



Elazığ ve Çevresinde Toplanan Bazı Bitkilerin Antimikrobiyal Etkileri	M. KAHYAOĞLU İ. TÜRKOĞLU	1
Farklı Elektrik Alanların (0.9-1.9-10 Kv/m) Kan, Karaciğer, Böbrek ve Dalak Dokuları Üzerine Etkileri	N.ŞENOL K.ÇINAR	9
Cisplatin Toksisitesi Üzerine Kalsiyum Kanal Blokörlerinden Verapamil'in Etkileri	M.DİKMEN A.BAŞARAN	15
Epoksi Reçine Modifiyeli Bağlayıcıların Superpave Sistemine Göre Yüksek Sıcaklık Performans Seviyelerinin Belirlenmesi	PAHMEDZADE M.YILMAZ - M.YILMAZ	27
Kent Merkezine Gelen Otomobil Kullanıcılarının Toplu Taşımaya Yönlendirilme Potansiyelinin Sürdürülebilir Ulaştırma Bağlamında İrdelenmesi	P.YALINIZ Ş.BİLGİÇ	35
Türkiye Taşkömürleri Kurumu (TTK) Kilimli İşletmesinde İklimsel Koşulların Analizi	M. ÖNDER	47
Yomra-Kayabaşı Masif Cu-Zn Cevherinden Flotasyon İle Cu Konsantresi Üretiminin Araştırılması	T.YILMAZ - İ.ALP H.DEVECİ - O.CELEP	57
Mn-Cu Esaslı Şekil Bellekli Alaşımlar	A.AYGAHOĞLU R.GÜRLER	65
Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Ve Kullanımı	M.A. ÖZGÜR	75
Bilgisayar Desteği İle Kam Tasarımı	M.KOYUNBAKAN Z.KAYA	85
Türkiye'de İş Kazalarının Sektörler Ve Meslekler Bazında Analizi	H.G.ÜNAL A.GÖK - K.GÖK	97
Yakıt Olarak Ayçiçek Metil Ester Kullanılan Bir Dizel Motorunda Performans Ve Emisyonun İncelenmesi	H.HAZAR	109



## İÇİNDEKİLER

Elazığ ve Çevresinde Toplanan Bazı Bitkilerin Antimikrobiyal Etkileri	M. KAHYAOĞLU İ. TÜRKOĞLU	1
Farklı Elektrik Alanların (0.9-1.9-10 Kv/m) Kan, Karaciğer, Böbrek ve Dalak Dokuları Üzerine Etkileri	N.ŞENOL K.ÇINAR	9
Cisplatin Toksisitesi Üzerine Kalsiyum Kanal Blokörlerinden Verapamil'in Etkileri	M.DİKMEN A.BAŞARAN	15
Epoksi Reçine Modifiyeli Bağlayıcıların Superpave Sistemine Göre Yüksek Sıcaklık Performans Seviyelerinin Belirlenmesi	P.AHMEDZADE M.YILMAZ - M.YILMAZ	27
Kent Merkezine Gelen Otomobil Kullanıcılarının Toplu Taşımaya Yönlendirilme Potansiyelinin Sürdürülebilir Ulaştırma Bağlamında İrdelenmesi	P.YALINIZ Ş.BİLGİÇ	35
Türkiye Taşkömürleri Kurumu (TTK) Kilimli İşletmesinde İklimsel Koşulların Analizi	M. ÖNDER	47
Yomra-Kayabaşı Masif Cu-Zn Cevherinden Flotasyon İle Cu Konsantresi Üretiminin Araştırılması	T.YILMAZ - İ.ALPA H.DEVECİ - O.CELEP	57
Mn-Cu Esaslı Şekil Bellekli Alaşımlar	A.AYGAHOĞLU R.GÜRLER	65
Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Ve Kullanımı	M.A. ÖZGÜR	75
Bilgisayar Desteği İle Kam Tasarımı	M.KOYUNBAKAN Z.KAYA	85
Türkiye'de İş Kazalarının Sektörler Ve Meslekler Bazında Analizi	H.G.ÜNAL A.GÖK - K.GÖK	97
Yakıt Olarak Ayçiçek Metil Ester Kullanılan Bir Dizel Motorunda Performans Ve Emisyonun İncelenmesi	H.HAZAR	109



## DETERMINING OF HIGH TEMPERATURE PERFORMANCE GRADES OF EPOXY RESIN MODIFIED BINDERS ACCORDING TO SUPERPAVE SYSTEM

Perviz AHMEDZADE\*\*, Mehmet YILMAZ, Mesude YILMAZ

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, ELAZIĞ

\*\* [pahmedzade@firat.edu.tr](mailto:pahmedzade@firat.edu.tr)

Geliş tarihi: 13.10.2007 Kabul tarihi: 21.03.2008

### ABSTRACT

In this study the effect of epoxy resin on high temperature performance of bituminous binders were investigated. To determine the influence of epoxy resin on the performance grade of pure bitumen, modified binders were prepared with B 70/100 type of bitumen and epoxy resin in four different quantities (0.75% - 1.0% - 2.0% - 3.0%). Pure and modified binders were aged with Rolling Thin Film Oven Test (RTFOT) method. Dynamic Shear Rheometer (DSR) test were applied on all binders at 64°C. From obtained results it was determined that binder modified by 1.0% of epoxy resin has the highest high temperature performance among all bituminous binders.

**Keywords:** Bitumen, Epoxy Resin, Superpave, Dynamic Shear Rheometer, Aging.

### EPOKSİ REÇİNE MODİFİYELİ BAĞLAYICILARIN SUPERPAVE SİSTEMİNE GÖRE YÜKSEK SICAKLIK PERFORMANS SEVİYELERİNİN BELİRLENMESİ\*

### ÖZET

Bu çalışmada epoksi reçinenin bitümlü bağlayıcıların yüksek sıcaklık performansı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Saf bitümün performans seviyesi üzerinde epoksi reçinenin etkilerini belirlemek amacıyla B 70/100 sınıfı bitüm ve dört farklı oranda (%0,75 - %1,0 - %2,0 ve %3,0) epoksi reçine (ER) kullanılarak modifiye bağlayıcılar hazırlanmıştır. Saf ve modifiye bağlayıcılar Dönel İnce Film Halinde Isıtma Deney (RTFOT) yöntemiyle yaşlandırılmıştır. Bütün bağlayıcılar 64°C sıcaklıkta Dinamik Kayma Reometresi (DSR) deneyine tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlardan yüksek sıcaklık performansı bakımından %1,0 ER modifiyeli bağlayıcının en iyi sonucu verdiği belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Bitüm, Epoksi Reçine, Superpave, Dinamik Kayma Reometresi, Yaşlanma.

### 1. GİRİŞ

Reoloji, cisimlerin yükleme altında zamana ve sıcaklığa bağlı davranışlarını inceleyen özel bir bilim dalıdır. Reolojik yapı olarak malzemeler; elastik, viskoz ve viskoelastik davranış göstermektedir. Termoplastik malzemelerin ise uygulanan ısı karşısında özellikleri değişmektedir. Bu malzemeler ısıtıldıklarında eriyik hale gelip almakta, soğutulduklarında ise içinde bulundukları veya içinden geçirildikleri kalıbın şeklini almaktadır.

Bitümlü bağlayıcılar uygulanan yük, zaman ve sıcaklığa bağlı olarak hem viskoelastik hem de termoplastik özellik göstermektedir [1,2]. Bitüm; statik yükleme, aşırı yük ve yüksek sıcaklıklarda viskoz özellik gösterirken hızlı yükleme, hafif yük ve düşük sıcaklıklarda elastik özellik göstermektedir. Uygulama şartları sınır değerlere ulaşmadığından bitümlü bağlayıcı genellikle viskoelastik özellik göstermektedir.

TS 1081 EN 12593 standardında bağlayıcılar, standart sıcaklıkta yapılan penetrasyon veya viskozite deneylerine göre sınıflandırılmaktadır. Bitümlü bağlayıcılar, sahip oldukları viskoelastik davranış nedeniyle değişik sıcaklıklarda farklı özellikler gösterebildiğinden, standart sıcaklıkta (25°C) uygulanan penetrasyon deneyi sonucunda kıvamının

yüksek olduğu belirlenen bir bağlayıcı yüksek sıcaklıkta ( $135^{\circ}\text{C}$ ) yapılan viskozite deneyi sonucunda düşük kıvamlı olarak sınıflandırılabilir. Ayrıca bitümlü bağlayıcıların kıvamlarına göre kullanılabilirliğini belirlemek, uygulama bölgesindeki performansı bakımından bilgi verememektedir. Bu olumsuzluklar göz önünde bulundurularak bağlayıcıları uygulama bölgesi iklim şartlarındaki performanslarına göre değerlendirmek amacıyla Superpave sistemi geliştirilmiştir [3,4,5]. Superpave sistemi, tekerlek izini, düşük sıcaklık ve yorulma çatlaklarını sınırlandırarak, uygulama bölgesindeki çevre koşullarını dikkate alarak kaplama performansını arttırmak amacıyla, kullanılacak malzemelerin performansa dayalı olarak incelenmesini içermektedir. Superpave'in üç ana bileşenini; bağlayıcı şartnamesi, karışım dizaynı ile analiz ve bilgisayar yazılım sistemleri oluşturmaktadır [6]. Superpave bağlayıcı deneylerinden Dönel İnce Film Halinde Isıtma Deneyi (RTFOT) ve Basınçlı Yaşlandırma Kabı (PAV) kullanılarak bağlayıcıların yaşlanma karakteristikleri, Dinamik Kayma Reometresi (DSR) deneyi kullanılarak yorulma ve tekerlek izi dayanımları, Dönel Viskozimetre (RV) kullanılarak işlenebilirlikleri, Kiriş Eğme Reometresi (BBR) ve Direkt Çekme Deneyi (DTT) kullanılarak düşük ısı çatlaklarına karşı dayanımları belirlenebilmektedir.

Kaplama dayanımını arttırarak yüksek hizmet seviyesini uzun süre sağlamak amacıyla katkı maddeleri kullanılmaktadır. Katkı maddeleri içerisinde en çok polimer kökenli malzemeler kullanılmaktadır. Polimerler kendi aralarında plastikler, elastomerler, işlenmiş kauçuk ve fiberler olarak dört ana gruba ayrılırken plastikler; termoplastikler ve termosetler, elastomerler ise doğal ve yapay kauçuk olarak iki alt dala ayrılmaktadır [7]. Termoset malzemeler; epoksi reçineler, üre formaldehit, melamin formaldehit, fenol formaldehit ve doymamış polyester reçineler olarak sınıflandırılmaktadır [8]. Yapılan çeşitli çalışmalarda termoplastik malzemeler bitüm modifikasyonunda denenmiş ve normal servis sıcaklığında bitümün sertliğini ve viskozitesini arttırdıkları belirlenmiştir [9,10].

Bu çalışmada termoset polimerler grubuna giren epoksi reçinenin bitümlü bağlayıcıların yüksek sıcaklık performansı üzerindeki etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla dört farklı oranda epoksi reçine kullanılarak modifiye bağlayıcılar hazırlanmıştır. Saf ve modifiye bağlayıcılar RTFOT yöntemiyle yaşlandırılmıştır. Bütün bağlayıcılar üzerinde DSR deneyi uygulanarak epoksi reçinenin bağlayıcı yüksek sıcaklık performansı üzerindeki etkisi tespit edilmeye çalışılmıştır.

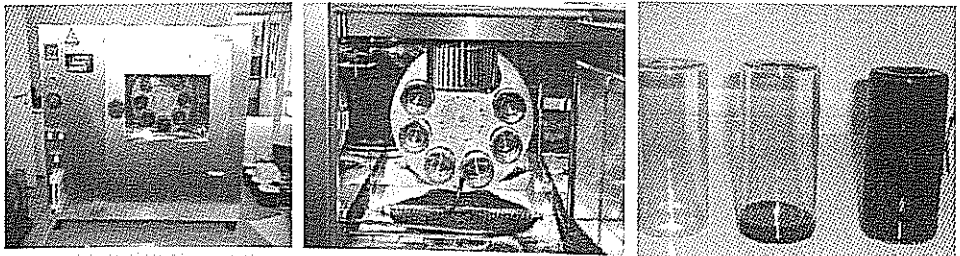
## 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1. Modifiye Bağlayıcıların Hazırlanması

Modifiye bağlayıcılar; TÜPRAŞ rafinerisinden temin edilen B 70/100 ana bağlayıcısı ve dört farklı oranda (%0,75 – 1,0 – 2,0 ve %3,0) epoksi reçine kullanılarak hazırlanmıştır. Katkı maddesi olarak Fluka D.E.R. 332 türü epoksi reçine (ER) kullanılmıştır. Modifiye bağlayıcıların hazırlanması sırasında malzemeler;  $135^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta, 500 rpm. hıza sahip bir karıştırıcıda, 30 dakika süreyle karıştırılmıştır.

### 2.2. Dönel İnce Film Halinde Isıtma Deneyi (RTFOT) Yöntemiyle Bağlayıcıların Yaşlandırılması

Karıştırma süresince bağlayıcıların kısa süreli yaşlanması, laboratuarda RTFOT (Dönel İnce Film Halinde Isıtma Deneyi) ile simüle edilmektedir. Bu deneyde 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 etkisi değerlendirilmektedir. RTFOT yöntemi 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 bu deney,  $163^{\circ}\text{C}$  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. Dönme esnasında deney aletinin tabanında bulunan bir hava üfleyici yardımıyla şişelere, akışı  $4000 \pm 200$  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 İnce Film Halinde Isıtma Deneyi aleti, deney öncesinde ve sonrasındaki şişelerin durumu Şekil 1.'de verilmiştir.



Şekil 1. Dönel İnce Film Etüvü ve Deney Öncesi ve Sonrasında Şişelerin Durumu

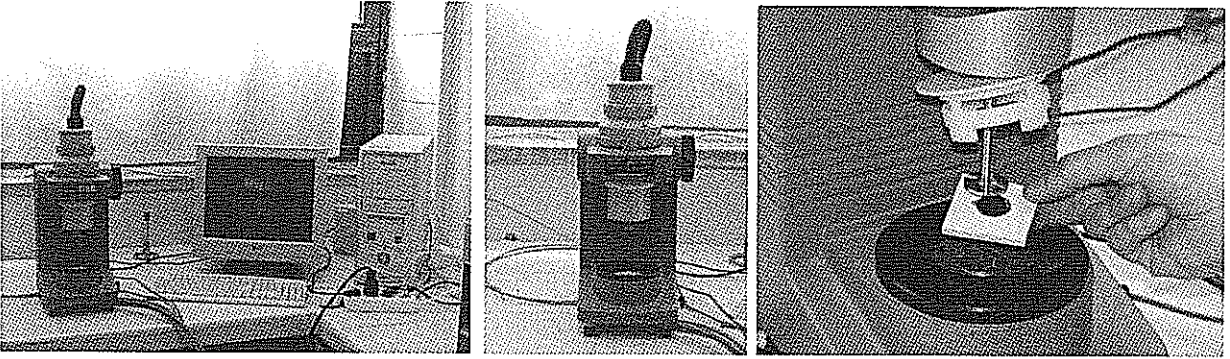
Bu sürenin sonunda iki numune kütle kaybını tayin etmek amacıyla, geri kalan altı şişe ise bitümün yaşlandıktan sonraki fiziksel özelliklerini tespit etmekte kullanılmaktadır. Kütle kaybı aşağıdaki formül kullanılarak belirlenmektedir. Denklemde  $M_1$  yaşlanmadan önceki ağırlığı,  $M_2$  ise yaşlanmadan sonraki ağırlığı ifade etmektedir [11].

$$\text{Kütle Kaybı, \%} = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100 \quad (1)$$

RTFO deneyinden elde edilen yaşlandırılmış numuneler üzerinde yaşlandırılmamış bağlayıcılara uygulanan deneyler uygulanarak meydana gelen değişiklikler tespit edilebilmektedir.

### 2.3. Superpave Sistemine Göre Bağlayıcıların Yüksek Sıcaklık Performans Seviyesinin Belirlenmesi

Superpave sisteminde üstyapılarda görülen üç büyük problem olan tekerlek izi, yorulma ve düşük ısı çatlakları dikkate alınarak bitümlü bağlayıcıların kullanılabilirliği belirlenmektedir. Bağlayıcıların tekerlek izi ve yorulma çatlağı dayanımını temsil ettiği varsayılan parametreleri belirlemek amacıyla Dinamik Kayma Reometresi (DSR) deneyi kullanılmaktadır. Tekerlek izi dayanımını belirlemek amacıyla yaşlandırılmamış ve RTFOT yöntemiyle yaşlandırılmış bağlayıcılar kullanılırken yorulma dayanımını belirlemek amacıyla PAV yöntemiyle yaşlandırılmış bağlayıcılar kullanılmaktadır. DSR deneyinde bağlayıcılar sabit alt plak ve hareketli üst plak arasına yerleştirilmekte ve numuneye sinüsoidal gerilmeler uygulanmaktadır (Şekil 2.). Tekerlek izine karşı dayanımı temsil ettiği varsayılan parametreyi belirlemek için yapılan DSR deneyinde; 25 mm.lik plaklar ve 1 mm. numune kalınlığı kullanılırken yorulma dayanımını belirlemek amacıyla yapılan deneylerde 8 mm.lik plaklar ve 2 mm. numune kalınlığı kullanılmaktadır.



Şekil 2. DSR Deney Düzeneği ve Numunenin Plaklar Arasına Yerleştirilmesi

Dinamik Kayma Reometresi deneyi, gerilme ve deformasyon kontrollü şekilde yapılabilmektedir. Tekerlek izine karşı dayanımı temsil ettiği varsayılan parametreyi belirlemek amacıyla yapılan DSR deneyinin gerilme kontrollü yapılması halinde işlem görmemiş bağlayıcılara 120 Pa., RTFOT yöntemiyle yaşlandırılmış bağlayıcılara ise 220 Pa. sabit gerilme uygulanmaktadır. Deneyin deformasyon kontrollü yapılması halinde ise işlem görmemiş bağlayıcılara %12, RTFOT yöntemiyle yaşlandırılmış bağlayıcılara ise %10 sabit deformasyon uygulanmaktadır.

Dinamik Kayma Reometresi deneyinde 10 radyan/saniye sabit frekansta bağlayıcılara sinüsoidal gerilmeler uygulanmaktadır. Deney süresince uygulanan kayma gerilmeleri ve oluşan kayma deformasyonları kullanılarak kompleks kayma modülü ( $G^*$ ) ve faz açısı ( $\delta$ ) belirlenmektedir.  $G^*$ , tekerrür eden kayma gerilmelerinin oluşturduğu deformasyonlara karşı bitümün gösterdiği toplam direncin göstergesidir [3,4].

Faz açısı ( $\delta$ ) ise uygulanan gerilme ile meydana gelen deformasyon arasındaki zaman aralığına ( $\Delta t$ ) eşit olmaktadır. Asfalt çimentosunun viskoelastik yapısından ötürü numuneye uygulanan gerilmeler ilk etapta numune tarafından karşılanmakta belirli bir süre sonra kayma deformasyonları meydana gelmektedir. Uygulanan kayma gerilmesi, oluşan kayma deformasyonu ve faz açısı kullanılarak bağlayıcıların viskoelastik davranışı değerlendirilmektedir. Faz açısının  $0^\circ$  olması numunenin elastik davranış gösterdiğini,  $90^\circ$  olması ise viskoz davranış gösterdiğini ifade etmektedir. Bitümlü bağlayıcılar viskoelastik özellik gösterdiğinden normal şartlarda faz açısı  $0$  ile  $90^\circ$  arasında değişmektedir. Faz açısının düşük olması bağlayıcının daha fazla elastik özellik gösterdiğini ifade etmektedir [3,4].

Bitümlü bağlayıcıların tekerlek izine karşı dayanımını temsil ettiği varsayılan parametreyi belirlemek amacıyla

yapılan DSR deneylerinde kompleks kayma modülü ( $G^*$ ) ve faz açısı ( $\delta$ ) kullanılarak tekerlek izi dayanım parametresi olan " $G^*/\sin \delta$ " belirlenmektedir. AASHTO TP5-98 standardına göre işlem görmemiş bağlayıcılar için " $G^*/\sin \delta$ " değerinin minimum 1000 Pa, RTFOT yöntemiyle yaşlandırılmış bağlayıcılar için ise 2200 Pa olması gerekmektedir.

Superpave sistemine göre bağlayıcılar, performans seviyelerine göre iki indisi olarak "PG X-Y" şeklinde sınıflandırılmaktadır. Burada "X" bağlayıcının sağlayabildiği yüksek sıcaklık seviyesini, "Y" ise bağlayıcının sağlayabildiği düşük sıcaklık seviyesini göstermektedir. Bağlayıcı performans seviyesi yüksek sıcaklıklarını (X); "46-52-58-64-70-76-82" değerleri oluşturmaktadır. Bağlayıcının tekerlek izi dayanımını belirlemek amacıyla işlem görmemiş veya RTFOT yöntemiyle yaşlandırılmış bağlayıcılara performans seviyesi yüksek sıcaklık değerinde DSR deneyi uygulanmakta ve elde edilen sonuçlar şartname kriterleriyle karşılaştırılmaktadır.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Çalışmada B 70/100 ana bitümüne dört farklı oranda (%0,75 – 1,0 – 2,0 ve %3,0) epoksi reçine ilave edilerek hazırlanan modifiye bağlayıcılar RTFOT yöntemiyle yaşlandırılmıştır. Yaşlandırılmamış bütün saf ve modifiye bağlayıcılara 64°C sıcaklıkta DSR deneyi uygulanarak epoksi reçinenin etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca yaşlandırılmamış numunelerde tekerlek izi kriteri sağlanmayana kadar üst sıcaklık değerlerinde (70 ve 76°C) deneyler tekrarlanmıştır. Yaşlandırılmamış numunelerin sağlayabildiği en yüksek sıcaklık değerinde yaşlandırılmış numuneler deneye tabi tutularak elde edilen sonuçlar şartname kriterleriyle karşılaştırılmıştır. DSR deneyleri 10 radyan/saniye'lik sabit frekansta gerilme kontrollü olarak yapılmıştır. İşlem görmemiş bağlayıcılara 120 Pa., RTFOT yöntemiyle yaşlandırılmış bağlayıcılara ise 220 Pa. sabit gerilme uygulanmıştır. Her bir bağlayıcı türü için üç farklı numune denenmiştir. Saf bağlayıcıya uygulanan deneylerden elde edilen sonuçların ortalamaları ve AASHTO TP5-98 şartname limitleri Çizelge 1.'de, modifiye bağlayıcılardan elde edilen sonuçlar ise Çizelge 2.'de verilmiştir.

**Çizelge 1. Saf Bağlayıcılara Uygulanan DSR Deneylerinden Elde Edilen Sonuçlar**

B 70/100				
DSR (İşlem Görmemiş Bağlayıcı)				
Sıcaklık, °C	G*, Pa	Faz Açısı, δ	G*/sin δ, Pa	Şartname Limiti, Pa
64	1485,33	82,27	1499,09	min.1000
70	760,373	83,94	764,654	
DSR (RTFOT ile Yaşlandırılmış Bağlayıcı)				
Sıcaklık, °C	G*, Pa	Faz Açısı, δ	G*/sin δ, Pa	Şartname Limiti, Pa
64	4975,04	76,85	5111,46	min.2200

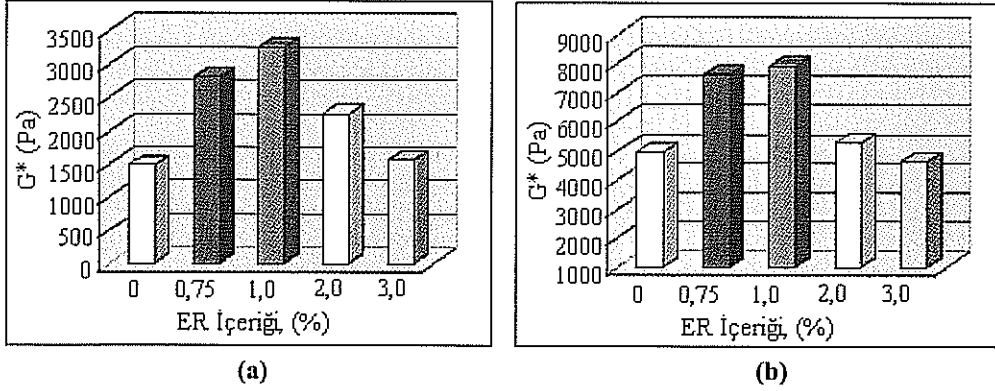
**Çizelge 2. Modifiye Bağlayıcılara Uygulanan DSR Deneylerinden Elde Edilen Sonuçlar**

B 70/100 + % 0,75 ER				
DSR (İşlem Görmemiş Bağlayıcı)				
Sıcaklık, °C	G*, Pa	Faz Açısı, δ	G*/sin δ, Pa	Şartname Limiti, Pa
64	2813,80	79,62	2860,60	min.1000
70	1417,67	81,81	1432,30	
76	819,394	82,63	826,237	
DSR (RTFOT ile Yaşlandırılmış Bağlayıcı)				
Sıcaklık, °C	G*, Pa	Faz Açısı, δ	G*/sin δ, Pa	Şartname Limiti, Pa
64	7632,24	70,97	8073,76	min.2200
70	3456,70	75,63	3568,53	
B 70/100 + % 1,0 ER				
DSR (İşlem Görmemiş Bağlayıcı)				
Sıcaklık, °C	G*, Pa	Faz Açısı, δ	G*/sin δ, Pa	Şartname Limiti, Pa
64	3268,59	77,81	3244,02	min.1000
70	1499,60	80,42	1520,83	
76	807,634	81,62	816,374	
DSR (RTFOT ile Yaşlandırılmış Bağlayıcı)				
Sıcaklık, °C	G*, Pa	Faz Açısı, δ	G*/sin δ, Pa	Şartname Limiti, Pa
64	7947,22	70,50	8431,02	min.2200
70	3861,00	74,07	4015,30	

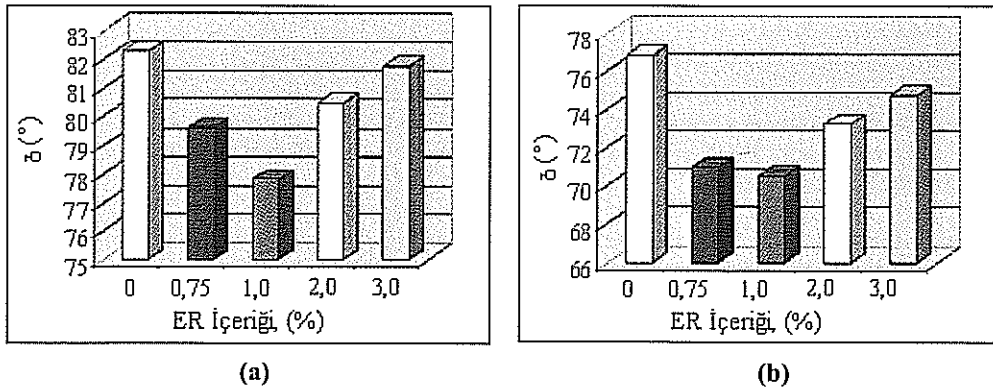
**Çizelge 2.** Modifiye Bağlayıcılara Uygulanan DSR Deneylerinden Elde Edilen Sonuçlar (Devamı)

B 70/100 +2,0 ER				
DSR (İşlem Görmemiş Bağlayıcı)				
Sıcaklık, °C	G*, Pa	Faz Açısı, δ	G*/sin δ, Pa	Şartname Limiti, Pa
64	2270,86	80,49	2302,60	min.1000
70	1061,58	81,33	1073,85	
76	661,063	83,37	665,583	
DSR (RTFOT ile Yaşlandırılmış Bağlayıcı)				
Sıcaklık, °C	G*, Pa	Faz Açısı, δ	G*/sin δ, Pa	Şartname Limiti, Pa
64	5295,19	73,26	5529,65	min.2200
70	2745,15	78,15	2805,00	
B 70/100 + % 3,0 ER				
DSR (İşlem Görmemiş Bağlayıcı)				
Sıcaklık, °C	G*, Pa	Faz Açısı, δ	G*/sin δ, Pa	Şartname Limiti, Pa
64	1562,27	81,75	1578,72	min.1000
70	547,311	85,56	548,973	
DSR (RTFOT ile Yaşlandırılmış Bağlayıcı)				
Sıcaklık, °C	G*, Pa	Faz Açısı, δ	G*/sin δ, Pa	Şartname Limiti, Pa
64	4607,84	74,76	4775,86	min.2200

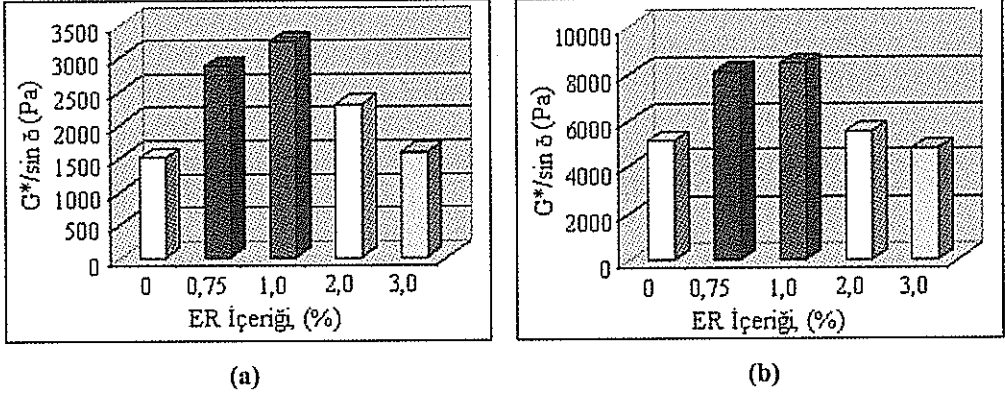
Yaşlandırma işleminden önce ve sonra artan epoksi reçine içeriğiyle 64°C sıcaklıkta kompleks kayma modülünün ( $G^*$ ) değişimi Şekil 3.'te, faz açısının ( $\delta$ ) değişimi Şekil 4.'te, tekerlek izi dayanım parametresi olan  $G^*/\sin \delta$  değerinin değişimi ise Şekil 5.'te verilmiştir.



**Şekil 3.** 64°C'de Yaşlandırma İşleminden Önce (a) ve Sonra (b) Artan ER İçeriğiyle  $G^*$  Değerinin Değişimi



**Şekil 4.** 64°C'de Yaşlandırma İşleminden Önce (a) ve Sonra (b) Artan ER İçeriğiyle Faz Açısının Değişimi



Şekil 4. 64°C'de Yaşlandırma İşleminden Önce (a) ve Sonra (b) Artan ER İçeriğiyle  $G^*/\sin \delta$  Değerinin Değişimi

25 mm.lik plaklar kullanılarak 1 mm. kalınlığında yaşlandırılmamış numuneler üzerinde 10 radyan/saniyelik frekansta 120 Pa. yük uygulanarak yapılan DSR deneyleri sonucunda % 1,0 ER içeriğine kadar artan epoksi reçine içeriğine karşı  $G^*/\sin \delta$  değerinin arttığı ve faz açısının ( $\delta$ ) azaldığı tespit edilmiştir. % 1,0 ER içeriğinden sonra ise  $G^*/\sin \delta$  değerinin azaldığı ve faz açısının ( $\delta$ ) arttığı belirlenmiştir. Bu değerler % 1,0 ER içeriğine kadar bağlayıcı elastikiyetinin arttığını % 2,0 ve 3,0 ER içeriklerinde ise elastik davranış özelliğinin azaldığını göstermektedir.

Yaşlandırılmış epoksi reçine modifiyeli bağlayıcılardan elde edilen sonuçlardan % 1,0 ER içeriğine kadar bitümlü bağlayıcılardaki epoksi reçine oranı arttıkça yaşlandırmadan önce olduğu gibi  $G^*$  ve  $G^*/\sin \delta$  değerinin arttığı, faz açısının ( $\delta$ ) ise azaldığı belirlenmiştir. 25 mm.lik plaklar kullanılarak 1 mm. kalınlığında yaşlandırılmış numuneler üzerinde 10 radyan/saniyelik frekansta 220 Pa. yük uygulanarak yapılan DSR deneyleri sonucunda tespit edilen %1,0 ER içeriğine kadar artan epoksi reçine içeriğine karşı  $G^*/\sin \delta$  değerindeki artış ve faz açısındaki ( $\delta$ ) azalış bitümlü bağlayıcılardaki epoksi reçine içeriği arttıkça tekerlek izine karşı dayanımı temsil ettiği varsayılan parametrenin ve elastikiyetin arttığını göstermektedir. Yaşlandırılmadan önceki sonuçlarda olduğu gibi % 2,0 ve 3,0 ER içeriklerinde meydana gelen  $G^*$  ve  $G^*/\sin \delta$  değerlerindeki azalma ve faz açısındaki ( $\delta$ ) artma ise bu yüzdelerde bağlayıcının elastikiyet ve tekerlek izine karşı dayanım özelliklerinin azaldığını göstermektedir.

Saf ve epoksi reçine katkılı bağlayıcıların Superpave sistemine göre tekerlek izi dayanımı bakımından sağladığı yüksek sıcaklık performans seviyeleri Çizelge 3.'te verilmiştir.

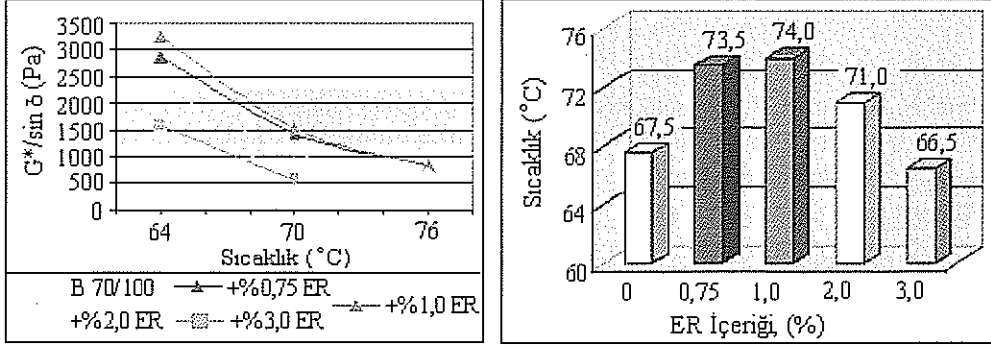
Çizelge 3. Saf ve ER Modifiyeli Bağlayıcıların Sağlayabildiği Yüksek Sıcaklık Performans Seviyeleri

ER İçeriği (%)	Performans Seviyesi	Gösterim
0	64	PG 64-Y
0,75	70	PG 70-Y
1,0	70	PG 70-Y
2,0	70	PG 70-Y
3,0	64	PG 64-Y

Saf bağlayıcı 64°C'de şartname kriterlerini sağlarken %0,75 – 1,0 ve 2,0 ER modifiyeli bağlayıcı 70°C'de şartname kriterlerini sağlayabilmiştir. %3,0 ER modifiyeli bağlayıcı ise saf bağlayıcı gibi tekerlek izi dayanım şartlarını 64°C'de sağlayabilmiştir.

Yaşlandırılmamış bağlayıcılar üzerinde yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar kullanılarak çizilen  $G^*/\sin \delta$  – Sıcaklık grafiği Şekil 5.'te verilmiştir. Grafikten 1000 Pa. Şartname kriterini saf bağlayıcının yaklaşık 67,5°C'de, %0,75 – 1,0 – 2,0 ve 3,0 ER modifiyeli bağlayıcının ise sırasıyla 73,5 – 74,0 – 71,0 ve 66,5°C sıcaklıkta sağladığı belirlenmiştir.





Şekil 5. ER Modifiyeli Bağlayıcılarda  $G^*/\sin \delta$  Değerinin Sıcaklıkla Değişimi

#### 4. SONUÇ

Epoksi reçine modifiyeli bağlayıcılara 64°C sıcaklıkta uygulanan DSR deneyleri sonucunda %1,0 ER içeriğine kadar tekerlek izi dayanım parametresi olan  $G^*/\sin \delta$  değerinin arttığı faz açısının ( $\delta$ ) ise azaldığı tespit edilmiştir. % 2,0 ve 3,0 ER içeriklerinde  $G^*/\sin \delta$  meydana gelen azalma ve faz açısındaki artma bu yüzdelerde tekerlek izine karşı dayanımın azaldığını göstermektedir. Bu değerlerden yola çıkarak %1,0 ER içeriğine kadar epoksi reçinenin bağlayıcının tekerlek izi dayanımı ve elastikiyet yeteneğini olumlu yönde etkilediği bu değerden fazla kullanılması durumunda ise tekerlek izi dayanımını olumsuz yönde etkilediği söylenebilmektedir. Ancak yine de %3,0 ER kullanımında dahi değerlerin saf bağlayıcıya göre daha iyi olduğu belirlenmiştir.

ER modifiyeli yaşlandırılmamış bağlayıcıların performans seviyelerini belirleyebilmek amacıyla numuneler şartname kriteri (1000 Pa) sağlanamayana kadar bir üst sıcaklık seviyelerinde (70 ve 76°C) DSR deneylerine tabi tutulmuştur. Orijinal (yaşlandırılmamış) bağlayıcıların şartname kriterini en son sağladığı sıcaklık derecesinde yaşlandırılmış bağlayıcılar deneye tabi tutularak elde edilen sonuçlar şartname kriteriyle (1000 Pa) karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlardan %0,75 ve 1,0 ER modifiyeli bağlayıcıların şartname kriterlerini 70°C sıcaklıkta sağladıkları belirlenmiştir. %1,0 ER içeriğinden sonra tekerlek izi parametresinde bir düşüş meydana gelmesine rağmen %2,0 ER modifiyeli bağlayıcı 70°C sıcaklıkta şartname kriterlerini sağlayabilmiştir. %3,0 ER katkılı bağlayıcı ise 70°C sıcaklıkta şartname kriterlerini sağlayamamış buna rağmen bir alt sıcaklık seviyesi olan 64°C sıcaklıkta şartname kriterini sağlayabilmiştir. Saf bağlayıcının tekerlek izi kriterleri yüksek sıcaklık performans seviyesi "PG 64-Y" olarak belirlenirken %0,75 – 1,0 ve 2,0 ER modifiyeli bağlayıcının yüksek sıcaklık performans seviyesi "PG 70-Y" ve % 3,0 ER modifiyeli bağlayıcının "PG 64-Y" olarak belirlenmiştir.

% 1,0 ER içeriğine kadar modifiye bağlayıcılardaki epoksi reçine oranı arttıkça yaşlandırılmamış bağlayıcı şartname sınırının (1000 Pa) sağlandığı sıcaklık değeri artmıştır. Epoksi reçinenin %1,0'den fazla kullanılması durumunda ise bu değerin gittikçe azaldığı belirlenmiştir. (Saf bağlayıcıda 67,5°C, %0,75 ER modifiyeli bağlayıcıda 73,5°C, %1,0 ER modifiyeli bağlayıcıda 74,0°C, % 2,0 ER modifiyeli bağlayıcıda 71,0°C ve % 3,0 ER modifiyeli bağlayıcıda 66,5°C). Elde edilen bütün sonuçlar göz önüne alındığında %1,0 oranına kadar epoksi reçine kullanımının bitümlü bağlayıcıların tekerlek izi dayanımını olumlu yönde etkilediği söylenebilmektedir.

#### 5. TEŞEKKÜR

105M020 numaralı proje ile çalışmamızı destekleyen Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Kurumu'na (TÜBİTAK) teşekkürü bir borç biliriz.

## KAYNAKLAR

- [1] Mahrez, A., Karim, M. R. "Rheological Evaluation of Ageing Properties of Rubber Crumb Modified Bitumen", **Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies**, Vol. 5., 820-833, (2003).
- [2] Kuloğlu, N., "Bitüm ve Bitümlü Sıcak Karışımların Rijitliğine Etki Eden Parametreler". **Tübitak**, 25, 61 – 67, (2001).
- [3] Megennis, R.B., Shuler, S., Bahia, H.U. "Background of Superpave Asphalt Binder Test Methods", **Report No. FHWA-SA-94-069**, pp. 104, (1994).
- [4] Zaniwski, J.P. and Pumphrey, M.E. "Evaluation of Performance Graded Asphalt Binder Equipment and Testing Protocol", **Asphalt Technology Program**. pp. 107. (2004).
- [5] Öztürk, E. A. ve Çubuk, M. K. "Karayolu Esnek Üstyapı Tasarımında Yeni Bir Yöntem: Yüksek Performanslı Asfalt Kaplama". **Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi**, Cilt 19. No: 2. 175-184, (2004).
- [6] Asphalt Institute, "Superpave Mix Design", Superpave series No: 2, (1996).
- [7] Francken, L. "Bituminous Binders and Mixes". **Rilem Reports**. 352 p., (1998).
- [8] Kaya, F. "Ana hatlarıyla Plastikler ve Katkı Maddeleri". 294 s., (2005).
- [9] Airey G.D. "Rheological Evaluation of Ethylene Vinyl Acetate Polymer Modified Bitumens", **Construction and Building Materials**, Vol. 16. 473–487, (2002).
- [10] Nolan K.L. and Hesp Simon A.M. "Low-Temperature Fracture Toughness of Polyethylene Modified Asphalt Binders", **Transportation Research Record**. 1417. TRB. National Research Council. Washington. DC. pp. 54-59, (1994).
- [11] 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).