

BITÜM VE BITÜMLÜ KARIŞIMLARIN PERFORMANS ÖZELLİKLERİNİN ORGANİK ESASLI ÇİNKOFOSFAT BİLEŞİĞİ İLE GELİŞTİRİLMESİ

Deniz ARSLAN^a, Metin GÜRÜ^b ve M.Kürşat ÇUBUK^a

^a Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Müh. Böl. Maltepe, Ankara

^b Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Müh. Böl. Maltepe, Ankara

denizarslan@gazi.edu.tr, mguru@gazi.edu.tr, ckursat@gazi.edu.tr

(Geliş/Received: 13.07.2011; Kabul/Accepted: 03.10.2011)

ÖZET

Bu çalışmada 50/70 penetrasyon dereceli bitüm özelliklerinin organik esaslı sentetik çinkofosfat bileşiği (OEÇFB) ile modifiye edilerek geliştirilmesi amaçlanmıştır. OEÇFB, çalışma kapsamında sentezlenmiş yeni bir katkı malzemesidir ve bitüm modifiyeri olarak daha önce kullanılmamıştır. OEÇFB'nin bitüm ve bitümlü karışımlar üzerindeki etkisi konvansiyonel (yumuşama noktası testi, duktilite testi, Marshall testi, Nicholson soyulma testi) ve superpave (dönel viskozite, eğilme kirişi reometresi, dinamik kayma reometresi) test metotları ile incelenmiştir. OEÇFB, bitüme kütlece %1, %2, %3, %5, %10 oranlarında ilave edilmiş ve viskozite test sonuçları değerlendirilerek bitüm modifikasyonunda kullanılacak OEÇFB konsantrasyonu %3 olarak seçilmiştir. Bitümün düşük sıcaklıklardaki reolojik özelliklerinin OEÇFB modifikasyonu ile iyileştiği belirlenmiştir. Bununla birlikte %3'lük OEÇFB konsantrasyonu bitümlü karışımların Marshall stabilitesini %6,1 arttırmış, soyulma direncini %30'dan %95'e yükseltmiştir.

Anahtar Kelimeler: Modifiye bitüm, organik esaslı çinkofosfat bileşiği, reoloji, stabilite, soyulma direnci

IMPROVEMENT OF BITUMEN AND BITUMINOUS MIXTURES PERFORMANCE PROPERTIES WITH ORGANIC BASED ZINC PHOSPHATE COMPOUND

ABSTRACT

In this study, it was aimed to develop the properties of 50/70 penetration grade bitumen with organic-based synthetic zincphosphate compound (OBZPC). OBZPC is a new additive material that is synthesized within the scope of the study and has not been used as bitumen modifier before. The effects of OBZPC on the bitumen and bituminous mixture properties were investigated through conventional (softening point test, ductility test, Marshall test, Nicholson stripping test) and superpave (rotational viscosity, bending beam rheometer, dynamic shear rheometer) test methods. OBZPC was added to the bitumen at the ratios of %1, %2, %3, %5, %10 by mass and OBZPC concentration ratio to be used in the modification of bitumen was selected as %3 by evaluating the viscosity test results. The low temperature rheological properties of the bitumen were determined to be improved by OBZPC modification. In addition to this, 3% OBZPC concentration has increased Marshall stability of the bituminous mixtures by %6,1 and upgraded stripping resistance from %30 to %95.

Keywords: Modified bitumen, organic-based zincphosphate compound, rheology, stability, stripping resistance

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Bitüm, yol kaplamalarında agrega ile birlikte kullanılan önemli bir malzemedir. Termoplastik yapıda olduğundan dolayı iklimsel koşullara bağlı olarak farklı davranış gösterir. Soğuk havalarda

sertleşerek kırılğan özellik sergilerken sıcak havalarda yumuşayarak akıcı hal alır. Trafığın de etkisiyle yol kaplamalarında deformasyonlar, ayrışmalar ve çatlamlar şeklinde bozulmalar meydana gelir. Bu bozulmalar kaplama performansını azaltır ve kaplamanın beklenenden önce yenilenmesini

gerektirir. Bozulmaların oluşmasını önlemek ve bu suretle kaplama performansını arttırmak amacıyla bitüm çeşitli katkı maddeleri ile modifiye edilerek özellikleri geliştirilmektedir. Bentonit kili bitümün düşük sıcaklıktaki reolojik özelliklerini ve çatlama direncini iyileştirmiştir [1]. SBS (Stiren-Butadien-Stiren) [2, 3] ve epoksi reçinesi [4] bitümlü karışımların Marshall stabilitesinde artış meydana getirmiştir. EVA (Etilen-Vinil-Asetat) modifikasyonu da bitümlü karışımların Marshall stabilitesi artmıştır [5]. Ancak EVA ile stabilitenin azaldığı da belirtilmiştir [3]. Bitümün viskozitesini arttıran politetrafloretillen bitümlü karışımların Marshall stabilitesini azaltmıştır [6]. Düşük yoğunluklu polietilen ile bitümün tekerlek izi direnci artmıştır [7]. Montmorillonit kompleks kayma modülünü artırıp faz açısını azaltarak bitümün tekerlek izi direncini arttırmıştır [8]. Bitümlü karışımların soyulma direncinde manganabietat bileşiği ile önemli oranda artış sağlanmıştır [9]. Lee ve ark. kirecin bitümlü karışımın nemden kaynaklanan hasarlara karşı duyarlılığını azalttığını ifade etmişlerdir [10]. Trietilenglikol esaslı polibor bileşiği ile viskozite, yumuşama noktası, tekerlek izi direnci ve Marshall stabilitede artış olduğu belirlenmiştir [11]. Bitümün kauçuk ile modifiye edilmesi sonucu yumuşama noktası artmış, penetrasyonu azalmıştır ve kauçuk modifiyeli bitüm kullanılan karışımların Marshall stabilitelelerinde artma gözlenmiştir [12]. Fontes ve ark. bitümün tekerlek izi oluşumuna karşı direncinin kauçuk ile geliştiğini belirtmişlerdir [13].

Organik Esaslı Çinkofosfat Bileşiği (OEÇFB), laboratuvar ortamında kimyasal olarak sentezlenmiş yeni bir katkı malzemesidir ve bitüm modifiyeri

olarak daha önce kullanılmamıştır. Bu çalışmada bitümün OEÇFB ile modifiye edilmesi sonucu bitüm ve bitümlü karışım özelliklerinde meydana gelen değişimlerin konvansiyonel (yumuşama noktası testi, düktilite testi, Marshall testi, Nicholson soyulma testi) ve superpave (dönel viskozite, eğilme kirişi reometresi (BBR), dinamik kayma reometresi (DSR)) test metotları ile araştırılması amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

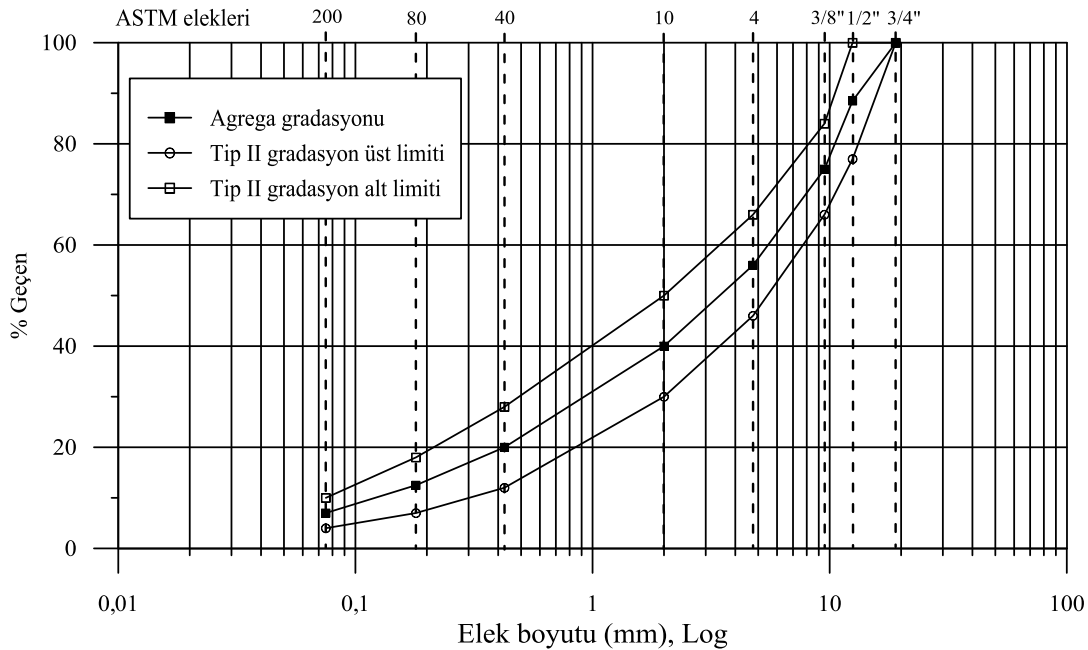
2.1. Bitüm ve Agrega (Bitumen and Aggregate)

Bu çalışmada, fiziksel özellikleri Tablo 1'de sunulmuş olan 50/70 penetrasyon dereceli bitüm kullanılmıştır.

Tablo 1. Bitümün fiziksel özellikleri (Physical properties of the bitumen)

Özellik	Değer	Standart
Özgül ağırlık, (25°C)	1,02	ASTM D-70
Viskozite, 130°C, (Pa.s)	0,316	ASTM D-4402
140°C, (Pa.s)	0,193	ASTM D-4402
Yumuşama noktası, (°C)	48,4	ASTM D-36
Düktilite, 15°C (cm)	63,5	ASTM D-113

Bitümlü karışımlar bazalt türü agrega ile hazırlanmıştır. Agrega, Sakarya'ya bağlı İkizce Köyü Gençosman Taşocağından temin edilmiştir. Marshall numuneleri aşınma tabakası Tip II gradasyon değerlerine uygun olarak imal edilmiştir (Şekil 1). Agregaya ait fiziksel ve kimyasal özellikler Tablo 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Agrega gradasyonu ve gradasyon limitleri (Aggregate gradation and gradation limits)

Tablo 2. Agreganın fiziksel ve kimyasal özellikleri
(Physical and chemical properties of the aggregate)

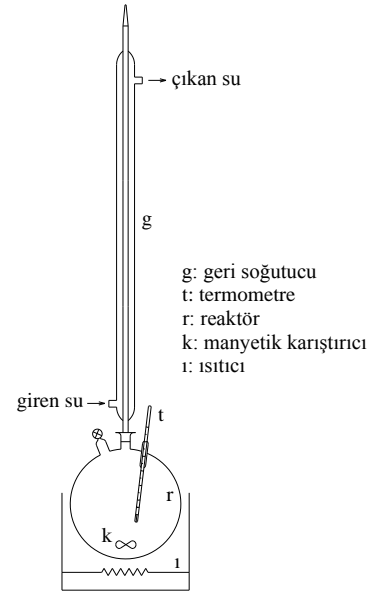
Özellik	Değer
Özgül ağırlık (kaba agrega); Hacim	2,814
Zahiri	2,849
Özgül ağırlık (ince agrega); Hacim	2,821
Zahiri	2,855
Özgül ağırlık (filler); Hacim	-
Zahiri	2,820
Kimyasal içerik (%); SiO ₂	1,60
Al ₂ O ₃	0,85
Fe ₂ O ₃	0,57
MnO	0,03
MgO	21,50
CaO	29,67
Na ₂ O	0,10
K ₂ O	0,25
CO ₂	45,45
Cl	0,006
SO ₄	0,002

2.2. Katkı Maddesinin Hazırlanması (Preparation of the Additive)

Bu çalışmada, OEÇFB laboratuvar koşullarında kimyasal olarak sentezlenmiş ve bitüm modifiyeri olarak kullanılmıştır. Sentez işleminde üç boyunlu küresel cam reaktör, manyetik karıştırıcılı mantolu ısıtıcı ve geri soğutuculu sistem kullanılmıştır (Şekil 2). Sentez işlemi reaktör içerisinde 150°C'de gerçekleştirilmiştir. OEÇFB, Çinkofosfat (ZnPO₄) ile abietik asitin katalizör içeren yağlı ortamda reaksiyona girmesiyle elde edilmiştir. Abietik asit kaynağı olarak reçine, katalizör olarak ise H₂SO₄ kullanılmıştır. Reçine-yağ kütle oranı 3:7'dir. Çözünürlüğü sağlamak üzere karışıma etil alkol ilave edilmiştir. ZnPO₄'ün saflığı ≥%99 olup Merck firmasından satın alınmıştır.

2.3. Modifiye Bitümlerin Hazırlanması (Preparation of the Modified Bitumens)

OEÇFB bitüme kütlece %1, %2, %3, %5 ve %10 olmak üzere beş farklı oranda ilave edilmiştir. Modifikasyon işlemi 140°C'de 10 dakikada gerçekleştirilmiştir. Bitüm, metal bir kap içerisinde 140°C'de ısıtılmış ve yukarıda belirtilen oranlarda OEÇFB ilave edilerek 140°C'deki yağ banyosunda 1300 devir/dakika hızla çalışan çift kanatlı mekanik karıştırıcı ile 10 dakika karıştırılmıştır. Hazırlanan modifiye bitümler oda sıcaklığında soğutulduktan sonra metal kapların ağzı kapatılmıştır.

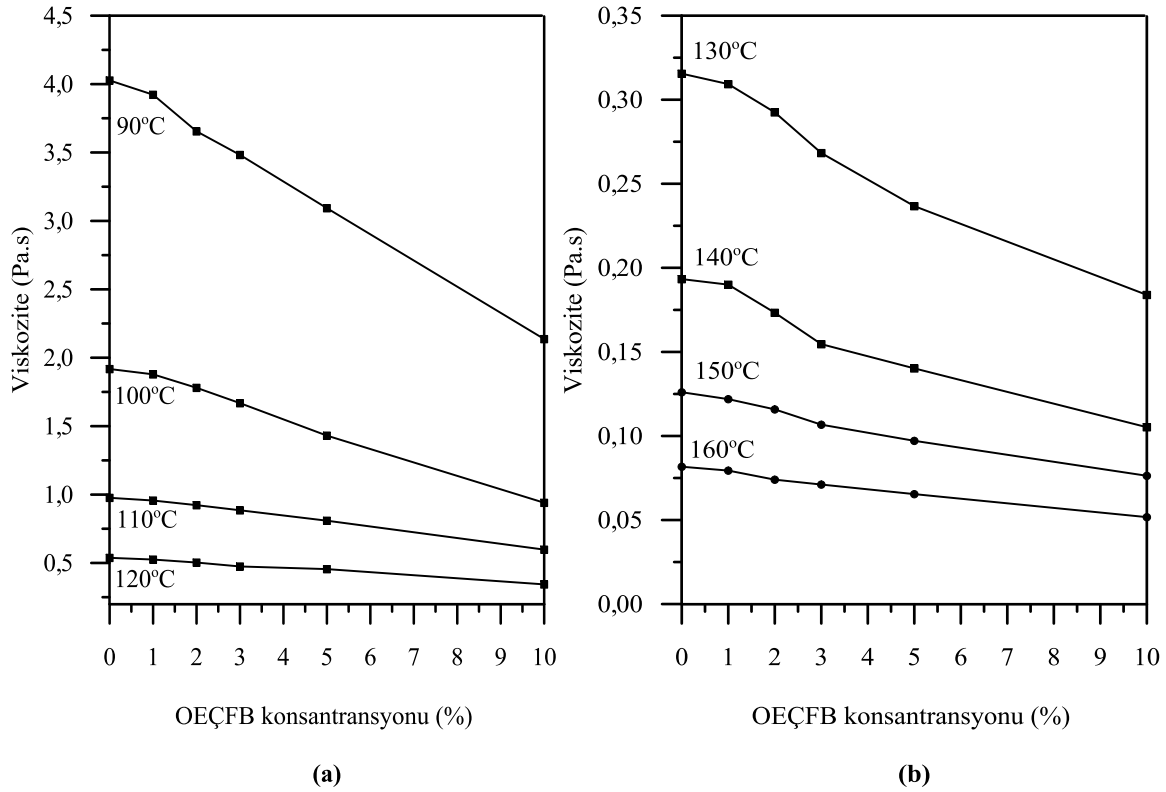
**Şekil 2.** Katkı maddesinin sentezlendiği donanım
(Equipment of additive synthesizing)

2.4. Metot (Method)

Çalışmada OEÇFB'nin bitüm ve bitümlü karışım özellikleri üzerindeki etkisi konvansiyonel ve Superpave test metotlarını içeren deney grubu uygulanarak değerlendirilmiştir. Viskozite testleri Brookfield DV-III marka reometre ile ASTM D 4402'ye göre gerçekleştirilmiştir. Yumuşama noktası ve duktilite testleri sırasıyla ASTM D 36 ve ASTM D 113'e göre yapılmıştır. Duktilite testinin uygulama sıcaklığı 15°C'dir. BBR testi ile bitüm numunelerinin düşük sıcaklıklardaki özellikleri (sünme rijitliği ve sünme oranı) incelenmiştir. BBR testi AASHTO T313'e göre Termoelektrik BBR Cihazı (Cannon) ile -12°C'de uygulanmıştır. Orijinal ve modifiye bitüm numunelerine ait kompleks kayma modülü (G*) ve faz açısı (δ) değerleri DSR testi ile (AASHTO T315) 58°C, 64°C ve 70°C'de belirlenmiştir. OEÇFB'nin bitümlü karışımlar üzerindeki etkisi Marshall (ASTM D 1559) ve Nicholson soyulma (ASTM D 1664) testleri ile değerlendirilmiştir. Marshall numuneleri 1100 g agrega ile hazırlanmış ve Marshall tokmağı (EL45-6600) ile her bir yüzüne 75 darbe vurularak sıkıştırılmıştır. Nicholson soyulma testinde kaba agrega ve bitüm 110°C'de karıştırılmıştır. Elde edilen sıkıştırılmamış numuneler 24 saat 60°C'de distile suda bekletildikten sonra modifiye bitümün soyulma direncinde meydana getirdiği değişim incelenmiştir.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Viskozite testleri orijinal ve modifiye bitüm numunelerine 90°C ile 160°C arasında uygulanmış ve sonuçlar Şekil 3'te grafiksel olarak sunulmuştur.



Şekil 3. Viskozite test sonuçları; (a) 90°C ile 120°C arasında (b) 130°C ile 160°C arasında (Viscosity test results; (a) between 90°C and 120°C (b) between 130°C and 160°C)

Bitüme OEÇFB ilave edilmesiyle viskozitesinde azalma meydana geldiği Şekil 3'te görülmektedir. Bitüme ilave edilen OEÇFB konsantrasyonu arttıkça viskozite daha da azalmaktadır. %10'luk OEÇFB konsantrasyonu ile viskozitedeki azalma %51'e kadar değişim göstermiştir. Viskozite akışkanın akmaya karşı sahip olduğu direncin ölçüsüdür. Daha sert bitümler daha yüksek viskoziteye sahip olurlar. Viskozite test sonuçlarına göre OEÇFB ile modifikasyon bitüm davranışında etkili bir değişim meydana getirmiştir ve OEÇFB ile modifiye edilerek orijinal durumuna göre daha akıcı (yumuşak) özellikte bitüm elde edilmiştir. Bu tür özelliğe sahip bitümlerin yol kaplamalarında düşük sıcaklıklarda oluşan çatlaklara karşı daha dirençli oldukları [14] ve soğuk iklimin hakim olduğu kuzey ülkelerinde tercih edildikleri [15] belirtilmektedir.

OEÇFB viskozite üzerindeki etkisini yüksek sıcaklıklarda da devam ettirmektedir. Bitüme ilave edilen %10 oranında OEÇFB 160°C'deki viskozite değerini %36,7, 150°C'dekini ise %39,4 oranında azalttığı belirlenmiştir (Şekil 3b). Bu durum, bitümlü sıcak karışım üretiminde tesis (plant) sıcaklığının OEÇFB ile azaltılabilmesine imkan sağlar. Bitümün karışım hazırlama tesisinde agrega ile karıştırılması esnasında 0,2 Pa.s akıcılıkta olması istenir [16]. 0,2 Pa.s viskoziteye karşılık gelen sıcaklığın (tesis sıcaklığı) OEÇFB konsantrasyonuna bağlı olarak 139,5°C'den 129°C'ye kadar azaltılabileceği Şekil 3 incelendiğinde anlaşılabilir. OEÇFB ile tesis sıcaklığının azaltılabilmesi; bitümlü sıcak karışım

imalatında harcanan enerjinin, emisyonun ve tesiste maruz kaldığı yüksek sıcaklıktan dolayı bitümde meydana gelen kısa dönem yaşlanmanın azalmasını sağlayacaktır. Literatürde bitümün modifiye edilerek daha yumuşak özellik kazandırılması ile tesis sıcaklığının azaltılacağı ve buna bağlı olarak enerji tüketimi ve emisyonun azaltılacağı ifade edilmektedir [15].

Katkı maddesinin bitüme daha düşük oranda ilave edilmesi ekonomik açıdan tercih edilir. Bu husus, viskozite test sonuçlarında dikkate alınarak incelenmiş ve %3'lük OEÇFB'nin bitümde önemli davranış değişikliği meydana getirdiği anlaşılmıştır. Buna bağlı olarak bitüm modifikasyonunda kullanılacak OEÇFB konsantrasyonu %3 olarak belirlenmiştir ve takip eden deneysel incelemeler orijinal bitüm ve %3 OEÇFB modifiyeli bitüm ile gerçekleştirilmiştir.

Bitümün yumuşama noktası %3 oranında OEÇFB ilave edildiğinde 48,4°C'den 47°C'ye azalmıştır. Düktilite testi 15°C'de gerçekleştirilmiştir. Düktilite testinde kullanılan cihaz 105 cm'ye kadar ölçüm yapabilmektedir. Orijinal bitümün düktilitesi 63,5 cm olarak ölçülmüştür. %3 OEÇFB modifiyeli bitüm ise düktilite testi esnasında kopmamıştır. Kısaca, bitüme OEÇFB ilave edilmesi ile yumuşama noktası azalmış, düktilitesi ise artmıştır. Yumuşama noktası düşük olan bitümler sıcaklık azaldığında daha az sertleşirler ve bu suretle daha sünek (düktil) davranış gösterirler. Bu durum düktilite test sonuçlarında da görülmektedir.

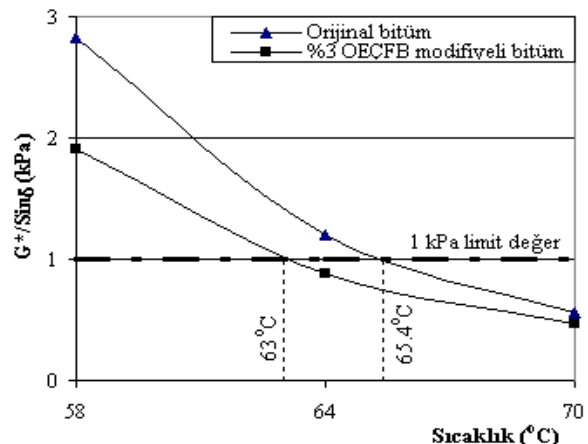
Tablo 3. Orijinal ve OEÇFB modifiyeli bitümlerin DSR ve BBR test sonuçları (DSR and BBR test results of the original and OEÇFB modified bitumens)

Bitüm	Uygulanan testler ve uygulama koşulları	Değişken	Değer
Orijinal bitüm	DSR, 58°C	G* (kPa)	2,8253
		δ (°)	86,28
	64°C	G* (kPa)	1,1995
		δ (°)	87,49
	70°C	G* (kPa)	0,55969
		δ (°)	88,22
BBR, -12°C	S (MPa)	108,60	
	m	0,396	
%3 OEÇFB modifiyeli bitüm	DSR, 58°C	G* (kPa)	1,8990
		δ (°)	86,31
	64°C	G* (kPa)	0,88453
		δ (°)	87,54
	70°C	G* (kPa)	0,46755
		δ (°)	88,36
BBR, -12°C	S (MPa)	104,0	
	m	0,413	

Düşük sıcaklıklarda daha sünek davranış gösterebilen bitüm yol kaplamasının düşük sıcaklıklarda oluşan çatlaklara karşı direncini artırır [14, 16]. Bitümün düşük sıcaklıklarda sahip olduğu özellikler OEÇFB ile iyileştirilmiştir. Epoksi reçinesi ile bitümün yumuşama noktası artmaktadır [4]. Bu tür bitümlerin sıcak iklimin hakim olduğu bölgelerde kullanılmaları tercih edilir. OEÇFB'nin ise soğuk bölgelerde kullanılması avantaj sağlayacaktır.

BBR testi ile bitümün sünme rijitliği (S) ve sünme oranı (m) belirlenir. Tablo 3'te orijinal ve OEÇFB modifiyeli bitümlere ait 60. saniyedeki BBR test sonuçları verilmiştir. S ve m bitümün düşük sıcaklıklarda meydana gelen çatlaklara direnç yeteneğinin göstergesi olarak kullanılır. Sünme rijitliği düşük ve/veya sünme oranı yüksek bitümün çatlama karşı direnci yüksektir. Tablo 3'te görüldüğü üzere OEÇFB ile modifiye edilen bitümün sünme rijitliği %4,2 oranında azalmış, sünme oranı %4,3 oranında artmıştır. Sünme rijitliği yüksek olan bitüm gevrek davranış göstereceğinden düşük sıcaklıklarda daha çok çatlama eğilimi gösterir [14] ve/veya sünme rijitliğinin azalmasıyla bitümde daha küçük çekme gerilmeleri meydana gelir ve buna bağlı olarak düşük sıcaklıkta çatlama olasılığı azalır [1, 7]. BBR testinden elde edilen sonuçlar OEÇFB modifikasyonunun bitümün düşük sıcaklık sebebiyle meydana gelen çatlamalara karşı direncinin arttığını göstermektedir.

DSR testi ile bitümün kompleks kayma modülü (G*) ve faz açısı (δ) belirlenir. DSR testi üç farklı sıcaklıkta gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Tablo 3'te sunulmuştur. Tekerlek izi sıcak iklimli bölgelerde özellikle ağır taşıt trafiğinin yoğun olduğu karayolu kesimlerinde sıkça görülen bir bozulma türüdür. DSR testinden elde edilen verilerle hesaplanan G*/Sin δ bitümün tekerlek izine karşı direncinin ölçüsü olarak kullanılır. Bu değer daha yüksek olması bitümün tekerlek izi oluşumuna karşı daha dirençli olduğunu gösterir. Orijinal ve OEÇFB modifiyeli bitümler için G*/Sin δ değerleri grafiksel olarak Şekil 4'te sunulmuştur.

**Şekil 4.** Orijinal ve OEÇFB modifiyeli bitümlere ait G*/Sin δ değerleri (G*/Sin δ values for the original and OEÇFB modified bitumens)

Şekil 4'te görüldüğü üzere OEÇFB ile $G^*/\text{Sin}\delta$ azalmıştır. OEÇFB daha ziyade soğuk iklimin hakim olduğu bölgelerde avantaj sağlayacağından DSR testinden beklenen sonuçlar elde edilmiştir. Yaşlandırılmamış bitüm numunelerinin $G^*/\text{Sin}\delta$ değeri en az 1 kPa olmalıdır. Bu değer orijinal bitüm için $65,4^\circ\text{C}$ 'ye, OEÇFB modifiyeli bitüm için ise 63°C 'ye kadar sağlanmaktadır. Başka bir ifadeyle, OEÇFB modifikasyonu bitümün şartname kriterini sağladığı limit sıcaklığı sadece $2,4^\circ\text{C}$ azaltmıştır. OEÇFB'den farklı olarak, sıcak iklime sahip bölgelerde kullanılması tavsiye edilen trietilenglikol esaslı polibor bileşiği ile bitümün $G^*/\text{Sin}\delta$ değeri artmıştır [11].

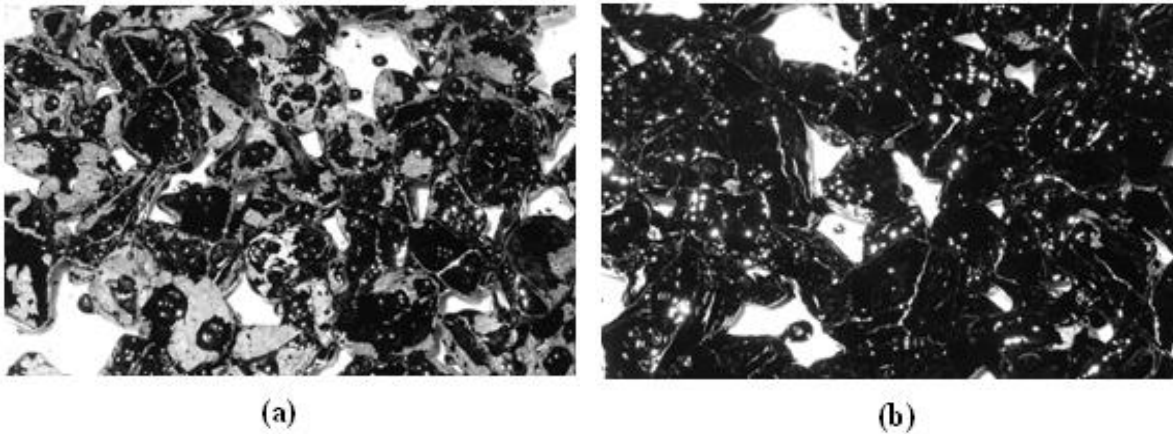
Orijinal bitüm ve %3 OEÇFB modifiyeli bitüm ile Nicholson soyulma testi gerçekleştirilmiştir. Bu test ile OEÇFB'nin bitümlü karışımların soyulma direnci üzerindeki etkisi incelenmiştir. Test sonuçları Şekil 5'te sunulmuştur.

OEÇFB soyulma direncini %30'dan %95'e arttırmıştır. Bu sonuç, OEÇFB'nin agrega ile bitüm arasındaki adezyon kuvvetini önemli miktarda arttırdığını göstermektedir. OEÇFB ile yol kaplamalarında su sebebiyle meydana gelen soyulma problemleri azalacaktır. OEÇFB'nin soyulma direncini artırması şu şekilde özetlenebilir; orijinal bitüm düşük polariteye, agrega ise yüksek polariteye sahiptir. Bitümlü karışımlarda meydana gelen soyulma bitüm ve agreganın sahip oldukları farklı polarite özelliklerinden kaynaklanır. OEÇFB polar uçlar ve apolar kısımlardan oluşmaktadır. OEÇFB bitüme ilave edildiğinde katkı maddesinin apolar kısımları bitüm merkezinde toplanırken polar uçlar

bitümün yüzeyine doğru itilir. Bu durum bitümün yüzeyde polar özellik göstermesini sağlar ve böylece polar özellik gösteren agrega ile bitüm arasında güçlü bağlar oluşur. Bitümlü karışımların soyulma direncini mangan abietat bileşiği de önemli oranda iyileştirmiştir [9].

OEÇFB'nin bitümlü karışımların mekanik özellikleri üzerindeki etkisi Marshall testi ile incelenmiştir. Marshall briketlerinde %4,8 oranında bitüm kullanılmıştır. Bu oran orijinal bitüm ile gerçekleştirilmiş Marshall tasarımında elde edilen optimum bitüm oranı olup benzer yaklaşım literatürde de tercih edilmektedir [2, 12]. Orijinal bitüm ve %3 OEÇFB modifiyeli bitüm ile hazırlanan briketlerin Marshall test sonuçları Tablo 4'te sunulmuştur.

OEÇFB ile bitümlü karışımdaki boşluk oranı (Vh), agrega daneleri arasındaki boşluk oranı (VMA) azalmış; özgül ağırlık (Dp), bitümle dolu boşluk oranı (Vf) ve stabilite artmıştır. Stabilite, bitümlü karışımların kalıcı deformasyonlara karşı gösterdiği direnç olarak tarif edilebilir. Stabilitenin yüksek olması yol kaplamasının kalıcı deformasyonlara karşı daha dirençli olduğunu gösterir. Modifiye bitüm ile stabilitede artış sağlanabildiği gibi [2, 4, 5] azalmalar da görülebilmektedir [3, 6, 17]. OEÇFB ile bitümlü karışımın stabilitesi %6,1 oranında artmıştır. Bu sonuçlara göre OEÇFB modifiyeli bitüm kullanımı, ondülasyon, bölgesel çökme gibi deformasyon tipi bozulmalara karşı yol kaplamasının direncini arttıracak özelliktedir.



Şekil 5. Nicholson soyulma test sonuçları; (a) Orijinal bitüm ile (b) %3 OEÇFB modifiye bitüm ile (Nicholson stripping test results; (a) with original bitumen (b) with %3 OEÇFB modified bitumen)

Tablo 4. Marshall test sonuçları (Marshall test results)

	Dp	Vh (%)	VMA (%)	Vf (%)	Stabilite (kg)
Orijinal bitüm ile hazırlanan briketler	2,532	3,39	14,27	76,27	762,7
%3 OEÇFB modifiyeli bitüm ile hazırlanan briketler	2,533	3,34	14,23	76,51	809,1

4. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ (CONCLUSION)

OEÇFB laboratuvar ortamında sentezlenmiş yeni bir malzemedir. Çalışmada 50/70 penetrasyonlu bitümün modifiye edilmesinde kullanılmıştır. Modifikasyon işlemi OEÇFB'nin özelliklerine bağlı olarak 140°C'de 10 dakikada gerçekleştirilmiştir. Benzer çalışmalarla kıyaslandığında bu parametreler oldukça düşüktür. Bu suretle modifiye bitüm üretiminde enerji sarfiyatı bakımından OEÇFB avantaj sağlamaktadır. Bitümün %3 oranında OEÇFB ile modifiye edilmesi sonucu viskozite ve yumuşama noktası azalmış, duktilite, soyulma direnci ve Marshall stabilitesi artmıştır. OEÇFB bitümün yüksek sıcaklık performansını olumlu yönde etkilememiştir, ancak düşük sıcaklık performansını geliştirmiştir. Sonuç olarak; OEÇFB modifiyeli bitümün soğuk ve yağışlı iklimin hakim olduğu bölgelerde, ağır araç trafiğinin bulunduğu ve trafiğin yoğun olduğu yol kesimlerinde, otoyollarda, yatay kurplarda kullanılması karayolu kaplama performansının artmasını sağlayacaktır.

5. TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

06/2008-07 ve 06/2008-15 numaralı Bilimsel Araştırma Projeleri ile finansal destek sağlayan ve laboratuvar imkanı sunan Gazi Üniversitesi'ne teşekkür ederiz.

6. SEMBOLLER (SYMBOLS)

BBR	Eğilme kirişi reometresi
Dp	Özgül ağırlık
DSR	Dinamik kayma reometresi
EVA	Etilen-Vinil-Asetat
G*	Kompleks kayma modülü
m	Sünme oranı
OEÇFB (OBZPC)	Organik esaslı çinkofosfat bileşiği
S	Sünme rijitliği
SBS	Stiren-Butadien-Stiren
Vh	Boşluk oranı
VMA	Agrega daneleri arasındaki boşluk oranı
Vf	Bitümle dolu boşluk oranı
δ	Faz açısı

7. KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Zare-Shahabadi, A., Shokuhfar, A., Ebrahimi-Nejad, S., "Preparation and rheological characterization of asphalt binders reinforced with layered silicate nanoparticles", **Construction and Building Materials**, Cilt 24, No 7, 1239-1244, 2010.
2. Al-Hadidy, A.I., Tan, Y., "Mechanistic analysis of ST and SBS-modified flexible pavements", **Construction and Building Materials**, Cilt 23, Sayı 8, 2941-2950, 2009.

3. Şengöz, B., Işıkyakar, G., "Evaluation of the properties and microstructure of SBS and EVA polymer modified bitumen", **Construction and Building Materials**, Cilt 22, Sayı 9, 1897-1905, 2008.
4. Çubuk, M., Gürü, M., Çubuk, M.K., "Improvement of bitumen performance with epoxy resin", **Fuel**, Cilt 88, Sayı 7, 1324-1328, 2009.
5. Haddadi, S., Ghorbel, E., Laradi, N., "Effects of the manufacturing process on the performances of the bituminous binders modified with EVA", **Construction and Building Materials**, Cilt 22, Sayı 6, 1212-1219, 2008.
6. Çubuk, M., Gürü, M., Çubuk, M.K., "The effect of polytetrafluoroethylene on the rheological properties of bitumen", **Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, Cilt 26, No3, 623-630, 2011.
7. Jun, L., Yuxia, Z., Yuzhen, Z., "The research of GMA-g-LDPE modified Qinhuangdao bitumen", **Construction and Building Materials**, Cilt 22, Sayı 6, 1067-1073, 2008.
8. Yu, J., Zeng, X., Wu, S., Wang, L., Liu, G., "Preparation and properties of montmorillonite modified asphalts", **Materials Science and Engineering: A**, Cilt 447, Sayı 1-2, 233-238, 2007.
9. Gürü, M., "Improvement of adhesion of bitumen-aggregate coatings by additives", **Cellulose Chemistry and Technology**, Cilt 38, Sayı 1-2, 129-140, 2004.
10. Lee, S., Mun, S., Kim, Y.R., "Fatigue and rutting performance of lime-modified hot-mix asphalt mixtures", **Construction and Building Materials**, Cilt 25, Sayı 11, 4202-4209, 2011.
11. Arslan, D., Gürü, M., Çubuk, M.K., Çubuk M., "Improvement of bitumen and bituminous mixtures performances by triethylene glycol based synthetic polyboron" **Construction and Building Materials**, Cilt 25, Sayı 10, 3863-3868, 2011.
12. Kök, B.V., Çolak, H., "Laboratory comparison of the crumb-rubber and SBS modified bitumen and hot mix asphalt", **Construction and Building Materials**, Cilt 25, Sayı 8, 3204-3212, 2011.
13. Fontes, L.P.T.L., Trichês, G., Pais, J.C., Pereira, P.A.A., "Evaluating permanent deformation in asphalt rubber mixtures", **Construction and Building Materials**, Cilt 24, Sayı 7, 1193-1200, 2010.
14. Tunç, A., **Yol Malzemeleri ve Uygulamaları**, Atlas Yayın Dağıtım Ltd. Şti., İstanbul, 2001.
15. Edwards, Y., Taşdemir, Y., Isacsson, U., "Rheological effects of commercial waxes and polyphosphoric acid in bitumen 160/220 - low temperature performance", **Fuel**, Cilt 85, Sayı 7-8, 989-997, 2006.
16. Whiteoak, D., **Shell Bitüm El Kitabı**, Abdullah Hilmi Lav, M.Ayşen Lav, İstanbul Büyükşehir

Belediyesi İstanbul Asfalt Fabrikaları Sanayi ve Ticaret A.Ş., İstanbul, 2004.

17. Aksoy, A., Şamluoğlu, K., Tayfur, S., Özen, H., “Effects of various additives on the moisture damage sensitivity of asphalt mixtures”, **Construction and Building Materials**, Cilt 19, Sayı 1, 11-18, 2005.