

## SICAKLIK VE YÜKLEME HIZININ BETON ASFALT KAPLAMANIN RIJİTLİĞİNE ETKİSİ

Necati KULOĞLU, Baha Vural KÖK

**Özet** - Bitümlü karışımların rijitliğinin belirlenmesi için bir çok metod bulunmaktadır. Bütün bu metodlar farklı yükleme hızı ve sıcaklıklar kullandıklarından dolayı farklı sonuçlar vermektedir. Bu çalışmada, uzun süreli yükleme esas alınarak, sıcaklık ve yükleme hızının beton asfalt kaplamanın rijitliğine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla Marshall deney metoduna göre hazırlanan numunelere 0-10-20-30 °C'lerde ve 5-10kN/dk yükleme hızlarında gerilmeler uygulanmıştır. Gerilme deformasyon ilişkileri istatistiksel olarak ele alınıp numunelerin elastisite modülleri hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler, kısa süreli yüklemeyi esas alan Nibojer yaklaşımı ve Shell metodu ile karşılaştırılmıştır. Sonuçta uzun süreli yüklemenin 5kN/dk ve 30 °C için rijitlik, Nibojer yaklaşımı ile bulunan rijitliğe yakın çıkmıştır. Shell metodu ve uzun süreli yükleme arasında büyük bir uygunluk tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler** - Bitümlü Karışım, Uzun Süreli Yükleme, Sıcaklık, Rijitlik.

**Abstract** - There is a lot of method to determine the stiffness of bituminous mixes. Different results were obtained from these methods because of the different loading times and temperatures. In this study the effect of loading rate and temperature to stiffness of asphalt concrete was investigated base on long loading time. For this aim stress were applied to specimens prepared with Marshall method at 0-10-20-30 °C and 5-10 kN/min loading rate. The strain-stress relationship were considered statistically and elasticity modulus of specimens were calculated. The calculated values were compared with Nibojer and Shell method which use short loading time. Finally the stiffness obtained from long loading time at 5 kN/min and 30 °C was near the stiffness obtained from Nibojer method. A great accordance was determined between Shell method and the method using long loading time.

**Key Words** - Bituminous Mixes, Long Loading Time, Temperature, Stiffness.

N.Kuloğlu, B.V.Kök, F.Ü.Müh. Fak., İnşaat Müh. Bölümü, Elazığ.

### 1.GİRİŞ

Dünyada ve ülkemizde, yüksek standartlı karayolları ve havaalanlarında yapılacak esnek kaplamalar için bitümlü sıcak karışımlar (BSK) kullanılmaktadır. Bitümlü sıcak karışımlar termoplastik malzeme oluşu nedeniyle ısı arttıkça viskozluğu azalmaktadır. Özellikle yaz aylarında asfalt ısıyı absorbe ederek deformasyon direnci büyük ölçüde azalmaktadır. Tekerlek izi oluşumu, ondülasyonlar, ötelenme gibi kalıcı deformasyonların oluşumunda yüksek hava ısısı önemli sebeplerden biridir. Düşük ısılarda asfaltın viskozluğu artarak sertleşir. Sertleşme aşırı artarsa trafik yükleri altında oluşan çatlaklar kaplamanın kütleli ayrışmasına ve dolayısıyla stabilitesinin düşmesine neden olur. Kaplamalarda sık karşılaşılan düşük ısı çatlakları asfaltın sertleşmesinden kaynaklanmaktadır [1].

Kwang W Kim (1997) düşük ısılarda asfalt betonunda meydana gelen bozulmaları araştıran bir çalışma yapmıştır. Kiriş şeklinde hazırladığı numunelere -5°C'den -30°C'ye 5°C aralıklarla üç noktalı eğilme testi uygulamıştır. Sonuçta kırılma rijitliğinin, sıcaklığın -5 °C'den -15 °C'ye kadar düşmesi durumunda, arttığını daha sonra düşmeye başladığını tespit etmiştir. Kwang'a göre -5 ile -15 °C arasında termal büzülme nedeniyle mekanik adezyon artarak kırılma rijitliğini artırmıştır. -15°C'nin altında ise agrega ve asfalt çimentosunun termal büzülme katsayıları arasında büyük fark olması nedeniyle iç yapıda çözümler meydana gelmiş ve kırılma rijitliği düşmüştür [2].

Düşük ısılardaki bitümlü karışımların durumu üzerinde bir çok çalışma yapılmıştır. Kaplamada düşük ısıdan dolayı meydana gelecek çok küçük bir çatlak bile, çekme gerilmesinin yitirilmesinden dolayı kaplamanın çok düşük gerilmelerde bozulmasına neden olur [3,4].

Beton asfalt kaplamaların, viskoelastik davranışından ötürü, sıcaklık ve yükleme durumu altındaki davranışını anlamak, etkili bir tasarım hesaplamasında, rijitliğin önemlidir. Geçmişte tasarım hesaplamasında, rijitliğin belirlenmesi ve üstyapının performansının ölçülmesi için çeşitli metodlar kullanılmıştır. Rijitlik, bitümlü sıcak karışımların yükleme süresi (veya hızı) ve ısı etkisi

altında gerilme ve deformasyon arasındaki ilişkinin ifadesidir.

Asfalt kaplamaların rijitliğini ölçmede laboratuvar ve arazi deneyleri yapılmaktadır. Laboratuvar deneyleri, sünme kompliansı, kompleks modülü ve darbe rezonansını içerir. Arazi deneyleri ise tahrirath ve tahriratsız olacak şekilde yapılır. Laboratuvar deneylerine göre daha yüksek yüklemeye hızını kullanan arazi deneylerinden FWD (Falling Weight Deflectometer) ve yüzey dalgaları metodu en çok kullanılanlardır. Bütün bu deneyler farklı yüklemeye hızında yapıldıkları için çok farklı sonuçlar vermektedirler. Bu deneylerde yüklemeye hızı olarak üç tip kullanılmaktadır;

- Zamanla artan monoton yüklemeye,
- Belirli bir frekanstaki sinüsoidal yüklemeye,
- Sinüsoidal olmayan tekrarlı yüklemeye.

Fransa'da üst yapının tasarım hesaplamasında secant modülü kullanılmaktadır. Burada rijitliğin en önemli parametresi olan sıcaklık 15°C , yüklemeye zamanı 0,02 saniye olarak kabul edilmektedir. Secant modülünde yük zamanla artan monoton yüklemeye esastır. Amerika'da ise daha çok sinüsoidal olmayan tekrarlı yüklemeye esas alan rezilans modülü kullanılmaktadır. Kompleks modülü ise belirli bir frekanstaki sinüsoidal yüklemeye esas alır [5].

Jo Sias Daniel , beş farklı şekilde bulunan rijitlikler arasında bir ilişki kurmaya çalışmıştır. Bu amaçla laboratuvar ve arazi deneylerini karşılaştırmıştır. Sadece arazi testlerini kullanarak dinamik modülün tahmin edilmesini amaçlamıştır. Sonuçta sünme kompliansından elde edilen relaxasyon modülü ve sünme rijitliği arasında, önemli olan, orta zaman aralığında (1E-4 , 1E+2) %100 farklılıklar olduğunu tespit etmiştir. Frekans ve rijitliğin logaritmik eksenlerde lineer olması durumunda laboratuvar rijitliklerinin arazi testlerinden tahmin edilebileceğini belirtmiştir [6].

Reynoldo Roque, süperpave indirekt çekme testini, sünme testi ve rezilans modülünden asfalt karışımların kısa süreli rijitliklerini bulmak için modifiye etmiştir. Bu şekilde asfalt üst yapıların tasarımında en çok kullanılan parametre olan rezilans modülünün hassas bir şekilde hesaplanmasını amaçlamış ve kısa süreli yüklemeye rijitliklerinin, yüklemeye hızındaki küçük değişikliklere karşı büyük hassasiyet gösterdiğini belirtmiştir [7].

Yapılan çalışmalar başta yüklemeye hızı ve sıcaklığın rijitlikte en önemli parametreler olduğunu, rijitlik değerleri arasındaki farklılıkların deneyde kullanılan yüklemeye hızlarındaki farklılıklardan kaynaklandığını ileri sürmektedir. Ve bu metodlar arasında bir ilişki kurulmaya çalışılmıştır. Bu çalışmada ise yeni bir metod

olarak zamanla artan yüklemeye maruz beton asfalt kaplamanın uzun süreli yüklemeye rijitlikleri farklı sıcaklıklarda hesaplanmış, Shell Metodu ve Nibojer Yaklaşımı ile aralarındaki ilişki araştırılmıştır.

### I.1 Shell Metodu

Burada en önemli parametreler yüklemeye hızı ve sıcaklıktır. Ayrıca hesaplamalara agrega konsantrasyonu ve bitümün penetrasyon indeksi de katılmıştır.

$$C_v = VA / (VA+VB)$$

$$C_v = \text{Asfalt karışımındaki agrega hacmi,}$$

$$VA = \text{Hacim olarak agrega yüzdesi,}$$

$$VB = \text{Hacim olarak bitüm yüzdesi.}$$

Boşluk oranı %3'ten fazla olması durumunda  $C_v$  düzeltilmesi yapılır.

$$C_v' = C_v / [0,97 + 0,01 \cdot (100 - (VA+VB))]$$

Bitümün rijitliği ( $S_b$ ) Van der Poel nomografından türetilmiştir.

$$S_b = 1,157 \cdot 10^{-7} \cdot tw^{-0,368} \cdot \exp(-PI) \cdot (TRB-T)^5$$

$S_b$  = Bitümün rijitliği (Mpa),  
 $tw$  = Yüklemeye zamanı (saniye), ( $0,01 < tw < 0,1$ ),  
 $PI$  = Penetrasyon indeksi ( $-1 < PI < +1$ ),  
 $TRB$  = Yüzük bilye metoduna göre bitümün yumuşama noktası,

$T$  = Sıcaklık (°C)

Bitümlü karışımın rijitliği  $E$  (Mpa), formül 1 ile hesaplanmaktadır.

$$E = S_b \cdot [1 + (2,5/n) \cdot C_v' / (1 - C_v')]^n \dots \dots \dots (1)$$

$$n = 0,83 \cdot \log (40000/S_b).$$

Bu metotla bulunan rijitlikler eğilme deneyine göre daha iyi sonuçlar vermektedir. Yüksek sıcaklıklarda eğilme deneyi gerçek dışı değerler vermektedir [8].

### I.2 Nibojer Yaklaşımı

Nibojer Marshall numunelerinin rijitlik modüllerinin tespiti için şu kabulleri yapmıştır,

- Numunelere cihazdan etkiyen yük numunenin maksimum kesit alanı üzerinde üniform olarak yayılır.
- Tatbik yükü dikey yönde gelişen deformasyon ile doğrudan ilişkilidir. Bu kabullere göre rijitlik  $60^\circ\text{C}$  ve 4 saniye için formül 2'den bulunur [1].

$$SN = 1,6 P / F \dots \dots \dots (2)$$

$SN$  = Rijitlik modülü ( $\text{kg/cm}^2$ ),  
 $P$  = Marshall stabilitesi (kg),  
 $F$  = Akma (mm).

## II. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada beton asfalt kaplamanın rijitliğini tespit edebilmek için uzun yüklemeye süresinde, farklı yük seviyelerindeki gerilme-şekil değiştirme değerleri istatistiksel olarak ele alınıp hesaplamalar yapılmıştır. Bu amaçla fiziksel özellikleri Tablo 1 ve 2'de verilen asfalt çimentosu ve agrega ile Tablo 3 de verilen agrega gradasyonu kullanılarak Marshall numuneleri hazırlanmıştır. Bu numunelerin üç ayrı yerden yükseklikleri, havadaki kuru ve doymuş yüzey ağırlıkları ölçülmüş ve boşluk oranı ( $V_h$ ), agregalar arasındaki boşluk oranı ( $V_{ma}$ ) ve asfaltla dolu boşluk oranları ( $V_f$ ) hesaplanarak birbiriyle farklı özellikler gösteren numuneler iptal edilmiştir.

Tablo 1. Asfalt çimentosunun fiziksel özellikleri.

Penetrasyon (TS 118)	95
Düktülite (cm) (TS 119)	90
Yumuşama noktası (°C) (TS 120)	48
Birim ağırlık ( $\text{gr/cm}^3$ ) (TS 1087)	1,022
Penetrasyon indeksi	0,523

Tablo 2. Agreganın fiziksel özellikleri.

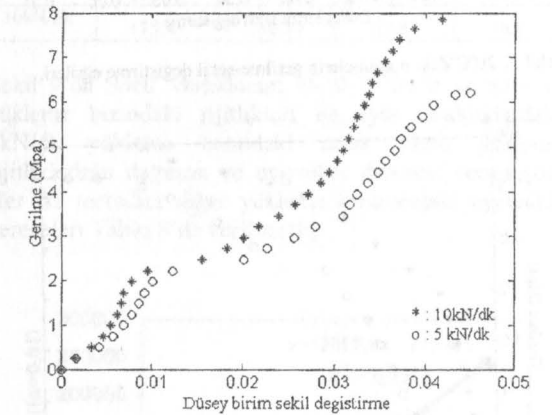
Aşınma kaybı, % (Los Angeles) (TS 3694)	30
Donma kaybı, % ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) (TS 3655)	6,16
Su absorpsiyonu, % (TS 3526)	0,88
Kaba agrega birim ağırlığı ( $\text{gr/cm}^3$ ) (ASTM C 127)	2,70
İnce agrega birim ağırlığı ( $\text{gr/cm}^3$ ) (ASTM C 128)	2,67
Filler birim ağırlığı ( $\text{gr/cm}^3$ ) (ASTM D 854)	2,66

Tablo 3. Agrega gradasyonu .

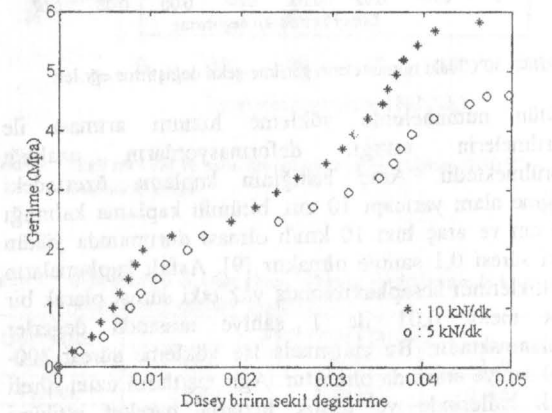
Elek boyutu (mm)	19	12,5	9,5	4,75	2	0,425	0,18	0,075
% geçen	100	88,5	75	56	40	20	12,5	7

24 saat  $0-10-20-30^\circ\text{C}$ 'lerde bekletilen Marshall numunelerine 5 ve 10 kN/dk yüklemeye hızlarında serbest basınç uygulanmıştır. Deneyde her sıcaklık ve yüklemeye hızı için üç numune test edilerek ortalama değerleri alınmıştır. Numunelere yatay ve düşey doğrultuda komparatörler yerleştirilerek her 2 kN'da yüzeye dik ve paralel birim şekil değiştirmeler hesaplanmıştır. Şekil 1-4'de Marshall numunelerinin, farklı yüklemeye hızlarında ve farklı sıcaklıklardaki gerilme-şekil değiştirme eğrileri verilmiştir.

Şekil 1 - 4 'den numunelerin hepsinin 2 Mpa gerilme değerine kadar elastik bir özellik gösterdiği söylenebilir. Bu esnada gerilme kaldırıldığında deformasyonlar büyük ölçüde geri dönecektir. 2 Mpa sınırından sonra numunelerde çözümler meydana gelerek kalıcı deformasyonlar oluşmaya başlamıştır. Bu oluşum  $0^\circ\text{C}$  ve  $10^\circ\text{C}$ 'lerde hızlı bir şekilde geçilerek numuneler tekrar kendini toparlama eylemi içerisine girmiştir.  $20^\circ\text{C}$  ve  $30^\circ\text{C}$ 'lerde ise bu süreç daha uzun sürmüş ve numuneler kırılmıştır.

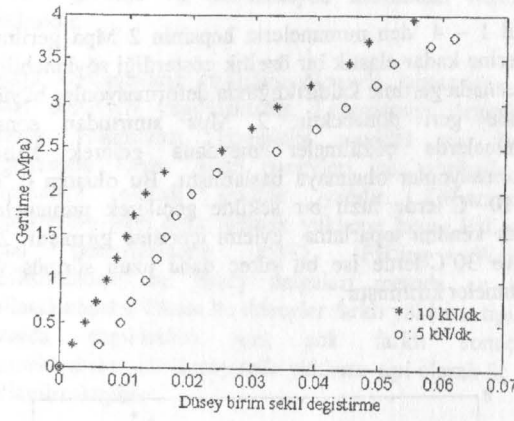


Şekil 1.  $0^\circ\text{C}$ 'deki Numunelerin gerilme-şekil değiştirme eğrileri.

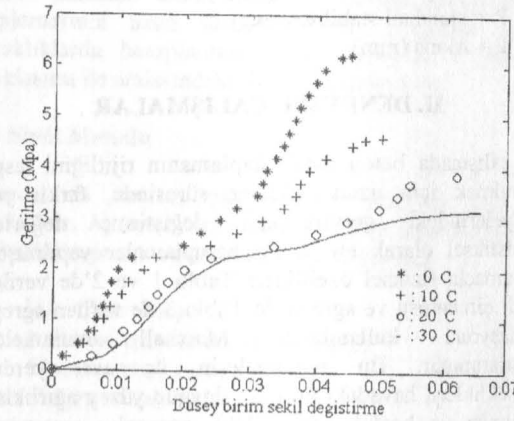


Şekil 2.  $10^\circ\text{C}$ 'deki numunelerin gerilme-şekil değiştirme eğrileri.

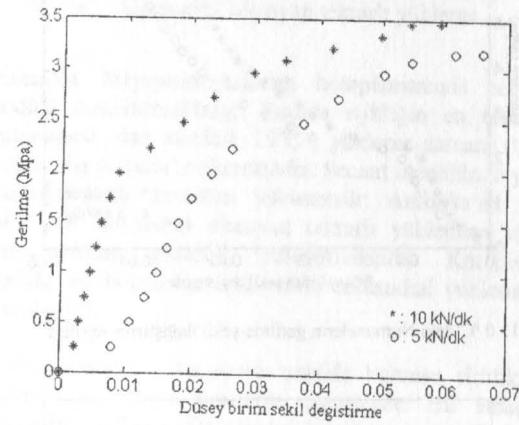




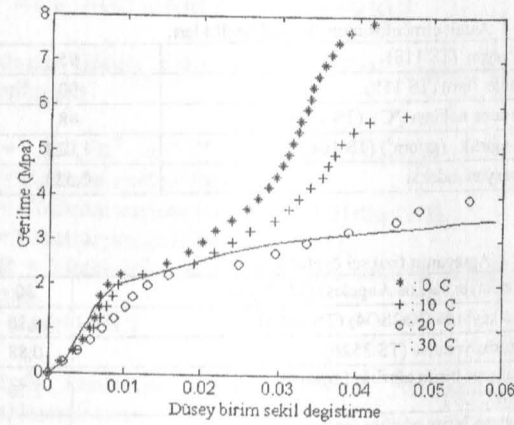
Şekil 3. 20°C'deki numunelerin gerilme-şekil değiştirme eğrileri.



Şekil 5. 5 kN/dk yükleme hızındaki numunelerin gerilme-şekil değiştirme eğrileri.



Şekil 4. 30°C'deki numunelerin gerilme-şekil değiştirme eğrileri.



Şekil 6. 10 kN/dk yükleme hızındaki numunelerin gerilme-şekil değiştirme eğrileri.

Bütün numunelerde yükleme hızının artması ile gerilmelerin arttığı, deformasyonların azaldığı görülmektedir. Araç lastiğinin kaplama üzerindeki değme alanı yarıçapı 10 cm, bitümlü kaplama kalınlığı 10 cm ve araç hızı 10 km/h olması durumunda yükün etki süresi 0,1 saniye olmaktadır [9]. Asfalt kaplamaların rijitliklerinin hesaplanmasında yük etki süresi olarak bir çok metot 0,01 ile 1 saniye arasında değerler kullanılmaktadır. Bu çalışmada ise yükleme süresi 300-400 saniye arasında olmuştur. Ağır taşıtların uzun süreli park hallerinde ve düşük hızlarla hareket ettikleri yerlerde, uzun yükleme süreleri söz konusu olmaktadır. Şekil 5 ve 6'da 5kN/dk ve 10kN/dk yükleme hızlarındaki numunelerin gerilme-şekil değiştirme eğrileri bir arada verilmiştir.

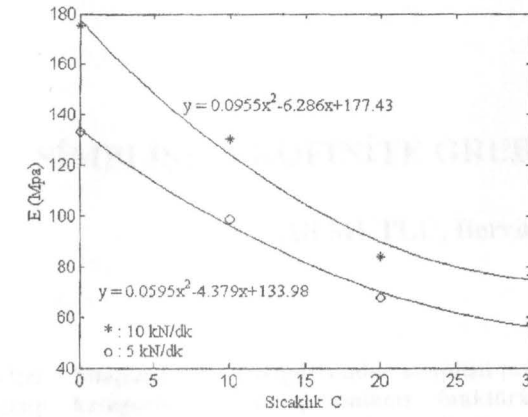
Asfalt betonunun elastisite modülünün (E) hesaplanmasında uzun yükleme süresini esas alan bu metotta, 0,246 Mpa gerilme artışlarında meydana gelen düşey birim şekil değiştirmeler ( $\epsilon_y$ ) ve gerilmeler istatistiksel olarak ele alınıp, formül 3 ile elastisite modülleri hesaplanmıştır [10].

$$E = \frac{\sum \sigma \cdot \epsilon_y}{\sum \epsilon_y^2} \dots \dots \dots (3)$$

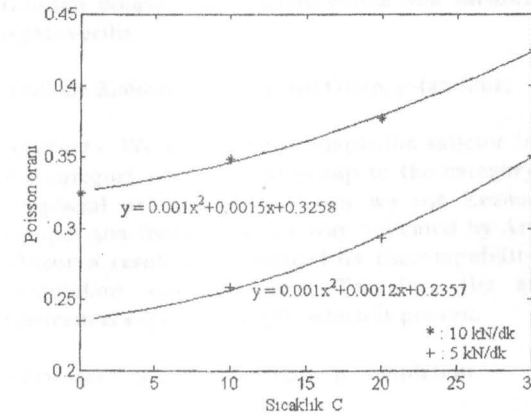
Numunelerin nihai yatay ve düşey birim şekil değiştirmelerin oranı ile poisson oranları ( $\nu$ ) hesaplanmıştır. Farklı yükleme hızı ve sıcaklıklardaki numunelerin elastisite modülleri ve poisson oranları Tablo 5'de bunlara ilişkin eğriler ise Şekil 7 ve 8'de verilmiştir.

Tablo 5. Farklı sıcaklık ve yükleme hızlarındaki E ve  $\nu$  değerleri.

	Sıcaklık (°C)	0	10	20	30
		5 kN/dk	E (Mpa)	133,07	98,87
	$\nu$	0,235	0,259	0,293	0,351
10 kN/dk	E (Mpa)	175,43	130,14	83,89	86,81
	$\nu$	0,325	0,349	0,377	0,425



Şekil 7. E-Sıcaklık ve yükleme hızı ilişkisi.



Şekil 8. Poisson oranı - Sıcaklık ve yükleme hızı ilişkisi.

Nibojer metodu için 5 marshall numunesi, marshall stabilite aletinde kırılmış ve ortalama stabilite 1250 kg, ortalama akma ise 4,00 mm olarak bulunmuştur. Bu metoda göre beton asfalt kaplamasının rijitlik modülü 50 Mpa bulunmaktadır. Burada yükleme süresi 4 saniye sıcaklık 60 °C dir. Nibojer metodu ile bulunan 50 Mpa değeri, uzun yükleme süresini esas alan metodun 30 °C ve 0,5 kN/dk hız ile bulunan 57,04 değerine yakın bir değerdir.

Shell Metodu ile bulunan rijitlikler ile uzun süreli yükleme rijitlikleri arasındaki ilişkiyi araştırmak için Shell Metodunun üç farklı hız değerindeki rijitlikleri, her sıcaklıkta test edilecek numunelerin ayrı ayrı hacimsel agrega ve bitüm yüzdeleri hesaplanarak elde edildi. Shell metodu ve uzun süreli yükleme deneyinde ortak olan parametreler yükleme hızı ve sıcaklıktır. Sıcaklık her iki yöntemde de aynı, yükleme hızları ise farklıdır. Tablo 6'da Shell Metodunun Tablo 7'de uzun süreli yükleme metodunun 0-30 °C'lerde ve farklı yükleme hızlarında hesaplanan rijitlikleri verilmiştir.

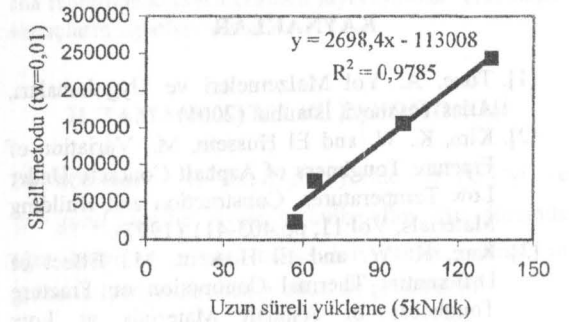
Tablo 6. Shell Metoduna göre rijitlikler.

tw	Sıcaklık (°C)			
	0	10	20	30
0,01	243000	156330	78046	24495
0,05	194630	119240	56707	16922
0,10	175360	105390	49163	14377

Tablo 7. Uzun süreli yükleme rijitlikleri.

Yükleme hızı	Sıcaklık (°C)			
	0	10	20	30
5kN/dk	133,07	98,87	64,45	57,04
10kN/dk	175,43	130,14	83,89	76,81

Şekil 9'da Shell Metodunun, 0-30 °C'lerde ve 0,01 sn yükleme hızındaki rijitlikleri ile aynı sıcaklıklardaki 5kN/dk yükleme hızındaki uzun süreli yükleme rijitliklerinin dağılımı ve uygunluk derecesi verilmiştir. Her iki metodun diğer yükleme hızlarındaki uygunluk dereceleri Tablo 8'de verilmiştir.



Şekil 9. Shell metodu ve uzun süreli yükleme rijitliğinin, 0-30 °C arasındaki ilişki

Tablo 8. Shell metodu ve uzun süreli yükleme rijitliklerinin farklı yükleme hızlarındaki uygunlukları.

Uzun süreli yükleme	Shell metodu tw (sn)		
	0,01	0,05	0,10
5 kN/dk	0,9785	0,9846	0,9863
10 kN/dk	0,9713	0,9783	0,9804

Tablo 8'den Shell Metodu rijitlikleri ile uzun süreli yükleme rijitlikleri arasındaki ilişkiyi araştırmak için Shell Metodunun 0,10 sn yükleme hızında, uzun süreli yükleme de ise 5kN/dk yükleme hızında daha fazla olduğu görülmektedir.

### III. SONUÇ

Deneysel çalışmalar bitümlü karışımların viskoelastik ve termoplastik özelliklerini sergilemektedir. Uzun süreli yüklemelerde numunelerin 2 Mpa gerilme değerine kadar elastik özellik gösterdiği tespit edilmiştir. Elastik gerilme sınırı aşan numunelerde belirli bir süre kalıcı deformasyonlar oluştuğundan sonra tekrar elastik özellik gösterip sıcaklık ve yükleme hızına bağlı olarak farklı değerlerde kırılmışlardır. 10 kN/dk yükleme hızına maruz bırakılan 0 °C'deki numuneler elastik sınır gerilmesinin 4 katı, 10 °C'deki numuneler 3 katı, 20 °C'deki numuneler 2 katı ve 30 °C'deki numuneler 1,5 katı gerilme değerlerinde kırılmışlardır. Sıcaklığın artması ile deformasyonlar artmış gerilmeler düşmüştür. Yükleme hızının artması ile tam tersi olmuştur. Numunelerin elastisite modülleri gerilme birim şekil değiştirme değerlerinden istatistiksel olarak hesaplanmıştır. Numunelerin rijitlikleri Nibojer ve Shell Metoduna göre bulunan değerlerle karşılaştırılmıştır. Sonuçta uzun süreli yüklemenin 5kN/dk ve 30 °C için rijitlik, Nibojer yaklaşımı ile bulunan rijitliğe yakın çıkmıştır. Shell Metodu ve uzun süreli yükleme arasında büyük bir uygunluk tespit edilmiştir.

### KAYNAKLAR

- [1]. Tunç, A. Yol Malzemeleri ve Uygulamaları, Atlas Yayınevi, İstanbul (2001).
- [2]. Kim, K. W. and El Hussein, M., Variation of Fracture Toughness of Asphalt Concrete Under Low Temperatures. Construction and Building Materials, Vol:11, pp.403-411 (1997).
- [3]. Kim, K. W. and El Hussein, M., Effect of Differential Thermal Contraction on Fracture Toughness of Asphalt Materials at Low Temperature, Journal of AAPT, 64 (1995).
- [4]. Moavenzadeh, F., Asphalt Fracture. Proceedings, AAPT, 36, pp:51-79 (1967).
- [5]. Francken, L., Bituminous Binders and Mixes, Rilem Report, London, 146 (1998).
- [6]. Daniel, J.S. and Kim, R.Y., Relationships Among Rate- Dependent Stiffnesses of Asphalt concrete Using Laboratory and Field Test Methods. Transportation Research Record 1630, pp.3-9.
- [7]. Roque, R.,Buttlar, G.W., Short loading Time Stiffness From Creep, Resilient Modulus, and Strength Tests Using Superpave Indirect Tension Test. Transportation Research Record 1630, pp.10-20.
- [8]. Ullidtz, P., Pavement Analysis, New York, 108-109 (1987).
- [9]. Kuloğlu, N., Bitüm ve Bitümlü Sıcak Karışımların Rijitliğine Etki Eden Parametreler Türk J Environ Sci, Tübitak, 25, 61-67 (2001).
- [10]. Postacıoğlu, B., Cisimlerin Yapısı ve Özellikleri, İstanbul (1981).

