

# Asfaltit ve SBS Modifiyeli Bitümlü Sıcak Karışımların Mekanik Özelliklerinin Değerlendirilmesi

Baha Vural KÖK <sup>\*1</sup>, Mehmet YILMAZ <sup>2</sup>, Necati KULOĞLU <sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, ELAZIĞ

## ÖZET

Bu çalışmada, bitümlü sıcak karışımların performansını iyileştirmek amacıyla petrol kökenli bir kayaç olan asfaltit ve bitüm modifikasyonunda kullanımı yaygınlaşan stiren-butadien-stiren (SBS) katkı maddesi olarak kullanılmıştır. Asfaltit, karışıma filler oranının ağırlıkça %50'si oranında, SBS ise bitümlü bağlayıcıya ağırlıkça %5 oranında ilave edilmiştir. Karışımlarda kullanılan orijinal bağlayıcı B 160/220, agrega ise kalker kökenlidir. Deneysel numuneleri Marshall standardına uygun olarak hazırlanmıştır. Katkı maddeleri ve kontrol numuneleri ile birlikte 4 farklı kombinasyonda bitümlü sıcak karışım numuneleri üretilmiştir. Bu kombinasyonlar sayesinde katkı maddelerinin ayrı ayrı, ayrıca birlikte kullanmanın etkileri değerlendirilmiştir. Hazırlanan numuneler üzerinde indirekt çekme rijitlik modülü, indirekt çekme dayanımı ve yorulma deneyleri uygulanmıştır. Sonuçta modifiyeli karışımların mühendislik özelliklerinin kontrol numunesine göre önemli derecede iyileştiği, bu iyileşmenin deney yöntemleri arasında değişik sonuçlar gösterdiği, özellikle yorulma deneyinin katkı maddelerinin etkilerini belirlemede çok etkin olduğu, SBS ve asfaltitin birlikte kullanıldığı karışımların çok iyi performans sergilediği belirlenmiştir. Yakacak malzemesi olarak kullanıldığında büyük oranda çevre kirliliğine neden olan asfaltit bitümlü sıcak karışımların mekanik özelliklerini iyileştirerek daha sağlam ve daha az bakım gerektiren yollar inşa etme imkanı sağlamaktadır. Asfaltitin bu yönde kullanılması ekosistemin korunmasına yardımcı olması yönüyle ekolojik, uzun dönemde yolların işletme maliyetlerini düşürerek ise ekonomik sürdürülebilirlik temin edecektir.

**Anahtar kelimeler:** Bitümlü sıcak karışım, asfaltit, SBS.

## Evaluation of Mechanical Properties of Asphaltite and SBS Modified Hot Mix Asphalts

### ABSTRACT

In this study the styrene-butadiene-styrene (SBS) of which usage is became prevalent in bitumen modification and asphaltite which is a petrol origin material were used as an additive material in order to improve the performance of hot mix asphalt. Asphaltite was added into mix as 50% by weight of filler, SBS was added to bituminous binder as 5% by weight. The used pure binder in the mixtures is B160/220 and aggregate is calcareous orgined. The specimens were prepared according to Marshall procedure. Hot mix asphalt specimens were produced in 4 different combinations including additive materials and control specimens. The effects of using additive materials separately and using together were evaluated by means of these combinations. The indirect tensile stiffness modulus, indirect tensile strength and fatigue tests were applied on prepared specimens. In conclusion it was determined that the engineering properties of modified mixtures were improved significantly compared to control mixtures. This improvement effect changed between the experiments. Especially the fatigue test was determined as the most active test method to identify the effects of additive material. It was also determined that the mixtures in which SBS and asphaltite used together exhibited high performance. Leads to air pollution when used as a heating material, asphaltite provides to construct more stable and requires less maintenance roads by improving the mechanical properties of hot mix asphalt. The usage of asphaltite in this way will ensure ecological sustainability by facilitating the prevention of ecosystem, and also will ensure economical sustainability by reducing the operation cost of roads in long term.

**Keywords:** Hot mix asphalt, asphaltite, SBS.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Bitümlü sıcak karışımların özelliklerini iyileştirerek üstyapının performansını arttırmak amacıyla katkı maddeleri kullanılmaktadır. Katkı maddeleri bitümlü bağlayıcıyla karıştırılabildiği gibi doğrudan karışıma da eklenebilmektedir [1]. Bitüme ilave edilen katkı maddeleri içerisinde en fazla polimer türü malzemeler kullanılmaktadır [2]. Stiren-butadien-stiren (SBS), etilen-

vinil-asetat (EVA), stiren-etilen-butilen-stiren (SEBS), polietilen (PE) ve polipropilen (PP), polivinil-klorid (PVC) gibi polimerler, bitümlü sıcak karışımlarda denenmiş ve stabilize, nem hasarına karşı dayanım, yorulma dayanımı gibi birçok parametresini olumlu yönde etkilediği belirlenmiştir [3-6] Karışıma eklenen katkı maddeleri genellikle filler malzemesi olarak kullanılmaktadır. Kireç, siyah karbon, uçucu kül gibi malzemeler BSK'larda filler olarak kullanılabilen katkı maddeleridir [7]. Filler yerine belirli oranda kireç kullanılması, BSK'ların nem hasarına karşı dayanımını önemli miktarda arttırmaktadır [8]. Asfaltit, petrol kökenli bir

\* Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: bvural@firat.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2011.14.3, 193-197

kayaç olup, derinlerde bulunan sıvı veya yarı sıvı durumdaki asfalt maddesinin tektonik hareketler gibi çeşitli etkenlerle kendi yatağından ayrılarak kayaçlardaki yarık, çatlak ve boşluklara yerleşmesi ve ısı, zaman ve basıncın etkisiyle başkalaşıma uğraması sonucu oluşmuştur [9]. Ülkemizde ekonomik kalınlıkta asfaltit yatakları Şırnak ve Silopi bölgelerinde bulunmaktadır. MTA tarafından yapılan etüt ve sondaj çalışmaları sonucunda 82 milyon ton asfaltit rezervi olduğu belirlenmiştir [10]. Bu rezervin 45 milyon tonu görünür niteliktedir. Daha önce yapılan çalışmalarda asfaltit gibi

Bitumen şirketi tarafından üretilen ve stirenbutadienstiren (SBS) blok kopolimer ihtiva eden KRATON D 1101 katkı maddesi kullanılmıştır. SBS oranı %5 olarak sabit tutulmuştur. SBS modifiyeli bitümler, saf bitüm akışkan hale gelip karıştırma kabına aktarıldıktan sonra polimerin belirlenen içerikte yavaş yavaş ilave edilmesi ve 1100 rpm hıza sahip karıştırıcıda 185°C sabit sıcaklıkta 2 saat süre ile karıştırılması şeklinde hazırlanmıştır. Hazırlanan modifiye bitümler küçük kaplara boşaltılmış, kaplar alüminyum folyo ile kaplanmış ve deneylerde kullanılmak üzere saklanmış-

Çizelge 1. Bağlayıcıya uygulanan deneylerden elde edilen sonuçlar

Özellikler	Standart	B 160/220	B 160/220 + %5 SBS
Penetrasyon (0,1 mm), 100 g, 5 s	ASTM D5	190	71
Yumuşama noktası (°C)	ASTM D36	40,9	61,3
Penetrasyon indeksi (PI)		0,123	2,251
Viskozite (cP, 135°C)	ASTM D4402	237,5	1650
Viskozite (cP, 165°C)	ASTM D4402	87,5	462,5
Karıştırma sıcaklığı Aralığı (°C)	-	142-149	186-192
Sıkıştırma sıcaklığı Aralığı (°C)	-	127-133	174-180

Çizelge 2. Agreganın fiziksel özellikleri

Özellikler	Standart	Agrega			
		Kaba	İnce	Filler	Asfaltit
Aşınma Kaybı, % (Los Angeles)	ASTM DC 131	29	-	-	-
Özgül Ağırlık, gr / cm <sup>3</sup>	ASTM C127	2,613	-	-	-
Yassı, uzun dane, %	ASTM D4791	2	-	-	-
Özgül Ağırlık, gr / cm <sup>3</sup>	ASTM C128	-	2,611	-	-
Özgül Ağırlık, gr / cm <sup>3</sup>	ASTM D854	-	-	2,711	1,483

Çizelge 3. Agregada gradasyonu

Elek (mm)	19	12,5	9,5	4,75	2,36	1,18	0,60	0,30	0,150	0,075
% Geçen	100	95	88	65	39	24	18	14	10	6

doğal bir asfalt türü olan gilsonit bitüm modifikasyonunda kullanılmış, gilsonitin bağlayıcının rijitliğini artırdığı, gilsonitli sıcak karışımın yoğun trafiği olan ve sıcak bölgelerde çatlak oluşumuna karşı direnç göstererek iyi performans sergileyeceği belirtilmiştir [11-12]. Huang ve ekibi, agreganın doğal asfaltla önceden kaplanması ile hazırlanan bitümlü sıcak karışımların kompozit bir karışım elde etmede iyi sonuçlar verdiğini, bu tür karışımlarda gerilmelerin karışım içerisinde üniform dağıldığını tespit etmişlerdir [13]. Widyatmoko ve Elliot doğal bir asfalt olan Trinidad Göl Asfaltını (TLA) bitüm modifikasyonunda kullanmış, TLA'nın bitümün kompleks modülünü artırdığını, elastik özelliğinin artmasına işaret eden faz açısındaki düşüşü tespit etmişlerdir [14].

## 2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

Çalışmada bağlayıcı olarak TÜPRAŞ rafinerisinden temin edilen B 160/220 sınıfı asfalt çimentosu kullanılmıştır. Bağlayıcı modifikasyonunda Shell

tür. Bitümlü sıcak karışımların karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarını belirlemek amacıyla B 160/220 bağlayıcısı iki farklı sıcaklıkta (135°C ve 165°C) dönel viskozimetre (RV) deneyine tabi tutulmuştur. Bitümlü sıcak karışımların hazırlanmasında bitümlü bağlayıcının 170 ± 20 cP, sıkıştırılmasında ise 280 ± 30 cP viskozite değerine sahip olması istenmektedir [15]. İki farklı sıcaklıkta uygulanan RV deneylerinden elde edilen sonuçlar kullanılarak çizilen viskozite-sıcaklık grafiğinden bu viskozite değerlerini sağlayan karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları belirlenmiştir. Bağlayıcıya uygulanan deneylerden elde edilen sonuçlar Çizelge 1'de verilmiştir.

Karışımlarda agregada olarak kalker kullanılmıştır. Filler olarak kullanılan asfaltit, TKİ Silopi Kontrol Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Agregalar üzerinde yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar Çizelge 2'de BSK numunelerinde kullanılan agregada gradasyonu ise Çizelge 3'te verilmiştir.

Çalışmada asfaltit bitümlü sıcak karışıma filler oranının ağırlıkça %50'si oranında, SBS ise bitümlü bağlayıcıya ağırlıkça %5 oranında ilave edilmiştir. Deney numuneleri Marshall standardına uygun olarak hazırlanmıştır. Kontrol numunesinin optimum bitüm içeriği %5 olarak tespit edilmiş, diğer tipteki karışımlar da bağlayıcı oranının değişmesinden kaynaklanacak bir etkinin oluşmaması ve sadece katkı maddesinin etkisinin araştırılabilmesi için %5 bitüm içeriğinde hazırlanmıştır. Katkı maddeleri ve kontrol numuneleri ile birlikte 4 farklı kombinasyonda bitümlü sıcak karışım numuneleri üretilmiştir. Bu kombinasyonlar, orijinal B 160/220 bağlayıcısı ile hazırlanmış olan kontrol numuneleri (K), B 160/220 + %5 SBS ile hazırlanmış olan SBS modifiyeli karışımlar (S), B 160/220 ve fillerin %50'si oranında asfaltit kullanılarak hazırlanan asfaltit modifiyeli karışımlar (A) ve son olarak B 160/220 +%5 SBS ve fillerin %50'si oranında asfaltit kullanılarak hazırlanan hem SBS hem de asfaltit modifiyeli karışımlardır (AS). Hazırlanan bu kombinasyonlar sayesinde iki farklı katkı maddesinin kontrol numunesine ve birbirlerine göre ayrıca ikisinin de aynı karışımda kullanılmasının etkileri değerlendirilmiştir. Hazırlanan numuneler üzerinde indirekt çekme rijitlik modülü, indirekt çekme dayanımı ve yorulma deneyleri uygulanmıştır. Dört farklı karışımın hacimsel özellikleri Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4. Numunelerin hacimsel özellikleri

Karışım tipi	Vh (%)	Vma (%)	Vf (%)
K	5,022	15,530	67,657
A	4,965	15,478	67,924
S	5,097	15,596	67,318
AS	5,096	15,596	67,319

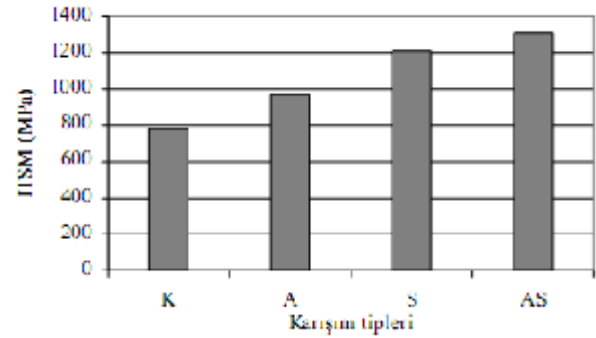
### 2.1. İndirekt Çekme Rijitlik Modülü Deneyi (Indirect Tensile Stiffness Modulus Test)

Bitümlü tabakaların yük dağıtma kabiliyetinin bir ölçüsü olan rijitlik modülü, bitümlü sıcak karışımların en önemli performans karakteristiklerinden biridir [16]. Bu deney BS DD 213 standardı ile tanımlanmış hasarsız bir deney olup rijitlik modülü (Sm, MPa) Formül 1 ile hesaplanmaktadır.

$$S_m = F(R+0,27) / LH \quad (1)$$

Burada F, maksimum dikey yük (N); H, 5 yük tekrarı sonucunda oluşan ortalama yatay deformasyon ( $\mu$ m); L, ortalama numune kalınlığı (mm); R ise poisson oranıdır (0,35). Deney, 25°C sıcaklıkta deformasyon kontrollü olarak yapılmıştır. Maksimum deformasyon 6  $\mu$ m, yükleme periyodu 3 sn, yük artış süresi 0,124 sn olarak alınmıştır. Deneye başlamadan önce numuneler 2 saat deney sıcaklığında bekletilmiştir. Daha sonra numuneler yükleme başlıkları arasına yerleştirilerek yatay deformasyonu ölçecek sensörler (LVDT) ayarlanmış, numune yüksekliği, çapı ve poisson oranı bilgisayara girilmiş, kabin içinde, referans numunesinin içinde ve ya-

nında bulunan sıcaklık ölçen sensörlerin aynı değeri göstermesinden sonra deneye başlanmıştır. Yükleme başlığı pnömatik olarak çalışan cihaz, ilk önce numunede 6  $\mu$ m deformasyon oluşturacak yük değerini ayarlamak için 5 adet deneme yüklemesi yapmaktadır. Deneme yüklemesinden sonra gerekli olan yükü ayarlayan cihaz, gerçek yüklemeleri yapmakta ve her darbeye 6  $\mu$ m deformasyon oluşması için gerekli yük değerini kaydetmektedir. Sonuçta 5 yüklemenin ortalama değerini ve standart sapmaları vermektedir. Deneylerde standart sapması %10'dan fazla olan numuneler iptal edilmiştir. Deneyde her bir karışım tipi için üçer numune test edilmiştir. Numunelerin ortalama ITSM değerleri Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Karışım tipleri – ITSM ilişkisi

Karışımlarda filler oranının %50'si oranında asfaltit kullanılması rijitlik modülünü kontrol numunesine göre %25, bağlayıcıya %5 SBS ilave edilmesi rijitlik modülünü kontrol numunesine göre %55 artırmıştır. Karışımlar içinde en iyi performansı her iki katkının birlikte kullanıldığı AS numunesinde olmuştur. Asfaltit ve SBS'nin birlikte kullanımı rijitlik modülünü kontrol numunesine göre %69 artırarak karışımın yük dağıtma kabiliyetinin önemli derecede yüksek olmasını sağlamıştır.

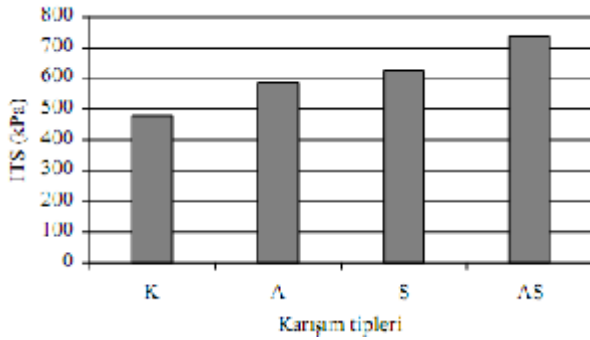
### 2.2. İndirekt Çekme Dayanımı Deneyi (Indirect Tensile Strength Test)

Numunelerin indirekt çekme mukavemeti (ITS) Marshall test cihazı kullanılarak tespit edilmiştir. Silindirik numunelerin basınç yüklemesine tabi tutulduğu, numunenin düşey çapsal düzlemi doğrultusunda uniform bir gerilme dağılımı oluşturan deneyde, kırılmaya neden olan yük tespit edilip, Formül 2 bağıntısı ile ITS (kPa) değerleri hesaplanmıştır.

$$ITS = 2P_{maks} / \pi t d \quad (2)$$

Burada P, kırılmaya neden olan maksimum yük (kN); t, ortalama numune yüksekliği (m); d, numune çapıdır (m).

ITS deneyinde her bir karışım tipinden üçer numune deneye tabi tutulmuştur. Numuneler 25°C'lik su banyosunda 1 saat bekletilerek Marshall deney cihazında eksenel yüklemeye tabi tutulup kırılmaya neden olan maksimum yük tespit edilmiş ve indirekt çekme mukavemetleri hesaplanmıştır. Değişik tipteki numunelerin ITS değerleri Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Karışım tipleri – ITS ilişkisi.

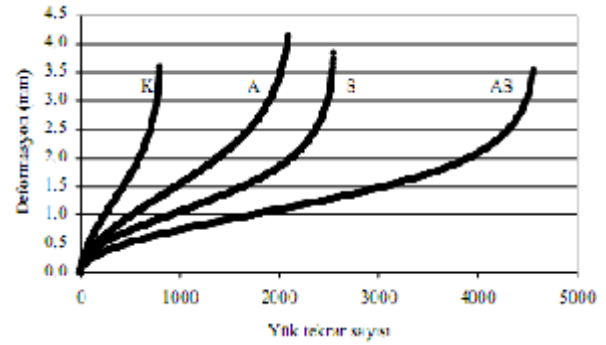
Karışımlarda filler oranının %50'si oranında asfaltit kullanılması çekme mukavemetini kontrol numunesine göre %23, bağlayıcıya %5 SBS ilave edilmesi çekme mukavemetini kontrol numunesine göre %32 artırmıştır. Hem asfaltit hem de SBS modifiyeli karışımın (AS) çekme mukavemeti değeri kontrol numunesine göre %54 daha yüksek olmuştur. Buradan asfaltit ve SBS'nin çalışmada verilen oranlar dahilinde aynı karışım içinde kullanılmasının uygun olduğu ve bitümlü sıcak karışımın performansını önemli derecede artırdığı görülmektedir.

### 2.3. İndirekt Çekme Yorulma Deneyi (Indirect Tensile Fatigue Test)

Yollardaki bitümlü malzemeler her taşıt geçişinde kısa süreli bir yüke maruz kalırlar. Bu, malzemenin rijitliğinde azalmayla sonuçlanan çok küçük hasarlara neden olur. Bu hasarların birikmesi ile uzun sürede malzeme bozulmaktadır. Yorulma dayanımı, asfalt betonunun tekrarlı trafik yüklerine, dolayısıyla tekrarlı eğilme yüklemesine kırılmadan karşı koyabilme yeteneğidir. Çalışmada 4 farklı kombinasyondaki karışımların her biri için üçer numune olmak üzere 12 numune yorulma deneyine tabi tutulmuştur. Deney, gerilme kontrollü yapılmak üzere 180 kPa değerlerindeki gerilme seviyesinde uygulanmıştır. Deney sıcaklığı 25°C'dir. Deneye başlamadan önce numuneler 2 saat deney sıcaklığında bekletilmiştir. Bu süre sonunda numune, yükleme başlıkları arasına yerleştirilmiş, düşey deformasyonu okuyacak LVDT'ler ayarlanmış, numune yüksekliği, çapı, gerilme seviyesi değerleri ve yükleme periyodu bilgisayara girilmiş ve deneye başlanmıştır. Yükleme periyodu 1,5 sn olarak alınmış bu sürenin 1,4 sn'si dinlenme periyodu (rest period), 0,1 sn'si ise yük etki süresi olarak ayarlanmıştır. Deney, numuneler tam olarak kırılıncaya kadar devam etmiştir. Şekil 3'te numunelerin deformasyon ve yük tekrarı ilişkisi verilmiştir.

Şekil 3'te en fazla yük tekrar sayısına AS numunelerinin daha sonra sırasıyla S, A ve kontrol numunelerinin sahip olduğu görülmektedir. A, S ve AS numunelerinin kırılmaya neden olan yük tekrar sayılarının kontrol numunesinin değerine göre sırasıyla 2,64, 3,20 ve 5,72 kat daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bitümlü sıcak karışımların performansının değerlendirilmesinde çok etkin bir deney yöntemi olan bu deneyde asfaltit ve SBS'nin birlikte kullanıldığı bitümlü sıcak karışımların

trafik yüklerinin tekrarlı geçişlerinin neden olduğu yorulma çatlaklarına, katkısız karışımlara göre çok önemli ölçüde direnç göstereceği anlaşılmaktadır.



Şekil 3. Yük tekrar sayısı – deformasyon ilişkisi

### 3. SONUÇ (CONCLUSION)

Bitümlü sıcak karışımların yük dağıtma kabiliyetinin bir ölçüsü olan rijitlik modülü deneyinde, karışımlarda filler oranının %50'si oranında asfaltit kullanılması rijitlik modülünü kontrol numunesine göre %25, bağlayıcıya %5 SBS ilave edilmesinin rijitlik modülünü kontrol numunesine göre %55 artırdığı tespit edilmiştir. Asfaltit ve SBS'nin birlikte kullanımı rijitlik modülünü kontrol numunesine göre %69 artırmıştır.

İndirekt çekme mukavemeti deneyinde de hem asfaltit hem de SBS modifiyeli karışım kontrol numunesinin değerine göre %54 daha yüksek sonuç vererek en iyi performansı sergilemiştir. Karışımlarda filler oranının %50'si oranında asfaltit kullanılması çekme mukavemetini kontrol numunesine göre %23, bağlayıcıya %5 SBS ilave edilmesi çekme mukavemetini kontrol numunesine göre %32 artırmıştır.

Yorulma deneyinde asfaltit, SBS ve asfaltit+SBS modifiyeli karışımların kırılmaya neden olan yük tekrar sayılarının kontrol numunesinin değerine göre sırasıyla 2,64, 3,20 ve 5,72 kat daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bitümlü sıcak karışımların performansının değerlendirilmesinde çok etkin bir deney yöntemi olan bu deneyde asfaltit ve SBS'nin birlikte kullanıldığı bitümlü sıcak karışımların trafik yüklerinin tekrarlı geçişlerinin neden olduğu yorulma çatlaklarına, katkısız karışımlara göre çok önemli ölçüde direnç göstereceği anlaşılmaktadır. Yapılan üç deneyde de asfaltit ilavesinin bitümlü sıcak karışımların mekanik özelliklerini iyileştirdiği, bağlayıcıya %5 SBS ilavesinin iyileştirme üzerindeki etkisinin karışıma filler oranının %50'si oranında asfaltit ilavesinden daha iyi olduğu, asfaltit ve SBS ilavesinin aynı karışım içerisinde birbirlerine uyum sağladığı ve bu şekilde modifiye edilmiş karışımların çok iyi performans sergilediği tespit edilmiştir.

### 4. KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Jones, R., "Modifiers for Asphalt Concrete", Air Force Engineering and Service Center Project, No: ESL-TR-88-32, USA (1990).
2. Isacsson, U. and Lu, X., "Testing and Appraisal of Polymer Modified Road Bitumens – State of the Art",

- Materials and Structures*, ISSN 1359-5997, Netherlands, 28: 139-159 (1995).
3. Isacson, U. and Lu, X., "Characterization of Bitumens Modified with SEBS, EVA and EBA polymers", *Journal of Materials Science*, ISSN 0022-2461, Netherlands, 34: 3737-3745 (1999).
  4. Aglan, H., Othman, A., Figueroa, L. and Rollings, R., "Effect of Styrene-Butadiene-Styrene Block Copolymer on Fatigue Crack Propagation Behavior of Asphalt Concrete Mixtures", *Transportation Research Record*, ISSN 0738-6826, USA 1417: 178-186 (1993).
  5. Tayfur, S., Özen, H. and Aksoy, A., "Investigation of Rutting Performance of Asphalt Mixtures Containing Polymer Modifiers", *Construction and Building Materials*, ISSN 0950-0618, England 21: 328-337. (2007).
  6. Yıldırım, Y., "Polymer Modified Asphalt Binders", *Construction and Building Materials*, ISSN 0950-0618, England 21: 66-72 (2007).
  7. Francken, L., "Bituminous Binders and Mixes", ISBN 0419228705, London, Rilem Reports, E&FN Spon, (1998).
  8. Kok, B.V., Yılmaz, M., "The Effects of Using Lime and Styrene-Butadiene-Styrene on Moisture Sensitivity Resistance of Hot Mix Asphalt", *Construction and Building Materials*, ISSN 0950-0618, England 23: 1999-2006 (2009).
  9. Şengüler, İ., "Asfaltit ve Bitümlü Şeylin Türkiye'deki Potansiyeli ve Enerji Değeri", *EMO Türkiye VI. Enerji Sempozyumu – Küresel Enerji Politikaları ve Türkiye Gerçeği*, 186-195 (2007).
  10. Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Enerji Hammaddeleri Alt komisyonu, "Kömür Çalışma Grubu Raporu", T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Müsteşarlığı, Yedinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Yayın no: DPT: 2440 – ÖİK: 496, 153 s. (1996).
  11. Aflaki, S., and Tabatabaee, N., "Proposals for modification of Iranian bitumen to meet the climatic requirements of Iran", *Construction and Building Materials*, ISSN 0950-0618, England 23: 2141-2150 (2009).
  12. Suo, Z. and Wong, W.G., "Analysis of fatigue crack growth behavior in asphalt concrete material in wearing course", *Construction and Building Materials*, ISSN 0950-0618, England 23: 462-468 (2009).
  13. Huang, B., Li, G. And Shu, X., "Investigation into three-layered HMA mixtures". *Composites: Part B* ISSN 1359-8368, England, 37: 679-690 (2006).
  14. Widyatmoko, I. and Elliott R., "Characteristics of elastomeric and plastomeric binders in contact with natural asphalts", *Construction and Building Materials*, ISSN 0950-0618, England, 22: 239-249 (2008).
  15. Zaniwski, J.P. and Pumphrey, M.E., "Evaluation of Performance Graded Asphalt Binder Equipment and Testing Protocol", *Asphalt Technology Program*, p. 107. (2004)
  16. Zoorob, S.E. and Suparna, L.B., "Laboratory Design and Investigation of the Properties of Continuously Graded Asphaltic Concrete Containing Recycled Plastics Aggregate Replacement (Plastiphalt)", *Cement and Concrete Composites*, ISSN 0958-9465, England, 22: 233-242 (2000).