

## Asfaltitin Bitüm ve Bitümlü Sıcak Karışımların Mekanik Özelliklerine Etkisi

**Baha Vural KÖK\***  
**Mehmet YILMAZ\*\***  
**Necati KULOĞLU\*\*\***

### ÖZ

Bu çalışmada Şırnak (Silopi) bölgesinden temin edilen asfaltit B160/220 bitümüne ağırlıkça %2, %4, %6 ve %8 oranlarında ilave edildi. Orjinal bitüm ve asfaltit katkılı modifiye bitümlerin mekanik özellikleri incelendi. Asfaltit ilavesi ile standart penetrasyonun azaldığı, viskozite ve kompleks modülünün arttığı, yumuşama noktası ve faz açısı değerlerinde ise kayda değer değişimler olmadığı görüldü. Marshall numuneleri üzerinde yapılan test sonuçları bitüme asfaltit katılması ile kalıcı Marshall stabilitesinde, indirekt çekme oranında, 15°C, 25°C ve 35°C sıcaklıklardaki rijitlik modülünde ve yorulma ömründe artışlar olduğunu gösterdi. Sonuç olarak, bitüme belli oranlarda asfaltit katılmasının bitümlü sıcak karışımların neme karşı direncini ve mekanik özelliklerini etkili şekilde iyileştirebileceği görüldü. Test edilen karışımlar için %4 asfaltit katkı oranının optimum olduğu belirlendi.

**Anahtar kelimeler:** Asfaltit, modifiye bitüm, modifiye bitümlü sıcak karışım, mekanik özellikler.

### ABSTRACT

#### The Effects of Addition of Asphaltite on the Mechanical Properties of Bitumen and Bituminous Hot Mixes

In this research the asphaltite obtained from Şırnak (Silopi) region was added to B160/220 bitumen by 2%, 4%, 6% and 8% by weight. The mechanical properties of original bitumen and asphaltite added (modified) bitumen were investigated. It was observed that standard penetration was reduced, viscosity and complex modulus were increased and there was no noticeable change on softening point and on phase angle by the addition of asphaltite. The test results on the Marshall specimens showed that retained Marshall stability, indirect tensile strength ratio, stiffness modulus at temperatures of 15°C, 25°C and 35°C and fatigue life were significantly increased by the addition of asphaltite to bitumen. In conclusion, it is seen that the addition of certain amounts of asphaltite to bitumen can effectively improve

---

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 22.10.2009 günü ulaşmıştır.
- 31 Mart 2012 gününe kadar tartışmaya açıktır.

\* Firat Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Elazığ - bvural@firat.edu

\*\* Firat Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Elazığ - mehmetyilmaz@firat.edu.tr

\*\*\* Firat Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Elazığ - nkuloglu@firat.edu.tr

the mechanical properties and moisture resistance of hot bituminous mixes. It was determined that 4% asphaltite content is optimum for the mixtures tested.

**Keywords:** Asphaltite, modified bitumen, modified bituminous hot mix, mechanical properties.

## 1.GİRİŞ

Bitümlü sıcak karışımlar (BSK), çok iyi servis performansı, sürüş konforu, stabilite, durabilite ve suya karşı dayanım sağlaması yönüyle yol üst yapılarında en çok kullanılan kaplama türüdür. BSK'ların mühendislik özelliklerini iyileştirmek için iki temel yoldan birisi gradasyonu ve dolayısıyla asfalt çimentosu oranlarını değiştirmektir. Taş mastik asfalt bu kategoride karışım performansının iyileştirilmesi bakımından tipik bir örnektir. Diğer bir yol ise katkı maddeleriyle bitümlü sıcak karışım özelliklerini iyileştirmektir. Katkı maddeleri bitüme 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), polipropilen (PP) ve polivinil-klorür (PVC) gibi polimerler, bitümlü sıcak karışımlarda denenmiş ve stabilite, nem hasarına karşı dayanım, yorulma dayanımı gibi birçok parametresini olumlu yönde etkiledikleri 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].

Bitüm modifikasyonunda kullanılan bir başka katkı maddesi doğal asfalttır. Doğal asfaltlar değişik saflık derecelerine göre, kaya asfaltı göl asfaltı yada bitüm depoları formlarında bulunabilmektedirler. Bitüme doğal asfalt ilavesi ile penetrasyonda düşüş, yumuşama noktasında artış, elastik özelliğin bir göstergesi olan kompleks modülünde artış ve faz açısında düşüş meydana geldiği belirtilmiştir [9-11].

Asfaltit, petrol kökenli bir kayaç olup, derinlerde bulunan sıvı veya yarı sıvı durumdaki asfalt maddesinin tektonik hareketler gibi çeşitli etkenlerle yatağından ayrılarak kayaçlardaki yarık, çatlak ve boşluklara yerleşmesi ve ısı, zaman ve basıncın etkisiyle başkalaşıma uğraması sonucu oluşmuştur [12]. 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 [13]. Bu rezervin 45 milyon tonu görünür niteliktedir. Asfaltitte bulunan kükürt oranının (% 4,3-7,9) yüksek olması çevre kirliliğine neden olduğundan birçok şehir merkezinde yakacak olarak kullanımı yasaklanmıştır. Oruç ve Eren [14], yaptıkları çalışmalarında asfaltitin filler olarak kullanılabilirliğini göstermişlerdir.

Bu çalışmada 200 nolu elek altında kalan asfaltit bağlayıcıya %2-4-6-8 oranlarında ilave edilerek karıştırılmış ve bu bağlayıcılarla bitümlü sıcak karışımlar hazırlanmıştır. Normal ve asfaltit modifiyeli karışımlar üzerinde kalıcı Marshall stabilitesi, çekme dayanımı oranı, indirek çekme rijitlik modülü, ve indirek çekme yorulma deneyleri uygulanmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOT

Çalışmada TÜPRAŞ rafinerisinden temin edilen B 160/220 sınıfı asfalt çimentosu ve Elazığ Hanpınarı taş ocağından temin edilen kalker türü agrega kullanılmıştır. Bağlayıcının modifiye edilme işleminde kullanılan asfaltit TKİ Silopi Kontrol Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Bağlayıcının asfaltit ile modifiyesi işleminde, 200 nolu elek altında kalan asfaltit bağlayıcıya ağırlığına %2-4-6-8 oranlarında ilave edilerek karıştırılmıştır. Karıştırma işlemi, 500 rpm. hızı sahip bir karıştırıcı ile 170°C sıcaklıkta orjinal bitüm ve katkı malzemesinin 90 dakika süreyle karıştırılması ile gerçekleştirilmiştir. Marshall yöntemine göre orjinal bağlayıcı ile hazırlanan numunelerin optimum bitüm içerikleri %4,90 olarak tespit edilmiş, bu değer etkin bir karşılaştırma yapabilmek için asfaltit modifiyeli numunelerde de kullanılmıştır. Normal ve modifiyeli bağlayıcılar ile Marshall yöntemine göre BSK numuneleri hazırlanarak kalıcı Marshall stabilitesi (RMS) ve çekme dayanımı oranı (TSR) yöntemleri ile nem hasarına karşı dayanımları; rijitlik modülü ve yorulma deneyleri ile karışım performansları belirlenmiştir.

### 2.1. Bağlayıcı Üzerinde Uygulanan Deneyler

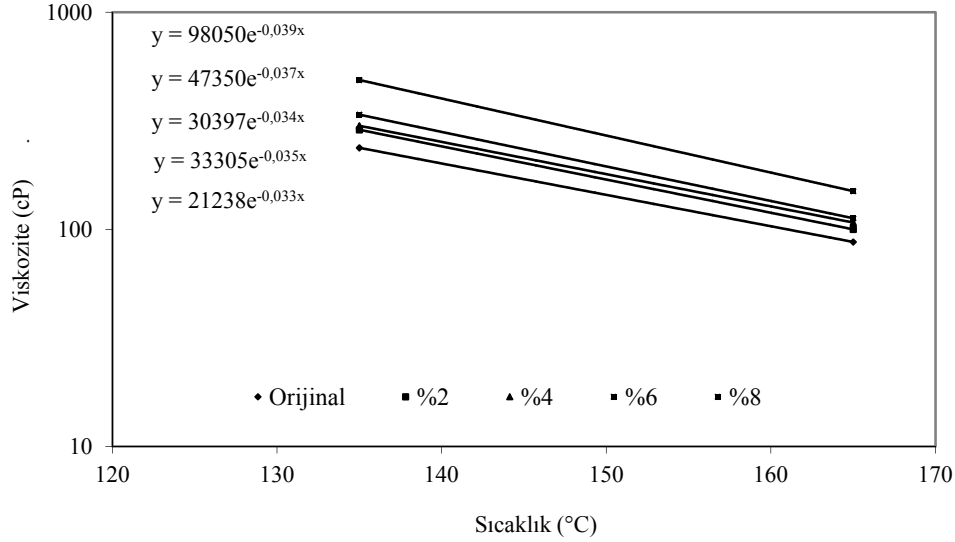
Normal ve asfaltit modifiyeli bağlayıcılara geleneksel deneylerin yanında dönel viskozimetre (RV) ve dinamik kayma reometresi (DSR) deneyleri uygulanmıştır. Geleneksel deneylerden elde edilen sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Orjinal ve asfaltit modifiyeli bağlayıcıların temel özellikleri.

Özellikler	Orjinal	%2	%4	%6	%8
Penetrasyon 100 g, 5 s	188,20	170,50	164,40	158,80	110,20
Yumuşama noktası (°C)	40,80	40,70	40,10	42,30	41,60
Viskozite (cP, 135°C)	235,00	287,50	300,00	337,50	487,50
Viskozite (cP, 165°C)	87,50	100,00	107,50	112,50	150,00
G*/sinδ (Pa), 52°C	1675,33	1633,03	1779,80	1929,11	2100,70
G*/sinδ (Pa), 58°C	830,91	772,02	840,67	892,07	984,60
δ (52 °C)	80,54	80,95	80,72	80,60	80,58
δ (58 °C)	82,96	83,04	82,85	82,83	82,99
Karıştırma sıcaklığı (°C)	142-149	147-153	148-155	151-157	159-165
Sıkıştırma sıcaklığı (°C)	127-133	133-138	134-140	137-143	146-152

Elde edilen sonuçlardan orjinal bağlayıcının TS 1081 EN 12591 standardında belirtilen şartname limitlerini sağladığı belirlenmiştir. Bitümlü sıcak karışımların karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarını belirlemek amacıyla orjinal ve asfaltit modifiyeli bağlayıcıları iki farklı sıcaklıkta (135 ve 165°C) dönel viskozimetre (RV) deneyine tabi tutulmuştur. Bitümlü sıcak karışımların hazırlanmasında bağlayıcının  $170 \pm 20$  cP, sıkıştırılmasında ise  $280 \pm 30$  cP viskozite değerine sahip olması istenmektedir [15]. İki farklı sıcaklıkta uygulanan RV deneylerinden elde edilen sonuçlar kullanılarak çizilen viskozite-sıcaklık

grafiğinden (Şekil 1) bu viskozite değerlerini sağlayan karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları belirlenmiştir.

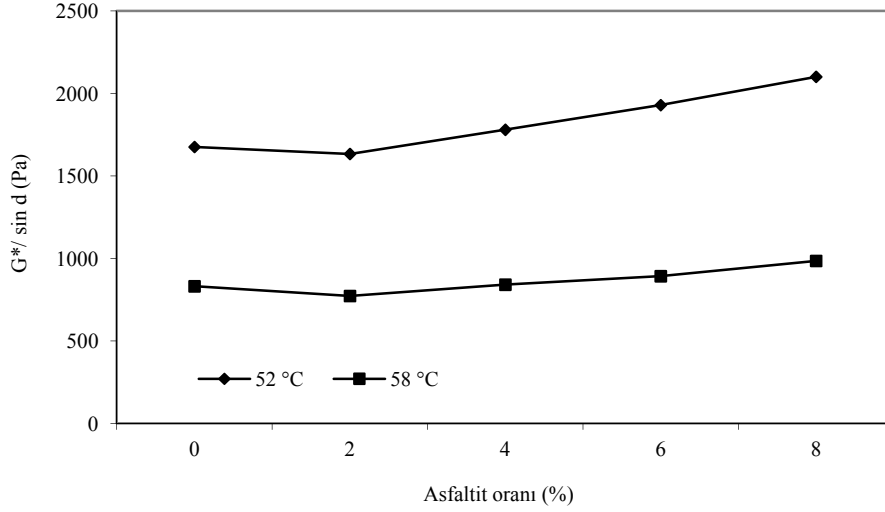


*Şekil 1. Bağlayıcıların viskozite – sıcaklık ilişkisi.*

DSR deneyi bağlayıcıların kompleks modülünü ( $G^*$ ) ve faz açısını ( $\delta$ ) ölçmek suretiyle hem viskoz hemde elastik davranışını belirlemektedir. Kompleks modülü, bağlayıcının sürekli tekrar eden kesme gerilmelerine maruz kalması ile deformasyona karşı gösterdiği toplam direncin bir ölçüsüdür ve bunun yanında elastik ve viskoz olmak üzere iki bileşeni vardır. Faz açısı ise viskoz ve elastik deformasyonun bağıl miktarının göstergesidir. Bağlayıcının kompleks modülü, faz açısı  $0^\circ$  iken elastik,  $90^\circ$  derece iken ise viskoz özellik gösterir. Yüksek sıcaklıklarda ve sürekli tekrar eden yükler altında, zaman içerisinde yolda oluşan tekerlek izi ve kalıcı deformasyonlar viskoz davranışın bir sonucudur. Superpave şartnamesi tekerlek izine karşı ve yüksek sıcaklıklardaki sertliğin ölçüsünü temsil eden  $G^*/\sin\delta$  faktörünü gerekli bir parametre olarak kabul etmiş ve orijinal bağlayıcı için bu parametrenin en az 1.00 kPa olması gerektiğini belirtmiştir.  $G^*$ 'ın yüksek ve  $\delta$ 'nın düşük değerleri tekerlek izi oluşumuna direnç sağlayacağından tercih edilen bir durumdur. DSR deneyi ile normal ve asfaltit modifiyeli bağlayıcıların yüksek sıcaklık performans seviyeleri belirlenmiştir. Şekil 2'de asfaltit içeriği ile  $G^*/\sin\delta$  arasındaki ilişki verilmiştir.

Orjinal ve değişik oranlardaki asfaltit modifiyeli bağlayıcıların minimum 1.00 kPa olması gereken yüksek sıcaklık performans seviyelerini  $52^\circ\text{C}$ 'de sağladıkları tespit edilmiştir. Tablo 1'de B160/220 bağlayıcısının penetrasyon değerlerinde asfaltit oranının artması ile bir düşüş meydana geldiği görülmekte, ayrıca Şekil 2'de bağlayıcının kompleks modülü değerlerinin %2 asfaltit oranından sonra artması bağlayıcının rijitliğinde bir artış meydana geldiğine işaret etmektedir. Diğer taraftan Tablo 1'de orijinal bağlayıcının faz açısı ve

yumuşama noktası değerlerinde asfaltit oranının artması ile bir değişme meydana gelmediği görülmektedir.



Şekil 2.  $G^*/\sin \delta$  – asfaltit oranı değişimi.

## 2.2. Agrega Üzerinde Uygulanan Deneyler

Çalışmada agregalar olarak kırmataş kalker kullanılmıştır. Agregalar üzerinde yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar Tablo 2’de, asfaltitin elemental analiz sonuçları [16] Tablo 3’de, karışımlarda kullanılan gradasyon ise Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 2. Agregalara uygulanan Deneylerden Elde Edilen Sonuçlar

Özellikler	Standart	Agrega			
		Kaba	İnce	Filler	Asfaltit
Aşınma Kaybı, % (Los Angeles)	ASTM DC 131	28	-	-	-
Donma Kaybı, % (Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	ASTM C 88	4,5	-	-	-
Özgül Ağırlık, gr / cm <sup>3</sup>	ASTM C127	2,684	-	-	-
Su Emme, %	ASTM C127	1,34	-	-	-
Özgül Ağırlık, gr / cm <sup>3</sup>	ASTM C128	-	2,699	-	-
Özgül Ağırlık, gr / cm <sup>3</sup>	ASTM D854	-	-	2,703	1,483

Tablo 3. Asfaltitin elemental analiz sonuçları [15].

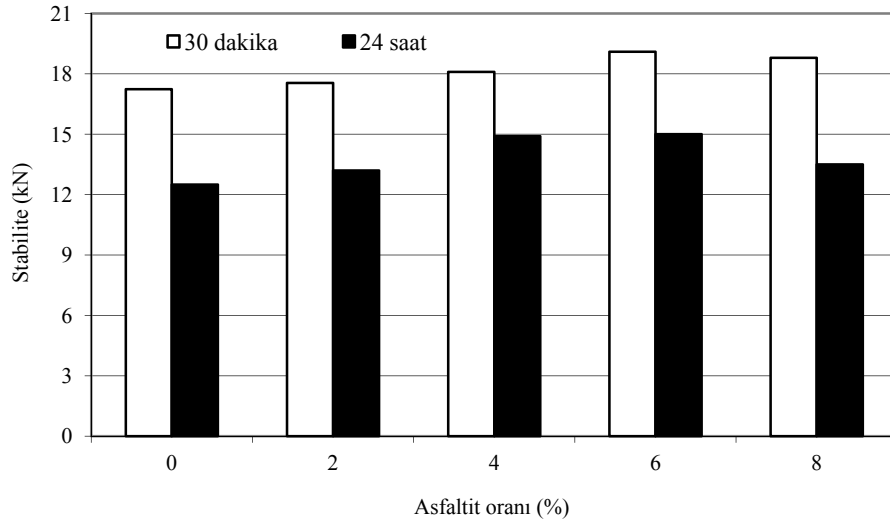
Nem (%)	Uçucu kül (%)	Uçucu madde (%)	Isıtma değeri (kcal/kg)	C (%)	H (%)	S (%)	N+O (%)
6.14	32.53	47.21	5491	54.22	5.07	8.23	0.25

Tablo 4. Agrega gradasyonu

Elek boyutu (mm)	19	12,5	9,5	4,75	2,36	1,18	0,6	0,3	0,15	0,075
% geçen	100	95	88	65	39	24	18	14	10	6

### 2.3. Kalıcı Marshall Stabilitesi Deneyi

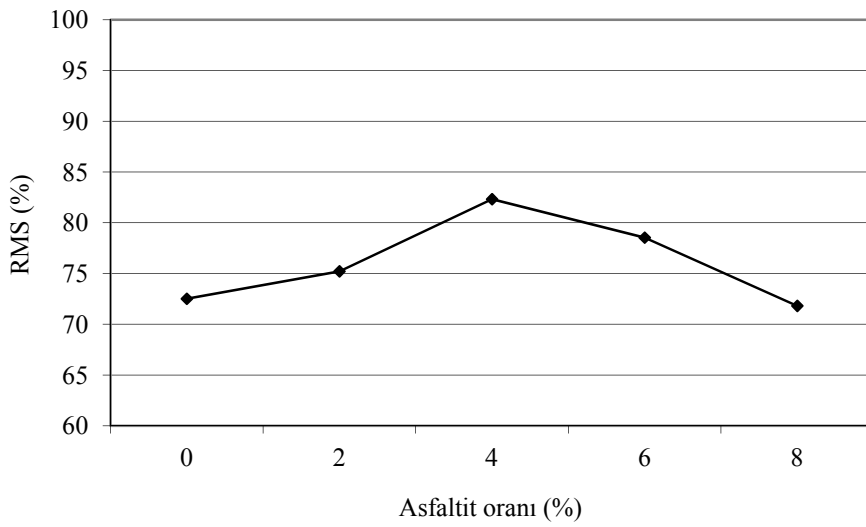
Bitümlü sıcak karışımların nem hasarına karşı dayanımlarının bir göstergesi olan kalıcı Marshall stabilitesi yönteminde, her tür numune için en az 6 numune hazırlanmaktadır. Bu numunelerden 3 tanesi standart yöntemde olduğu gibi 60°C suda 30 dakika bekletilirken 3 tanesi 60°C suda 24 saat bekletilmektedir [17]. 24 saat bekletilmiş numunelerin stabilite değerlerinin 30 dakika bekletilmiş numunelerin stabilite değerine oranından kalıcı Marshall stabilitesi (RMS) değeri belirlenmektedir. Asfaltit oranına göre stabiliteelerde meydana gelen değişim Şekil 3’de RMS değerleri ise Şekil 4’de verilmiştir.



Şekil 3. Asfaltit oranı – stabilite ilişkisi.

Şekil 3’de 30 dakika ve 24 saat koşullandırılmış numunelerin stabilite değerlerinde %6 asfaltit oranına kadar bir artış daha sonra ise bir düşüş olduğu görülmektedir. %6 asfaltit

içeren 30 dakika ve 24 saat koşullandırılmış numunelerin stabilitelerinin kontrol numunesine göre sırasıyla %10 ve %20 arttığı tespit edilmiştir. Asfaltit, numunelerin uzun süre 60 °C de beklemesi sonucu stabilitelerinde meydana gelen düşüşün kontrol numunelerine göre daha az olmasını sağlamıştır. Stabilitedeki düşüşten sonra geri kalan stabilite oranının en fazla %4 asfaltit içeren numunelerde olduğu Şekil 4’de görülmektedir. Orjinal bağlayıcı kullanılan karışımlarda RMS değeri %72 iken, % 4 asfaltit içeren bağlayıcıların kullanıldığı karışımlarda bu değer %82’ye yükselmiştir. Bu da %4 asfaltit içeren karışımların normal karışımlara göre neme karşı %13 daha dayanıklı olduğunu göstermektedir.



Şekil 4. Asfaltit oranı – RMS ilişkisi.

#### 2.4. Çekme Dayanımı Oranı Deneyi

Bitümlü sıcak karışımların nem hasarına karşı dayanımının belirlenmesinde kullanılan ve kabul gören standartlardan biri ASTM D 4867’dir. Bu standartta belirtilen yöntemde her bir BSK türü için en az 6 numune %6-8 boşluk oranına sahip olacak şekilde sıkıştırılmaktadır. Bu numunelerden üç tanesine boşluk oranının %50-80’i suyla dolacak şekilde vakum uygulanmaktadır. Bu numuneler daha sonra -18°C’de 16 saat bekletilmektedir. Bu koşullandırma işleminin ardından numuneler 25°C sıcaklıktaki suda 1 saat bekletilmekte ve eksenel paralel yanal yüklemeye tabi tutularak kırılmaktadır. Kuru numuneler ise koşullandırma işlemine tabi tutulmadan 1 saat süreyle 25°C sıcaklıktaki suda bekletildikten sonra kırılmaktadır. Kırım işleminden elde edilen maksimum yük değeri kullanılarak numunelerin indirekt çekme dayanımı ITS (kPa) Formül 1 ile belirlenmektedir.

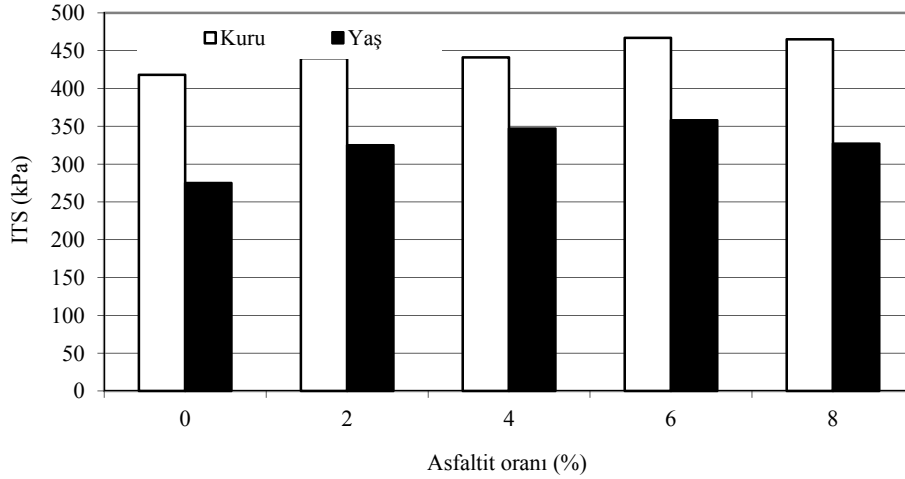
$$ITS = 2F/\pi LD \quad (1)$$

Burada, F numunenin taşıyabildiği maksimum yükü (kN), L numune yüksekliğini (m), D ise numune çapını (m) ifade etmektedir. BSK numunelerinin nem hasarına karşı dayanımlarını ifade eden çekme dayanımı oranı (TSR) Formül 2 ile belirlenmektedir.

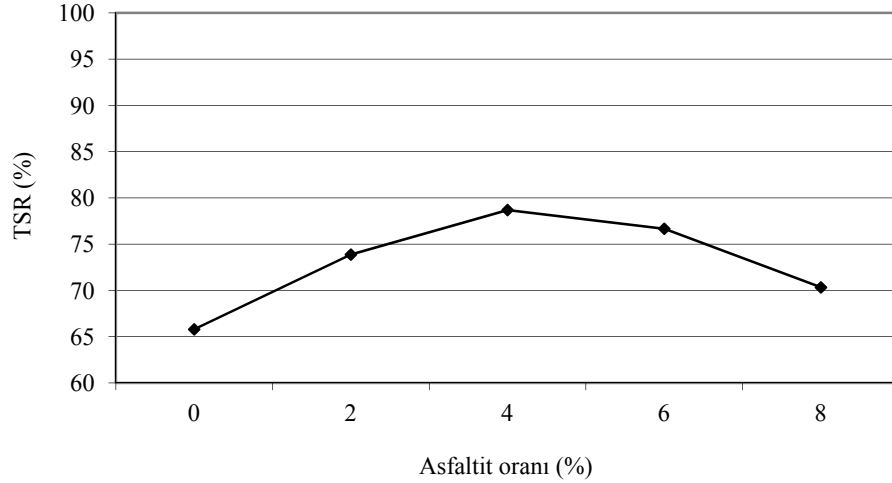
$$TSR=100(P_{\text{koşul}}/P_{\text{kuru}}) \quad (2)$$

Burada,  $P_{\text{koşul}}$  koşullandırılmış numunelerin ITS değerlerinin ortalamasını (kPa),  $P_{\text{kuru}}$  ise koşullandırılmamış numunelerin ITS değerlerinin ortalamasını (kPa) ifade etmektedir. Standarda göre TSR değerinin %70'in üzerinde olması karışımın nem hasarına karşı dayanımının uygun olduğunu göstermektedir. Kuru ve yaş numunelerin indirek çekme gerilmesi değerleri Şekil 5'de çekme dayanımı oranları ise Şekil 6'da verilmiştir.

Şekil 5'de kuru ve yaş numunelerin indirek çekme gerilmelerinin %6 asfaltit oranına kadar arttığı daha sonra ise düşüşe geçtiği görülmektedir. Kuru ve yaş numunelerin %6 asfaltit oranı ile çekme gerilmelerinde kontrol (orjinal) karışıma göre sırası ile %12 ve %30 artış meydana gelmiştir. Fakat Şekil 6'da görüldüğü üzere en yüksek çekme gerilmesi oranı %4 asfaltit içeren numunelerde tespit edilmiştir. %4 asfaltit içeren karışımın çekme gerilmesi oranının kontrol karışımına göre %20 oranında bir artış sağlaması, bu orandaki karışımın suyun zararlı etkilerine karşı önemli bir direnç sağlayacağına işaret etmektedir.



Şekil 5. Asfaltit oranı - indirek çekme gerilmesi ilişkisi



Şekil 6. Asfaltit oranı – TSR ilişkisi.

## 2.5. İndirek Çekme Rijitlik Modülü Deneyi

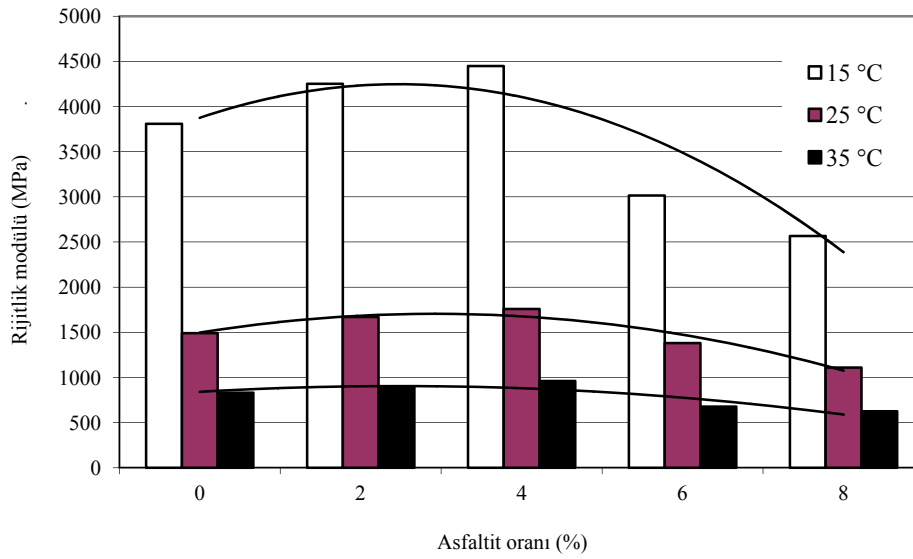
İndirek çekme modunda ölçülen rijitlik modülü, elastik özelliklerin değerlendirilmesinde kullanılan gerilme-şekil değiştirme ölçümlerinin en yaygın şeklidir. Bitümlü tabakaların yük dağıtma kabiliyetinin bir ölçüsü olan rijitlik modülü, bitümlü sıcak karışımların en önemli performans karakteristiklerinden biridir [16]. Bu deney BS DD 213 standardı ile tanımlanmış hasarsız bir deney olup rijitlik modülü ( $S_m$ , MPa) Formül 3 ile hesaplanmaktadır.

$$S_m = F(R + 0,27) / LH \quad (3)$$

Burada,  $F$  maksimum dikey yük (N);  $H$ , 5 yük tekrarı sonucunda oluşan ortalama yatay deformasyon (mm);  $L$ , ortalama numune kalınlığı (mm);  $R$  ise poisson oranıdır (0,35). Deney, 15 °C, 20 °C ve 35 °C sıcaklıklarda deformasyon kontrollü olarak yapılmıştır. Hedef deformasyon 7 µm, 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 (0,35) bilgisayara girilmiş, kabin içinde, referans numunesinin içinde ve yanında bulunan sıcaklık ölçen sensörlerin aynı değeri göstermesinden sonra deneye başlanmıştır. Yükleme başlığı pnömatik olarak çalışan cihaz, ilk önce numunede 7 µm 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 7 µm deformasyon oluşması için gerekli yük değerini kaydetmektedir. Sonuçta 5 yüklemenin ortalama değeri ve standart sapmalar elde edilmektedir. Deneylerde standart sapması %10'dan fazla olan

numuneler iptal edilmiştir. Deneyde her bir karışım tipi için üçer numune test edilmiştir. Karışımların üç farklı sıcaklıktaki indirek çekme rijitlik modülü değerleri (üç numunenin ortalaması) Şekil 7’de verilmiştir.

Şekil 7’de numunelerin rijitlik modüllerinin bütün sıcaklıklarda %4 asfaltit oranına kadar arttığı, daha sonra ise önemli derecede bir düşüşe geçtiği görülmektedir. %6 ve %8 oranlarındaki numunelerin rijitlik modülü değerleri kontrol numunelerinden de düşüktür. 15-25 ve 35°C de numunelerin rijitlik modülleri %4 asfaltit oranı ile sırasıyla %17, %18 ve %15 artmıştır. Sıcaklığın artması ile (35°C) asfaltitin iyileştirme etkisinin bir miktar azaldığı, 15°C ve 25°C’de ise fazla değişmediği tespit edilmiştir.

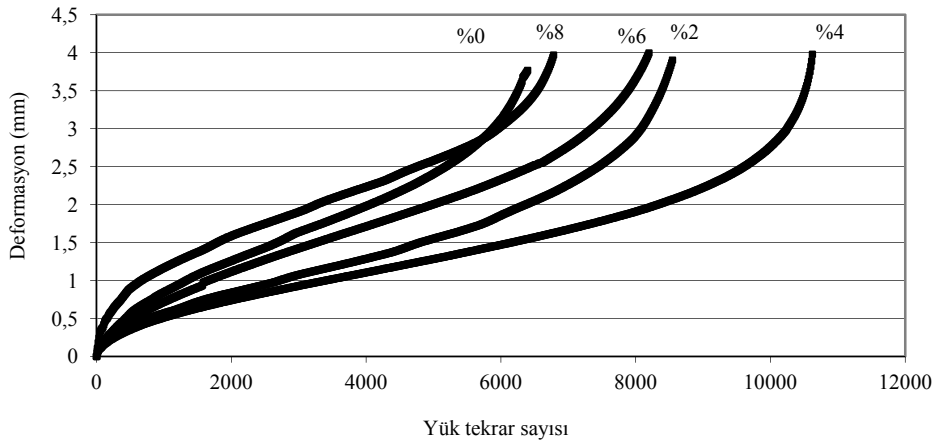


*Şekil 7. Asfaltit oranı – rijitlik modülü ilişkisi.*

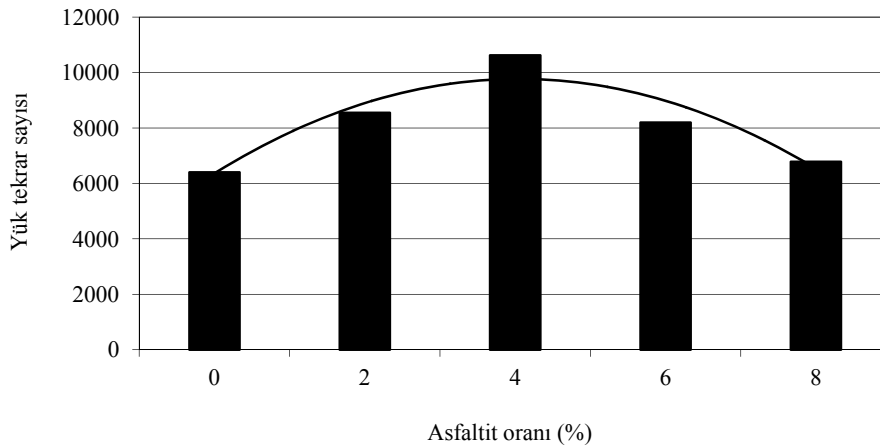
## **2.6. İndirek Çekme Yorulma Deneyi**

Yorulma, tekrarlı trafik yükleri ile ilişkili olarak kaplamadaki en önemli bozulma tiplerinden biri olarak görülmektedir. Bu çalışmada 200 kPa seviyesindeki gerilme, 0,1 s yükleme ve 1,4 s bekleme periyodunda tekrarlı olarak numunelere uygulanmıştır. Deneyde servo-hidrolik sisteme sahip olan UTM test cihazı kullanılmıştır. Numunelerin çap doğrultusunda yerleştirilen sensörler (LVDT) ile düşey doğrultudaki deformasyon değişimi tespit edilmiştir. Numuneler deneye tabi tutulmadan 2 saat önce deney sıcaklığı olan 25°C’de bekletilmiştir. Deney sırasında tekrarlı yüke karşılık oluşan toplam deformasyon eğrisi elde edilmiştir. Tekrarlı yük uygulaması, numuneler kırılıncaya kadar devam etmiştir. Şekil 8’de değişik asfaltit oranlarındaki numunelerin yük tekrar sayısı ve deformasyon ilişkisi, Şekil 9’da ise asfaltit oranı ile kırılmaya neden olan yük tekrar sayıları arasındaki ilişki verilmiştir.

Değişik asfaltit içeriklerindeki numunelerin hepsinin tekrarlı yükler altında kırılmadan önce yaklaşık 4 mm deformasyon yaptıkları Şekil 8’de görülmektedir. Bu sebeple kırılmaya neden olan yük tekrar sayılarını karşılaştırmak doğru bir yaklaşım olacaktır. Şekil 9’da görüldüğü üzere numunelerin yük tekrar sayısı asfaltit içeriği ile birlikte önce artmakta daha sonra azalmaktadır. Diğer deneylerde de olduğu gibi bu deneyde de en iyi performansa %4 asfaltit içeren numunelerin sahip olduğu tespit edilmiştir. Karışımda %4 asfaltit kullanımı yük tekrar sayısını kontrol numunesine göre 1,6 kat artırmıştır.



Şekil 8. Yük tekrar sayısı – deformasyon ilişkisi.



Şekil 9. Asfaltit oranı – yük tekrar sayısı ilişkisi.

### **3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER**

Çalışmada asfaltit, ağırlıkça %2, %4, %6 ve %8 oranlarında bağlayıcı modifikasyonunda kullanılmış, bağlayıcılar ve bu modifiyeli bağlayıcılar ile hazırlanan Marshall numunelerine mekanik testler uygulanmıştır. Deneysel çalışmalar neticesinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

Yüksek sıcaklık performans seviyesi 52°C olan orjinal bağlayıcının (B160/220) bu değerinin %2 ile %8 arasında asfaltit ilavesi ile değişmediği gözlenmiştir. Orjinal bağlayıcının penetrasyon değerlerinde asfaltit oranının artması ile bir düşüş meydana gelmiş, yumuşama noktasında ise önemli bir değişme meydana gelmemiştir. Ayrıca bağlayıcının asfaltit oranının artması ile kompleks modülünde artış meydana gelmiş buna karşın faz açısı değerinde herhangi bir değişme olmamıştır.

Marshall stabilite deneyinde 30 dakika ve 24 saat koşullandırılmış numunelerin stabilite değerlerinde %6 asfaltit oranına kadar bir artış daha sonra ise bir düşüş olduğu, asfaltit katkılı numunelerin 24 saat 60°C suda koşullandırılması sonucu stabilite düşüş oranının aynı şekilde koşullandırılmış kontrol numunelerindeki stabilite düşüş oranında daha az olduğu ve en az stabilite düşüş oranının %4 asfaltit içeren numunelerde olduğu gözlenmiştir.

İndirek çekme gerilmesi deneyinde, kuru ve yaş numunelerin %6 asfaltit oranı ile çekme gerilmelerinde sırası ile %12 ve %30 artış meydana geldiği, en yüksek çekme gerilmesi oranına ise %4 asfaltit içeren numunelerin sahip olduğu gözlenmiştir. %4 asfaltit içeren karışımın çekme gerilmesi oranı kontrol numunesine göre %20 oranında bir artış göstermesi bu orandaki karışımın suyun zararlı etkilerine karşı önemli bir direnç sağlayacağına işaret etmektedir.

Üç farklı sıcaklıkta yapılan indirek çekme rijitlik modülü deneyinde, numunelerin rijitlik modüllerinin bütün sıcaklıklarda %4 asfaltit oranına kadar arttığı daha sonra ise önemli derecede düştüğü gözlenmiştir. 15 °C, 25 °C ve 35 °C’de numunelerin rijitlik modülleri %4 asfaltit oranı ile sırasıyla %17, %18 ve %15 artmıştır. Sıcaklığın 35 °C’ye çıkması ile asfaltitin iyileştirme etkisinin bir miktar azaldığı 15 °C ve 25 °C arasında ise fazla değişmediği belirlenmiştir.

Yorulma deneyinde, orjinal ve asfaltit modifiyeli numunelerin kırılmadan önce yük doğrultusunda yaklaşık 4 mm deformasyona ulaştığı, en yüksek yük tekrar sayısına, kontrol numunesine göre 1,6 kat daha iyi performans sergileyen %4 asfaltit içerikli karışımın sahip olduğu gözlenmiştir.

Bitüm modifikasyonunda ağırlıkça %4 oranında asfaltit kullanılması ile daha uzun süre bakım gerektirmeden hizmet verecek kaplamalar elde edilmesi ve çoğu yurtdışında üretilen katkı malzemeleri yerine tamamen yerli kaynak olan asfaltitin bitümlü sıcak karışımlarda kullanılması, ülkemiz ekonomisine katkıda bulunacaktır.

**Semboller**

BSK	Bitümlü sıcak karışım
$\delta$	Faz açısı
D	Numune çapı
DSR	Dinamik kayma reometresi
EVA	Etilen-vinil-asetat
F	Numunenin taşıyabildiği maksimum yük
G*	Kompleks modülü
ITS	İndirek çekme dayanımı
L	Numune yüksekliği
PE	Polietilen
P <sub>koşul</sub>	Koşullandırılmış numunelerin ITS değerlerinin ortalaması
P <sub>kuru</sub>	Koşullandırılmamış numunelerin ITS değerlerinin ortalaması
PP	Polipropilen
PVC	Polivinil-klorür
R	Poisson oranı
RMS	Kalıcı Marshall stabilitesi
RV	Dönel viskozimetre
SBS	Stiren-butadien-stiren
SEBS	Stiren-etilen-butilen-stiren
S <sub>m</sub>	İndirek çekme rijitlik modülü
TKİ	Türkiye Kömür İşletmeleri
TSR	Çekme dayanımı oranı
UTM	Universal Testing Machine

**Kaynaklar**

- [1] Jones, R., Modifiers for Asphalt Concrete, Air Force Engineering and Service Center Project, No: ESL–TR–88-32, 93 p., 1990.
- [2] Isacsson, U., Lu, X., Testing and Appraisal of Polymer Modified Road Bitumens – State of the Art, Materials and Structures, 28, 139-159, 1995.
- [3] Isacsson, U., Lu, X., Characterization of Bitumens Modified with SEBS, EVA and EBA Polymers, Journal of Materials Science, 34, 3737-3745, 1999.

- [4] Aglan, H., Othman, A., Figueroa, L., Rollings, R., Effect of Styrene-Butadiene-Styrene Block Copolymer on Fatigue Crack Propagation Behavior of Asphalt Concrete Mixtures, Transportation Research Record, 1417, 178-186, 1993.
- [5] Tayfur, S., Özen, H., Aksoy, A., Investigation of Rutting Performance of Asphalt Mixtures Containing Polymer Modifiers, Construction and Building Materials, 21, 328-337, 2007.
- [6] Yıldırım, Y., Polymer Modified Asphalt Binders, Construction and Building Materials, 21, 66-72, 2007.
- [7] Francken, L., Bituminous Binders and Mixes, London, Rilem Reports, E&FN Spon, 352 p., 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, 23, 1999-2006, 2009.
- [9] Widyatmoko, I., Elliott, R., Characteristics of Elastomeric and Plastomeric Binders in Contact with Natural Asphalts, Construction and Building Materials, 22, 239-249, 2008.
- [10] Anderson, D.A., Maurer, D., Ramirez, T., Christensen, D.W., Marasteanu, M.O., Mehta, Y., Field Performance of Modified Asphalt Binders Evaluated With Superpave Test Methods: I-80 test project, Transportation Research Record, 1661, 60-68, 1999.
- [11] Aflaki, S., Tabatabaee, N., Proposals for Modification of Iranian Bitumen to Meet the Climatic Requirements of Iran, Construction and Building Materials, 23, 2141-2150, 2009.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] Oruç, Ş., Eren, Ü., Asfaltitin Asfalt Betonunda Mineral Filler Olarak Kullanılabilirliği, Yapı Dünyası Dergisi, 150, 10-14, 2008.
- [15] Zaniewski, J. P., Pumphrey, M. E., Evaluation of Performance Graded Asphalt Binder Equipment and Testing Protocol, Asphalt Technology Program, 107 p., 2004.
- [16] Sezer, M., Bilgesu A.Y., Karaduman, A., Flash Pyrolysis of Silopi Asphaltite in a Free-Fall Reactor Under Vacuum, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 82, 89-95, 2008.
- [17] Zoorob, S.E., 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, 22, 233-242, 2000.