	53,3	57,3	64,3	66,6	70,9
Yumuşama Noktasındaki Artış, °C	10,9	9,8	8,7	7,7	6,1

**Şekil 3.** Yaşlandırılmamış ve yaşlandırılmış bağlayıcılarda artan SBS içeriğiyle penetrasyonun değişimi (Variation of penetration values with increasing SBS content before and after ageing)**Şekil 4.** Yaşlandırılmamış ve yaşlandırılmış bağlayıcılarda artan SBS içeriğiyle yumuşama noktasının değişimi (Variation of softening point values with increasing SBS content before and after ageing)



Şekil 5. TFOT ve RTFOT yöntemleriyle yaşlandırılmış bağlayıcılarda meydana gelen kütle kayıplarının artan SBS içeriğiyle değişimi (Variation of binders mass loss that aged with TFOT and RTFOT methods)

#### 4.2. Penetrasyon İndeksi Değerleri (Penetration Index Values)

Bitümlü bağlayıcıların ısıya karşı hassasiyetini ifade eden Penetrasyon İndeksi (PI) değerleri (2) ve (3) numaralı formüller kullanılarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 3'te verilmiştir.

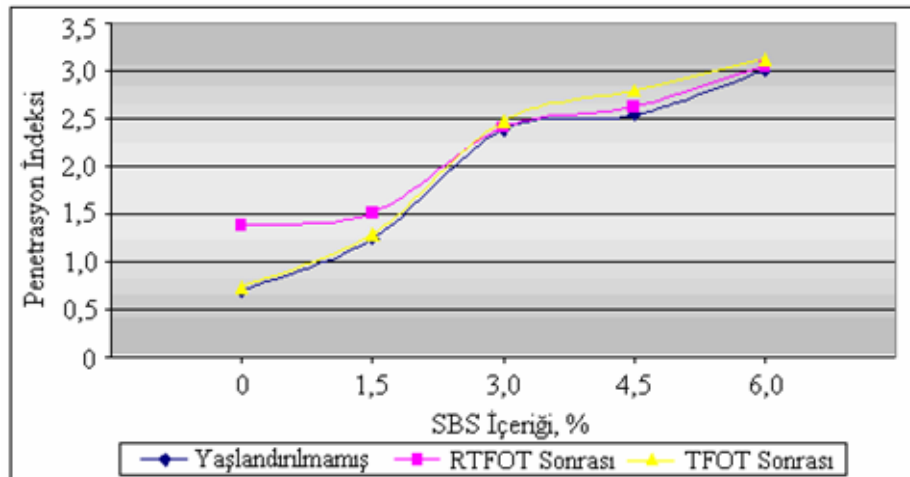
Tablo 3. Yaşlandırılmış ve yaşlandırılmamış bağlayıcıların Penetrasyon İndeksi değerleri (Penetration Index values of unaged and aged binders)

Bağlayıcı	Penetrasyon İndeksi		
	Yaşlanmadan Önce	TFOT Sonrası	RTFOT Sonrası
B 160/220	0,69	0,73	1,38
B 160/220 + %1,5 SBS	1,24	1,29	1,51
B 160/220 + %3,0 SBS	2,39	2,48	2,41
B 160/220 + %4,5 SBS	2,54	2,8	2,63
B 160/220 + %6,0 SBS	3,01	3,13	3,06

Modifikasyondaki SBS oranı arttıkça hem yaşlandırmadan önce hem de sonra PI değeri artmıştır. TFOT yöntemiyle yaşlandırılan bağlayıcıların PI değeri RTFOT yöntemiyle yaşlandırılan bağlayıcıların PI değerinden yüksek çıkmıştır (Şekil 6). Dolayısıyla hem SBS modifikasyonunun hem de yaşlandırma işleminin bağlayıcının ısıya karşı hassasiyetini azalttığı belirlenmiştir.

#### 5. SONUÇ (CONCLUSION)

Çalışmada bitümlü bağlayıcıların kısa süreli yaşlandırılmasında en sık kullanılan iki yöntem olan TFOT ve RTFOT yöntemleri karşılaştırılmıştır. Bu amaçla ticari ismi KRATON D 1101 olan SBS kökenli katkı maddesi, B 160/220 ana bağlayıcısına dört farklı oranda ilave edilmiştir. Modifiye bağlayıcılar RTFOT ve TFOT yöntemleriyle yaşlandırılmadan önce ve sonra standart bağlayıcı deneylerine tabi tutulmuştur.



Şekil 6. Yaşlandırılmamış ve yaşlandırılmış bağlayıcılarda artan SBS içeriğiyle penetrasyon indeksinin değişimi (Variation of penetration index with increasing SBS content before and after ageing)

Elde edilen sonuçlardan yaşlandırma işlemlerinden önce ve sonra modifiye bağlayıcılardaki SBS oranı arttıkça bağlayıcıların yumuşama noktası değerlerinin arttığı, penetrasyon ve ısı hassasiyetinin azaldığı ayrıca yaşlandırmadan ötürü meydana gelen kütle kayıplarının azaldığı belirlenmiştir. Penetrasyon değerindeki azalma ve yumuşama noktasındaki artma SBS'nin bitümlü bağlayıcıların kalıcı deformasyona karşı dayanımı arttırdığının bir göstergesidir. Kütle kayıplarındaki azalma ise SBS'nin yaşlanma etkisini azalttığını göstermektedir. Artan SBS içeriğiyle kalıcı penetrasyondaki artma ve yumuşama noktası farkındaki azalma katkı maddesinin yaşlanma etkisini azalttığının diğer göstergeleridir. Penetrasyon İndeksi değerinin 2'den büyük olması bağlayıcının ısıya karşı hassas olmadığını göstermektedir. %3,0 SBS oranından itibaren PI değerinin 2'den büyük olduğu tespit edilmiştir. Modifiye bağlayıcılardaki SBS oranı arttıkça PI değerleri artmış dolayısıyla ısıya karşı hassasiyet azalmıştır.

TFOT ve RTFOT yöntemleri karşılaştırıldığında ise TFOT yöntemiyle yaşlandırılan bağlayıcıların penetrasyon değerlerinin daha düşük, yumuşama noktası değerlerinin ise daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Isı hassasiyeti bakımından ise katkısız işlem görmemiş ve yaşlandırılmış bağlayıcılar arasında fark olmasına rağmen modifiye bağlayıcılarda ısı hassasiyeti değerleri birbirine yakın çıkmıştır. Yaşlandırma nedeniyle meydana gelen kütle kayıpları, artan SBS içeriğiyle azalmıştır. Artan SBS içeriğiyle kütle kayıplarında meydana gelen azalma, RTFOT yöntemiyle yaşlandırılan bağlayıcılarda daha yüksek çıkmıştır. Sonuç olarak iki yaşlandırma yöntemi arasında farklılık bulunduğu, TFOT yönteminde RTFOT yöntemine göre daha fazla yaşlanma meydana geldiği belirlenmiştir.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Malkoç, G., "Asfalt Çimentosunun Kimyasal Yapısı, Modifikasyonun Etkisi ve Bu Kapsamda Ülkemiz Ürünlerinin Değerlendirilmesi", **III. Asfalt Sempozyumu**, K.G.M., Ankara, 2000.
2. Khattak, M. J., and Baladi, G. Y., "Engineering Properties of Polymer – Modified Asphalt Mixtures". **Transportation Research Record**, Vol. 1638, pp. 12 – 22., 1998.
3. Airey, G. D., "Rheological Evaluation of Ethlene Vinly Acetate Polymer Modified Bitumens", **Construction and Building Materials**, Vol. 16, pp. 473–487, 2002.
4. Daly, W. H., Zhaoyao, Q., and Negulescu, I., "Preparation and Characterization of Asphalt–Modified Polyethylene Blends", **Transportation Research Record**, Vol. 1391, pp. 56 – 64, 1993.
5. Airey, G. D., "Rheological Properties of Styrene Butadiene Styrene Polymer Modified Road Bitumens", **Fuel**, Vol. 82, pp. 1709-1719, 2003.
6. Zoorob, S. E., Suparna, L. B., "Laboratory Design and Investigation of the Properties of Continuously Graded Asphaltic Concrete Containing Recycled Plastic Aggregate Replacement", **Cement and Concrete Composites**, Vol. 22, pp. 233 – 242, 2000.
7. Vallerga, B.A., "Pavement Deficiencies Related to Asphalt Durability", Proceedings, **Association of Asphalt Paving Technologists**, Vol. 50, pp 481-491, 1981.
8. Shalaby, A., "Modelling Short-Term Aging of Asphalt Binders Using the Rolling Thin Film Oven Test", **Canadian Journal of Civil Engineering**, Vol. 29, pp. 135-144, 2002.
9. Whiteoak, D. and Read, J., **The Shell Bitumen Handbook**, Thomas Telford Ltd., pp. 464, 2003.
10. Airey, G. D., "State of the Art Report on Ageing Test Methods for Bituminous Pavement Materials", **International Journal of Pavement Engineering**, Vol. 4, pp. 165-176, 2003.
11. TS EN 12607-2, "Bitümler ve Bitümlü Bağlayıcılar-Sıcaklık ve Havanın Etkisiyle Sertleşmeye Karşı Direncin Tayini-Bölüm 2: TFOT (Etüvde İnce Film Deneyi) Yöntemi", **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara. 9 s., 2003.
12. TS EN 12607-1, "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., 2003.
13. Ullidtz, P., **Pavement Analysis**, Elsevier, Amsterdam, pp. 318, 1987.