

# BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIM AŞINMA TABAKALARININ PERFORMANSLARININ İLERİ DENEYLER İLE BELİRLENMESİ

A.Gürkan GÜNGÖR<sup>1</sup>

Fatma ORHAN<sup>1</sup>

Serdar KAŞAK<sup>1</sup>

## ÖZET

Karayolları Genel Müdürlüğü'nün sorumluluğunda yer alan Bitümlü Sıcak Karışım (BSK) kaplamalı karayollarımızın en üst tabakası olarak inşa edilen aşınma tabakası karışımlarında, genellikle asfalt betonu aşınma karışımı ile önemli ve ağır trafikli yollarımızda Taş Mastik Asfalt (TMA) karışımı kullanılmaktadır. Ayrıca, aşınma tabakasında, yolun yapılacağı yörenin iklim koşulları ve trafiğe uygun bitüm sınıfı seçilmekte, gerekli durumlarda modifiye bitümler kullanılmaktadır.

Bilindiği üzere BSK maliyetleri oldukça yüksektir. Bu nedenle, yapılan BSK tabakalarının ömürlerinin uzun, bakım-onarım maliyetlerinin düşük, sürüş konforunun yüksek olması her zaman hedeflenen bir amaçtır. Bu amaca ulaşmak için, trafik ve iklim koşullarına en uygun BSK tabakalarının seçilmesi, imalatların gerektiği gibi yapılması, bakım çalışmalarının zamanında ve doğru uygulanması zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Amacın bir aşaması olan uygun BSK tipinin belirlenmesi konusunda çalışma yürütülmüştür.

Çalışmada; BSK yol üstyapısının en üst tabakası olan aşınma tabakasında kullanılan Asfalt Betonu Aşınma ve Taş Mastik Asfalt karışım tiplerinin dizaynı Marshall ve Superpave yöntemleri ile hazırlanarak, farklı bitümlü bağlayıcı tipleri ile hazırlanan karışımların İndirek Çekme Mukavemeti, Tekerlek İzinde Oturma, Çevrimsel Basınç (cycling compression) ve Yorulma (fatigue) deneyleri yapılarak performansları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca karışımların elastisite modülleri de belirlenmiştir.

## 1. GENEL BİLGİLER

Çalışmanın ilk aşamasında agregalar, karışım gradasyonu ve bitümlü bağlayıcı tipinin seçimi gerçekleştirilmiştir. Agregası cinsi belirlenirken karayollarımızda aşınma tabakasında, ocak durumunun (mesafe ve kalite olarak) uygun olması halinde zorunlu olarak kullanılması Karayolu Teknik Şartnamesinde (KTS) de belirtilen mağmatik kayalardan üretilmiş agregası olan ve ülkemizde pek çok yolumuzda kullanılan Bazalt agregası seçilmiştir. Ancak agregası karışım gradasyonu sağlamak amacıyla ince agreganın ve filler agreganın bir kısmı kalker agregadan ilave edilmiştir. Her iki tip agregaya ait

---

<sup>1</sup> İnş. Yük. Müh., Karayolları Genel Müdürlüğü, Üstyapı Şb. Md., Ankara

özellikler ile KTŞ Asfalt Betonu (AB) Aşınma ve TMA kaba agrega şartname kriterleri Tablo-1' de verilmiştir.

**Tablo – 1 Agreganın Özellikleri**

Agreganın Cinsi Özellik	Yapracık Bazalt	Alacaatlı Kalker	KTŞ	
			AB	TMA
Los Angeles Aşınma Kaybı, %	11,0	24,0	maks.30	maks.25
Sağlamlık (Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) Kayıp, %	2,0	2,0	maks.10	maks.8
Cilalanma Değeri	53	42	min. 50	
Kaba Agreganın Su Emme, %	1,2	0,5	maks.2,0	

Aşınma tabakasında kullanılacak agreganın karışım gradasyonu KTŞ'de verilen şartname limitleri esas alınarak yollarımızda yaygın olarak kullanılan gradasyonlara göre belirlenmiştir. Agreganın karışım gradasyonları ve KTŞ limitleri Tablo – 2 ve Grafik-1'de verilmiştir.

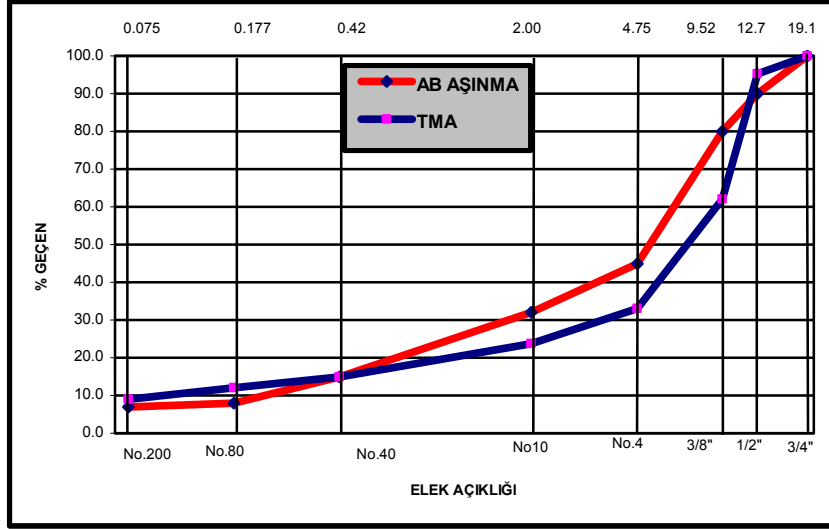
Bitümlü bağlayıcı seçiminde ülkemiz iklim koşullarına göre, diğer sınıflara göre daha yaygın olarak kullanılan B 50/70 bitüm ve polimer modifiye bitüm olarak Tip-3 özelliklerine uygun, SBS ile üretilen bitümlü bağlayıcılar seçilmiştir.

Bitümlü bağlayıcıların özellikleri, penetrasyon sınıfı bitüm için TS 1081 EN 12591 standardına, modifiye bitüm için KTŞ'de verilen modifiye bitüm teknik şartnamesine göre belirlenmiştir. Ayrıca, klasik metotlar yerine performansa dayalı özelliklerin belirlendiği metotları kullanan Superpave Performance Grade (PG) Standardına göre de bitümlü bağlayıcıların özellikleri belirlenmiştir. Projede kullanılan bitümlerin PG özellikleri Tablo – 3'de verilmiştir.

**Tablo – 2 Agreganın Karışım Gradasyonları**

Elek Açıklığı mm	% Geçen			
	AB Aşınma		TMA	
	Dizayn	Şartname	Dizayn	Şartname
19,1	100	100	100	100
12,7	90,0	83-100	95,2	90-100
9,5	80,0	70-90	62,0	50-75
4,75	45,0	40-55	33,0	25-40
2,00	32,0	25-38	23,7	20-30
0,42	15,0	10-20	15,0	12-22
0,177	8,0	6-15	12,0	9-17
0,075	7,0	4-10	9,0	8-14

**Grafik – 1 AB Aşınma-TMA Gradasyon Eğrileri**



**Tablo – 3 B 50/70 ve Polimer Modifiye Bitüm Özellikleri (PG)**

		Bitümlü Bağlayıcı		B50/70		PMB			
Orjinal Bitüm	Penetrasyon, 0,1mm			63		54			
	Yumuşama Noktası, °C			48,8		67,0			
	Brookfield Viskozite 135°C,20rpm	cP		373		1255			
	DSR (G*/sinδ>1kPa)	Fail Tem.		66,8		71,8			
			Grade		64		70		
RTFOT	Kütle Kaybı	%		0,02		0,2			
	DSR (G*/sinδ >2,2 kPa)	Fail Tem.		67,6		74,4			
			Grade		64		70		
PAV	DSR (G*/sinδ <5000 kPa)	Fail Tem.		20,3		23,9			
				Grade		22		25	
	<b>BBR</b>				S (MPa)	m-value	S (MPa)	m-value	
	Sıcaklık  (S≤300MPa m≥0,300)	-6 °C					67,8	0,326	
							65,4	0,318	
		-12 °C			179	0,302	223	0,263	
			136	0,338	231	0,268			
-18 °C			287	0,278	403	0,213			
			272	0,274	405	0,216			
<b>PG BİTÜM SINIFI</b>				<b>64-22</b>		<b>70-16</b>			

## 2 – YÖNTEM VE BULGULAR

### 2.1. Karışım Dizaynı

Seçilen agrega gradasyonları esas alınarak Marshall ve Superpave yöntemlerine göre bitümlü sıcak karışım dizaynları hazırlanmıştır. Marshall dizaynı, Asphalt Institute MS-2, Superpave karışım dizaynı ise Asphalt Institute SP-2 ve AASHTO R35 Superpave Volumetric Design for Hot-Mix Asphalt standardına göre yapılmıştır.

Superpave karışım dizaynında, karayollarımızın trafik değerleri yüksek olduğundan ESAL  $\geq 30$  milyon için gerekli olan 125 dönüş sayısı  $N_{dizayn}$  olarak kullanılarak karışımlar sıkıştırılmış ve  $N_{maks}$  olarak da 205 dönüş sayısında maksimum teorik özgül ağırlığının (Gmm)  $\leq 98$  kontrolü yapılmıştır.

Her iki yöntemle, AB Aşınma ve TMA için hazırlanan dizayn sonucu belirlenen dizayn değerleri Tablo – 4 ve Tablo – 5’de verilmiştir.

**Tablo – 4 Marshall Karışım Dizaynı Değerleri**

ÖZELLİK	AB AŞINMA		TMA	
	Dizayn	Şartname	Dizayn	Şartname
Bitüm % (Agreganın)	5,25	4-7	6,5	
Hacim Özgül Ağırlığı	2,473		2,458	
Maks-Teorik Özgül Ağırlık	2,567		2,548	
Hava Boşluğu, %	3,66	3-5	3,53	2-4
VMA, %	14,6	min.14	16,8	min.16
Asfaltla Dolu Boşluk, %	75,0	65-75	79,0	
Schellenberger Bitüm Süzülme, %			0,16	maks.0,3

**Tablo – 5 Superpave Karışım Dizaynı Değerleri**

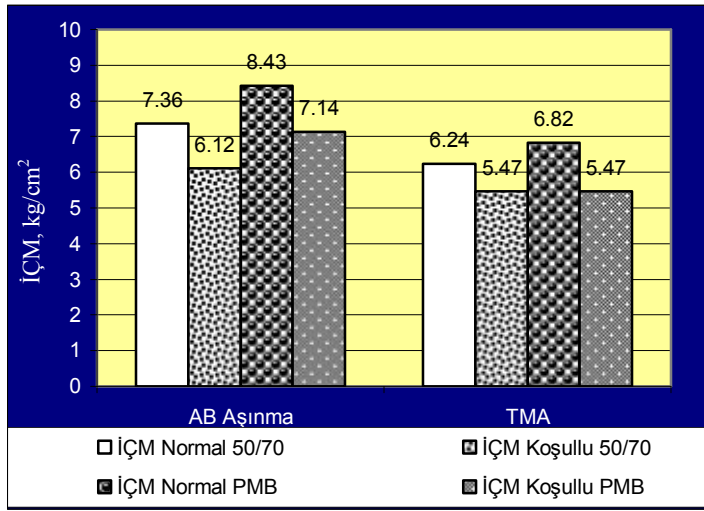
ÖZELLİK	AB AŞINMA	TMA
Bitüm %	4,92	6,50
Hacim Özgül Ağırlığı	2,476	2,462
Maks-Teorik Özgül Ağırlık	2,579	2,553
Hava Boşluğu, %	4,0	3,58
VMA, %	14,3	16,6
VFA, %	72,0	78,4
% Gmm @ $N_{ilk}=9$	86,8	87,2
% Gmm @ $N_{maks}=205$	97,3	97,5

### 2.2. İndirekt Çekme Mukavemeti ve Tekerlek İzinde Oturma Tayini

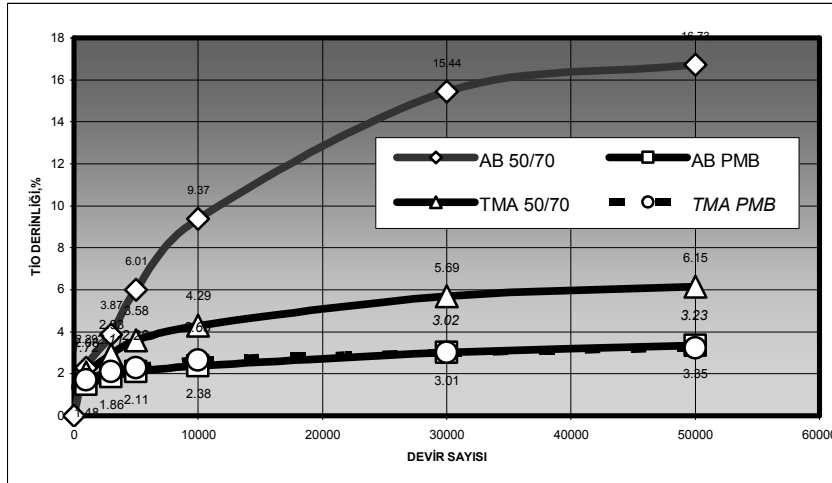
AB Aşınma ve TMA karışımlarının sudan kaynaklanan bozulmalara karşı direncini belirlemek amacıyla, AASHTO T-283 ve su hassasiyeti EN 12697-12

standartlarına göre deneyler yapılmıştır. Belirlenen dizayn değerlerinde B 50/70 ve polimer modifiye bitüm (PMB) kullanılarak AB Aşınma ve TMA karışımlarından 10'ar adet toplam 40 adet briket hazırlanarak koşulsuz ve -18°C derin dondurucuda koşullandırılarak İndirekt Çekme Mukavemeti (İÇM) deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneylerin sonuçları Grafik-2' de verilmiştir. Ayrıca, AB Aşınma ve TMA karışımlarının Fransız Trafik Similatör Cihazı kullanılarak tekerlek izinde oturma (TİO) deneyleri yapılmıştır. TS EN 12697-22 deney standardı büyük cihaz (LCPC rut tester ) kullanılarak 50/70 ve PMB bitümlü bağlayıcılar ile hazırlanan numuneler üzerinde 50000 devire kadar TİO testleri yapılmış olup sonuçlar Grafik-3' de verilmiştir.

**Grafik – 2 İÇM Değerleri**



**Grafik – 3 Tekerlek İzinde Oturma Değerleri**



### 2.3. Yorulma ve Kalıcı Deformasyon Deneyleri

Çalışılan dört farklı karışım tipi üzerinde yorulma (fatigue) ve çevrimsel basınç metodu ile kalıcı deformasyon deneyleri yapılmıştır. Ayrıca karışımların esneklik modülleri belirlenmiştir.

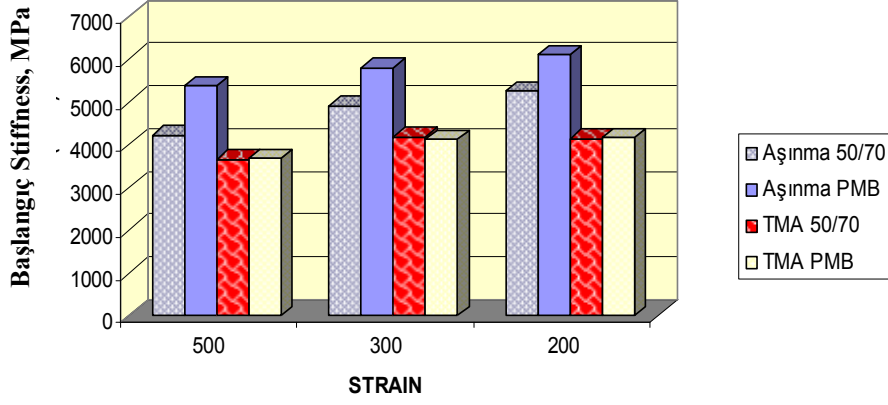
Yorulma deneyleri TS EN 12697-24 standardına göre, prizmatik şekilli numune üzerinde dört-nokta eğme yöntemi ile yapılmıştır. İstenilen özelliklerde hazırlanan sıcak karışımlar plaka sıkıştırıcı ile 300x400x50 mm boyutlarında sıkıştırılıp, karışım soğuduktan sonra 400x50x50 mm boyutlarında, kenara gelen kısımlar atılarak, kiriş şeklinde deney numuneleri kesilmiştir. Deneyler standartta belirtilen koşullarda, iklimlendirme kabininde 20°C sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir.

Deneylerde üç farklı birim deformasyon (strain) seviyesinde çalışılmış ve yorulma ömrü  $10^4 - 2 \times 10^6$  döngü (cycles) olacak şekilde seviyeler seçilmiştir. Toplam 75 kiriş numune üzerinde yapılan deneylerin, uygun olmayanları elimine edilerek, sonuçlar değerlendirilmiştir. Yorulma deneyi sonuçları Tablo-6'da, verilmiştir. Grafik-4, 5 ve 6' da karışım tiplerine uygulanan fatigue (yorulma) deneyleri sonucunda elde edilen değerlendirme grafikleri verilmiştir.

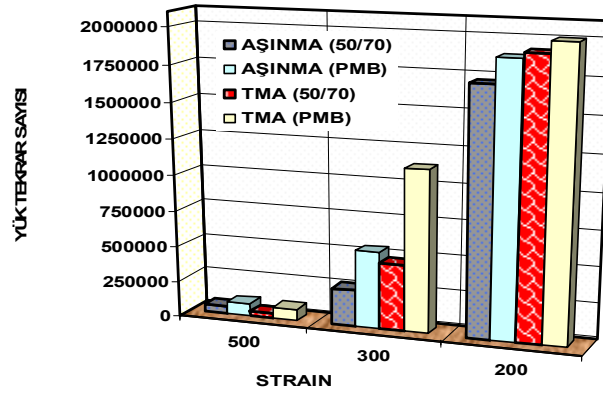
**Tablo - 6 Yorulma Deneylerine Ait Ortalama Değerler**

Numune	Uygulanan Strain	Başlangıç Stiffness (Mpa)	Deney Sonu Stiffness (Mpa)	Stiffness %'si Değişimi	Harcanan Toplam Enerji (MJ/m <sup>3</sup> )	Deney Sonu Yük Tekrar Sayısı
%5.25 Normal Bitüm Aşınma	500	4227	2116	50,0	20,3	65.174
	300	4909	2454	50,0	26,6	265.995
	200	5258	2989	56,7	78,8	1.714.456
%5.25 PMB Aşınma	500	5373	2689	50,0	23,0	99.536
	300	5810	2904	50,0	53,7	546.374
	200	6097	4053	68,0	76,0	1.883.482
%6.50 Normal Bitüm TMA	500	3668	1832	50,0	11,8	42.170
	300	4182	2081	50,0	47,9	471.097
	200	4139	2412	60,0	84,4	1.919.253
%6.50 PMB TMA	500	3683	1840	50,0	21,2	90.162
	300	4123	2178	52,8	110,1	1.133.696
	200	4174	2989	71,6	85,1	2.000.000

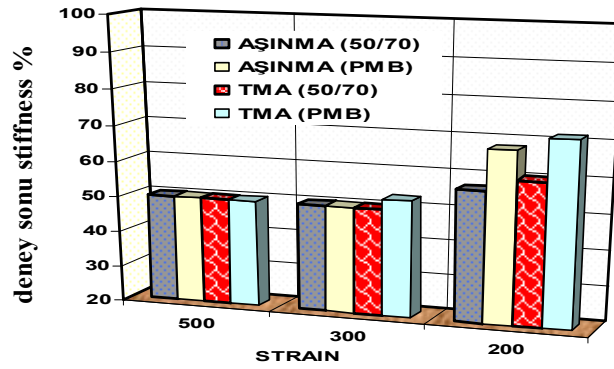
**Grafik – 4 Karışımların Başlangıç Stiffness Değerleri**



**Grafik – 5 Karışımların Strain Değişimine Göre Yorulma Dayanımları**



**Grafik – 6 Karışımların Strain Değişimine Göre Deneç Sonu Stiffness %'si**



Çevrimsel basınç basınç deneyi TS EN 12697-25 standardı method B, üç eksenli çevrimsel basınç deneyi (Triaxial Cyclic Compression) yöntemine göre yapılmıştır. Deneylerde UTM100 aleti kullanılmıştır. Literatürde bu deneye tekrarlı yük kalıcı deformasyon testi de denilmektedir. Deneyin geliştirilmesi kısaca şu şekildedir: Sıcak karışımın kalıcı deformasyon karakteristiklerini belirlemek amacıyla, tekrarlı dinamik yük binlerce kez uygulanır ve döngü sayısının fonksiyonu olarak kümülatif kalıcı deformasyon kaydedilir. Bu yaklaşım ilk kez 1970'lerin ortasında ortaya çıkmıştır. Strategic Highway Research Program (SHRP) kapsamında, sıcak karışım üzerinde tekrarlı yük kalıcı deformasyon deneyleri yapabilecek alet geliştirilmiştir. Toplam kümülatif plastik birim deformasyon ile yük döngü sayısı arasındaki ilişki şu şekilde açıklanmaktadır: kümülatif kalıcı birim deformasyon eğrisinde genellikle üç bölge (birinci, ikinci, üçüncü) oluşmaktadır. Birinci bölgede kalıcı deformasyon çok hızlı oluşur, kalıcı deformasyonun artışı azalarak, sabit bir seviyeye ikinci bölgede ulaşır. Sonuçta, kalıcı deformasyon artışı yükselir ve hızlı bir kalıcı deformasyon üçüncü bölgede oluşur.

Deneyler için numuneler 100 mm çapında, yağurmalı kompaktör ile sıkıştırılıp alt ve üst kısımları kesilmiştir. Üç eksenli hücre içerisine yerleştirilen numuneye, iklimlendirme kabininde 50°C sıcaklıkta 300 kPa haversinusoidal basınç altında, hücre gerilmesi 150 kPa uygulanarak 15000 döngüye kadar deney devam etmiştir.

Her farklı karışım için en az dört adet numunenin sonucu değerlendirilmiştir, deneyler sonucunda; yük tekrar sayısına karşılık, toplam kalıcı birim deformasyon (%), deformasyon (mm), minimum birim deformasyon değeri ( $\mu\epsilon/\text{cycle}$ ), minimum birim deformasyondaki toplam birim deformasyon, minimum birim deformasyonun oluştuğu döngü değerleri hesaplanmaktadır. Tablo-7 ve Grafik-7, 8'de deney sonuçlarını içeren değerler verilmiştir.

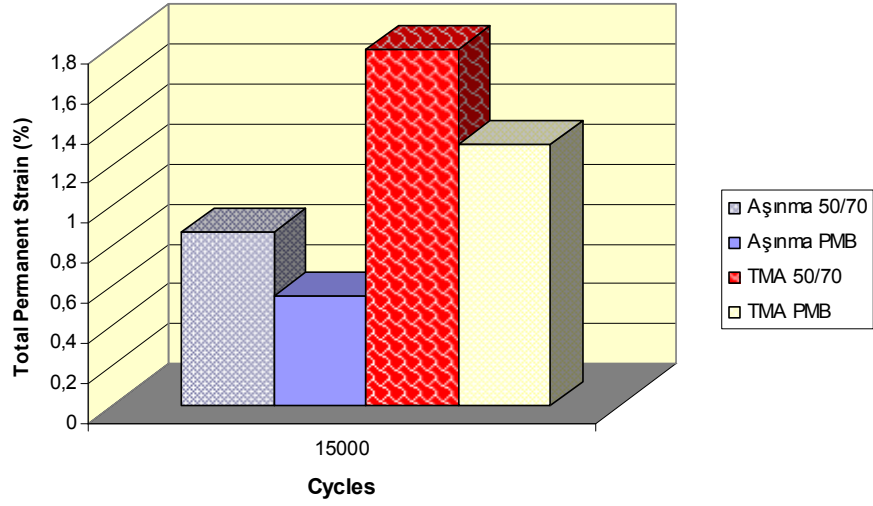
**Tablo-7 Çevrimsel Basınç Deneyi Sonuçlarının Ortalamaları**

Karışım Tipi	Yük Tekrar Sayısı (cycles)	Total Permanent Strain %	Deformasyon, mm	minimum strain rate, $\mu\epsilon/\text{cycle}$	Strain @ min. strain %	Cycles @ min. strain rate
Aşınma %5.25 50/70	15000	0,869	1,209	0,100	0,820	11120
Aşınma %5.25 PMB	15000	0,550	0,767	0,024	0,533	9728
TMA %6.50 50/70	15000	1,7775	2,658	0,165	1,637	11402
TMA %6.50 PMB	15000	1,309	1,937	0,122	1,297	13910

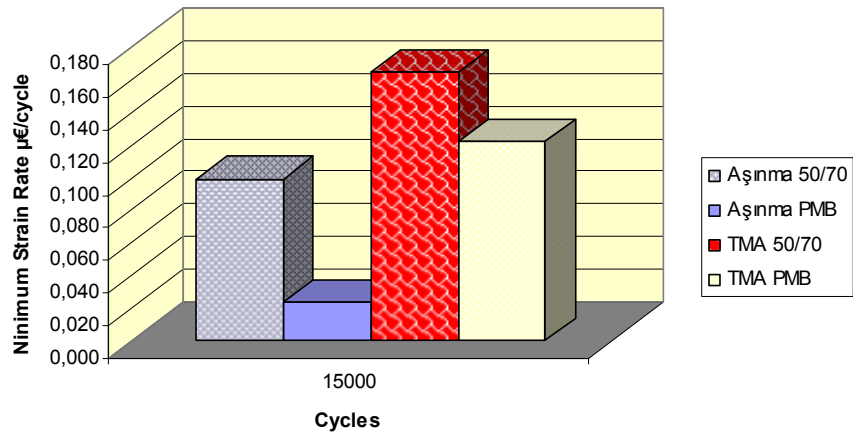
Çalışılan dört farklı karışımın esneklik modülleri NCHRP Project 1-28A metodu ile belirlenmiştir. Yoğurmalı kompaktör ile 15cm çapında hazırlanan numuneler kullanılarak yanal yükleme ile düşey ve yatay deformasyonlar numune üzerinden ölçülerek esneklik modülleri hesaplanmıştır. Esneklik modülleri Grafik-9'da verilmiştir.



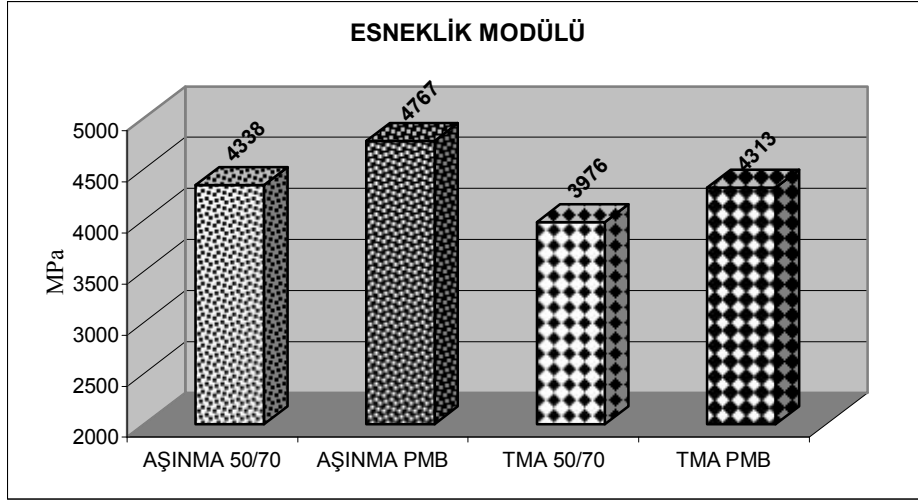
**Grafik – 7 Karışımların Çevrimsel Basınç Deneyi Sonu Toplam Kalıcı Strain Değerleri**



**Grafik – 8 Karışımların Çevrimsel Basınç Deneyi Sonu Minimum Strain Değerleri**



**Grafik – 9 Karışımların Esneklik Modülleri**



#### 4. SONUÇ

Yapılan çalışmalardan varılan sonuçlar aşağıda açıklanmaktadır.

Marshall ve Superpave karışım dizaynları karşılaştırıldığında aynı hava boşluğu esas alınarak değerlendirme yapılır ise; optimum bitüm miktarı Superpave yönteminde bir miktar daha düşük çıkmaktadır.

Karışımların sudan kaynaklanan bozulmalara karşı dayanımının göstergesi olan İndirekt Çekme Mukavemeti deneyi sonucunda hesaplanan İÇM oranının tüm karışımlarda %80'inin üzerinde olduğu görülmüştür. Ancak AB aşınma karışımlarının İÇM değerleri TMA karışımlarından daha yüksektir.

Plastik deformasyonlara karşı dayanım açısından iyi bir gösterge kabul edilen, tekerlek izinde oturma deneyi sonucunda, polimer modifiye bitümlü karışımların daha iyi olduğu ancak, normal bitümlü, AB Aşınma karışımının değerlerinin TMA karışımına göre çok yüksek olduğu görülmüştür.

Karışımların, yorulmaya karşı dayanımını ve kaplamanın yapısal davranışını tahmin etmekte veri sağlayan, yorulma deneyi sonuçlarına göre; yorulma dayanımı yönünden PMB'li TMA karışımı diğer karışımlara göre çok daha fazla sayıda tekrarlı yüke karşı koymaktadır. Aşınma tipi karışımlar sahip oldukları stiffness değerinin % 50'sini TMA karışımlara göre daha kısa sürede kaybetmektedir. Ancak aşınma tipi karışımların stiffness değerlerinin TMA karışımlara göre bir miktar daha yüksek olduğu görülmüştür. TMA ve AB Aşınma tipi karışımların farklı strain gruplarındaki sönmüledikleri enerji miktarı kıyaslandığında, TMA karışımlarının, çok daha fazla enerjiyi üzerinde sönmüleyebildiği görülmüştür. Başka bir deyişle TMA karışımların stiffness değerinin %50'sini aşınma tipi karışımlara göre daha büyük enerji sönmüleyerek kaybetmektedir. Yorulma deneyi sonuçlarına göre modifiye bitümlü TMA karışımların en uygun değerlere sahip olduğu görülmüştür.

Çevrimsel basınç deneyi sonuçlarına göre, TMA karışımlarının kalıcı deformasyonlarının ve sünme oranlarının AB aşınma karışımlarına göre daha fazla olduğu görülmüştür. Ancak, bilindiği üzere her tip performans deneyi her tip karışımın gerçek davranışının yansıtmayabilmektedir. Örneğin; TMA karışımlarının Marshall Stabilite değerleri düşük olmakla beraber yolda stabilite düşüklüğü ile ilgili bir problem oluşmamakta ve Avrupa Standardlarında TMA için Stabilite kriteri yer almamaktadır. Aynı şekilde, EN 13108-1 asfalt betonu şartnamesinde EN 12697-25'e göre kalıcı deformasyon kriteri verilmekte ancak, EN 13108-5 Taş Mastik Asfalt şartnamesinde verilmemektedir. **Çalışmada kalıcı deformasyonlara karşı en dayanıklı karışım tipinin modifiye bitümlü AB aşınma karışımı olduğu görülmüştür.(standart)**

Deneysel çalışmalarını yaptığımız dört tip karışım tipi ülkemiz karayollarında uygulanmaktadır. Temel olarak trafik, yolun yapılacağı bölgenin iklim koşullarına bağlı olarak karışım ve bitümlü bağlayıcı tipinin seçilmesi söz konusudur. Sıcak bölgeler ile, sıcaklık farkları fazla ve ağır taşıt trafiğinin yüksek olduğu yerlerde en uygun karışım PMB'li TMA, yaz sıcaklığı çok yüksek ve kış sıcaklığı çok düşük olmayan bölgeler için normal bitümlü TMA, hafif trafiği olan ve yaz kış sıcaklıkları yüksek, sıcaklık farkları fazla olan bölgelerde PMB'li AB Aşınma, yaz ve kış sıcaklığı çok yüksek olmayan hafif trafikli yollarımızda ise normal bitümlü AB Aşınma tabakası kullanılabilir.

Maliyet yönünden değerlendirme yapıldığında, aşınma tabakasının ömrünün uzamasının, ülke ekonomimize kazandıracak faydalar aşağıda kısaca açıklanmıştır.

1 km uzunluğunda 12 m genişliğinde bir yolun alt ve üst yapı maliyeti 2008 yılı fiyatları ile yaklaşık 1.828.339-TL. aşınma tabakası maliyeti ise 150.093-TL. olmakta ve bu maliyet toplam maliyetin %8,2'sine denk gelmektedir. Bir yolun toplam ömrünü 40 yıl olarak, ömür döngü maliyeti (life cycle cost) hesaplanmak istendiğinde, aşınma tabakası 40 yıl içinde yaklaşık 7 yılda bir yenilenir ise toplam 6 kez aşınma imalatı yapılacaktır.

$$6 \times 150.093 = 900.558 \text{-TL.}$$

Uygun karışımlar kullanımı ile, aşınma tabakasının ömrünün 2-3 yıl artacağı öngörülerek, 10 yılda bir yenileme olacağı düşünülürse; maliyeti;

$$4 \times 150.093 = 600.372 \text{-TL. olacaktır.}$$

Bu durumda, aşınma maliyetinde %33 bir azalma olacaktır. Ayrıca, hesaplara mevcut bozulan aşınma tabakalarının kazınması ve taşıt işletme gideri maliyetleri eklenmediğinde, maliyet azaltmasının daha fazla olması söz konusudur.

## **5. TEŞEKKÜR**

Çalışma, 1007 kodlu TÜBİTAK Kamu Kurumları Araştırma ve Geliştirme Projeleri Destekleme Programı kapsamında desteklenmiş ve proje Üstyapı Şube Müdürlüğü'nden Fatma ORHAN tarafından yürütülmüştür. Projeye 2006 yılında başlanmış ve sonuç raporu 2008 yılında TÜBİTAK tarafından kabul edilmiştir. Yazarlar, desteklerinden dolayı TÜBİTAK'a teşekkür eder.

## **KAYNAKÇA**

- 1 EN 12697-24, Bituminous mixtures-Test methods for mix asphalt – Part 24: Resistance to fatigue , CEN, November 2003.
- 2 EN 12697-25, Bituminous mixtures-Test methods for mix asphalt – Part 25: Cyclic compression test, CEN, April 2005.
- 3 EN 13108-1, Bituminous mixtures-Material specifications – Part 1: Asphalt Concrete, CEN, May 2006.
- 4 EN 13108-5, Bituminous mixtures-Material specifications – Part 5: Stone Mastic Asphalt, CEN, May 2006.
- 5 EN 12697-31, Bituminous mixtures-Test methods for hot mix asphalt – Part 31: Specimen preparation by gyratory compactor, CEN, July 2004.
- 6 Douglas I.H, Evaluation of Servopac Superpave Gyratory Compactor, TSL Services & Equipment Wellborn,TX,October 12,1998
- 7 Elseifi Mostafa, Al Qadi Imad, “Effectiveness of Steel Reinforcing Nettings in Combating Fatigue Cracking in New Flexible Pavement System” Journal of Transportation Engineering ASCE, January 2005
- 8 FHWA-LTPP Technical Support Services Contractor, Protocol P07, Test Method For Determining The Creep Compliance, Resilient Modulus And Strength Of Asphalt Material Using The Indirect Tensile Test Device, Version 1.1, August 2001
- 9 Li Yongei, Metcalf John “Fatigue Characteristics of Asphalt Concrete from Asphalt Slab Tests” Journal of Materials in Civil Engineering, ASCE, July/August 2004
- 10 Performance Grade Asphalt, Binder Specification and Testing, Superpave Series No.1 (SP-1), Asphalt Institute, Lexington KY,2003.
- 11 Superpave Mix Design, Superpave Series No.2(SP-2), Asphalt Institute, Lexington Ky, 2003
- 12 Standard Specifications For Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing, Part 1A: Specifications M 6-M 262, 27th Edition 2007
- 13 Standard Specifications For Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing, Part 1B: Specifications M 264-R 44, 27th Edition 2007
- 14 Standard Specifications For Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing, Part 2A: Tests T2-T 215, 27th Edition 2007
- 15 Standard Specifications For Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing, Part 2B: Tests T216-T 333, 27th Edition 2007
- 16 2007 AASHTO Provisional Standards
- 17 Witczak M.W., Bonaquist R., Quintus H., Kloush K., Specimen Geometry and Aggregate Size Effects in Uniaxial Compression and Constant Height Shear Tests, Arizona State University, Tempe, AZ
- 18 Witczak M.W., Kloush K., Pellinen T., Basyouny M., Quintus H.NCHRP Report 465, Simple Performance Test For Superpave Mix Design, National Academy Press, Washington D.C., 2002