

POLİTETRAFLORETİLEN BİLEŞİĞİNİN BİTÜMÜN REOLOJİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Meltem ÇUBUK*, Metin GÜRÜ** ve M. Kürşat ÇUBUK***

*Denizcilik Müsteşarlığı, Maltepe, Ankara

**Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Kimya Müh. Böl. Maltepe, Ankara

***Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Müh. Böl. Maltepe, Ankara

meltem.cubuk@denizcilik.gov.tr, mguru@mmf.gazi.edu.tr, ckursat@mmf.gazi.edu.tr

(Geliş/Received: 01.11.2010; Kabul/Accepted: 28.01.2011)

ÖZET

Bu çalışmada termoplastik polimerlerden ticari adıyla teflon olarak bilinen politetrafloretilen (PTFE) bitüme ilave edilerek bitümün modifiye edilmesi ve bu katkı maddesinin bitümün reolojik özelliklerine etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bitümün reolojik özelliklerini belirleyebilmek için orjinal ve modifiye edilmiş bitüme viskozite, penetrasyon, yumuşama noktası, dinamik kesme reometresi (DSR), döner ince film etüvü (RTFOT), basınçlı oksidasyon kabı (PAV) ve çubuk eğme reometresi (BBR) testleri ve performanslarına ilişkin ise Marshall stabilitesi ve soyulma deneyleri uygulanmıştır. Katkının bitümün camı geçiş sıcaklığına etkisi fark taramalı kalorimetre (DSC), yüzey enerjisine etkisi ise diferansiyel yüzey analizi (DSA) ile tespit edilmiştir. Deneysel çalışmalar sonunda katkının, bitümün tekerlek izi oluşumunu yaklaşık %54 oranında azalttığı, karıştırma prosesi sonrası yaşlanmış bitümün tekerlek izi oluşumunu ise yaklaşık %29 oranında azalttığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bitümün modifiye edilmesi, PTFE, reoloji, adezyon, kararlılık.

THE EFFECT OF POLYTETRAFLUOROETHYLENE ON THE RHEOLOGICAL PROPERTIES OF BITUMEN

ABSTRACT

In this study, thermoplastic polymer politetrafloretilen (PTFE) is known that the trade name as teflon was used for the modification of bitumen and the effect of additive on the rheological properties of bitumen was investigated. To determine rheological properties of bitumen with and without PTFE additive were examined by rheometer, penetration, softening point, DSR (dynamic shear rheometer), RTFOT (rolling thin film oven test), PAV (pressure aging vessel), BBR (bending beam rheometer) and were applied stripping and Marshall tests related to performance. The effect of additive on the glass transition temperature and surface energy of the bitumen were examined by differential scanning calorimeter (DSC) and differential surface analysis (DSA). Experimental studies eventually, were determined to decrease in rutting in modified bitumen by 54% and the mixing process after modified aged bitumen by 29%.

Key Words: Modified bitumen, PTFE, rheology, adhesion, stability.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Yol üst yapılarında en çok kullanılan esnek kaplamalar başlıca bitümlü bağlayıcı ve agregadan meydana gelmektedir. Yol üst yapılarında adezyon eksikliği, tekerlek izi oluşumu, çatlamlar ve soyulmalar gibi deformasyonlardan kaynaklanan sorunlar sıkça görülmektedir. Esnek kaplamaların gerek kararlılığı gerekse performans yönünden üstün

nitelikli olmaları ve bahsedilen sorunlara çözüm getirmek amacıyla pek çok çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmalardan en önemlisi ise bitümü modifiye etme çalışmalarıdır [1, 2, 3]. Bitüm polimerler ve yüzey aktif maddeler gibi katkıları ile modifiye edilebilir. Bitümün performans özelliklerini geliştirmek amacıyla kullanılan polimerler ise dört ana grupta sınıflandırılabilir. Bunlar, termoplastikler, lastikler, termoset polimerler ve blok kopolimerlerdir.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL AND METHOD)

Çalışmada Aliğa Petrol Rafinerisinden temin edilen ve bitümlü sıcak kaplamalarda en çok kullanılan 50/70 penetrasyon dereceli bitüm kullanılmıştır. Tablo 1’de bitümün özellikleri verilmiştir. Ticari olarak üretilen ve özellikleri Tablo 2’de verilen politetrafloretillen (PTFE) bitümü modifiye etmek için kullanılmıştır.

Tablo 1. Bitümün fiziksel ve kimyasal özellikleri (Chemical and physical properties of the bitumen.)

Penetrasyon, 25 °C, 100 g, 5 s, 0,1 mm	62
Trikloretillende çözünürlük (%)	99,7
Yumuşama noktası (°C)	49,2
Parlama noktası (°C)	260+
Viskozite, 135 °C (Pa s)	0,280
Asfalten(m/m)%	20,75
Aromatikler (m/m)%	53,72
Doygun hidrokarbonlar (m/m)%	6,55
Reçine (m/m)%	18,98

Tablo 2. PTFE’nin özellikleri (Properties of PTFE)

Fiziksel Durum	Katı, toz
Erime Noktası	327 °C
Kaynama Noktası	400 °C
Yoğunluk	2
Renk	Beyaz
Güvenlik	Ten ve göz temasından sakınılmalı

Karıştırma için 50/70 sınıfı bitüm önceden 150 °C fırında 1 saat süre ile ısıtılmış ve sonra hemen karıştırıcıya alınmıştır. Karıştırma için sıcaklığı önceden 150 °C’ya ayarlanmış yağ banyosu kullanılmıştır. 4 pervaneli mikser önce düşük hızda (400 rpm) çalıştırılmıştır. Sonra karıştırma işlemine hemen başlanılmış ve ağırlıkça belirlenen miktarlarda PTFE ilave edilmiştir. Mikser hızlandırılarak (1300 rpm) 1 saat karıştırma yapılmıştır. Sonra hazırlanan modifiye bitüm 1 saat 150 °C’lik etüvde bekletilmiştir. Karışım etüvden çıkartılarak sıcaklığı, oda sıcaklığına ulaştığında ağzı kapatılarak viskozite ve diğer deneyler için muhafaza edilmiştir.

Katkının bitümün viskozitesine etkisi ASTM D 4402, penetrasyon deneyi ASTM D 5, yumuşama noktası deneyi ASTM D 36, camsı geçiş sıcaklıkları Perkin Elmer DSC, yüzey enerjilerinin hesaplanması Krüss DSA 100, basınçlı oksidasyon kabı deneyi AASHTO PP1, döner ince film ısıtma deneyi ASTM D 2872, asfalt çubuk eğilme deneyi AASHTO TP1, dinamik kesme deneyi AASHTO TP5, sıkıştırılmamış bitüm

agrega karışımlarına uygulanan Nicholson soyulma testi ASTM D 1664 ve sıkıştırılmış bitüm agrega karışımlarının kararlılığı Marshall stabilite testi ASTM D 1559 standartları ile belirlenmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULT AND DISCUSSION)

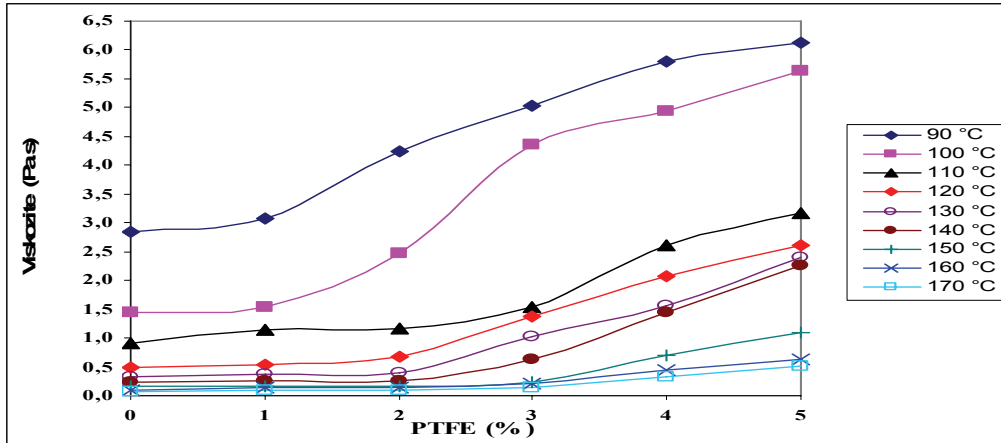
Çalışmada orjinal ve modifiye bitüme geniş bir deney seti uygulanmıştır. Bitümün sıcaklığa duyarlı oluşu ve sıcaklık etkilerinin viskozitesini değiştirmesi ve viskozitedeki bu değişimlerin kaplamada tekerlek izi ve çatlak gibi önemli sorunlara neden olması sebebiyle, orjinal ve modifiye bitüme uygulanan viskozite testlerinden elde edilen sonuçlar diğer deney setlerinde esas alınarak çalışmalar yürütülmüştür.

Viskozite ölçümleri için katkısız ve modifiye edilen bitüm numuneleri etüvde 150 °C’a kadar ısıtıldıktan sonra Brookfield Thermosel aparatına yerleştirilmiştir. Ölçüm yapılacak her bir sıcaklıkta sabitleme yapıldıktan sonra ölçümler gerçekleştirilmiştir. Her bir sıcaklıkta üç okuma yapılarak ortalaması viskozite değerleri olarak alınmıştır.

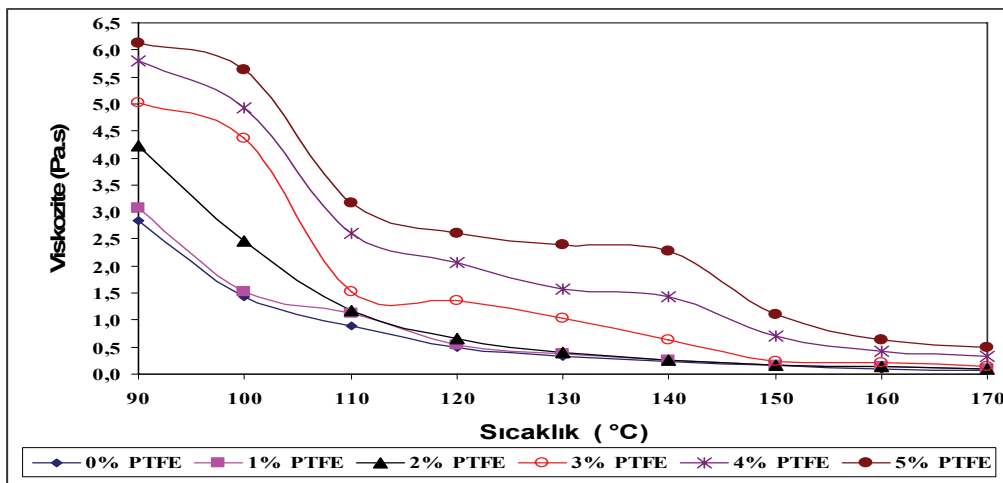
PTFE’nin erime ısısının çok yüksek oluşu ve katı halde (toz) bitüme ilavesi nedeniyle bitümün modifiye edilmesinde karışım içerisinde topaklanmalar meydana gelmiştir. Viskozite ölçümlerinde katkı miktarının artması ile bitümün viskozitesinin hızla arttığı tespit edilmiştir. Bu artışların hem yüksek hem de düşük sıcaklıklarda tespit edildiği görülmektedir (Şekil 1). Genel çerçevede %3’lük PTFE katkısı optimum katkı miktarı olarak alınmıştır. %3’lük ilavede ve 90°C’da yaklaşık %78 viskozite artışı sağlanmıştır.

Karışımında viskozitesi yüksek bitüm kullanımının tekerlek izini azalttığı ama düşük sıcaklıklarda çatlak oluşumuna neden olduğu bilinmektedir [4]. SBS ve EVA polimerleri ile modifiye edilmiş asfaltların viskoelastik akışkandan Newtonian akışkana geçtiği ve bu viskozitenin, katkının karakteristik özelliğini taşıyabildiği belirtilmiştir [5].

PTFE katkısının bitümün agrega ile karıştırma ve malzemenin serme sıcaklığını bitümün viskozitesini çok artırmasından dolayı yükselteceği düşünülmektedir. Bu durum da karıştırma sıcaklığının artması bitümün yaşlanmasına sebebiyet verecektir. PTFE ile modifiye edilmiş bitümün zamana bağlı viskozite değişimini veren Şekil 3’den de görüleceği üzere ikinci haftadan sonra düşük sıcaklıklarda daha belirgin olmak kaydıyla hem düşük hem de yüksek sıcaklıklarda viskozitede artış tespit edilmiştir.



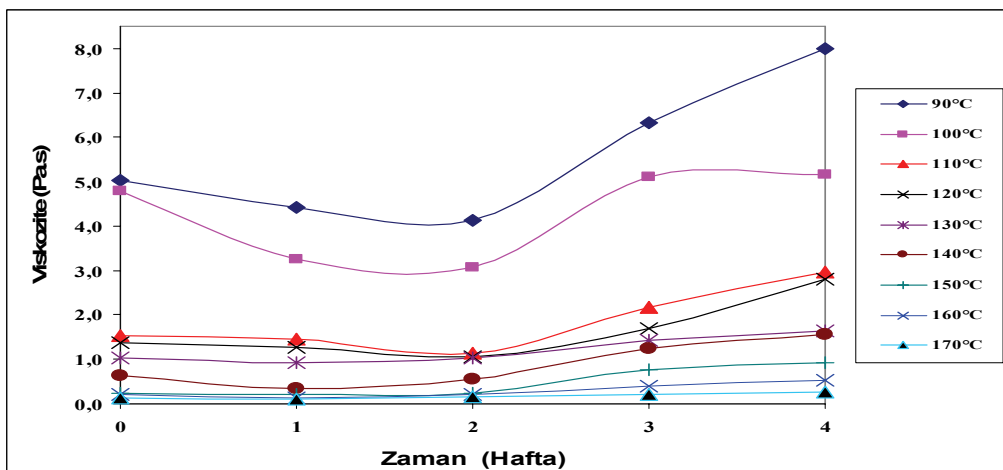
Şekil 1. Bitümün PTFE miktarına bağlı viskozite değişimi (Variation of bitumen viscosity as a function of PTFE concentration)



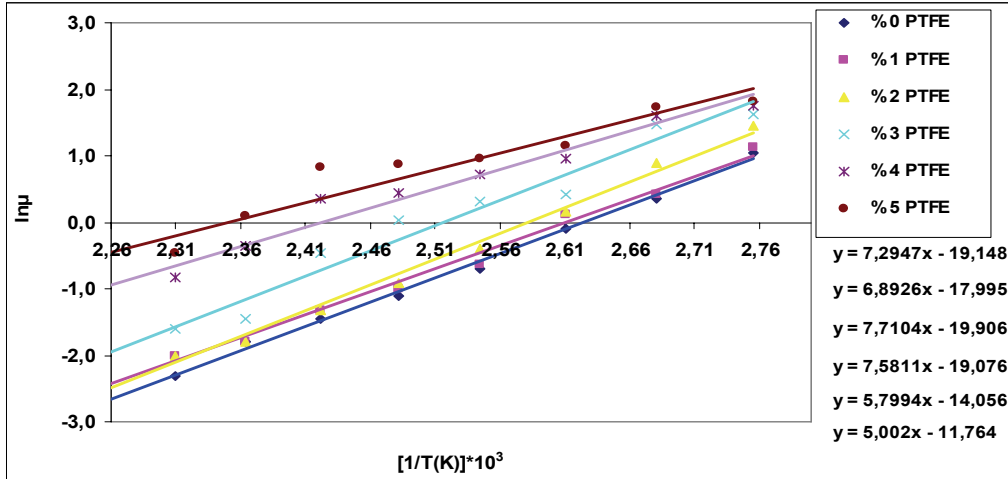
Şekil 2. Bitümün sıcaklığa bağlı viskozite değişimi (Variation of bitumen viscosity as a function of temperature)

PTFE'nin fiziksel ve kimyasal özelliklerin bitüme yansıyabileceği ve toz halinde bitüme ilave edildiğinden zamanla bitüm içerisinde bu tozların şişerek viskoziteyi artırmış olabileceği düşünülmektedir. Nitekim lastik parçacıklarının asfaltın özelliklerine etkisinin incelendiği çalışmada

lastik parçalarının asfaltla temasından sonra şiştikleri ve karışım içinde hacmi artan, dağılmış lastik parçacıklarının asfaltın viskozitesini artırdığı görülmüş ve lastik modifikasyonunun boyut ve orana bağlı olarak ürünün elastiklik özelliğini artırdığı tespit edilmiştir [6].



Şekil 3. %3 PTFE ile modifiye edilmiş bitümün zamana bağlı viskozite değişimi (Variation of viscosity as a function of curing period for modified bitumen with 3% PTFE)



Şekil 4. Modifiye edilmiş bitümün Arrhenius denkleminde modellenmesi (Variation of bitumen $\ln\mu$ data as a function of $1/T$ for each concentration)

Viskozite verilerinin Arrhenius denkleminde modellenmesi yapıldığında (Şekil 4) elde edilen aktivasyon enerjileri ($\mu=Ae^{(-E_a/RT)}$) Tablo 3'de verilmektedir.

$$\mu = A \cdot e^{(-B/RT)}$$

$$\ln \mu = \ln A - \frac{B}{R} \frac{1}{T} \ln e$$

$$\ln \mu = \ln A - \frac{B}{R} \frac{1}{T}$$

Burada;

- μ : Viskozite (Pa.s)
- $\ln A$: Kayma (Pa.s)
- B : Aktivasyon Enerjisi ($\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$)
- R : 8,314 kJ/mol K
- T : Sıcaklık (K)
- $-(B/R)$: Eğim

Tablo 3. Bitümün aktivasyon enerjisi, kesişme ve T_g değerleri (T_g and intersection, activation energy data of bitumen)

% PTFE	A (Pa.s)	E_a (kJ mol^{-1})	T_g ($^{\circ}\text{C}$)
0	$4,832 \cdot 10^{-9}$	-60,648	-22,50
1	$1,530 \cdot 10^{-8}$	-57,305	-5,90
2	$2,264 \cdot 10^{-9}$	-64,104	-6,70
3	$5,192 \cdot 10^{-9}$	-63,029	-6,65
4	$7,862 \cdot 10^{-7}$	-48,216	-4,58
5	$7,780 \cdot 10^{-6}$	-41,587	-4,33

PTFE ilavesi ile aktivasyon enerjisinde önce bir artış ve hemen sonrasında azalış görülmüş, sonra katkı miktarı ile aktivasyon enerjisi artmıştır. Aktivasyon enerjisinin artışı ile kristalizasyonun azaldığı bilinmektedir [7].

Tablo 4. Orijinal ve %3 PTFE ile modifiye edilmiş bitümün deney sonuçları (The experimental results of bitumen with and without %3 PTFE)

Deney	Orijinal Bitüm	%3 PTFE modifiye bitüm
Penetrasyon	62	63
Yumuşama noktası ($^{\circ}\text{C}$)	49,2	48,6
T_g ($^{\circ}\text{C}$)	-22,50	-6,65
Yüzey Enerjisi mN/m	32	32,80
Soyulma Oranı (%)	50-55	55-60

Tablo 4 incelendiğinde, ağırlıkça %3'lük PTFE katkısının bitümün penetrasyon değerini ve yumuşama noktası değerini pek fazla etkilemediği görülmektedir. Yumuşama noktası azalması istenilmeyen bir durum olmakla birlikte, yumuşama noktası düşük bitümlerin kullanıldığı kaplamalarda deformasyonların erken başladığı, yumuşama noktası yüksek bitümlerin kullanımının ise tekerlek izi oluşumunu azalttığı bilinmektedir [8]. Termoset polimerlerden epoksi reçinenin bitümün penetrasyonunu düşürdüğü, yumuşama noktasını artırdığı raporlanmıştır [9].

Bitümün ısıya duyarlılığının göstergesi olan penetrasyon indisi hesaplandığında ise katkısız bitümün $-0,902$, %3 PTFE ile modifiye edilmiş bitümün ise $-1,022$ olarak bulunmuştur. Bu durumda PTFE, bitümün penetrasyon indisini yani ısıya duyarlılığını yaklaşık %13 oranında artırmıştır.

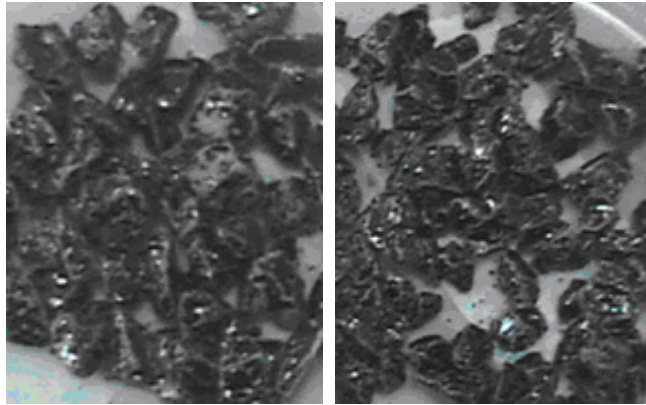
bulunmaktadır. SBS polimerlerinin bitümün sıcaklığa olan duyarlılığını yükselttiği ve daha sert bir materyal geliştiği belirlenmiştir [10]. Hurda araç lastiğinin elastik malzeme üretiminde kullanılabileceği bilinmekte olup [11], ince toz halinde tekerlek lastiğinin, SBR, EVA blok kopolimerinin ve SEBS kopolimerinin bitümün ısıya duyarlılığını azalttığı raporlanmıştır [12].

Katkı maddesi bitümün camı geçiş sıcaklığını (T_g) oldukça artırmıştır. Bu durumun tekerlek izi sorunlarını da azaltabileceği düşünülmektedir. Yani trafik yükleri altında deformasyonlara karşı daha dirençli kararlı bir kaplama hazırlamak mümkün olacaktır. EVA kopolimeri ile modifiye edilmiş bitümün termal analizinin yapıldığı çalışmada yüksek sıcaklıklarda tekerlek izi ve düşük sıcaklıklarda çatlama riski azaltılmıştır [3].

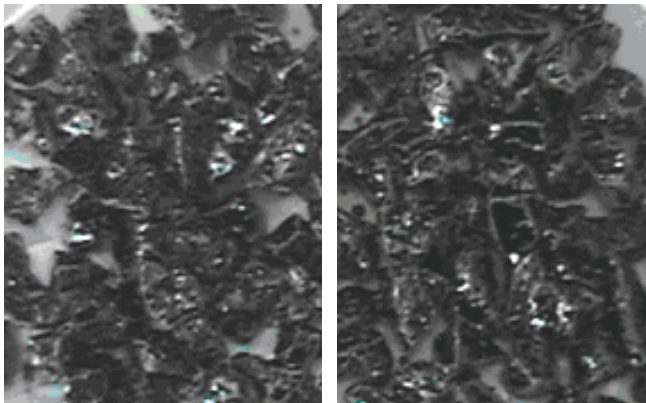
Yapılan yüzey enerjisi testlerinde ise PTFE'nin bitümün yüzey enerjisini düşürmediği tespit edilmiştir. Bitümün yüzey gerilimini düşürmek istememizdeki amaç agrega ile adezyonunu

güçlendirmektir. Yüzey enerjisinin azalması, adezyonu artıracak ve soyulmayı önleyecektir. Bu da asfalt betonunun mukavemetini artıracak, suyun malzeme içerisine girmesini önleyecektir. Ancak, Nicholson soyulma deneyi sonuçlarında katkının soyulma mukavemetini %10-20 oranında azalttığı (soyulma oranı %55-60) sonucu elde edilmiştir (Tablo 4, Şekil 5-6). Benzer yaklaşım ile termoset grubu polimerlerden epoksi reçinenin ve Mn abietat bileşiminin bitümün soyulmasını önlediği bilinmektedir [9, 13].

Yüksek Performanslı Asfalt Kaplama (SUPERPAVE) sistemi, asfaltın rafineriden çıkışından kaplama olarak hizmet verinceye kadar geçen süre içerisindeki oksidasyon yaşlanmasını dikkate almakta ve deneylerde bu durum simüle edilmektedir. Bu kapsamda, RTFOT ve PAV deneyleri ile bağlayıcının yaşlanması, BBR deneyi ile düşük servis sıcaklıklarında oluşabilecek termal çatlakların derecesi, DSR deneyi ile bağlayıcının hem viskoz hem de elastik davranışı simüle edilmeye çalışılmıştır.



Şekil 5. Katkısız bitüm numunesi (Sample of pure bitumen)



Şekil 6. %3 PTFE ile modifiye edilmiş bitüm numunesi (Sample of modified bitumen with PTFE 3%)

Tablo 5. Orjinal ve %3 PTFE ile modifiye edilmiş bitümün Süperpave deney sonuçları (The Superpave experimental results of bitumen with and without % 3 PTFE)

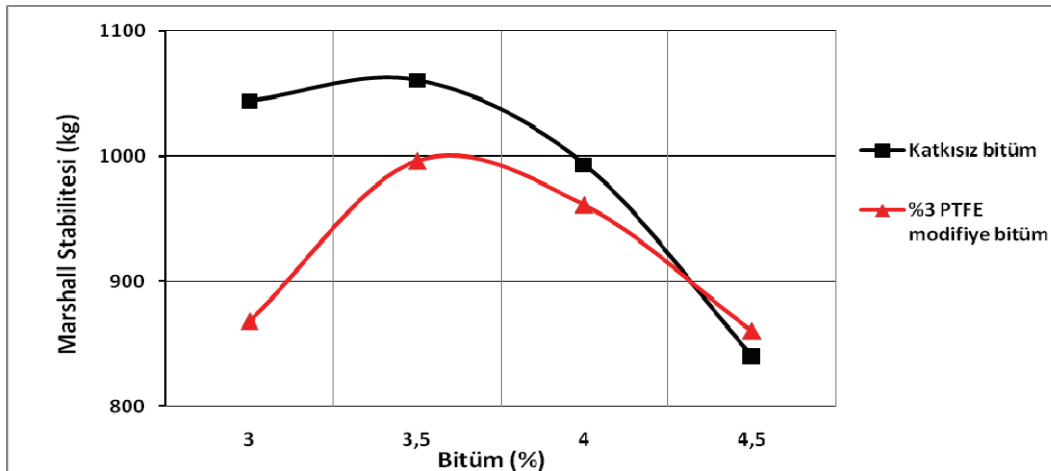
Bitüm	Bitüm Durumu	Uygulanan Test	Sonuç	Şartname Sınırları
Katkısız Bitüm	Orjinal	Viskozite, 135 °C	0,280 Pa.s	3 Pa.s
		20 rpm, 18,6 SR		
	RTFOT Uygulanmış	DSR ($G^*/\sin\delta$)	0,99817 kPa	1 kPa (min.)
		10 rad/s, 64 °C		
	PAV Uygulanmış	DSR ($G^*/\sin\delta$)	2,3915 kPa	2,2 kPa (min.)
		10 rad/s, 64 °C		
		DSR ($G^*/\sin\delta$)	4099 kPa	5000 kPa (maks.)
		10 rad/s, 25 °C		
%3 PTFE Modifiye Bitüm	Orjinal	Viskozite, 135 °C	0,837 Pa.s	3 Pa.s
		20 rpm, 18,6 SR		
	RTFOT Uygulanmış	DSR ($G^*/\sin\delta$)	1,535 kPa	1 kPa (min.)
		10 rad/s, 64 °C		
	PAV Uygulanmış	DSR ($G^*/\sin\delta$)	3,0933 kPa	2,2 kPa (min.)
		10 rad/s, 64 °C		
		DSR ($G^*/\sin\delta$)	2903 kPa	5000 kPa (maks.)
		10 rad/s, 25 °C		
		BBR 60 sn,	S	300 MPa (maks.)
		-12 °C	m	0,318
%3 PTFE Modifiye Bitüm	Orjinal	Viskozite, 135 °C	0,837 Pa.s	3 Pa.s
		20 rpm, 18,6 SR		
	RTFOT Uygulanmış	DSR ($G^*/\sin\delta$)	1,535 kPa	1 kPa (min.)
		10 rad/s, 64 °C		
	PAV Uygulanmış	DSR ($G^*/\sin\delta$)	3,0933 kPa	2,2 kPa (min.)
		10 rad/s, 64 °C		
		DSR ($G^*/\sin\delta$)	2903 kPa	5000 kPa (maks.)
		10 rad/s, 25 °C		
		BBR 60 s,	S	300 MPa (maks.)
		-12 °C	m	0,411

Tablo 5'den görüleceği üzere, Süperpave deneyleri sonucunda ağırlıkça %3 PTFE ile modifiye edilmiş bitümün Süperpave Şartnamesi sınırları içinde kaldığı tespit edilmiştir. Şartname sınırları içinde kalmakla birlikte, %3'lük PTFE ilavesinin katkısız bitümün tekerlek izi oluşumunu ($G^*/\sin\delta$) yaklaşık %54 oranında azalttığı, karıştırma prosesi sonrası yaşlanmış bitümün tekerlek izi oluşumunu ise yaklaşık %29 oranında azalttığı tespit edilmiştir. Yaşlandırılmış bitüm ve SBS ile modifiye edilmiş yaşlandırılmış bitüm numunelerinin test edildiği çalışmada modifiye edilmiş bitümün katkısız bitüme göre daha iyi reolojik özellikler gösterdiği raporlanmıştır [14]. Yorulma çatlaklarını temsil eden değerler ($G^*/\sin\delta$) incelendiğinde ise %3'lük PTFE ilavesinin katkısız bitüme göre yorulma çatlaklarını yaklaşık %2,5 oranında azalttığı tespit edilmiştir. Termal çatlaklar açısından ise ağırlıkça %3 PTFE ile

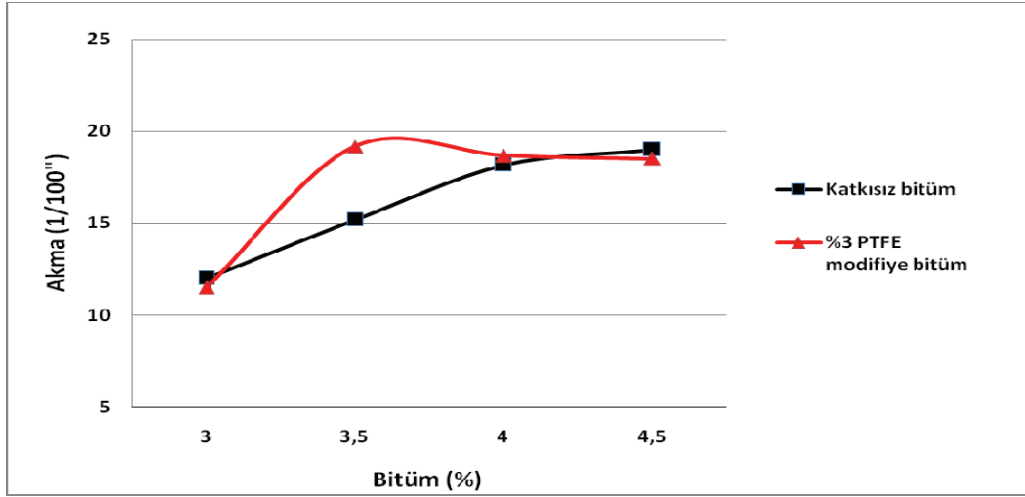
modifiye edilmiş bitümden elde edilen sonuçlar şartname sınırları içerisinde kalmıştır.

Marshall tasarım kriterlerinden bağlayıcı tabakası ve ağır trafikli yollara göre hazırlanan numunelerin Marshall test sonuçlarına bakıldığında polimer katkının bitümün Marshall stabilite değerini düşürdüğü tespit edilmiştir. Deneylerde agrega malzemesi olarak Alacaatlı ocağından temin edilen agrega kullanılmıştır.

Marshall stabilite testlerinden ağırlıkça %3 PTFE ile modifiye edilmiş bitümün katkısız bitüme göre kararlılığı azalttığı ve akma değerlerin de artış sağladığı tespit edilmiştir (Şekil 7-8). Selüloz fiber, poliolefin ve SBS kopolimeri bitümlü karışımların Marshall stabilite değerlerinin ise genellikle yüksek olduğu belirlenmiştir [15].



Şekil 7. Bitüm yüzdesine bağlı Marshall stabilite değerleri (Variation of Marshall Stability values as a function of bitumen percent)



Şekil 8. Bitüm yüzdesine bağlı akma değerleri (Variation of pouring values as a function of bitumen percent)

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

PTFE'nin erime ısısının çok yüksek oluşu ve katı halde bitüme ilave edilmesiyle bitümün modifiyesinde, PTFE bitüm içerisinde topaklaşmış ve zamanla bitüm içerisinde şişerek viskoziteyi oldukça artırmıştır. Sonuçlar üzerinde, PTFE ile modifiye edilmiş bitüm hazırlanmasında bu durumun etkili olduğu düşünülmektedir. Ancak, PTFE'nin bitüm içerisinde homojen dağılımını sağlayacak bir sistem sağlanabilirse PTFE polimerinin özelliklerini yansıtabilecek şekilde daha iyi sonuçlar alınacağı düşünülmektedir. Ayrıca, ham petrol fiyatlarındaki artışlar, yüksek maliyetlerin daha ince kaplamaların tercih edilmesini doğurması, dolayısıyla kaplamaların hizmet ömürlerinin düşmesi, trafik yüklerinde meydana gelen önemli artışlar, deformasyonların oluşması ve bakım-onarım maliyetlerinin yüksek oluşu gibi problemlere karşı kaplama dayanımının artırılmasının gerekliliği düşünülür ise modifiye bitümler kullanılarak pahalı bir kaplamanın maliyetini düşürmek mümkün olacaktır.

Diğer taraftan bitümün yüksek viskozite gerektiren kullanım alanlarında (çeşitli izolasyonlar gibi) PTFE ile modifiye edilmiş bitümün kullanımının daha iyi sonuçlar yaratabileceği değerlendirilmekte olup, bu konuda çalışmalar yapılması önerilmektedir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma, 2001 K120590 Kodlu DPT Projesi kapsamında yürütülmüş olup, finansal destek sağlayan DPT yöneticilerine ve laboratuvar olanakları için Gazi Üniversitesine teşekkür ederiz.

SEMBOLLER (SYMBOLS)

AASHTO	Amerikan devlet otoyolları ve resmi taşımacılık birliği
ASTM	Amerikan test ve materyaller topluluğu
BBR	Çubuk eğme reometresi
DSA	Diferansiyel yüzey analizi
DSC	Fark taramalı kalorimetre
DSR	Dinamik kesme reometresi
EVA	Etil vinil asetat
G*	Kompleks kesme modülü
MB	Modifiye bitüm
PAV	Basıncılı oksidasyon kabı deneyi
PTFE	Politetrafloretillen
RTFOT	Döner ince film ısıtma deneyi
SBR	Stiren-bütadien kauçuğu
SBS	Stiren bütadien stiren
SEBS	Stiren-etil-butil-stiren
SUPERPAVE	Yüksek performanslı asfalt kaplama
T _g	Camsı geçiş sıcaklığı
δ	Faz açısı

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Whiteoak, D., "Shell Bitüm El Kitabı", Editörleri, Abdullah Hilmi Lav, M. Ayşen Lav, İstanbul Büyükşehir Belediyesi İstanbul Asfalt Fabrikaları Sanayi ve Ticaret A.Ş., İstanbul, 2004.
2. Airey, G. D., "Rheological properties of styrene butadiene styrene polymer modified road bitumens", **Fuel**, Cilt 82, No 14, 1709-1719, 2003.
3. Gonzales, O., Munoz, M. E., Santamaria, A., Garcia-Morales, M., Navarro, F. J., Partal, P., "Rheology and stability of bitumen/EVA blends", **European Polymer Journal**, Cilt 40, No 10, 2365-2372, 2004.
4. Kutluhan, S., Açar, E., "Bitümlü sıcak karışımlarda tekerlek izi oluşumunun

- incelenmesi”, **4. Ulusal Asfalt Sempozyumu**, Ankara, 213-223, 2004.
5. Stastna, J., Zanzotto, L., Vacin, O. J., “Viscosity function in polymer-modified asphalts”, **Journal of Colloid and Interface Science**, Cilt 259, No 1, 200-207, 2003.
 6. Çelik, O. N., “Otomobil lastiği ile modifiye edilmiş asfaltın dinamik reolojik analizi”, **1. Ulusal Asfalt Sempozyumu**, İstanbul, 297-304, 1996.
 7. Fawcett, A. H., McNally, T., “Blends of bitumen with various polyolefins”, **Polymer**, Cilt 41, No 14, 5315-5326, 2000.
 8. Asphalt Institute, Mix Design Methods For Asphalt Concrete and Other Hot Mix Types, **Asphalt Institute**, Manuel Series No.2 (MS-2) Kentucky, 1996.
 9. Çubuk, M., Gürü, M., Çubuk, M.K., “Improvement of bitumen performance with epoxy resin.” **Fuel**, Cilt 88, No 7, 1324-1328, 2009.
 10. Valtorta, D., Poulidakos, L. D., Partl, M. N., Mazza, E., “Rheological properties of polymer modified bitumen from long-term field tests”, **Fuel**, Cilt 86, No 7-8, 938-948, 2006.
 11. Gürü, M., Tekeli, S., Çubuk, M. K., Çubuk, M., “Recycling of scrap vehicle tyre as elastic surface material”, **The First Jordanian International Conference of Materials Science and Engineering**, Jordan, 39-44, 2005.
 12. Huang, S., Huh, J., Robertson, R. E., Tia, M., “Aging effects on temperature susceptibility of polymer modified asphalts”, **Proceedings of the Materials Engineerin Conference**, Washington, Cilt 2, 1367-1378, 1996.
 13. Gürü M. Improvement of adhesion of bitumen-aggregate coatings by additives. **Cellulose Chem. Technol.** Cilt 38, No 1-2, 129-40, 2004.
 14. Lu, X., Isacson, U., “Chemical and rheological evaluation of ageing properties of SBS polymer modified bitumens”, **Fuel**, Cilt 77, No 9-10, 961-972, 1998.
 15. Tayfur, S., Özen, H., Aksoy, A., “Investigation of rutting performance of asphalt mixtures containing polymer modifiers”, **Construction and Building Materials**, Cilt 21, No 2, 328-337 2007.