

Bitüm ve Bitümlü Sıcak Karışımların Rijitliğine Etki Eden Parametreler

Necati KULOĞLU

*Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Elazığ-TÜRKİYE*

Geliş Tarihi 09.02.2000

Özet

Bu çalışmada, bitüm ve bitümlü karışımların elastik ve plastik rijitliklerine etki eden parametreler matematik modeller kullanılarak incelenmiştir. Bitümün elastik rijitliğine etki eden parametreler; yükün etki süresi, penetrasyon indeksi, yumuşama noktası ve sıcaklıktır. Bitümün plastik rijitliğine etki eden parametreler ise viskozite ve yükün toplam etki süresidir. Karışımın elastik rijitliğine, bitüm elastik rijitliği ve agrega hacimsel konsantrasyonu etki etmektedir. Karışımın plastik rijitliği ise doğrudan bitümün plastik rijitliğine bağlıdır. Bitüm ve bitümlü karışımların gerek elastik ve gerekse plastik rijitlikleri üzerinde etkili olan en önemli parametre yumuşama noktası ile sıcaklık arasındaki farktır. Bu nedenle bitümlü kaplamalarda kullanılacak bitüm sınıfının kaplamanın yapıldığı bölgenin en yüksek ve en düşük sıcaklık değerleri dikkate alınarak seçilmesi, kaplamalarda zamanla oluşabilecek bozulmaların önlenmesi bakımından çok önemlidir.

Anahtar Sözcükler: Bitüm, Bitümlü karışımlar, Rijitlik, Parametreler

Parameters which Affect the Stiffness of Bitumen and Bituminous Hot Mixes

Abstract

This paper deals with bitumen and bituminous mixes, using suitable mathematical models that take into account the parameters affecting their elastic and plastic stiffnesses. These parameters are stress level and acting time, penetration index, softening time and temperature.

Viscosity and the total acting time of the load affect the elastic stiffness of bitumen. The elastic stiffness of bitumen and the voluminous concentration of the aggregate influence the elastic stiffness of the mix. The plastic stiffness of the mix is directly dependent on the plastic stiffness of bitumen. The most important parameter affecting the elastic as well as plastic stiffness of bitumen and bitumen mixes is the difference between the softening point and the temperature.

For this reason, the quality of bitumen must be determined with respect to the maximum and minimum temperatures in the region to prevent damage surfacing over time.

Key Words: Bitumen, Bituminous Mixes, Stiffness, Parameters.

1. Giriş

Yol üstyapısı; kaplama, temel ve alttemel olmak üzere üç tabakadan oluşmaktadır. Bu tabakalar içerisinde, fonksiyonel olarak, proje-

lendirme ve yapım bakımından en önemli yeri kaplama tabakası tutmaktadır. Kaplama tabakası araçların yola uyguladıkları dinamik ve statik yüklerin doğurduğu gerilmelerin büyük bir kısmını

da karşılamak durumundadır. Bu nedenle kaplama tabakasında kullanılacak malzemelerin mekanik ve fiziksel özelliklerinin iyi olması gerekir.

Günümüzde en çok uygulanan kaplama tipi sıcak karışım kaplamalardır. Bunlar içerisinde de en yaygın olanı asfalt betonu kaplamalardır. Asfalt betonu; asfalt çimentosu ve agregası karışımından oluşan bitümlü sıcak karışımdır. Bitümlü sıcak karışımlar; bitüm ve agregası olmak üzere iki ana bileşenden oluşan üç fazlı bir sistemdir. Agregası katı fazı, bitüm sıvı fazı ve boşluklar gaz fazını oluştururlar. Sıvı fazı oluşturan bitüm, termoplastik ve viskoelastik bir malzemedir. Viskoelastik malzemeler yüksek hızlı yüklemelerde elastik davranış ve yüksek mukavemet gösterirken, düşük hızlı yüklemelerde viskoz davranış ve düşük mukavemet gösterirler. Termoplastik malzemeler yüksek sıcaklıklarda düşük mukavemet, düşük sıcaklıklarda ise yüksek mukavemet gösterirler. Bitüm'ün bu özellikleri bitümlü karışımlara da yansıdığı için, kaplamalarda bir takım bozulmalar meydana gelir. Örneğin; düşük sıcaklıklarda sertleşerek rijitliği artan kaplama plastik deformasyonlara karşı iyi mukavemet gösterirken, ayrışmalara ve çatlamalara karşı mukavemetini koruyamaz. Buna karşılık, yüksek sıcaklıklarda stabilite büyük ölçüde azalmakta, tekerlek izi oluşumu, ondülasyon gibi bozulmalar meydana gelmektedir.

Bu çalışmada; matematiksel modeller kullanılarak, bitüm ve bitümlü karışımların rijitliğine etki eden parametreler incelenmiş ve bu parametrelerin rijitlikler üzerindeki etkileri ortaya konulmuştur.

2. Rijitliğe Etki Eden Parametreler

Bu çalışmada, bitüm ve bitümlü karışımların rijitliğine etki eden parametreler ayrı ayrı incelenmiştir.

2.1. Bitüm Rijitliğine Etki Eden Parametreler

Bitüm rijitliğini veren (1) eşitliği Van der Poel tarafından geliştirilmiştir (Ullidtz, 1987; Collop ve arkadaşları, 1995).

$$S_{b,e} = 1,157 \times 10^{-7} \times t_w^{-0,368} \times \exp(-PI) \times (T_{H,B} - T)^5. (1)$$

Burada, $S_{b,e}$ Bitüm elastik rijitliği (MPa), t_w

Yükün etki süresi (s), PI Penetrasyon indeksi, $T_{H,B}$ Yumuşama noktası (Halka- Bilya metodu ile hesaplanan) ($^{\circ}C$), T Bitüm sıcaklığı ($^{\circ}C$)

Bitüm'ün plastik rijitliği ise (2) eşitliği ile verilmiştir (Ullidtz, 1987).

$$S_{b,p} = 3v/t_a (2)$$

Burada, $S_{b,p}$ Bitüm'ün plastik rijitliği (MPa), v Bitüm'ün viskozitesi ($N.s/m^2$), t_a N sayıda geçen yükün toplam etki süresi (s).

Bitüm viskozitesi yaklaşık olarak (3) eşitliği ile bulunur.

$$v = 1,3 \times 10^{[3+(T_{H,B}-T)/10]} (3)$$

(1), (2) ve (3) eşitlikleri incelendiğinde; bitüm rijitliğine etki eden parametrelerin t_w , t_a , PI , $T_{H,B}$ ve T olduğu görülmektedir. Yoldan geçen araçların kaplamaya uyguladıkları yüklerin etki süresi ise 0,01-0,1 saniye arasında değişmektedir (Umar ve Ağar, 1985; Ullidtz, 1987). Karayolu kaplamalarında kullanılan bitümlerin PI değerleri -1 ile $+1$ arasındadır (Jackson ve Dhir, 1988). Ayrıca, $(T_{H,B} - T)$ ısı farkı da $10^{\circ}C$ ile $60^{\circ}C$ arasında sınırlandırılmıştır. Bu parametrelerden $T_{H,B}$ ve PI 'nin bitüm penetrasyonu ile ilişkileri (4) ve (5) eşitliklerinde açıkça görülmektedir (Ullidtz ve Peattie, 1980).

$$T_{H,B} = 95,81 - 24,84 \times \log(Pen_{25}) (4)$$

$$PI = [20T_{H,B} + 500 \log(Pen_{25}) - 1551,55] / [T_{H,B} - 50 \log(Pen_{25}) + 120,15] (5)$$

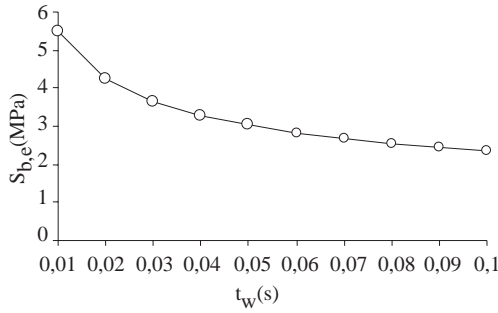
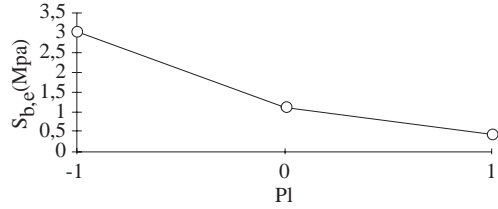
Burada, Pen_{25} $25^{\circ}C$ 'deki standart penetrasyon değeridir.

PI değeri için (5) eşitliğine benzer bir bağıntı 1936 yılında Pfeiffer ve van Doormaal tarafından geliştirilmiştir (Jackson ve Dhir, 1988). Parametrelerin bitüm rijitliğine etkileri, (1) eşitliği kullanılarak Tablo 1, Tablo 2 ve Tablo 3'de hesaplanmış ve Şekil 1, Şekil 2, Şekil 3'de grafik olarak gösterilmiştir. Tablo 1'in hesaplanmasında; $T_{H,B} - B = 20^{\circ}C$, $PI = -1$, Tablo 2'nin hesaplanmasında; $T_{H,B} - B = 20^{\circ}C$, $t_v = 0,05$ s, Tablo 3'ün hesaplanmasında; $t_v = 0,05$ s ve $PI = -1$ olarak sabit tutulmuştur.

Tablo 1. $S_{b,e}$ 'nin t_w ile değişimi

t_w (s)	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1
$S_{b,e}$ (MPa)	5,48	4,25	3,66	3,29	3,03	2,83	2,68	2,55	2,44	2,35

Şekil 1'de de görüldüğü gibi yükün etki süresi arttıkça bitüm'ün elastik rijitliği düşmektedir. Pratikte yükün etki süresi araç hızı ile ilgilidir. Örneğin, Araç lastiğinin kaplama üzerindeki değme alanı yarı çapı 10 cm, bitümlü kaplama kalınlığı 10 cm ve araç hızı 10 km/h olması durumunda yükün etki süresi 0,1s olmaktadır. Aynı şartlar altında araç hızının 12 km/h'e çıkarılması ile etki süresi 0,09 s olmakta ve rijitlik % 60 artmaktadır. Araç hızının artırılmasının mümkün olmadığı tırmanma şeritleri gibi yerlerde rijitliği artırmanın bir başka yolu kaplama kalınlığını artırmaktır.

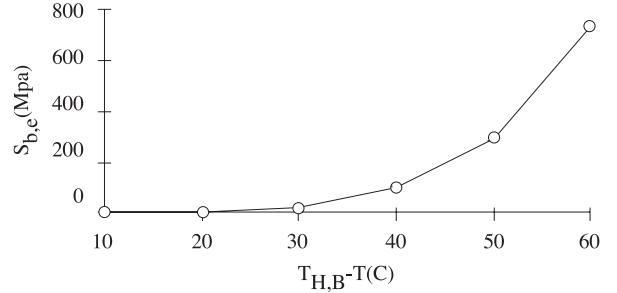
**Şekil 1.** $S_{b,e}$ 'nin t_w ile Değişimi**Şekil 2.** $S_{b,e}$ 'nin PI ile değişimi**Tablo 2.** $S_{b,e}$ 'nin PI ile değişimi

PI	-1	0	+1
$S_{b,e}$ (MPa)	3,03	1,11	0,41

Şekil 2'de de görüldüğü gibi PI değeri (-) den (+) a gittikçe bitüm rijitliği düşmektedir. Son yıllarda bitüm özelliklerini iyileştirmek amacı ile yapılan bitüm modifikasyonunda amaçlardan birisi de PI değerini yükselterek bitümün sıcaklığa karşı hassasiyetini azaltmaktır (Uluçaylı, 1998). (5) eşitliğinde de görüldüğü gibi PI değerini etkileyen iki önemli faktör, penetrasyon ve yumuşama noktası değerleridir.

Tablo 3. $S_{b,e}$ 'nin ($T_{H,B} - T$) ile değişimi

$T_{H,B} - T$ ($^{\circ}C$)	10	20	30	40	50	60
$S_{b,e}$ (MPa)	0,09	3,03	23,01	96,98	295,95	736,41

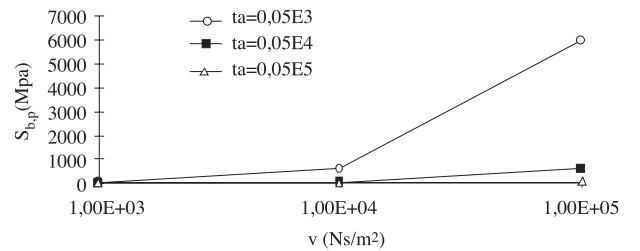
**Şekil 3.** $S_{b,e}$ 'nin ($T_{H,B} - T$) ile değişimi

Şekil 3'de bitüm yumuşama noktası ile bitüm sıcaklığı arasındaki fark arttıkça rijitliğin de arttığı görülmektedir. Bitüm sıcaklığı yumuşama noktasına yaklaştıkça rijitlik de sifira yaklaşmaktadır. Buradan, bitüm modifikasyonunda kullanılan katkı maddelerinin bitüm yumuşama noktasını artırması gerekliliği sonucu ortaya çıkmaktadır.

Bitüm'ün plastik rijitliği, değişik v ve t_a değerlerine bağlı olarak (2) eşitliği ile hesaplanmış ve Tablo 4'de verilmiştir. Tablo 4'deki değerler Şekil 4'de grafik olarak gösterilmiştir.

Tablo 4. $S_{b,p}$ nin v ve t_a ile değişimi

v (N. s/m ²)	$t_a = 0,05E3$	$t_a = 0,05E4$	$t_a = 0,05E5$
	$S_{b,p}$ (MPa)	$S_{b,p}$ (MPa)	$S_{b,p}$ (MPa)
1E3	60	6	0,6
1E4	600	60	6
1E5	6000	600	60

**Şekil 4.** $S_{b,p}$ 'nin v ve t_a ile değişimi

Şekil 4'de görüldüğü gibi, viskozite artışı plastik rijitliği artırırken, yükün toplam etki süresinin artışı plastik rijitliği düşürmektedir. Viskoziteyi etkileyen en önemli etken $T_{H,B}$ değeridir. $T_{H,B}$ değeri ne kadar yüksek olursa viskozite ve buna bağlı olarak plastik rijitlik o oranda artacaktır.

2.2. Bitümlü Karışımların Rijitliğine Etki Eden Parametreler

Heukelam ve Klomp, Van der Poel'in etütlerine dayanarak karışım rijitliği için (6) eşitliğini geliştirmişlerdir (Uluçaylı, 1975; Ullidtz, 1987).

$$E = S_{b,e} \times [1 + (2,5/n) \times C'_v / (1 - C_v)]^n \quad (6)$$

Burada C'_v karışımdaki agrega hacim konsantrasyonunu belirtmekte olup (7) eşitliğinden bulunur.

$$C'_v = C_v / [0,97 + 0,01(100 - (VA - VB))] \quad (7)$$

$$C_v = VA / (VA + VB) \quad (8)$$

Burada, VA agrega hacmi (%), VB bitüm hacmi(%)

(6) eşitliğindeki n ise (9) eşitliği ile hesaplanır.

$$n = 0,83 \times \log(40000 \text{MPa} / S_{b,e}) \quad (9)$$

Bitümlü karışımın plastik rijitliği bitüm'ün plastik rijitliğine bağlı olarak (10) eşitliği ile bulunur.

$$E_p = A \times S_{b,p}^B \quad (10)$$

Burada, A ve B sabitlerdir. A'nın değeri 70 ile 90, B'nin değeri ise 0,3 ile 0,5 arasındadır.

(6) ve (10) eşitlikleri incelendiğinde karışım rijitliğini etkileyen parametrelerin , bitüm rijitlikleri ve agrega hacimsel konsantrasyonu olduğu görülmektedir. Agrega hacimsel konsantrasyonunu temsil eden (7) eşitliği karışımdaki boşluk oranı (V_h) % 3 ve daha büyük değerleri için geçerlidir. Boşluk oranının % 3 olması durumunda $C'_v = C_v$ olur.

Bitümlü karışımların elastik rijitliklerinin V_h ile değişimi (6) eşitliği ile hesaplanmış, Tablo 5'de verilmiş ve Şekil 5'de grafik olarak gösterilmiştir. Tablo 5'in hesaplanmasında; $W_b = \%5$, $W_a = \%95$, $\gamma_a = 2,7$, $\gamma_b = 1,02$ olarak alınmıştır.

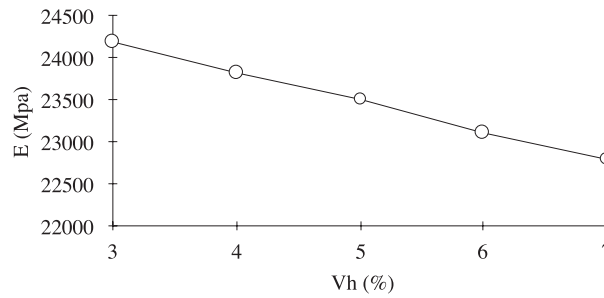
Tablo 5. V_h 'ye bağlı olarak E değerleri

V_h (%)	VA(%)	VB(%)	C_v	C'_v	n	$S_{b,e}$ (MPa)	E (MPa)
3	85,15	11,85	0,878	0,878	1,66	400	24195
4	84,26	11,74	0,878	0,869	1,66	400	23819
5	83,39	11,61	0,878	0,861	1,66	400	23487
6	82,51	11,49	0,878	0,852	1,66	400	23116
7	81,63	11,37	0,878	0,844	1,66	400	22788

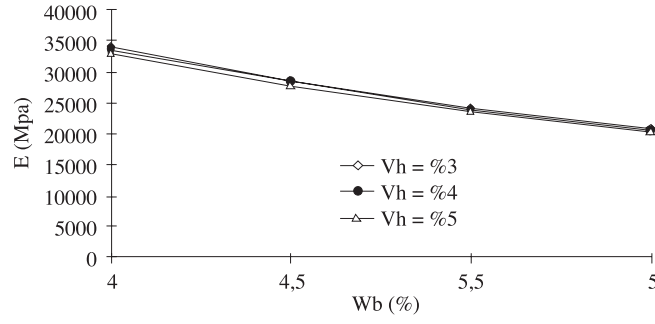
Şekil 5'de boşluk oranı artışının karışımın elastik rijitliğini düşürdüğü görülmektedir.

Bitümlü karışımın değişik agrega ve bitüm oranlarındaki rijitlik değerleri Tablo 6'da verilmiş, Şekil

6'da grafik olarak gösterilmiştir. Tablo 6'nın hesaplanmasında; $S_{b,e} = 400$ Mpa, $\gamma_a = 2,7$, $\gamma_b = 1,02$ olarak alınmıştır.



Şekil 5. E'nin V_h ile değişimi

Şekil 6. E 'nin W_b 'ye göre değişimi

Şekil 6'da karışımdaki bitüm miktarı arttıkça karışımın elastik rijitliğinin azaldığı görülmektedir. En yüksek elastik rijitlik değeri 34090 MPa olarak % 3 V_h , % 96 W_a ve % 4 W_b değerlerinin bulunduğu karışımda olduğu görülmektedir. γ_a ve

γ_b 'nin değişik değerleri için karışımın elastik rijitlik değerleri Tablo 7'de verilmiş ve Şekil 7'de grafik olarak gösterilmiştir. Tablo 7'nin hesaplanmasında; $W_b = \%5$, $W_a = \%95$, $V_h = \%3$ olarak alınmıştır.

Tablo 6. E 'nin W_a ve W_b 'ye bağlı olarak aldığı değerleri

V_h (%)	W_a (%)	W_b (%)	C_v	C'_v	n	E (MPa)
3	94,5	5,5	0,867	0,867	1,66	20831
3	95,0	5,0	0,878	0,878	1,66	24195
3	95,5	4,5	0,889	0,889	1,66	28485
3	96,0	4,0	0,900	0,900	1,66	34090
4	94,5	5,5	0,867	0,858	1,66	20506
4	95,0	5,0	0,878	0,869	1,66	23819
4	95,5	4,5	0,889	0,880	1,66	28485
4	96,0	4,0	0,900	0,891	1,66	33564
5	94,5	5,5	0,867	0,850	1,66	20219
5	95,0	5,0	0,878	0,861	1,66	23487
5	95,5	4,5	0,889	0,872	1,66	27655
5	96,0	4,0	0,900	0,882	1,66	33042

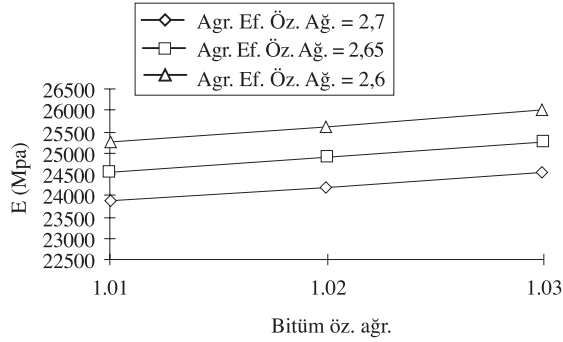
Tablo 7. γ_a ve γ_b nin E 'ye etkisi

γ_a	γ_b	VA(%)	VB(%)	C_v	C'_v	n	E (MPa)
2,7	1,01	85,04	11,96	0,877	0,877	1,66	23856
2,7	1,02	85,15	11,85	0,878	0,878	1,66	24195
2,7	1,03	85,25	11,75	0,879	0,879	1,66	24542
2,65	1,01	85,23	11,77	0,879	0,879	1,66	24542
2,65	1,02	85,34	11,66	0,880	0,880	1,66	24897
2,65	1,03	85,44	11,56	0,881	0,881	1,66	25260
2,60	1,01	85,43	11,57	0,881	0,881	1,66	25260
2,60	1,02	85,53	11,47	0,882	0,882	1,66	25631
2,60	1,03	85,62	11,38	0,883	0,883	1,66	26011

Şekil 7'de görüldüğü gibi agrega efektif özgül ağırlığının düşüşü ile E yükselmektedir. E 'yi yükselten diğer bir etken ise bitüm özgül

ağırlığındaki artış olmaktadır. Tablo 7'deki en büyük E değeri $\gamma_a = 2,6$, $\gamma_b = 1,03$ olduğunda, $E = 26011$ MPa olarak bulunmuştur.

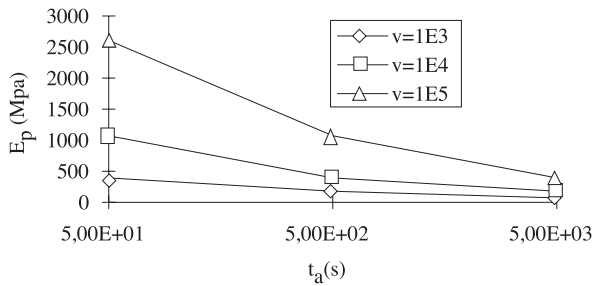
Bitümlü karışımın plastik rijitlikleri $S_{b,p}$ 'nin Tablo 4'deki değerleri kullanılarak (10) eşitliği ile Tablo 8'de verilmiş ve Şekil 8'de grafik olarak gösterilmiştir. Tablo 8'in hesaplanmasında; $A = 80$, $B = 0,4$ olarak alınmıştır.



Şekil 7. E 'nin Bitüm özgül ağırlığı ile değişimi

Tablo 8. E_p 'nin v ve t_a ile değişimi

v (Ns/m ²)	t_a (s)	$S_{b,p}$ (MPa)	E_p (MPa)
1E3	0,05E3	60	411
1E3	0,05E4	6	164
1E3	0,05E5	0,6	65
1E4	0,05E3	600	1034
1E4	0,05E4	60	411
1E4	0,05E5	6	164
1E5	0,05E3	6000	2596
1E5	0,05E4	600	1034
1E5	0,05E5	60	411



Şekil 8. E_p 'nin t_a ile değişimi

Şekil 8'de görüldüğü gibi, viskozite yükseldikçe plastik rijitlik'te yükselmekte, buna karşılık yükün toplam etki süresi arttıkça plastik rijitlik düşmektedir.

3. Sonuç

Bu çalışmada, bitüm ve bitümlü karışımların rijitliklerine etki eden parametreler incelenmiştir.

Bitümün elastik rijitliğine etki eden parametreler, yükün etki süresi, penetrasyon indeksi, bitüm yumuşama noktası ve sıcaklıktır. Bu parametrelerden, yükün etki süresinin artışı bitümün elastik rijitliğini azaltırken, penetrasyon indeksinin ve yumuşama noktasının artışı elastik rijitliği artırmaktadır.

Bitümün plastik rijitliğine etki eden parametreler ise bitümün viskozitesi ve bitüme etkiyen yükün toplam etki süresidir. Viskozitenin artışı plastik rijitliği artırırken, toplam etki süresinin artışı azaltmaktadır.

Bitümlü karışımın elastik rijitliğine etki eden parametreler, bitümün elastik rijitliği ve agrega hacimsel konsantrasyonudur. Bitümün elastik rijitliğindeki artış, karışımın rijitliğini de doğrudan artırmaktadır. Bu nedenle esas incelenmesi gereken agrega hacimsel konsantrasyonudur. Karışım hacmi; karışımındaki boşluk, agrega ve bitüm hacimlerinin toplamından oluşmaktadır. Boşluk oranı arttıkça karışımın elastik rijitliği de lineer bir şekilde düşmektedir. Karışımı etkileyen agrega konsantrasyonunu; karışımındaki agrega ve bitüm oranları oluşturmaktadır. Değişik bitüm ve agrega oranlarının elastik rijitliğe etkileri incelendiğinde en yüksek elastik rijitlik % 3 V_h , % 96 W_a ve % 4 W_b değerlerinin bulunduğu karışımda görülmüştür. Agrega konsantrasyonunun etkisi değişik bir yönüyle de incelenmiştir. Burada, karışım oranları sabit tutularak değişik agrega ve bitüm özgül ağırlıklarında, karışımın elastik rijitlik değerleri bulunmuş ve sonuçta, agrega efektif özgül ağırlığının düşüşü ve bitüm özgül ağırlığının artışı elastik rijitliği artırdığı görülmüştür.

Bitümlü karışımın plastik rijitliği, sadece bitümün plastik rijitliğine bağlıdır. Bitümün plastik rijitliği arttıkça karışımın plastik rijitliği de artmaktadır.

Bu çalışmada, bitüm ve bitümlü karışımların gerek elastik, gerekse plastik rijitlikleri üzerinde en önemli parametrenin yumuşama noktası ile sıcaklık arasındaki fark olduğu görülmektedir. Bu nedenle, bitümlü karışımlarda kullanılacak bitüm sınıfının kaplamanın yapıldığı bölgenin en yüksek ve en düşük sıcaklık değerleri dikkate alınarak seçilmesi kaplamalarda zamanla oluşabilecek bir takım bozulmaların önlenmesi bakımından çok önemlidir.

Semboller

C'_v	: Karışımdaki agrega hacim konsantrasyonu	t_a	: N sayıda geçen yükün toplam etki süresi (s)
E	: Bitümlü karışımın elastik rijitliği (MPa)	t_w	: Yükün etki süresi (s)
E_p	: Bitümlü karışımın plastik rijitliği (MPa)	VA	: Agrega hacmi (%)
PI	: Penetrasyon indeksi	VB	: Bitüm hacmi (%)
Pen^{25}	: 25°C' deki penetrasyon (1/10 mm)	W_a	: Karışımdaki agreganın ağırlıkça yüzdesi (%)
$S_{b,e}$: Bitüm elastik rijitliği (MPa)	W_b	: Karışımdaki bitümün ağırlıkça yüzdesi (%)
$S_{b,p}$: Bitüm plastik rijitliği (MPa)	γ_a	: Agrega efektif özgül ağırlığı (kN/m ³)
T	: Bitüm sıcaklığı (°C)	γ_b	: Bitüm özgül ağırlığı (kN/m ³)
$T_{H,B}$: Yumuşama noktası (°C)	v	: Viskozite (N.s/m ²)

Kaynaklar

Collop ,A.C., Cebon, D., and Hardy, S. A., "Viscoelastic Approach to Rutting in flexible Pavements" J. of Trans. Eng. 121(1), 83 - 93. 1995

Jackson, N., and Dhir, R. K., "Civil Engineering Materials", ELBS, 1988

Ullidtz, P., and Peattie, R., "Pavement Analysis by Programmable Calculators" J. of Trans. Eng. 106(5), 581-597. 1980

Ullidtz, P., "Pavement Analysis" Elsevier , Amsterdam. 1987

Uluçaylı, M., "Türkiye' de Asfalt Betonlu Kaplamalar ve Alternatifleri" Karayolları Teknik Bülteni, 16(65), Ankara, 1975

Uluçaylı, M., "Modifiye Bitüm ve modifikasyon Katkılarının kullanımı" 2. Ulusal Asfalt Sempozyumu, 15-29, Ankara, 1998

Umar, F., ve Açar, E., "Yol Üstyapısı", İ.T.Ü., İstanbul, 1985