



## POLYESTER REÇİNENİN BİTÜMLÜ BAĞLAYICILARIN YÜKSEK SICAKLIK PERFORMANS SEVİYESİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ<sup>1</sup>

Perviz AHMEDZADE\*, Mehmet YILMAZ, Mesude YILMAZ

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Elazığ

### ÖZET

Bu çalışmada polyester reçinenin bitümlü bağlayıcıların yüksek sıcaklık performans seviyesi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Saf ve dört farklı oranda (%0,75 - %1,0 - %2,0 ve %3,0) polyester reçine (PR) kullanılarak hazırlanan modifiye bitümler Dönel İnce Film Halinde Isıtma Deneyi (RTFOT) yöntemiyle yaşlandırılmıştır. Saf ve modifiye edilmiş bağlayıcılar yaşlandırılmadan önce ve sonra 64°C sıcaklıkta Dinamik Kayma Reometresi (DSR) deneyine tabi tutulmuştur. Ayrıca bağlayıcıların Superpave sistemine göre tekerlek izi dayanımı bakımından performans seviyesi yüksek sıcaklık değerleri belirlenmiştir. Modifiye bağlayıcılardaki polyester reçine oranı arttıkça tekerlek izi dayanım parametresi bakımından yüksek sıcaklıklardaki bağlayıcı performansının arttığı belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Polyester Reçine; Modifikasyon; Dinamik Kayma Reometresi; Yaşlanma.

## THE EFFECT OF POLYESTER RESIN ON HIGH TEMPERATURE PERFORMANCE GRADES OF BITUMINOUS BINDERS

### ABSTRACT

In this study, the effect of polyester resin on the performance grade of bituminous binders at high temperatures were investigated. Pure and the modified bitumens containing polyester resin (PR) in four different quantities (0.75% - 1.0% - 2.0% - 3.0%) were aged by Rolling Thin Film Oven Test (RTFOT) method. Dynamic Shear Rheometer (DSR) test were applied to pure and modified binders before and after aging at 64°C. Furthermore high temperature values of binders performance grade were determined in point of rutting according to Superpave system. It was determined that binder performance at high temperatures in point of rutting resistance parameter was increased with rising amount of polyester resin in modified binders.

**Keywords:** Polyester Resin; Modification; Dynamic Shear Rheometer; Aging.

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

## 1. GİRİŞ

Esnek üstyapı kaplamalarında bağlayıcı olarak kullanılan bitüm, %5-7 gibi düşük oranlarda kullanılmasına rağmen kaplamanın performansı ve davranışı açısından büyük öneme sahiptir [1]. Kaplamanın uzun süre yüksek seviyede performans göstermesini sağlayabilmek için katkı maddeleri kullanılmaktadır. Katkı maddeleri bitümlü bağlayıcıya eklenebildiği gibi hazırlama esnasında doğrudan karışıma da eklenebilmektedir. Üstyapı performansını arttırmak amacıyla karışıma; kireç, siyah karbon, uçucu kül, lignin ve sülfür gibi maddeler ilave edilirken bitümlü bağlayıcıya genellikle polimer kökenli katkı maddeleri eklenmektedir [2,3].

Polimer grubu malzemeler; 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 [2]. Termoset malzemeler; epoksi reçineler, üre formaldehit, melamin formaldehit, fenol formaldehit ve doymamış polyester reçineler olarak sınıflandırılmaktadır [4]. Yapılan bir çok çalışma sonucunda doğru şekilde ve uygun miktarda polimer kökenli malzemelerin kullanılması durumunda bitümlü bağlayıcıların ve karışımların özelliklerini olumlu yönde etkilediği belirlenmiştir [5,6,7,8].

Ülkemizde kaplama yapılarında kullanılan bitümlü bağlayıcıların sınıflandırılması ve uygunlukları TS 1081 EN 12591 standardında belirtilmiştir [9]. Bu standartta bitümlü bağlayıcıların sınıflandırılmasında 25°C'de yapılan penetrasyon ve 60°C sıcaklıkta yapılan viskozite deneyleri önerilmektedir. Standartta belirtilen sınıflandırmaya göre yüksek kıvamlı bitümlerin soğuk iklimli bölgelerde, düşük kıvamlı bitümlerin ise sıcak iklimli bölgelerde kullanılması tavsiye edilmektedir [10]. Kaplama yapısı, mevsimsel ve günlük ısı farkları nedeniyle değişik sıcaklıklarda performansını sürdürmektedir. Bu nedenle sabit sıcaklıklarda yapılan deneylerle bağlayıcının uygulama bölgelerinde kullanılabilirliğini belirlemek doğru olmamakta ayrıca bu deneyler bitümlü bağlayıcıların davranışını ifade etmekte de yetersiz kalmaktadır.

Uygulama bölgesi şartlarını dikkate alarak bağlayıcıların kullanılabilirliğini belirlemek amacıyla Amerika Stratejik Karayolu Araştırma Programı (SHRP) tarafından Superpave isimli bir sistem geliştirilmiştir. 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 [11]. 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 [12,13].

Bu çalışmada termoset polimerler grubuna giren polyester reçinenin bitümlü bağlayıcıların yüksek sıcaklık performansı üzerindeki etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla dört farklı oranda polyester 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

Modifiye bağlayıcılar TÜPRAŞ rafinerisinden temin edilen B 70/100 ana bağlayıcısı ve dört farklı oranda (%0,75 – 1,0 – 2,0 ve %3,0) polyester reçine kullanılarak hazırlanmıştır. Katkı maddesi olarak E.R.C.O. şirketinden elde edilen polyester reçine (PR) kullanılmıştır. Modifiye bağlayıcıların hazırlanması sırasında malzemeler; 135°C sıcaklıkta, 500 rpm. hıza sahip bir karıştırıcıda, 30 dakika süreyle karıştırılmıştır.

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

Dönel İnce Film Halinde Isıtma Deneyi ile asfalt hazırlama tesislerinde karıştırma sırasında bitümlü bağlayıcının maruz kaldığı yaşlanmayı 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°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 1.).

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.



**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. Denklemden  $M_1$  yaşlanmadan önceki ağırlığı,  $M_2$  ise yaşlanmadan sonraki ağırlığı ifade etmektedir [14].

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

## **2.2. Superpave Sistemine Göre Bağlayıcıların Performans Seviyelerinin Belirlenmesi**

Superpave sisteminde bağlayıcı türü iki değişkenli olarak PG X-Y şeklinde gösterilmektedir. Burada birinci değişken (X), bağlayıcının performans şartlarını sağladığı yüksek sıcaklık sınıfını, ikinci değişken (Y) ise bağlayıcının performans şartlarını sağladığı düşük sıcaklık sınıfını belirtmektedir. Uygulama bölgesi iklim şartları göz önünde bulundurularak tespit edilen en yüksek kaplama sıcaklığından daha yüksek olan sıcaklık sınıfı ve en düşük kaplama sıcaklığından daha düşük olan sıcaklık sınıfı alınarak bölge için geçerli olan bağlayıcı performans seviyesi tespit edilmektedir. [Tablo 1.](#)'de Superpave bağlayıcı performans seviyeleri verilmiştir.

Superpave sistemi bağlayıcı performans seviyelerinin belirlenmesinde, meteoroloji istasyonlarından elde edilen en az 20 yıllık veriler baz alınmaktadır. 20 yıllık süre içerisinde bölgede tespit edilen en yüksek 7 günlük hava sıcaklığı ortalamalarından ( $T_{\text{maks.hava}}$ ) faydalanılarak yüzeyden 20 mm. derinlikteki en yüksek kaplama sıcaklığı ( $T_{\text{maks}}$ ), yıl içerisindeki en soğuk 1 günlük hava sıcaklığından ( $T_{\text{min.hava}}$ ) faydalanılarak ta kaplama yüzeyindeki en düşük kaplama sıcaklığı ( $T_{\text{min}}$ ) tespit edilmektedir. Bu değerlerin bulunmasında

bölgenin enlemi de (E) dikkate alınmaktadır. Kaplamanın en yüksek ve en düşük sıcaklık değerlerinin belirlenmesinde kullanılan formüller aşağıda verilmiştir [11]:

$$T_{\text{maks.}}(^{\circ}\text{C}) = (T_{\text{maks.hava}} - 0,00618 \times E^2 + 0,2289 \times E + 42,2) \times 0,9545 - 17,78 \quad (2)$$

$$T_{\text{min.}}(^{\circ}\text{C}) = 0,859 \times T_{\text{min.hava}} + 1,17 \quad (3)$$

**Tablo 1.**

Superpave Bağlayıcı Sınıfları

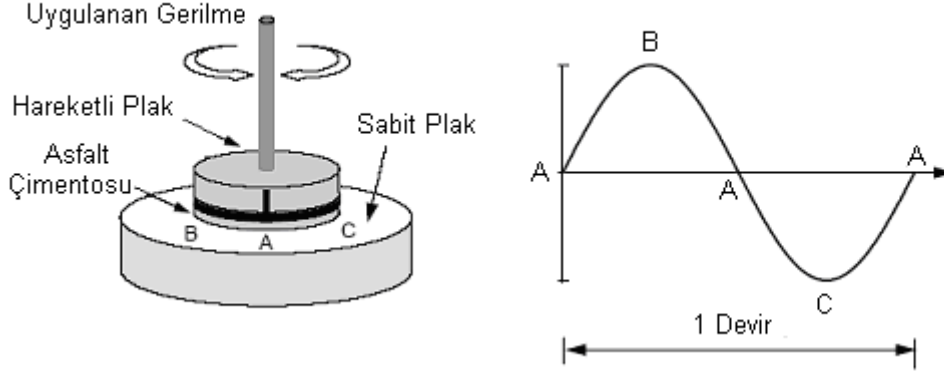
Yüksek Sıcaklık Sınıfları (X), °C	Düşük Sıcaklık Sınıfları (Y), °C	Gösterim
46	-34, -40, -46	PG 46-Y
52	-10, -16, -22, -28, -34, -40, -46	PG 52-Y
58	-16, -22, -28, -34, -40	PG 58-Y
64	-10, -16, -22, -28, -34, -44	PG 64-Y
70	-10, -16, -22, -28, -34, -44	PG 70-Y
76	-10, -16, -22, -28, -34	PG 76-Y
82	-10, -16, -22, -28, -34	PG 82-Y

Bitümlü bağlayıcıların performans seviyeleri (PG) belirlenerek bölge iklim şartlarına göre uygulanabilirlikleri belirlenmektedir.

### 2.2.1. Bağlayıcıların Performans Seviyesi Yüksek Sıcaklık Değerlerinin Belirlenmesi

Dinamik Kayma Reometresi (DSR) orta ve yüksek servis sıcaklıklarında bitümlü bağlayıcıların viskoelastik özelliğini karakterize etmek amacıyla kullanılmaktadır. Bu deney ile kaplama ömrü boyunca yüksek servis sıcaklıklarında tekerlek izi oluşumuna karşı dayanım değerlendirilebilmektedir. DSR aynı zamanda servis ömrünün ilerleyen dönemlerinde orta servis sıcaklıklarında yorulma çatlağı oluşumuna karşı dayanımın belirlenmesini sağlamaktadır. 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.).



Şekil 2. DSR Deneyinde Numunelere Uygulanan Gerilme Yönleri.

Tekerlek izi dayanım parametresini 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.

Dinamik Kayma Reometresi deneyi, gerilme ve deformasyon kontrollü şekilde yapılabilmektedir. Tekerlek izi dayanımını 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 [12,13].

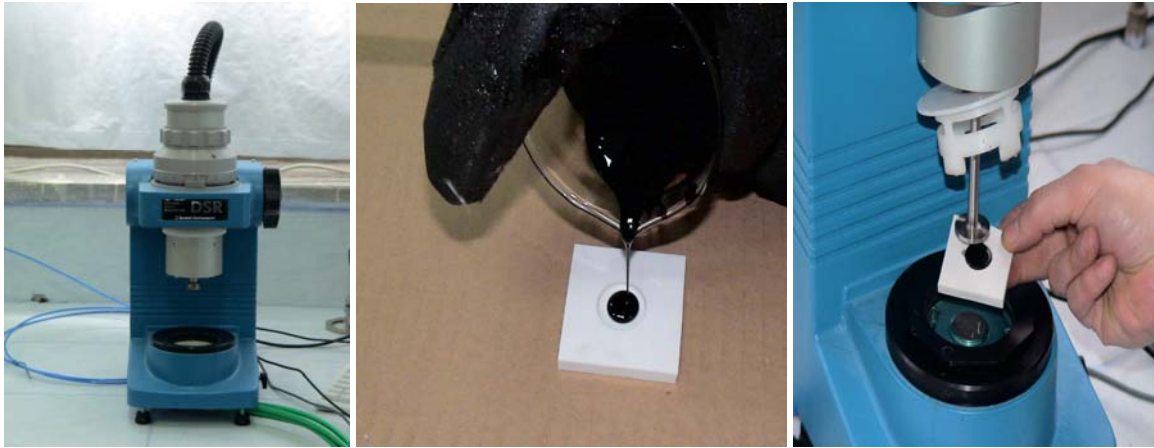
Faz açısı ( $\delta$ ) ise uygulanan gerilme ile meydana gelen deformasyon arasındaki zaman aralığına ( $\Delta t$ ) eşit olmaktadır. Asfalt çimentosunun viskoelastik yapısından ötürü numuneye uygulanan gerilmeler ilk etapta numune tarafından karşılanmakta belirli bir süre sonra kayma deformasyonları meydana gelmektedir. Uygulanan kayma gerilmesi, oluşan kayma deformasyonu ve faz açısı kullanılarak bağlayıcıların

viskoelastik yapısı 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 [12,13].

Bitümlü bağlayıcıların tekerlek izi dayanımını 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 işlen görmemiş bağlayıcılar için " $G^*/\sin \delta$ " değerinin minimum 1000 Pa., RTFOT yöntemiyle yaşlandırılmış bağlayıcılar için ise 2200 Pa. olması gerekmektedir.

### 3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Çalışmada B 70/100 ana bitümüne dört farklı oranda (%0,75 - 1,0 - 2,0 ve %3,0) polyester reçine ilave edilerek hazırlanan modifiye bağlayıcılar RTFOT yöntemiyle yaşlandırılmıştır. Bağlayıcılar yeterli akışkanlığa ulaşmaya kadar etüvde ısıtılmış daha sonra silikon kalıplara doldurularak oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur. Soğuyan numune önceden deney sıcaklığına kadar ısıtılan üst plağa yerleştirilmiştir (Şekil 3.). 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.



Şekil 3. DSR Deney Aleti, Numunenin Silikon Kalıplara Doldurulması ve Numunenin Plaklar Arasına Yerleştirilmesi.



Yaşlandırılmamış bütün saf ve modifiye bağlayıcılara 64°C sıcaklıkta DSR deneyi uygulanarak polyester 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. Her bir bağlayıcı türü için üç farklı numune denenmiştir. Saf bağlayıcıya uygulanan deneylerden elde edilen sonuçların ortalamaları ve AASHTO TP5-98 şartname limitleri [Tablo 2.](#)'de, modifiye bağlayıcılardan elde edilen sonuçlar ise [Tablo 3.](#)'te verilmiştir.

**Tablo 2.**

Saf Bağlayıcılara Uygulanan DSR Deneylerinden Elde Edilen Sonuçlar

<b>B 70/100</b>				
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

**Tablo 3.**

Modifiye Bağlayıcılara Uygulanan DSR Deneylerinden Elde Edilen Sonuçlar

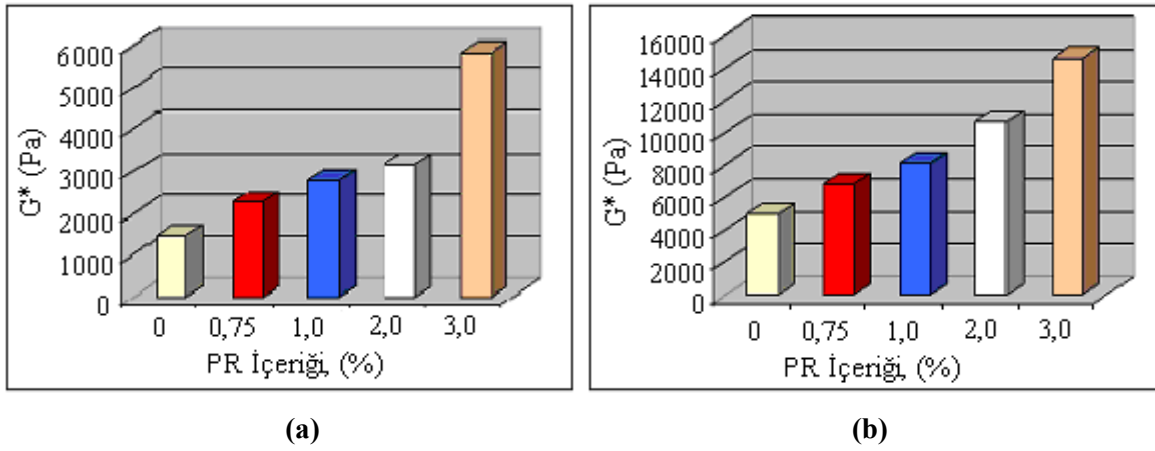
<b>B 70/100 + % 0,75 PR</b>				
DSR (İşlem Görmemiş Bağlayıcı)				
Sıcaklık, °C	G*, Pa	Faz Açısı, δ	G*/sin δ, Pa	Şartname Limiti, Pa
64	2269,26	79,42	2308,64	min.1000
70	1073,28	77,95	1085,94	



76	550,547	83,16	554,559	
DSR (RTFOT ile Yaşlandırılmış Bağlayıcı)				
Sıcaklık, °C	G*, Pa	Faz Açısı, δ	G*/sin δ, Pa	Şartname Limiti, Pa
64	6830,88	70,98	7226,37	min.2200
70	3147,52	75,14	3256,65	
<b>B 70/100 + % 1,0 PR</b>				
DSR (İşlem Görmemiş Bağlayıcı)				
Sıcaklık, °C	G*, Pa	Faz Açısı, δ	G*/sin δ, Pa	Şartname Limiti, Pa
64	2759,10	77,85	2822,96	min.1000
70	1191,0	81,07	1205,65	
76	623,509	82,28	629,241	
DSR (RTFOT ile Yaşlandırılmış Bağlayıcı)				
Sıcaklık, °C	G*, Pa	Faz Açısı, δ	G*/sin δ, Pa	Şartname Limiti, Pa
64	8127,08	70,17	8640,21	min.2200
70	3562,60	73,51	3716,66	
<b>B 70/100 +2,0 PR</b>				
DSR (İşlem Görmemiş Bağlayıcı)				
Sıcaklık, °C	G*, Pa	Faz Açısı, δ	G*/sin δ, Pa	Şartname Limiti, Pa
64	3186,06	76,17	3281,36	min.1000
70	1368,37	78,82	1394,98	
76	892,258	81,25	907,110	
DSR (RTFOT ile Yaşlandırılmış Bağlayıcı)				
Sıcaklık, °C	G*, Pa	Faz Açısı, δ	G*/sin δ, Pa	Şartname Limiti, Pa
64	10690,3	67,87	11541,8	min.2200
70	4222,93	70,62	4476,93	
<b>B 70/100 + % 3,0 PR</b>				
DSR (İşlem Görmemiş Bağlayıcı)				
Sıcaklık, °C	G*, Pa	Faz Açısı, δ	G*/sin δ, Pa	Şartname Limiti, Pa

°C		$\delta$		Pa
64	5833,10	73,20	6093,80	min.1000
70	2442,58	76,45	2512,85	
76	1479,97	78,80	1509,10	
82	729,712	82,84	735,516	
DSR (RTFOT ile Yaşlandırılmış Bağlayıcı)				
Sıcaklık, °C	$G^*$ , Pa	Faz Açısı, $\delta$	$G^*/\sin \delta$ , Pa	Şartname Limiti, Pa
64	14617,7	64,59	16187,7	min.2200
76	3357,57	72,55	3520,87	

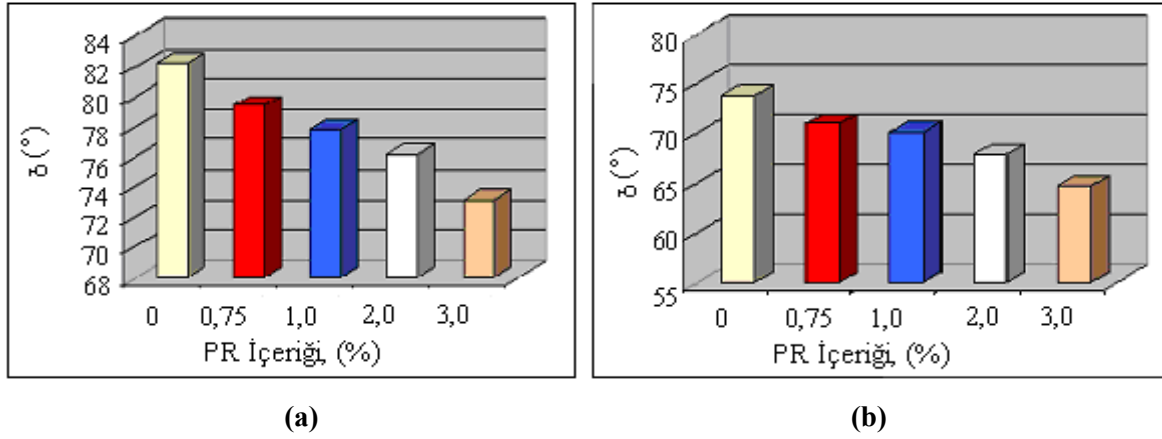
64°C sıcaklıkta yaşlandırma işleminden önce ve sonra artan epoksi reçine içeriğiyle kompleks kayma modülünün ( $G^*$ ) değişimi Şekil 4.'te, faz açısının ( $\delta$ ) değişimi Şekil 5.'te, tekerlek izi dayanım parametresi olan  $G^*/\sin \delta$  değerinin değişimi ise Şekil 7.'de verilmiştir.



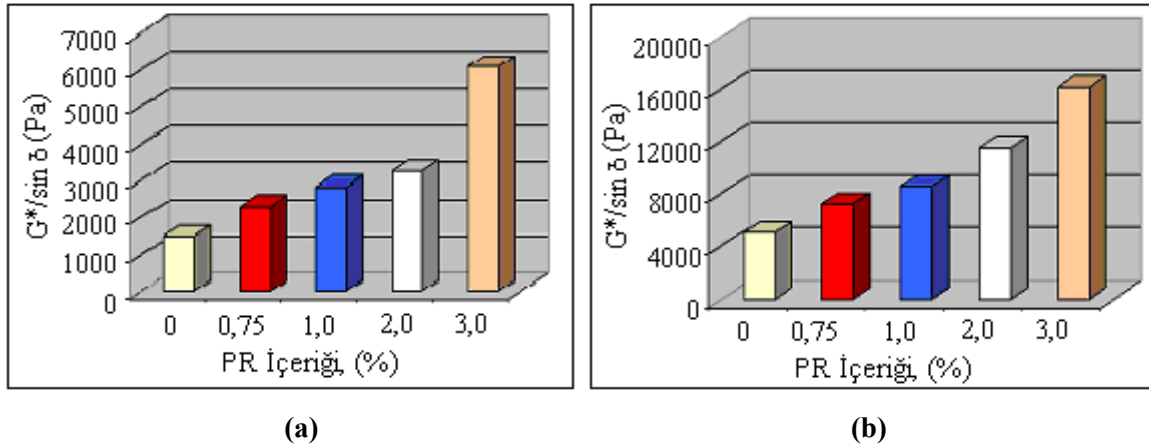
Şekil 4. 64°C'de Yaşlandırma İşleminde Önce (a) ve Sonra (b) Artan PR İçeriğiyle  $G^*$  Değerinin Değişimi.

Elde edilen sonuçlardan bitümlü bağlayıcılardaki polyester reçine oranı arttıkça  $G^*$  ve  $G^*/\sin \delta$  değerinin arttığı faz açısının ( $\delta$ ) ise azaldığı belirlenmiştir. 25 mm.lik plaklar kullanılarak 1 mm. kalınlığında yaşlandırılmamış numuneler üzerinde 10 radyan/saniyelik frekansta 120 Pa. yük uygulanarak yapılan DSR deneyleri sonucunda tespit edilen artan polyester reçine içeriğine karşı  $G^*/\sin \delta$  değerindeki artış ve faz açısındaki ( $\delta$ ) azalış bitümlü bağlayıcılardaki polyester reçine içeriği arttıkça tekerlek izine karşı

dayanımının arttığını göstermektedir. Faz açısındaki ( $\delta$ ) azalma ayrıca bitümlü bağlayıcıların elastikiyet özelliğinin arttığını, uygulanan yük sonucu oluşan deformasyonlarda kalıcı deformasyon miktarının azalacağını göstermektedir.



**Şekil 5.** 64°C’de Yaşlandırma İşleminde Önce (a) ve Sonra (b) Artan ER İçeriğiyle Faz Açısının Değişimi.



**Şekil 6.** 64°C’de Yaşlandırma İşleminde Önce (a) ve Sonra (b) Artan ER İçeriğiyle G\*/sin  $\delta$  Değerinin Değişimi.

Yaşlandırılmış PR modifiyeli bağlayıcılardan elde edilen sonuçlardan bitümlü bağlayıcılardaki polyeşter 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 artan polyeşter reçine içeriğine karşı G\*/sin  $\delta$  değerindeki artış ve faz açısındaki ( $\delta$ ) azalış bitümlü

bağlayıcılardaki polyester reçine içeriği arttıkça tekerlek izine karşı dayanımın ve elastikiyetin arttığını göstermektedir.

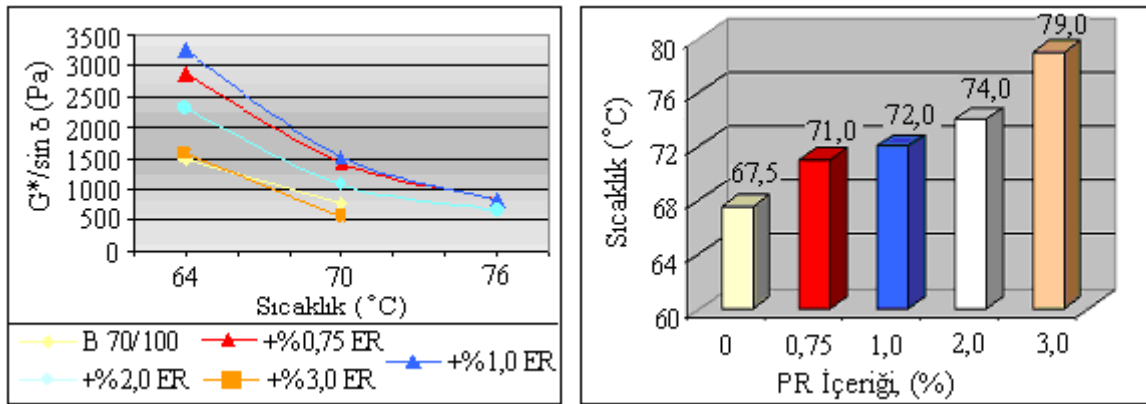
Saf ve Polyester reçine katkılı bağlayıcıların Superpave sistemine göre tekerlek izi dayanımı bakımından sağladığı yüksek sıcaklık performans seviyeleri Tablo 4.'te verilmiştir. % 0,75 – 1,0 ve 2,0 oranında PR kullanılması durumunda yüksek sıcaklık performans seviyesi bir basamak artarken % 3,0 oranında kullanılması durumunda iki seviye yükselmiştir.

**Tablo 4.**

Saf ve PR Modifiyeli Bağlayıcıların Sağladığı Yüksek Sıcaklık Performans Seviyeleri

PR 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	76	PG 76-Y

Yaşlandırılmamış bağlayıcılar üzerinde yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar kullanılarak çizilen  $G^*/\sin \delta$  – Sıcaklık grafiği Şekil 7.'de verilmiştir. Grafikten 1000 Pa. Şartname kriterini saf bağlayıcının yaklaşık  $67,5^{\circ}\text{C}$ 'de, %0,75 – 1,0 – 2,0 ve 3,0 ER modifiyeli bağlayıcının ise sırasıyla  $71,0$  –  $72,0$  –  $74,0$  ve  $79,0^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta sağladığı belirlenmiştir.



**Şekil 7.** PR Modifiyeli Bağlayıcılarda  $G^*/\sin \delta$  Değerinin Sıcaklıkla Değişimi.

#### 4. SONUÇ

64 ve 70°C sıcaklıkta yapılan deneylerden elde edilen bütün sonuçlar göz önüne alındığında bağlayıcılardaki PR oranı arttıkça tekerlek izine karşı dayanımın bir göstergesi olan  $G^*/\sin \delta$  değerinin arttığı belirlenmiştir. Bu artış bağlayıcıların yaşlandırılmasından önce arttığı gibi yaşlandırma işlemi yapılmış bağlayıcılarda da artmaya devam etmiştir. Ayrıca faz açısındaki ( $\delta$ ) azalma malzemenin daha fazla elastik özellik göstereceğini ifade etmektedir. Modifiye bağlayıcılardaki polyester reçine oranı arttıkça faz açısı azalmıştır. Bu nedenle polyester reçinenin bağlayıcının elastik davranışını olumlu yönde etkilediği söylenebilmektedir.

Saf ve PR modifiyeli bağlayıcıların Superpave sistemine göre performans seviyesini belirleyebilmek için yaşlandırılmamış bütün bağlayıcılar şartname kriterini sağlamayana kadar bir üst sıcaklık derecesinde denenmiştir. Orijinal bağlayıcının en son sağlayabildiği yüksek sıcaklık seviyesi performans seviyesini vermiştir. Ayrıca bu sıcaklık seviyesinde yaşlandırılmış bağlayıcılar DSR deneyine tabi tutularak elde edilen sonuçlar şartname kriteriyle karşılaştırılmış, bu sayede performans seviyesinin uygunluğu kontrol edilmiştir. Polyester reçine oranı arttıkça bağlayıcıların performans seviyesi artmıştır. Saf bağlayıcının yüksek sıcaklık performans seviyesi "PG 64-Y" olarak belirlenirken % 0,75 – 1,0 ve 2,0 PR modifiyeli bağlayıcının yüksek sıcaklık performans seviyesi "PG 70-Y" ve % 3,0 PR modifiyeli bağlayıcının "PG 76-Y" olarak belirlenmiştir. Modifikasyondaki PR oranı arttıkça orijinal bağlayıcılardaki sınır değerin (1000 Pa) sağlandığı sıcaklık değeri artmıştır (Saf bağlayıcıda 67,5°C, % 0,75 PR modifiyeli bağlayıcıda 71°C, % 1,0 PR modifiyeli bağlayıcıda 72°C, % 2,0 PR modifiyeli bağlayıcıda 74°C ve % 3,0 PR modifiyeli bağlayıcıda 79°C). Bu durum göz önüne alınarak polyester reçinenin bitümlü bağlayıcının özelliklerini olumlu yönde etkilediğini söylenebilmektedir.

<sup>1</sup> Bu çalışma 105M020 numaralı TÜBİTAK projesi tarafından desteklenmektedir

#### KAYNAKLAR

1. A. Tunç, Esnek Kaplama Malzemeleri El Kitabı. Ankara, (2004) 352.
2. L. Francken, Bituminous Binders And Mixes, Rilem Reports, E&FN Spon, (1998) 352.
3. D. Whiteoak, J. Read, The Shell Bitumen Handbook, London, (2003) 464.
4. F. Kaya, Ana hatlarıyla Plastikler ve Katkı Maddeleri. (2005) 294.
5. M. J. Khattak, G. Y. Baladi, Transportatiton Research Record, 1638 (1998) 12.
6. G. D Airey, Construction and Building Materials, 16 (2002) 473.

7. W.H. Daly, Q. Zhaoyao, I. Negulescu, Transportatiton Research Record, 1391 (1993) 56.
8. G. D. Airey, Rheological Properties of Styrene Butadiene Styrene Polymer Modified Road Bitumens, Fuel, 82(14) (2003) 1709.
9. TS 1081 EN 12591, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara. (2003) 17.
10. S. Kaşak, F. Orhan, S. Eribol, A. G. Güngör, Dördüncü Ulusal Asfalt Sempozyumu, K.G.M., Ankara, (2004) 405.
11. Superpave Mix Design. , Asphalt Institute, Superpave series, 2 (1996).
12. R. B. Mcgennis, S. Shuler, H. U. Bahia, Background of Superpave Asphalt Bınder Test Methods, FHWA-SA-94-069, (1994) 104.
13. J. P. Zaniewski, M. E. Asphalt Technology Program., (2004) 107.
14. TS EN 12607-1., Türk Standartları Enstitüsü, Ankara., (2003) 12.