



Araştırma Makalesi / Research Article
THE EFFECT OF CARBON BLACK ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF ASPHALT MIXTURES

Perviz AHMEDZADE* , Taner ALATAŞ, Tacettin GEÇKİL

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, ELAZIĞ

Geliş/Received: 22.12.2006 Kabul/Accepted: 18.06.2007

ABSTRACT

The effect of carbon black used as a filler on the mechanical properties of asphalt mixtures was investigated. The asphalt mixtures in which carbon black and limestone fillers that have the same aggregate gradation were prepared and optimum bitumen content was determined by Marshall stability test. Mechanical characteristics of the carbon black and control mixtures were evaluated with Marshall stability, indirect tensile stiffness modulus, creep stiffness and indirect tensile strength tests. From these tests values it is clear that the best results were obtained from mixtures with carbon black filler. The results of investigation show that carbon black improves the mechanical properties of asphalt mixtures.

Keywords: Asphalt concrete, carbon black, stiffness modulus, creep stiffness, indirect tensile strength.

SİYAH KARBONUN ASFALT KARIŞIMLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

ÖZET

Bu çalışmada, filler olarak kullanılan siyah karbonun asfalt karışımların mekanik özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Aynı agrega gradasyonuna sahip kalker ve siyah karbon fillerini içeren asfalt karışımları hazırlanmış ve optimum bitüm oranı Marshall stabilite testi ile belirlenmiştir. Siyah karbon ve kontrol karışımlarının mekanik özellikleri Marshall stabilitesi, indirek çekme rijitlik modülü, sünme rijitliği ve indirek çekme direnci testleri yapılarak değerlendirilmiştir. Bu testler sonucunda, filler olarak siyah karbon kullanılan karışımların en iyi sonuçları verdiği açıkça gözlenmiştir. Araştırmanın sonuçları, siyah karbonun asfalt karışımların mekanik özelliklerini geliştirdiğini ortaya koymuştur.

Anahtar Sözcükler: Asfalt betonu, siyah karbon, rijitlik modülü, sünme rijitliği, indirek çekme direnci.

1. GİRİŞ

Yıllar boyunca, yol yapıları trafik yoğunluğu, dingil yükü ve lastik basıncı ve yetersiz bakım nedeni ile beklenenden çok daha hızlı bir şekilde bozulurlar. Bu durum, mevcut asfalt malzemesinin özelliklerini artırmanın gerekliliğini ortaya koymaktadır. Asfalt, mineral agrega, filler, bitüm ve havadan oluşan çok fazlı kompleks bir malzemedir. Filler malzemesi, asfalt karışımlarının ana bileşenlerinden biri olarak dikkate alınır. Mineral filler malzemesinin özellikleri, onun asfalt betonunun performansını geliştirmedeki potansiyelini tespit etmek, özellikle de sıcak karışımın stabilitesini ve durabilitesini artırarak ötelenme ve tekerlek izi

* Sorumlu Yazar/Corresponding Autor: e-mail/e-ileti: pahmedzade@firat.edu.tr, tel: (424) 237 00 00 / 5421

The Effect of Carbon Black on the Mechanical ...

oluşumu ile ilgili sorunları azaltmak için araştırılmıştır. Belirli mineral filler malzemelerinin kullanımı, asfalt betonundaki rijitlik ve gerilme artışı için uygun bir değer artışı sağlar [1]. Filler malzemesi, genellikle kalker, Portland çimentosu, siyah karbon ve uçucu kül agregalarının elenmesi ile elde edilir. Bu maddelerin özellikle de siyah karbon kullanılmasının karışımın durabilitesi, aşınma direnci ve sıcaklık hassasiyeti için faydalı olduğu belirtilmiştir [2,3].

Siyah karbonun asfalt için güçlendirici bir eleman olduğu fikri Martin ile başlamıştır [4]. Martin, asfalt ağırlığına göre %3 siyah karbon dağılımının, asfalt bağlayıcının sıcaklık hassasiyeti üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığını belirtmiştir. Siyah karbon kullanılarak yapılan bir diğer araştırma Rostler ve ekibi tarafından yürütülmüştür [5]. Rostler ve ekibi, Martin'in test sonuçlarındaki siyah karbonun zayıf performansının, siyah karbonun asfalt içindeki kötü dağılımı, siyah karbon konsantrasyonunun düşüklüğü ve uygun viskoziteyi elde etmek için ilave edilen yağdan kaynaklandığı yorumunda bulunmuşlardır. Ayrıca asfalt içindeki siyah karbon dağılımının fotomikrografi yapılmış ve siyah karbon parçacıklarının asfalt çimentosuna entegre olması için 70×10^{-3} mikrondan daha az ortalama bir parçacık çapına sahip olması gerektiğini belirtmişlerdir. Terrel ve ekibi, bir güçlendirme elemanı olarak siyah karbonun kullanımı ile ilgili Washington Üniversitesinde araştırma yaparak sonucunu rapor etmişlerdir. Bu çalışmada siyah karbon olarak Microfil 8 kullanılmıştır. Genel olarak asfalt karışımlarına bir miktar siyah karbon ilavesinin, karışımın stabilitesini önemli derecede düzettiğini, karışımın rijitlik modülünü artırdığını ve çekme direncini geliştirdiğini bulmuşlardır. Bu çalışmanın sonucu, siyah karbon ile fiziksel ve kimyasal özellikleri daha uygun hale gelen asfalt çimentosunun, bağlayıcının sıcaklık hassasiyetini geliştirebildiğini ve karışımların nem direncini arttırabildiğini göstermiştir [6]. Yao ve Monismith, ağırlıkça %15-20 Microfil 8 ilavesinin asfalt karışımlarının tekerlek izine karşı direncini, yoğunluğunu ve esneklik modülünü geliştirdiğini bulmuşlardır [7]. Ayrıca Button ve ekibi, AC 100-150 asfaltına %15 Microfil 8 ilavesinin daha sert olan AC 60-70'e kıyasla kalıcı deformasyona karşı direncini önemli ölçüde artırdığını belirtmişlerdir [8].

Bu çalışmada, asfalt karışımlarda siyah karbonun filler olarak kullanımı araştırılmış ve asfalt betonu karışımların mekanik özellikleri üzerinde siyah karbonun olumlu etkisi tespit edilmiştir.

2. DENEYSEL YÖNTEM

2.1. Malzemeler

Bu çalışmada kullanılan AC 100-150 asfalt çimentosu Türkiye Petrol Rafinerileri Anonim Şirketi (TÜPRAŞ)'dan temin edilmiştir. AC 100-150 asfalt çimentosunun fiziksel özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir. Çalışmada, mineral agrega olarak kullanılan ve başlıca yol inşaatı malzemesi olan kalker, Elazığ çevresindeki Hanpınarı taş ocağından temin edilmiştir. Karışımda kullanılan kaba ve ince kalker agregasının özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 1. AC 100-150 asfalt çimentosunun fiziksel özellikleri

Özellikler	Standartlar	Test Sonuçları	Şartname Sınırı
Özgül ağırlık (gr/cm^3) 25°C'de	TS 1087	1.035	-
Düktilite (cm) 25°C'de	TS 119	100	Min.100
Penetrasyon, (0,1mm), 100gr, 5sn	EN 1426	138	100-150
Yumuşama noktası (°C)	EN 1427	46.7	39-47
Fraas kırılma noktası (°C)	EN 12593	-21.4	Maks. -12
Kinematik viskozite, 135°C, (mm^2/sn)	EN 12595	236	Min. 175
Parlama noktası (°C)	EN 22719	304	Min.230
Penetrasyon indeksi (PI)	-	0.87	-
Penetrasyon viskozite sayısı (PVN)	-	0.68	-

Bu çalışmada filler olarak iki tip malzeme kullanılmıştır. Birinci tip filler, kalker agregasının No:200 elekten elenmesi ile elde edilmiştir (Şekil 1a). Kalker filler malzemesinin özgül ağırlığı ASTM D-854'e göre 2.632 gr/cm³ bulunmuştur. İkinci tip filler olarak, direk TÜPRAŞ'dan alınan siyah karbon (HAF N-326) kullanılmıştır (Şekil 1b). Siyah karbonun fiziksel özellikleri Çizelge 3'te verilmiştir. Çalışmada kullanılan agreganın karışım gradasyonu Çizelge 4'de gösterilmiştir.

Çizelge 2. Mineral kalker agregasının özellikleri

Özellikler	Standartlar	Kalker		Şartname Sınırı
		Kaba	İnce	
Aşınma kaybı (%) (Los Angeles)	ASTM C-131	29		Maks.35
Donma kaybı (%) (Na ₂ SO ₄ ile)	ASTM C-88	3,74		Maks.10
Özgül ağırlık (gr/cm ³)	ASTM C-127	2.627		-
Özgül ağırlık (gr/cm ³)	ASTM C-128		2.639	-



(a)



(b)

Şekil 1. Kalker filler malzemesi (a) ve siyah karbon (b)

Çizelge 3. Siyah karbonun fiziksel özellikleri

Özellikler	Standartlar	Siyah Karbon (HAF N-326)
PH	ASTM D-1512	7
Özgül ağırlık (gr/cm ³)	ASTM D-1513	0.550
Kükürt içeriği (%)	ASTM D-1619	0.5
Kül içeriği (%)	ASTM D-1506	0.2
Dibutil ftalat (DBP) absorpsiyonu (ml/100g)	ASTM D-3493	68
Özgül yüzey alanı (CTAB) (m ² /g)	ASTM D-3765	83
Pellet sertliği×20 (g)	ASTM D-3313	42

2.2. Numunelerin Hazırlanması

Marshall numunelerini hazırlamak amacı ile iki farklı agrega karışımı hazırlanmıştır. İlk agrega karışımında kaba ve ince agrega ve filler olarak kalker kullanılmıştır. İkinci agrega karışımında ise kaba ve ince agreganın cinsi ve miktarı değişmezken filler olarak kalkerin yerine siyah karbon kullanılmıştır. Marshall karışım dizaynı hacimsel bir metot olduğundan, siyah karbonun filler olarak agrega karışımındaki miktarı, kalkere hacimce eşit olacak şekilde alınmıştır.

İki farklı agrega karışımı ve bitüm (AC 100-150) bir etüvde 165°C sıcaklığa kadar ısıtılmıştır. İlk olarak, ısıtılmış AC 100-150 bitümü iki farklı agrega karışımına ayrı ayrı ilave edilmiştir. Daha sonra bitüm-agrega karışımları 30-45 saniye kadar karıştırıcı makine ile karıştırılmış ve Marshall kontrol (AC 100-150/K) numuneleri ile siyah karbon (AC 100-150/SK)

The Effect of Carbon Black on the Mechanical ...

numuneleri hazırlanmıştır. Asfalt betonu karışım numuneleri her bir agregası karışım formülasyonu için 3 adet olarak hazırlanmıştır. Her bir deney için hazırlanan toplam numune sayısı Çizelge 5'te verilmiştir.

Çizelge 4. Agregası karışım gradasyonu

Elek Boyutu	(%) Geçen
19mm (3/4")	100
12.5mm (1/2")	95
9.5mm (3/8")	88
4.75mm(#4)	65
2.36mm(#8)	39
1.18mm (#16)	24
0.600mm (#30)	18
0.300mm (#50)	14
0.150mm (#100)	10
0.075mm (#200)	6

Çizelge 5. Deneyler için hazırlanan toplam numune sayısı

Deney	Numune Sayısı	
	AC 100-150/K	AC 100-150/SK
Marshall Stabilitesi ve Akma Deneyi (Optimum)	15	15
Marshall Stabilitesi ve Akma Deneyi (Kontrol)	3	3
İndirek Çekme Rijitlik Modülü (ITSM) Deneyi	9	9
Statik Yükleme Süne Rijitliği Deneyi	6	6
İndirek Çekme Direnci (ITS) Deneyi	12	12
Toplam	45	45

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1. Termogravimetrik Analiz (TGA)

Asfalt çimentosu ve siyah karbonun bozulma sıcaklığı termogravimetrik analiz (TGA) ile araştırılmıştır. Termal analiz, 10°C/dak. ısıtma hızındaki bir TGA-50 termobalansı kullanılarak azot atmosferinde yapılmıştır.

3.2. Marshall Stabilitesi ve Akma Deneyi

Marshall stabilitesi ve akma deneyi, TS 3720'e göre farklı bağlayıcı içerikli sıkıştırılmış silindirik numunelere uygulanır. Numuneler 30-40 dakika kadar 60°C'deki suda bekletildikten sonra, 51mm/dak. sabit bir basınç altında çelik yükleme plakaları kullanılarak yüklemenin yapıldığı bir deneydir. Marshall stabilite değeri (kN) yükleme boyunca kaydedilen maksimum kuvvet, akma değeri (mm) ise maksimum kuvvette kaydedilmiş deformasyondur.

Optimum bağlayıcı içeriğini belirlemek için; maksimum hacim özgül ağırlığı, maksimum stabilite, asfalt karışımındaki %4 hava boşluğu ve bağlayıcı ile dolu agregası karışımındaki %80 boşluğundaki bağlayıcı içeriği değerleri kullanılır [9].

Marshall oranı (MQ) (kN/mm), stabilitenin (kN) akmaya (mm) oranı olarak hesaplanır ve bu şekilde belirli test koşulları altında yükün deformasyona oranına yakın bir değerini simgeleyerek servis esnasında kalıcı deformasyona karşı malzemenin direncinin bir ölçüsü olarak kullanılabilir [10].

3.3. İndirek Çekme Rijitlik Modülü (ITSM) Deneyi

Rijitlik modülü, yol ve yüzey tabakalarının çok önemli bir performans özelliği olarak kabul edilir. BS DD213 ile belirlenen ITSM deneyi numuneye zarar vermeyen bir deneştir ve bu özelliği ile ölçüm yapan potansiyel bir araç olarak bilinmektedir [11]. Deney Universal Testing Machine (UTM-5P) cihazı ile yapılmaktadır (Şekil 2a).

Deney için hazırlanan Marshall numuneleri tek eksenli yüklemenin yapılacağı yükleme aparatına yerleştirilir ve sensörler bağlanır. Taşıtlı hızları göz önünde bulundurularak yük artış süresi belirlenir. Karışımın tahmini poisson oranı (0.35), hedef deformasyon (7µm) ve yük artış süreleri bilgisayara veri olarak girilir ve deney başlatılır. Deney 20°C’de periyodu 3000 ms yükleme zamanı 126 ms olan 5 darbe esas alınarak deformasyon kontrollü olarak düzenlenmiş ve rijitlik modülünün (S_m) hesaplamasında formül (1) kullanılmıştır. Bu deney normal şartlarda 20°C’de yapılır ancak bu çalışmada ilave olarak 0°C ve 40°C’de de deneyler yapılmıştır.

$$S_m = \frac{L \times (v + 0,27)}{D \times t} \quad (1)$$

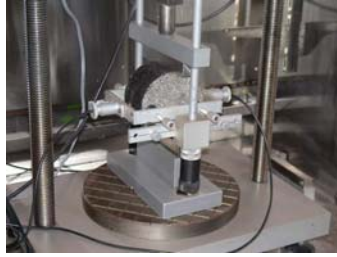
S_m : Rijitlik modülü (MPa)

L: Uygulanan düşey yükün en büyük değeri (N)

D: Yatay deformasyon (mm)

t: Deney numunesinin ortalama kalınlığı (mm)

v: Poisson oranı (deneylerde 0,35 alınmıştır)



(a)



(b)

Şekil 2. İndirek çekme rijitlik modülü (a) ve sünme rijitliği (b) testlerin deney aleti

3.4. Statik Yükleme Sünme Rijitliği Deneyi

Bitümlü sıcak karışımların statik yükler altında dayanımlarını tespit etmek amacıyla bu deney yapılmaktadır. Statik yüklemeli sünme rijitliği deneyi karışımların tekerlek izi deformasyonuna karşı dayanımı hakkında fikir vermektedir. Standart deney sıcaklığı 40°C olmasına karşın aşırı sıcak bölgeler göz önünde bulundurularak daha yüksek sıcaklıklarda yapılabilmektedir. Deney için hazırlanan Marshall numuneleri 3 saat deney sıcaklığında bekletilir. Bu sürenin sonunda numuneler deney aletine yerleştirilir ve sensörler bağlanır (Şekil 2b). Deneyde ilk olarak arazideki gerilmeleri yansıtmak amacıyla 10 dakika boyunca 10 kPa’lık yük ile önyüklemeye yapılır. Bu sürenin sonunda otomatik olarak deney başlar ve 1 saat boyunca sürekli olarak 100kPa’lık yük uygulanır. Oluşan eksenel deformasyon miktarına göre sünme rijitliği modülünün (S_C) hesaplanmasında kullanılan formül aşağıda verilmiştir [12].

$$S_C = \sigma \div \varepsilon \quad (2)$$

S_C : Sünme rijitliği modülü (MPa),

σ : Uygulanan gerilme (MPa),

ε : Toplam kalıcı eksenel deformasyon.

3.5. İndirek Çekme Direnci (ITS) Deneyi

İndirek çekme direnci (ITS) testi, Marshall cihazı ile indirek çekme cihazının çerçeve kısmı kullanılarak 51mm/dak. yük artış hızında yapılır. ITS testi, çap düzlemi doğrultusunda düşey olarak yüklenen ve paralel hareket eden yüklerin sıkıştırması ile silindirik bir numunenin yüklenmesini kapsar. Bu deney, asfalt betonunun gerilme özelliklerini belirlemek için uygulanır. Bu şekilde yol yüzeyinin kırılma özellikleriyle daha iyi bir bağlantı kurulabilir. ITS değerini hesaplamak için kırılmış olan deney numunesine uygulanan maksimum yüke göre aşağıdaki denklem kullanılır.

$$ITS = \frac{2P_{\max}}{\pi \times t \times d} \quad (3)$$

P_{\max} : Uygulanmış maksimum yük (kN)
t : Numunenin kalınlığı (mm)
d : Numunenin çapı (mm)

3.6. Nem Hasarına Karşı Direnç

Asfalt karışımların nem hassasiyeti su ile zarar gören karışımın hasar görmesi olarak belirlenir. Nem, asfalt karışımında toplandığı için asfalt bağlayıcı ve agregalar arasındaki bağa, soyulmayı sağlayarak zarar verebilir. Asfalt karışımların nem hassasiyeti AASHTO T283 testi kullanılarak değerlendirilir. Numuneler eşit olacak şekilde iki gruba ayrılır. İlk grup numunelerin hava boşluk hacimlerinin %55-80'i, damıtılmış su kullanılan bir vakum tarafından doyurularak şartlandırılır. Daha sonra bu numuneler en az 16 saat süre ile -18°C deki bir buzluğa yerleştirilir. Buzluktan çıkarılan numuneler 60°C'deki su banyosunda 24 saat bekletilir. Buradan çıkartılan numuneler 25°C'deki su banyosunda 2 saat daha bekletilir. Ayrıca aynı anda şartlandırılmamış ikinci grup numuneler de 25°C'deki su banyosuna yerleştirilir. Bu 2 saatlik sabit sıcaklıktan sonra bütün numunelerin indirek çekme direnci belirlenir.

Şartlandırılan numunelerin indirek çekme direncinin ($ITS_{yaş}$), şartlandırılmayan numunelerin indirek çekme direncine (ITS_{kuru}) oranı aşağıdaki denklemle hesaplanmaktadır:

$$ITSR = \frac{ITS_{yaş}}{ITS_{kuru}} \quad (4)$$

ITSR : İndirek çekme direnci oranı

$ITS_{yaş}$: Şartlandırılmış grubun ortalama indirek çekme direnci (kPa)

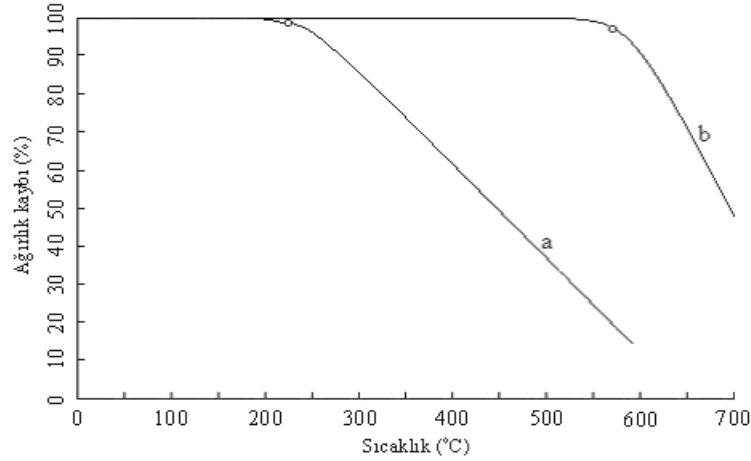
ITS_{kuru} : Şartlandırılmamış grubun ortalama indirek çekme direnci (kPa)

0,7den daha az çekme direnci oranına sahip karışımların neme karşı direnci azdır ancak 0,7den daha büyük oranlı karışımların nem zararına karşı direnci daha iyidir.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

4.1. Termogravimetrik Analiz (TGA)

Çalışmada kullanılan AC 100-150 asfalt çimentosu ve siyah karbonun termal davranışları termogravimetrik analiz (TGA) ile belirlenmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. AC 100-150 (a) ve SK (b)'nin termogravimetrik analiz eğrileri

TGA ile belirlenen bu malzemelerin başlangıç bozulma sıcaklıkları AC 100-150 için 225°C ve siyah karbon için 550°C olarak bulunmuştur. Şekil 3'de görüldüğü üzere asfalt çimentosu ve siyah karbonun başlangıç bozulma sıcaklıkları, asfalt betonu numunelerin hazırlanma ve karıştırma sıcaklığından daha yüksek elde edilmiştir.

4.2. Marshall Stabilitesi ve Akma

AC 100-150/K ve AC 100-150/SK asfalt betonu karışımları agreganın ağırlık cinsinden yüzdesi alınarak %4.0, %4.5, %5.0, %5.5, %6.0 oranlarındaki bitüm içeriği ile optimum bitüm içeriğini (o.b.i) belirlemek için hazırlanmıştır. AC 100-150/K ve AC 100-150/SK karışımları için o.b.i. değerleri sırası ile %4.85 ve %5.1 olarak bulunmuştur. Marshall dizayn sonuçları, her bir agrega karışımı formülasyonunun o.b.i.'deki sıkıştırılmış numunelerden elde edilmiş ve 3 deney numunesinin ortalamasından elde edilen sonuçlar Çizelge 6'da verilmiştir.

Asfalt betonunun Marshall stabilitesi, onun trafik yükü altındaki tekerler izi oluşumuna ve ötelenme direncine karşı yeteneğini yansıtır. Marshall akması, asfalt betonunun çatlamaksızın alt tabakadaki hareketlere ve yavaş oturmalara karşı kendisini ayarlama yeteneğidir. Akma, stabiliteye karşıt bir özellik olarak dikkate alınabilir. Çizelge 6 ve Şekil 4'de görülebildiği gibi siyah karbon karışımlarının Marshall stabilite ve akma sonuçları kontrol karışım değerlerinden daha iyi çıkmıştır. Çünkü AC 100-150/SK karışımları yüksek stabilite ve düşük akma değerlerine sahiptir. Bu da Marshall testleri için önemli bir ölçüdür.

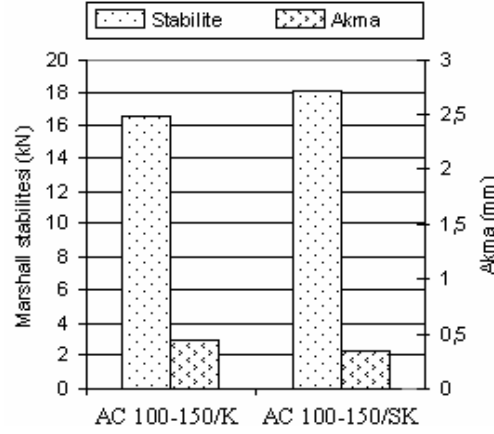
Siyah karbon filleri içeren asfalt betonu karışımların MQ değerleri kontrol karışımlarından daha yüksek elde edilmiştir. MQ'nun kesme gerilmeleri, kalıcı deformasyon ve bu nedenle tekerlek izi oluşumuna karşı malzeme direncinin bir ölçüsü olduğu kanıtlanmıştır. Marshall test sonuçlarına göre AC 100-150/SK asfalt betonu karışımların AC 100-150/K karışımlarına göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

4.3. İndirek Çekme Rijitlik Modülü ve Sünme Rijitliği

Kontrol ve siyah karbon karışımları için 0°C, 20°C ve 40°C'deki ITSM sonuçları Çizelge 7 ve Şekil 5'de verilmiştir. AC 100-150/SK asfalt karışımların 40°C'deki rijitlik modülü AC 100-150/K asfalt karışımlarına kıyasla 2,51 kat daha fazla çıkmıştır. Bununla birlikte siyah karbon karışımların 0°C ve 20°C'deki rijitlik modülü kontrol karışımlarına yakın elde edilmiştir.

Çizelge 6. Marshall dizayn sonuçları

Özellik	Karışım Tipi	
	AC 100-150/K	AC 100-150/SK
Optimum bağlayıcı içeriği (%)	4.85	5.1
Agrega hacim özgül ağırlığı (gr/cm ³)	2.634	2.511
Karışım hacim özgül ağırlığı (gr/cm ³)	2.385	2.288
Hava boşluğu (%)	2.97	2.68
Mineral agregadaki boşluklar (%)	13.65	13.40
Marshall stabilitesi (kN)	16.50	18.07
Akma (mm)	2.86	2.24
MQ (kN/mm)	5.77	8.07

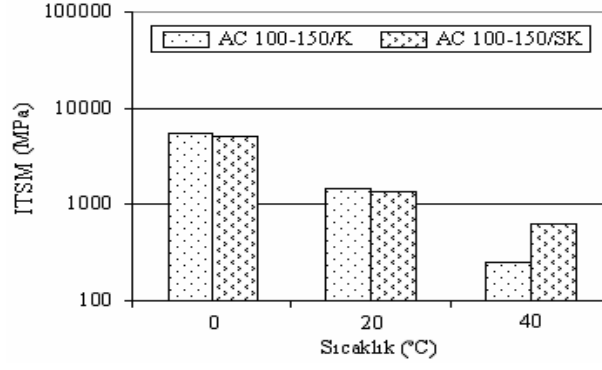


Şekil 4. Kontrol ve siyah karbon asfalt karışımların stabilite ve akma değerleri

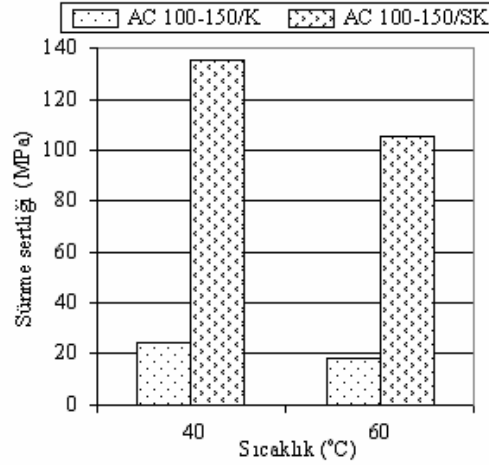
Çizelge 7. İndirek çekme rijitlik modülü ve sünme rijitliği deney sonuçları

Özellik	Karışım Tipi	
	AC 100-150/K	AC 100-150/SK
İndirek çekme rijitlik modülü (MPa)		
(a) 0°C	5474.0	5485.0
(b) 20°C	1465.0	1479.6
(c) 40°C	247.8	622.9
Sünme rijitliği (1 saat yükleme) (MPa)		
(a) 40°C	24.67	135.4
(b) 60°C	18.42	105.36

Sünme rijitliği deneyinden elde edilen değerler Çizelge 7 ve Şekil 6'da gösterilmiştir. Bu deneyde, standart test sıcaklığı olan 40°C ve çok sıcak iklimler için 60°C'de, kontrol asfalt karışımlarına göre daha yüksek sünme rijitliği gösteren siyah karbon karışımlarının, kalıcı deformasyona karşı direncinde önemli derecede artış göstermiştir. ITSM ve sünme rijitliği testlerinin her ikisinde de en iyi sonuçlar AC 100-150/SK asfalt betonu karışımından elde edilmiştir.



Şekil 5. Kontrol ve siyah karbon asfalt karışımların ITSM değerleri



Şekil 6. Kontrol ve siyah karbon asfalt karışımların sürme rijitliği değerleri

4.4. İndirek Çekme Direnci

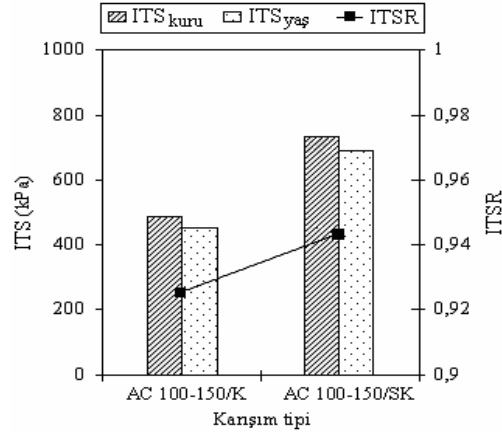
İndirek çekme direnci test sonuçları Çizelge 8 ve Şekil 7'de gösterilmiştir. AC 100-150 asfalt karışımına filler olarak siyah karbon ilave edilmesi, AC 100-150/K karışımına göre ITS_{kuru} değerini 1,4 kez ve $ITS_{yaş}$ değerini ise 1,6 kez artırmıştır. AC 100-150/SK karışımlarının ITS değerlerinin AC 100-150/K değerlerinden daha yüksek olduğu bulunmuştur (Şekil 7).

Çizelge 8. İndirek çekme direnci deney sonuçları

Özellik	Karışım Tipi	
	AC 100-150/K	AC 100-150/SK
Kuru grubun indirek çekme direnci, ITS_{kuru} (kPa)	489,41	732
Şartlandırılan grubun indirek çekme direnci, $ITS_{yaş}$ (kPa)	452,87	690
İndirek çekme direnci oranı, $ITS_{yaş} / ITS_{kuru}$ (kPa)	0,925	0.943

The Effect of Carbon Black on the Mechanical ...

Bu nedenle filler olarak siyah karbonun asfalt karışımlarına ilave edilmesi, karışımların ısı ve suya karşı dirençlerini arttırmakta ve bitüm ile agregaya arasındaki bağ özelliklerini geliştirmektedir.



Şekil 7. Kontrol ve siyah karbon asfalt karışımların ITS ve ITSM değerleri

5. SONUÇLAR

Bu çalışma neticesinde aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

- Termogravimetrik analizden elde edilen sonuçlara göre AC 100-150 asfaltı ve siyah karbon fillerin bozulma başlangıç sıcaklıkları asfalt betonu numunesinin hazırlama ve karıştırma sıcaklığından daha yüksek çıkmıştır.
- Marshall stabilite ve akma test sonuçları, siyah karbon fillerli karışımların kalker fillerli karışımlardan daha iyi sonuçlara sahip olduğunu göstermiştir.
- ITSM test sonuçları esas alınarak görülebilir ki özellikle 40°C deki siyah karbon karışımların rijitlik modülü, kontrol karışımlarından daha yüksek elde edilmiş ancak daha düşük sıcaklıklardaki (0°C ve 20°C) değerler birbirine yakın çıkmıştır. Ayrıca, siyah karbon karışımların sünme rijitliği deney sonuçları kontrol karışımlarından önemli ölçüde büyüktür.
- Siyah karbon fillerli şartlandırılmış ve şartlandırılmamış karışım numunelerinin indirek çekme direnç değerleri kalker fillerli numunelerden daha yüksek çıkmıştır. Bu sonuçlardan, asfalt karışımlara siyah karbon ilavesinin, tekerlek izi oluşumu kadar nem zararına karşı direncini de önemli ölçüde arttırdığı sonucuna varılmıştır. Siyah karbon, asfalt bağlayıcı ve agregaya arasındaki bağlantıyı geliştirmesine katkıda bulunarak suyun asfalta etkisini azaltmış ve filler olarak karışımın rijitliğinin artmasını sağlamıştır.
- Siyah karbon içerikli asfalt karışımların birim ağırlığı siyah karbonun birim ağırlığından dolayı düşük çıkmasına rağmen bütün testlerde olumlu sonuçlar elde edilmiştir.

Sonuç olarak, asfalt betonu karışımlarında filler olarak siyah karbon kullanılmasının, karışımların mekanik özelliklerini geliştirdiği ve siyah karbonun bitümlü sıcak karışımlarda kullanılabilirliği tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Benson F.C., Martinez D.F., “Evaluation of several mineral fillers for use in item 340 hot-mix asphaltic concrete”, Report FHWA/TX/85/1, Texas Transportation Institute, USA, 1984.
- [2] Roberts F.L., Kandhal P.S., Brown E.R., et.al., “Hot mix asphalt materials, mixture design, and construction”, NAPA Education Foundation, Maryland, USA, 2000.
- [3] Rogue R., Birgisson B., Tia M., et.al., “Guidelines for use of modifiers in Superpave mixtures: evaluation of Ground-Tire-Rubber (GTR)”, Report 4910/4504/718/12, University of Florida, USA, 2004.
- [4] Martin K.G., “Preliminary microviscometer studies of carbon black bitumen dispersions”, Proceedings of the Australian Road Research Board 1962; 1(II).
- [5] Rostler F.S., White R.M., Dannebege E.M., “Carbon black as a reinforcing agent for asphalt”, Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists, 4: 376, 1977.
- [6] Terrel R.L., Rimstrington S., “Evaluation of wood lignin as a substitute or extender for asphalt”, Report FHWA/RD-80/125, FHA, Washington DC, 1980.
- [7] Yao Z., Monismith C.L., “Behavior of asphalt mixtures with carbon black reinforcement”, Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists 1987; 32.
- [8] Button J.W., Little J.L., Kim Y., et.al., “Mechanistic evaluation of selected asphalt additives”, Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists 1987; 56.
- [9] Resistance to plastic flow of bituminous mixtures using the Marshall apparatus, ASTM D 1559.
- [10] Zoorob S.E., Suparma L.B., “Laboratory design and investigation of the properties of continuously graded Asphaltic concrete containing recycled plastics aggregate replacement (Plastiphalt)”, Cement & Concrete Composites 22, p. 233-242, 2000.
- [11] British Standards Institution, “Method for the determination of the indirect tensile stiffness modulus of bituminous mixtures”, Draft for development DD-213, 1993.
- [12] British Standards Institution, “Method for the determination of creep stiffness of bituminous aggregate mixtures subject to unconfined uniaxial loading”, Draft for development DD-185, 1990.