

Asfalt Betonunda Siyah Karbonun Filler Olarak Kullanımı

Perviz AHMEDZADE*

Taner ALATAŞ**

Tacettin GEÇKİL***

ÖZ

Bu çalışmada, siyah karbonun asfalt betonunda filler olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Aynı agrega gradasyonuna sahip kalker ve siyah karbon fillerini içeren asfalt betonu karışımları hazırlanmış ve optimum bitüm oranları Marshall stabilite testi ile belirlenmiştir. Siyah karbon ve kontrol karışımlarının mekanik özellikleri Marshall stabilitesi, indirek çekme rijitlik modülü, sünme sertliği ve indirek çekme direnci testleri yapılarak değerlendirilmiştir. Test sonuçları, siyah karbonun asfalt betonu karışımların mekanik özelliklerini geliştirdiğini ve kullanılabilirliğini ortaya koymuştur.

ABSTRACT

Use of Carbon Black as Filler in Asphalt Concrete

In this study, the using of carbon black as filler in asphalt concrete was investigated. Asphalt concrete mixtures where carbon black and limestone fillers having the same aggregate gradation were prepared and optimum bitumen content was determined by the 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. The results obtained from the tests showed that carbon black improved mechanical properties and utility of asphalt concrete.

1. GİRİŞ

Esnek kaplamalarda, ekonomik kalkınma ve yaşam standartlarının yükselmesine paralel olarak artan trafik hacmi ve dingil yükleri, üretim hataları, yetersiz bakım ve iklim koşulları etkisi altında tekerlek izi oluşumu, yorulma ve düşük sıcaklık çatlakları ve suya karşı

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 22.01.2007 günü ulaşmıştır.
- 31 Aralık 2008 gününe kadar tartışmaya açıktır.

* Ege Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir - perviz.ahmedzade@ege.edu.tr

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

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

Asfalt Betonunda Siyah Karbonun Filler Olarak Kullanımı

duyarlılık gibi bozulmalar oluşmakta bu da yolun öngörülen ömür ve konfor düzeyini düşürmektedir. Bu durum, mevcut asfalt malzemesinin özelliklerini artırmanın gerekliliğini ortaya koymaktadır. Asfalt malzemesi, mineral agregası, filler, bitüm ve havadan oluşan çok fazlı kompleks bir malzemedir. Asfalt-agrega karışımlarında agreganın belirli bir miktar filler ihtiva etmesi, arzu edilen karışım özelliklerini ve performansı sağlamak için şarttır [1]. Filler, asfalt karışımlarda ince agregası oranını arttırmak, boşluk miktarını azaltmak ve asfalt betonunun dayanımını arttırmak için karışımların 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 oluşumu ile ilgili sorunları azaltmak için araştırılmıştır. Fillerin önemini tanımlayan ve farkına ilk varan Clifford Richardson, filler ve toz terimlerini kullanmış ve “gerçek toz”un önemini vurgulamıştır [2]. Belirli mineral filler malzemelerinin kullanımı, asfalt betonundaki tekerlek izi derinliği, rijitlik ve gerilme artışı üzerinde olumlu bir değer artışı sağlar [3,4]. Ayrıca kalıcı deformasyon, yorulma çatlağı ve nem hasarına karşı olumlu bir etkiye sahiptir [5]. Filler malzemesi, genellikle kalker, Portland çimentosu, hidrate kireç, 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 [6,7]. Siyah karbonun asfalt karışımlar için güçlendirici bir eleman olduğu fikri Martin ile başlamıştır [8]. Martin, asfalt ağırlığına göre %3 siyah karbon ilavesinin, asfalt bağlayıcının sıcaklık hassasiyeti üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığını belirtmiştir. Siyah karbon kullanılarak yapılan bir diğer araştırma Rostler ve ekibi tarafından yürütülmüştür [9]. Rostler ve ekibi, Martin’in test sonuçlarındaki siyah karbonun zayıf performansının, siyah karbonun asfalt içindeki kötü dağılımı, siyah karbon konsantrasyonunun düşüklüğü ve uygun vizkoziteyi 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 düzelttiğini, 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 [10]. Yao ve Monismith, ağırlıkça %15-20 Microfil 8 ilavesinin asfalt karışımlarının tekerlek izine karşı direncini, yoğunluğunu ve esneklik modülünü geliştirdiğini bulmuşlardır [11]. Ayrıca Button ve ekibi, AC 100-150 (AC-5) asfaltına %15 Microfil 8 ilavesinin daha sert olan AC 60-70 (AC-20)’ye kıyasla kalıcı deformasyona karşı direncini önemli ölçüde artırdığını belirtmişlerdir [12].

Bu çalışmada, bitümlü sıcak karışımlarda siyah karbonun filler olarak kullanılması araştırılmış ve asfalt betonu karışımların mekanik özellikleri üzerinde siyah karbonun olumlu etki yaptığı tespit edilmiştir.

2. DENEYSEL YÖNTEM

2.1. Malzemeler

Çalışmada bitümlü bağlayıcı olarak kullanılan AC 75-100 asfalt çimentosu Türkiye Petrol Rafinerileri Anonim Şirketi (TÜPRAŞ)'dan temin edilmiştir. Orijinal AC 75-100 asfalt çimentosu üzerinde özgül ağırlık, duktilite, penetrasyon, yumuşama noktası, Fraas kırılma noktası, viskozite deneyleri yapılmış ve sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir. Çalışmada, mineral agrega olarak kullanılan ve başlıca yol inşaatı malzemesi olan kalker, Elazığ çevresindeki Hanpınarı taş ocağından temin edilmiştir. Karışımda kullanılan kalker agregası üzerinde Los Angeles aşınma kaybı, donma kaybı, su absorpsiyonu ve özgül ağırlık deneyleri yapılmış, kaba ve ince agrega ile filler malzemelerinin özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. AC 75–100 asfalt çimentosunun fiziksel özellikleri

Özellikler	Standartlar	Test Sonuçları
Özgül ağırlık, 25°C'de	ASTM D-70	1,036
Duktilite (cm), 25°C'de	ASTM D-113	100
Penetrasyon, (0,1mm), 100gr, 5sn	ASTM D-5	90
Yumuşama noktası, (°C)	ASTM D-36	48,2
Fraas kırılma noktası, (°C)	IP 80	-27,2
Kinematik vizkozite, 135°C, (mm ² /sn)	ASTM D-2170	354
Penetrasyon indeksi, (PI)	-	-0,15
Penetrasyon vizkozite sayısı, (PVN)	-	-0,53

Tablo 2. Mineral kalker agregasının özellikleri

Özellikler	Standartlar	Kalker		
		Kaba	İnce	Filler
Aşınma kaybı, (%) (Los Angeles)	ASTM C-131	29		
Donma kaybı, (%) (Na ₂ SO ₄ ile)	ASTM C-88	3,74		
Su absorpsiyonu, (%)	ASTM C-127	0,9		
Özgül ağırlık	ASTM C-127	2,627		
Özgül ağırlık	ASTM C-128		2,639	
Özgül ağırlık	ASTM D-854			2,632

Bu çalışmada filler olarak iki tip malzeme kullanılmıştır. Birinci tip filler, kalker agregasının No:200 elekten elenmesi ile elde edilmiştir. İkinci tip filler olarak, direk TÜPRAŞ'dan alınan siyah karbon (HAF N-326) kullanılmıştır. Siyah karbonun fiziksel özellikleri Tablo 3'te verilmiştir. Çalışmada kullanılan agreganın karışım gradasyonu Tablo 4'de gösterilmiştir.

Tablo 3. Siyah karbonun fiziksel özellikleri [13]

Özellikler	Standartlar	Siyah Karbon (HAF N-326)
PH	ASTM D-1512	7
Özgül ağırlık	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 $\times=20$ (g)	ASTM D-3313	42

Tablo 4. Agregası karışım gradasyonu

Elek No	Geçen (%)
3/4" (19mm)	100
1/2" (12.5mm)	95
3/8" (9.5mm)	88
No:4 (4.75mm)	65
No:8 (2.00mm)	39
No:16 (1.18mm)	24
No:30 (0.600mm)	18
No:50 (0.300mm)	14
No:100 (0.150mm)	10
No:200 (0.075mm)	6

2.2. Numunelerin Hazırlanması

İki farklı agregası karışımı kullanılarak Marshall numunelerini hazırlanmıştır. İlk agregası karışımında kaba ve ince agregası ve filler olarak kalker kullanılmıştır. İkinci agregası karışımında ise kaba ve ince agregasının cinsi ve miktarı değişmezken filler olarak, kalker malzemesinin yerine siyah karbon kullanılmıştır. Marshall karışım dizaynı hacimsel bir metot olduğundan, siyah karbonun filler olarak agregası karışımındaki miktarı, kalker malzemesine hacimce eşit olacak şekilde alınmıştır.

Kalker ve siyah karbon fillerli iki farklı agregası karışımı ve bitüm (AC 75-100) etüvde 165°C sıcaklığa kadar ısıtılmıştır. İlk olarak, ısıtılmış olan AC 75-100 bitümü farklı agregası karışımına ayrı ayrı ilave edilmiştir. Daha sonra bitüm-agregası karışımı 30-45 saniye kadar karıştırıcı makine ile karıştırılmış ve Marshall kontrol (AC 75-100/K) numuneleri ile siyah karbon (AC 75-100/SK) numuneleri hazırlanmıştır. Asfalt betonu karışım numuneleri her bir agregası karışım formülasyonu için 3 adet olarak hazırlanmıştır.

3. DENEY PROGRAMI

3.1. Termogravimetrik Analiz (TGA)

Maddelerin termal stabilitelelerini belirlemek amacıyla uygulanan Termogravimetrik Analiz (TGA) yönteminde, malzemeler azot atmosferinde 10°C/dk hızla 500°C'ye kadar ısıtılmakta ve sıcaklık artışından dolayı meydana gelen kütle kayıpları tespit edilmektedir. Elde edilen sıcaklık-kütle kaybı grafiğinden, kırılmanın meydana geldiği sıcaklık değeri bozulma sıcaklığı olarak tespit edilmektedir.

3.2. Marshall Stabilitesi ve Akma Deneyi

Bu deney, farklı bitüm muhtevalarında hazırlanan silindirik numunelere Marshall Stabilite deney aleti (Ele Test-E) yardımıyla yanal yüzeylerine yükleme yaparak akmaya karşı direncin ölçümünü kapsar. Yükseklikleri ve gerekli ağırlıkları alınan numunelerin stabilite ve akma değerlerinin tayini için numuneler 60±1°C suda 30-40 dakika bekletilir. Sudan çıkarılan numune çelik bir halkanın iki segmanı arasına yerleştirilir ve akma çubuğu sabitlenir. Maksimum yüke erişinceye kadar dakikada 51mm'lik bir hızla yükleme yapılır. Marshall stabilite değeri (kN) yükleme boyunca kaydedilen maksimum kuvvet, akma değeri (mm) ise maksimum kuvvette kaydedilmiş deformasyon olarak alınır. Ayrıca bu deneyle karışımın birim ağırlığı, boşluk oranı ve bağlayıcı ile dolu bulunan agrega boşluğu yüzdesi de saptanır. Optimum bağlayıcı içeriğini belirlemek için; maksimum hacim özgül ağırlığı, maksimum stabilite, asfalt karışımındaki %4 hava boşluğu ve bağlayıcı ile dolu agrega karışımındaki % 80 boşluğundaki bağlayıcı içeriği değerleri kullanılır [14].

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 [15].

3.3. İndirek Çekme Rijitlik Modülü (ITSM) Deneyi

ITSM deneyi, dinamik yükler altındaki bitümlü karışımların rijitliğini (sertliğini) tespit etmek amacıyla yapılmaktadır. Rijitlik modülü, bitümlü kaplamalarda yük dağıtma kabiliyetinin bir ölçüsüdür ve bitümlü kaplamaların en önemli performans özelliği olarak kabul edilir. Rijitlik modülü, trafik etkisiyle kaplamanın altında meydana gelen ve yorulma çatlaklarına neden olan çekme ve basınç gerilmelerinin neden olduğu kalıcı deformasyonları kontrol eder. Tek eksenli yükleme altında elde edilen rijitlik modülü genel olarak maksimum gerilmenin maksimum birim şekil değiştirmeye oranı olarak alınır. BS DD213 ile belirlenen ITSM deneyi numuneye zarar vermeyen bir deneydir ve deney Universal Testing Machine (UTM-5P) cihazı ile yapılmaktadır (Şekil 1).

Deney için hazırlanan Marshall numuneleri tek eksenli yüklemenin yapılacağı yükleme aparatına yerleştirilir ve sensorlar (LVDT) bağlanır. Taşıt 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 yük artış zamanı 124± 2 ms olan 5 darbe esas alınarak deformasyon kontrollü olarak düzenlenmiş ve rijitlik modülünün (S_m) hesaplamasında

Asfalt Betonunda Siyah Karbonun Filler Olarak Kullanımı

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 [16].

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

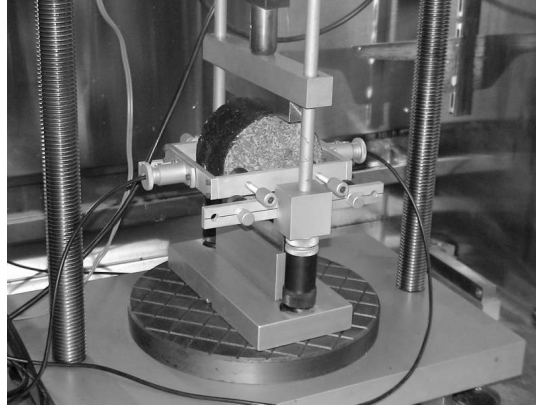
S_m : Rijitlik modülü (MPa),

L : Uygulanan düşey yükün en büyük değeri (N),

D : Yatay deformasyonun ortalama değeri (mm),

t : Deney numunesinin ortalama kalınlığı (mm),

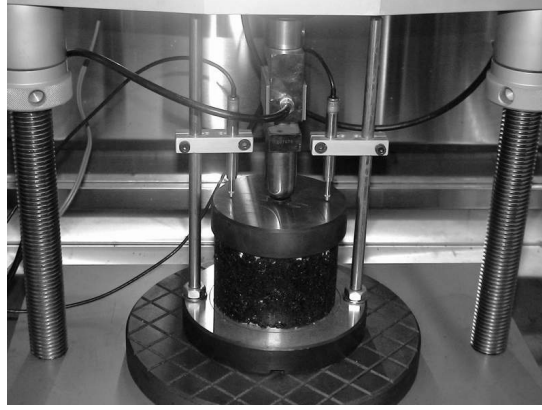
ν : Poisson oranı (deneylerde 0,35 alınmıştır).



Şekil 1. ITSM deneyinde kullanılan test aleti

3.4. Statik Yükleme Sünnme Rijitliği Deneyi

Statik yükleme sünnme rijitliği deneyi, bitümlü sıcak karışımların statik yükler altındaki dayanımlarını tespit etmek amacıyla yapılmaktadır. Bu deney, 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. Bu çalışmada sünnme rijitliği deneyi Universal Testing Machine (UTM-5P) cihazı ile yapılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Sünme rijitliği deneyinde kullanılan test aleti

Deney için hazırlanan Marshall numuneleri 3 saat deney sıcaklığında bekletilir. Bu sürenin sonunda numuneler deney aletine yerleştirilir ve sensorlar bağlanır. Deneyde ilk olarak arazideki gerilmeleri yansıtmak amacıyla 10 dakika boyunca 10 kPa'lık yük ile önyükleme yapılır. Bu sürenin sonunda otomatik olarak deney başlar ve 1 saat boyunca sürekli olarak 100 kPa'lık yük uygulanır. Oluşan aksenal deformasyon miktarına (ϵ) göre sünme rijitliği modülünün (S_{mix}) hesaplanmasında kullanılan formül aşağıda verilmiştir [17].

$$S_{mix} = \sigma \div \epsilon \quad (2)$$

S_{mix} : Sünme rijitliği modülü (MPa),

σ : Uygulanan gerilme (MPa),

ϵ : Toplam kalıcı aksenal deformasyon.

3.5. İndirek Çekme Direnci (ITS) Deneyi

İndirek çekme direnci (ITS) testi, Marshall cihazı kullanılarak dakikada 51mm'lik yük artış hızında yapılır. ITS testi, çap düzlemi doğrultusunda düşey olarak yüklenen ve paralel hareket eden yüklerin sıkıştırması ile silindirik deney numunenin kırılmasını kapsar. ITS deneyi, 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 temas eden karışımın hasar görmeye karşı direnç göstermesi olarak tarif edilir. 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) .

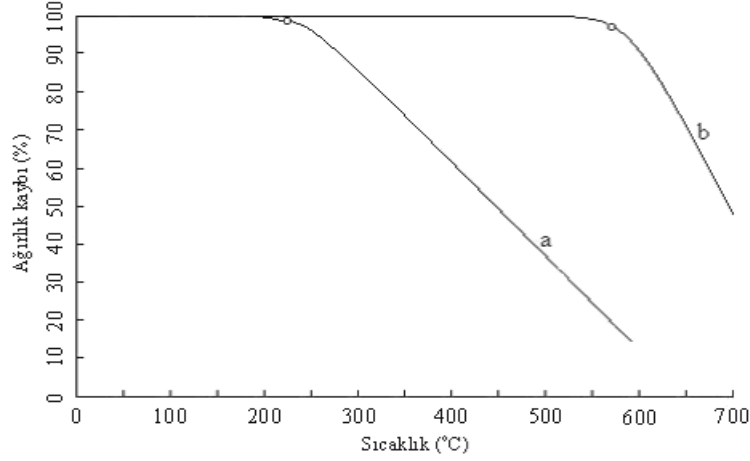
İndirek çekme direnci oranı 0,7 den daha az olan karışımların neme karşı direnci azdır ancak 0,7 den daha büyük orana sahip karışımların nem zararına karşı direnci daha iyidir.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

4.1. Termogravimetrik Analiz (TGA)

Çalışmada kullanılan AC 75-100 asfalt çimentosu ve siyah karbonun termal davranışları Termogravimetrik analiz (TGA) ile belirlenmiştir (Şekil 3).

TGA ile belirlenen bu malzemelerin başlangıç bozulma sıcaklıkları AC 75-100 için 227°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.



Şekil 3. AC 75-100 (a) ve SK (b)'nin termogravimetrik analiz eğrileri

4.2. Marshall Stabilitesi ve Akma

AC 75-100/K ve AC 75-100/SK asfalt betonu karışımların optimum bitüm içeriğini (o.b.i) belirlemek için, karışımdaki agreganın ağırlık cinsinden yüzdesi %4.0, %4.5, %5.0, %5.5, %6.0 oranlarında bitüm miktarı alınarak karışımlar hazırlanmıştır. AC 75-100/K ve AC 75-100/SK karışımları için o.b.i değerleri sırası ile %5.0 ve %4.95 olarak bulunmuştur. Marshall dizayn sonuçları, her bir agregaya karışım formülasyonunun o.b.i'deki sıkıştırılmış silindirik numunelerden elde edilmiş ve 3 deney numunesinin ortalamasından elde edilen sonuçlar Tablo 5'te 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 değeri asfalt betonu kaplamaların davranışlarını belirleyen, karışımın plastiklik ve esneklik özelliklerini yansıtan bir değerdir. Akma değeri ile iç sürtünme arasında doğrusal ters bir ilişki vardır ve stabiliteye karşıt bir özellik olarak dikkate alınabilir. Tablo 5'te görülebildiği gibi siyah karbon karışımlarının Marshall testleri için önemli bir ölçü olan Marshall stabilite ve akma değerleri kontrol karışım değerlerinden daha iyi çıkmıştır. Çünkü AC 75-100/SK karışımları yüksek stabilite ve düşük akma değerlerine sahiptir.

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 75-100/SK asfalt betonu karışımların AC 75-100/K karışımlarına göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Tablo 5. Marshall dizayn sonuçları

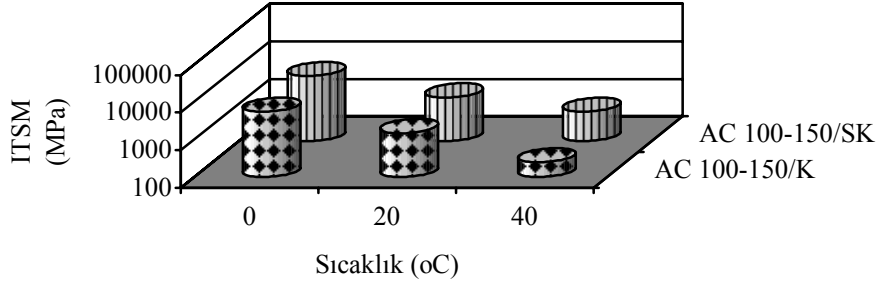
Özellik	Karışım Tipi	
	AC 75-100/K	AC 75-100/SK
Optimum bağlayıcı içeriği (%)	5,0	4,95
Agrega hacim özgül ağırlığı	2,634	2,511
Karışım hacim özgül ağırlığı	2,392	2,285
Hava boşluğu (%)	2,53	2,90
Mineral agregadaki boşluklar (%)	13,51	13,31
Marshall stabilitesi (kN)	17,46	18,30
Akma (mm)	2,97	2,46
MQ (kN/mm)	5,88	7,44

4.3. İndirek Çekme Rijitlik Modülü ve Sünme Rijitliği

Kalker filleri içeren kontrol karışım numuneleri ile siyah karbon filleri içeren karışım numuneleri 0°C, 20°C ve 40°C sıcaklıklarda ITSM deneyine tabi tutulmuş ve elde edilen sonuçlar Tablo 6 ve Şekil 4'de gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre AC 75-100/SK asfalt betonu karışımların 0°C ve 20°C'deki rijitlik modülü değerleri AC 75-100/K asfalt betonu karışım değerlerine yakın bulunmuştur. Ancak, 40°C'deki siyah karbon fillerli karışımların ITSM değeri aynı sıcaklıktaki kontrol karışımlarına kıyasla 1,87 kat daha fazla çıkmıştır.

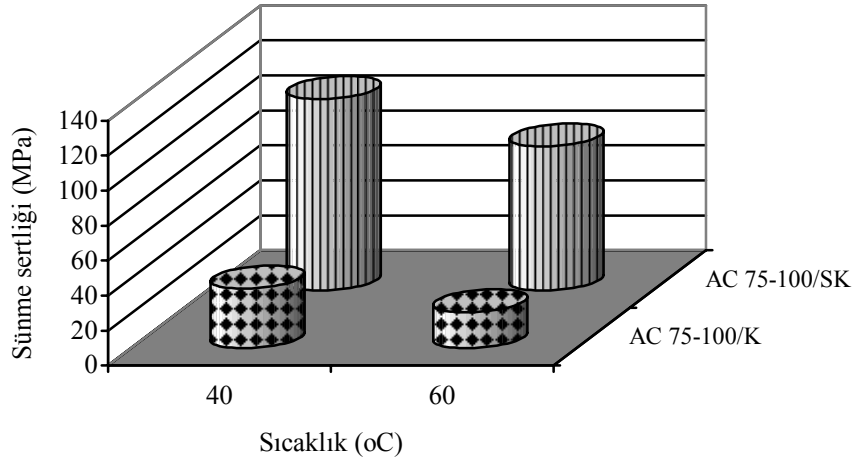
Tablo 6. İndirek çekme rijitlik modülü ve sünme rijitliği deney sonuçları

Özellik	Karışım Tipi	
	AC 75-100/K	AC 75-100/SK
İndirek çekme rijitlik modülü (MPa)		
(a) 0°C	10770,5	10801,2
(b) 20°C	1962,5	1977,3
(c) 40°C	340,5	637,6
Sünme rijitliği (1 saat yükleme) (MPa)		
(a) 40°C	34,28	109,4
(b) 60°C	20,75	82,35



Şekil 4. Kontrol ve siyah karbon asfalt karışımların ITSM değerleri

Kontrol ve siyah karbon karışım numuneleri üzerinde yapılan sünme sertliği deneyinden elde edilen sonuçlar Tablo 6 ve Şekil 5’de verilmiştir. Standart deney sıcaklığı 40°C olmasına karşın aşırı sıcak bölgeler göz önünde bulundurularak deney 60°C sıcaklık için de yapılmıştır. Buna göre, AC 75-100/SK asfalt betonu karışımların 40°C’deki sünme sertliği değeri AC 75-100/K karışımlarına göre 3,19 kat, 60°C’deki değeri ise 3,97 kat daha büyük bulunmuştur. Diğer bir ifade ile siyah karbon içeren karışımların kalıcı deformasyona karşı direnci kontrol karışımlarına göre çok daha yüksek çıkmıştır.



Şekil 5. Kontrol ve siyah karbon asfalt karışımların sünme rijitliği değerleri

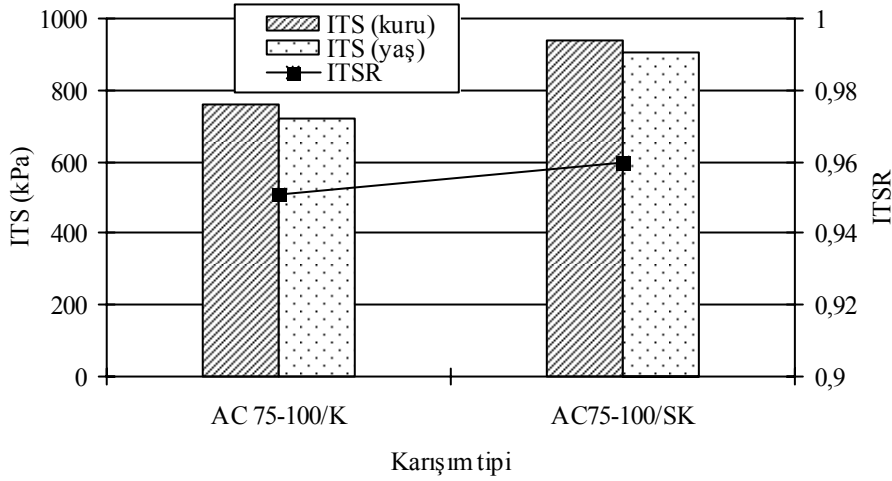
ITSM ve sünme rijitliği testlerinin her ikisinde de en iyi sonuçlar AC 75-100/SK asfalt betonu karışımından elde edilmiştir.

4.4. İndirek Çekme Direnci

Her iki tip karışımın indirek çekme direnci test sonuçları Tablo 7 ve Şekil 6'da gösterilmiştir. AC 75-100 asfalt karışımına filler olarak siyah karbon ilave edilmesi, AC 75-100/K karışımına göre ITS_{kuru} değerini 1,2 kez ve $ITS_{yaş}$ değerini ise 1,3 kez artırmıştır. AC 75-100/SK karışımlarının ITSR değerlerinin AC 75-100/K değerlerinden daha yüksek olduğu bulunmuştur (Şekil 6).

Tablo 7. İndirek çekme direnci deney sonuçları

Özellik	Karışım Tipi	
	AC 75-100/K	AC 75-100/SK
Şartlandırılmayan grubun indirek çekme direnci, ITS_{kuru} (kPa)	758	940
Şartlandırılan grubun indirek çekme direnci, $ITS_{yaş}$ (kPa)	721,07	902,4
İndirek çekme direnci oranı, $ITS_{yaş} / ITS_{kuru}$ (kPa)	0,951	0,960



Şekil 6. Kontrol ve siyah karbon asfalt karışımların ITS ve ITSR değerleri

Kontrol ve siyah karbon asfalt karışımların ITS ve ITSR değerleri dikkate alındığında, asfalt karışımlarına filler olarak siyah karbonun ilave edilmesinin, karışımların ısı ve suya karşı dirençlerini arttırdığı ve bitüm ile agregaya arasındaki bağ özelliklerini geliştirdiği görülmektedir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada yapılan deneyler neticesinde aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

- AC 75-100 asfaltı ve siyah karbon fillerin bozulma başlangıç sıcaklıkları, termogravimetrik analizden elde edilen sonuçlara göre asfalt betonu numunesinin hazırlama ve karıştırma sıcaklığından daha yüksek çıkmıştır.
- Marshall stabilitesi ve akma deneyi sonuçları, siyah karbon fillerini içeren asfalt betonu karışımların kalker fillerini içeren karışımlardan daha iyi sonuçlara sahip olduğunu göstermiştir.
- Kontrol ve siyah karbon fillerini içeren asfalt betonu karışımların 0°C ve 20°C sıcaklıklardaki ITSM deney sonuçları birbirine yakın elde edilmiştir. Ancak, AC 75-100/SK karışımların 40°C'deki rijitlik modülü değeri AC 75-100/K karışımlarından önemli ölçüde yüksek bulunmuştur. Siyah karbon içeren asfalt betonu karışımların sünme sertliği deney sonuçları kalker fillerini içeren karışımlardan çok daha yüksek çıkmıştır.
- Siyah karbon fillerli asfalt betonu karışım numunelerinin şartlandırılmış ve şartlandırılmamış indirek çekme direnci değerleri, kalker fillerini içeren numunelerden daha yüksek elde edilmiştir. Bu değerler, bitümlü sıcak karışımlara siyah karbon ilave edilmesinin karışımın tekerlek izi oluşumu ve nem hasarına karşı direncini önemli ölçüde arttırdığını göstermektedir. Siyah karbon, asfalt bağlayıcı ve agregalar arasındaki bağın güçlenmesine katkıda bulunarak suyun asfalt malzemeye zarar vermesini engellemiş ve karışımın rijitliğinin artmasını sağlamıştır.

Bitümlü sıcak karışımlarda karışımın ana bileşenlerinden biri olarak dikkate alınan kalker filler malzemesi yerine aynı amaçla siyah karbon kullanılmasının, asfalt betonunun performansını geliştirdiği, özellikle de sıcak karışımın stabilitesini ve durabilitesini artırarak ötelenme ve tekerlek izi oluşumu ile ilgili sorunları azalttığı deney sonuçlarında görülmüştür. Sonuç olarak, siyah karbonun asfalt betonu karışımlarda filler olarak kullanılmasının, karışımların mekanik özelliklerini önemli ölçüde geliştirdiği ve bitümlü sıcak karışımlarda kullanılabilirliği tespit edilmiştir.

Semboller

- D : Yatay deformasyonun ortalama değeri (mm).
d : Numunenin çapı (mm).

Asfalt Betonunda Siyah Karbonun Filler Olarak Kullanımı

- ITS : İndirek çekme direnci (kPa).
ITS_{kuru} : Şartlandırılmamış grubun ortalama indirek çekme direnci (kPa).
ITSR : İndirek çekme direnci oranı.
ITS_{yaş} : Şartlandırılmış grubun ortalama indirek çekme direnci (kPa).
K : Kalker.
L : Uygulanan düşey yükün en büyük değeri (N).
MQ : Marshall oranı (kN/mm).
P_{max} : Uygulanmış maksimum yük (kN).
SK : Siyah karbon.
S_m : Rijitlik modülü (MPa).
S_{mix} : Sünme rijitliği modülü (MPa).
t : Deneş numunesinin ortalama kalınlığı (mm).
v : Poisson oranı (deneylerde 0,35 alınmıştır).
ε : Toplam kalıcı eksenel deformasyon.
σ : Uygulanan gerilme (MPa),

Kaynaklar

- [1] Acar, S.O., Tapkın, S., Portland Çimentosu Kullanılarak Hazırlanan Marshall Numunelerinin Özelliklerinin İncelenmesi, Asfalt'98, 2.Ulusal Asfalt Sempozyumu, 95-104, Ankara, 1998.
- [2] Tunncliffe, D.G., A Review of Mineral Fillers. Proc. Association of asphalt paving technologists, 34, 214-236, 1962.
- [3] Benson F.C, Martinez, DF., Evaluation of Several Mineral Fillers For Use in Item 340 Hot-Mix Asphaltic Concrete. Report FHWA/TX/85/1, Texas Transportation Institute, USA, 1984.
- [4] Suhaibani, A., Mudaiheem, J., Fozan, F., Effect of Filler Type and Content on Properties of Asphalt Concrete, Effect of Aggregates and Mineral Fillers on Asphalt Mixture Performance, ASTM STP 1147, American Society for Testing and Materials, 107-130, Philadelphia, 1992.
- [5] Kandhal, P.S., Lynn, C., Parker, F., Characterization Tests for Mineral Fillers Related to Performance of Asphalt Paving Mixtures, Transportation Research Record, 101-110, Auburn Univ. Auburn, USA, 1998.
- [6] Roberts, F.L., Kandhal, P.S., Brown, E.R., Lee, D.Y., Kennedy, T.W., Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design, and Construction. NAPA Education Foundation, Maryland, USA, 2000.

- [7] Rogue, R., Birgisson, B., Tia, M., Kim, B., Cui, Z., Guidelines For Use of Modifiers in Superpave Mixtures: Evaluation of Ground-Tire-Rubber (GTR), Report 4910/4504/718/12, University of Florida, USA, 2004.
- [8] Martin, K.G., Preliminary Microviscometer Studies of Carbon Black Bitumen Dispersions, Proceedings of the Australian Road Research Board, 1962.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] Yao, Z., Monismith, C.L., Behavior of Asphalt Mixtures With Carbon Black Reinforcement, Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists, 32, 1987.
- [12] Button, J.W., Little, J.L., Kim, Y., Ahmed, J., Mechanistic Evaluation of Selected Asphalt Additives, Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists, 56, 1987.
- [13] http://www.tupras.com.tr/faaliyet_3_2.htm, Türkiye Petrol Rafinerileri Anonim Şirketi (TÜPRAŞ), 2006.
- [14] Resistance to plastic flow of bituminous mixtures using the Marshall apparatus, ASTM D 1559.
- [15] Zoorob SE, Suparma LB, Laboratory design and investigation of the properties of continuously graded Asphaltic concrete containing recycled plastics aggregate replacement (Plastiphalt), Cement & Concrete Composites 22, 2000. p. 233-242.
- [16] British Standards Institution, Method for the determination of the indirect tensile stiffness modulus of bituminous mixtures. Draft for development DD-213, 1993.
- [17] 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.