

Karbon Liflerin Bitümlü Sıcak Karışımlarda Kullanımının Araştırılması

Özge DEMİRKAYA*¹, Serdal TERZİ²

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı 32260, Isparta

²Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta

(Alınış / Received: 23.09.2016, Kabul / Accepted: 31.12.2016, Online Yayınlanma / Published Online: 14.01.2017)

Anahtar Kelimeler

Karbon lif,
Asfalt karışımı,
Modifiye asfalt

Özet: Asfalt kaplamalarının performansını artırma çalışmaları son yıllarda önem kazanmıştır. Asfalt bitüm modifikasyonu kaplama performansını iyileştirmek için uygulanan bir yöntemdir. Asfalt bitüm modifikasyon yöntemlerinden biri de asfalt karışıma karbon lif eklenmesidir. Bu çalışmada karbon lif katkılı asfalt karışımların davranışını araştırmak için belli oranlarda kırılmış karbon lif kullanılarak asfalt betonu karışımlar üretilmiş ve test edilmiştir. Bu çalışmada, karbon lif katkılı asfalt betonu karışımının mekanik özelliklerinin ve stabilitesinin artırılması amaçlanmıştır. Asfalt betonu karışımlara 3 farklı uzunlukta (3, 6 ve 12 mm) kırılmış karbon lifler farklı oranlarda (%0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 1.25, 1.50) karıştırılarak en iyi mekanik özellik gösteren uzunluk ve oran elde edilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre en iyi Marshall stabilitesi % 0.50 oranındaki 12 mm uzunluğundaki karbon lif katkılı asfalt karışımının verdiği tespit edilmiştir.

Investigation of Using Carbon Fibers in Hot Mix Asphalt Mixture

Keywords

Carbon fiber,
Asphalt mixtures,
Modified asphalt

Abstract: In recent years, studies to improve the performance of asphalt pavement have gained importance. Asphalt bitumen modification is one of the methods used to improve coating performance. Fiber addition to the asphalt mixture is another method of these modifications. In this study, asphalt concrete mixtures were produced by using in certain proportions of trimmed carbon fiber and tested to investigate the behavior carbon fiber modified asphalt mixtures. This study was conducted to obtain significant improvements in stability and mechanical properties of carbon fiber reinforced asphalt concrete mixture. The length and ratio which show the best mechanical properties were obtained by preparing asphalt mixture using 3 different (3-6 and 12 mm) chapped carbon fibers at different rates(%0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 1.25, 1.50). According to the study results, 12mm length at ratio % 0.5 carbon fiber modified asphalt mixture was determined as the best value.

1. Giriş

Dünyada artan trafik hacmi ve dingil yükleri nedeniyle yollarda tekerlek izi bozulması, karayolu üst yapısında oluşan en önemli bozulmalardan kabul edilmektedir. Günümüzde asfalt teknolojisinde önemli yenilikler olmaktadır. Artık esnek üstyapı elemanlarından daha çok verim almak amacıyla yeni teknikler geliştirilmekte ve malzeme bilimi açısından da yenilikler ortaya çıkmaktadır.

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 duyarlılık gibi bozulmalar oluşmakta bu da yolun öngörülen ömür ve konfor düzeyini düşürmektedir. Bu durum, bitümlü sıcak karışımların (BSK) özelliklerini artırmanın gerekliliğini ortaya koymaktadır. BSK, mineral agregası, filler, bitüm ve boşluktan oluşan çok fazlı kompleks bir malzemedir. Bitüm-agrega karışımlarında agreganın belirli bir miktar filler ihtiva etmesi, arzu edilen karışım özelliklerini ve performansı sağlamak için şarttır [1].

İstenilen performansı sağlamak amacıyla katkı malzemesi olarak liflerin kullanılması son zamanlarda yaygınlaşmıştır [2,3]. Bu çalışmada, BSK'daki bozulmaları engellemek, geciktirmek, yolların ömrünü ve performansını artırmak amacıyla karbon lifin BSK üzerinde ne gibi etkiler sağlayacağı

*İlgili yazar: ozgedemirkaya89@gmail.com

araştırılmıştır. Karbon lifin asfalt karışımına eklenmesiyle karışımın dayanımını ve fiziksel özelliklerini geliştirmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal

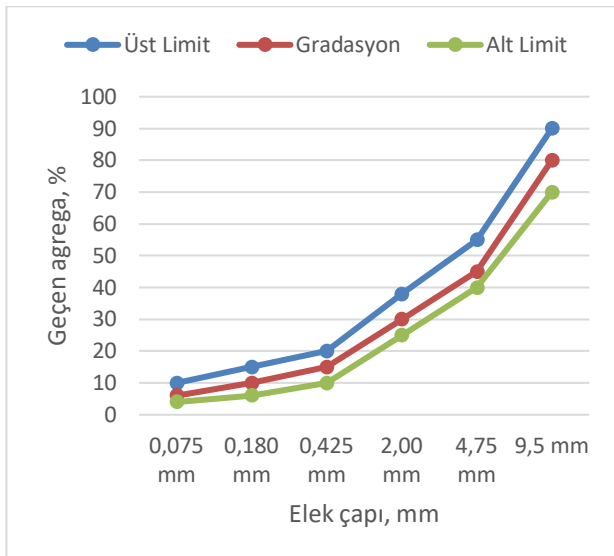
2.1. Agregalar

Çalışmada kullanılan agregalar Isparta Belediyesi asfalt şantiyesinden elde edilmiştir. Karışımlar için nominal maksimum agregalar boyutu 9.5 mm ve Karayolu Teknik Şartnamesi (KTŞ) aşınma tabakası standartları kullanılmıştır. Aşınma direnci "agrega aşınma kaybı için (Los Angeles) standart test yöntemi" su emme için "agrega su emme standart test yöntemleri, doymuş yüzey yerçekimi ve özgül ağırlığının" belirlenmesi için testler karışımda kullanılan agregalar malzemesi üzerine yapılmıştır. Deneyde kullanılan agregaların elek analizi ASTM C136-84a, [4] göre yapılmıştır.

Tablo 1. Kırmataş agregalar deney sonuçları.

Elek çapı	Özellikleri	Standart	Kireçtaşı Agregası
4.75-0.075mm	Zahiri Özgül Ağırlık (gr / cm ³)	ASTM C 127-88	2.660
	Doymuş Özgül Ağırlık		2.652
	Su Emme (%)		0.130
25-4.75mm	Zahiri Özgül Ağırlık (gr / cm ³)	ASTM C 128-88	2.329
	Doymuş Özgül Ağırlık		2.428
	Su Emme (%)		2.800

Asfalt karışım örnekleri için agregalar tane dağılımı eğrileri KTŞ aşınma tabakası TİP-1'e uygun olarak seçilmiştir. Mevcut elek analizi sonuçları ve deneyler için seçilen agregalar granülometrisi Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Agregalar granülometrisi.

2.2. Bitüm

Çalışmada kullanılan bitüm Isparta Belediyesi Asfalt Tesislerinden temin edilmiştir. Penetrasyonu 50/70'dir. Kullanılan bitümün penetrasyonunun belirlenmesi için bitümlü malzemelerin standart test yöntemi [5], özgül ağırlığı belirlenmesi için yarı esnek bitümlü malzemelerin yoğunluğu standart test yöntemi [6], yumuşama noktası için bitümün yumuşama noktası standart test yöntemi [7], yanma ve parlama noktası için açık kap test aparatı Cleveland deney cihazı [8], bitümün düktilitesinin belirlenmesi için bitümlü malzemelerin düktilite deneyi [9] kullanılmıştır. Bitüm için standart deneyler yapılmış ve sonuçları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Bitüm deneyleri.

Test	Ortalama Değerler	Standart
Penetrasyon (25 °C)	65	ASTM D5
Parlama noktası	180°C	ASTM D92
Yanma Noktası	230 °C	ASTM D92
Yumuşama Noktası	45.5°C	ASTM D36
Düktilite (5 cm / dk)	>100 cm	ASTM D113
Özgül ağırlık (gr/cm ³)	1.030	ASTM D70

2.3. Karbon lif

Kırılmış karbon lifler yüksek mekanik mukavemetleri, elektrik iletkenlikleri, termal mukavemetleri ile termoplastik enjeksiyon parçalarının mekanik olarak güçlendirilmesinde ve elektrik iletkenliği sağlanmasında; anti statik özellik istenen endüstriyel zeminlerde; yüksek aşınma dayanımı gereken fren balataları gibi ürünlerde sahip olduğu üstün özellikleri ile katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Çalışmada kullanılan karbon lif özellikleri Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Karbon lif özellikleri.

Test	Ortalama Değerler
Çekme dayanımı	3800 MPa
Elastisite modülü	228 GPA
Elektrik iletkenliği	0.00155 ohm-cm
Özgül ağırlık	1.81 gr/cc
Elyaf çapı	7.2 mikron

3. Metot

3.1. Marshall stabilite deneyi

Bu metot, Marshall Stabilite denet aleti yardımıyla bitümlü kaplama karışımlarından hazırlanan silindirik briketlerin yanal yüzeylerine yükleme yaparak plastik akmaya karşı direncin ölçümünü kapsar [10].

Ülkemiz karayollarında bitümlü karışımlara uygulanan stabilite deneyi Marshall deneyidir. Bu deney esas olarak serbest basınç deneyi olup numune yüklendiği sırada tamamen sınırlanmaz [11].

Akma değeri asfalt kaplamaların plastiklik ve esneklik özelliklerini yansıtan değerdir. Marshall numunelerinin kırıldığı yüke tekabül eden deformasyonunu temsil eden akmanın değeri sıkışmış karışımların iç sürtünmesinin bir ölçüsüdür ve akma değeri ile iç sürtünme arasında doğrusal ters bir ilişki vardır [11].

Marshall deney numuneleri en az 24 saat oda sıcaklığında bekletildikten sonra numune yükseklikleri ölçülerek havada, suda doymun ve yüzey kuru suya doymun ağırlıkları belirlenmiştir. Numuneleri 60 °C deney sıcaklığına şartlandırma için 30-40 dakika su banyosunda bekletilmiştir. Numune çelik bir halkanın iki segman arasında yerleştirilir. Akma ölçer yerleştirilerek sıfırlanır. Maksimum yüke erişinceye kadar, dakikada 50,8 mm'lik (2 inç) bir hızla yükleme yapılır. Maksimum yük kaydedilir akma ölçer boşaltılır ve akma değeri ölçülür. Deney numunesinin su banyosundan çıkarılıp, maksimum yük saptamasına kadar geçme süre 30 s.' den fazla olmamalıdır. Numune yüksekliği 63,5 mm' den (2 ½ inç) farklıysa Marshall stabilite düzeltme katsayıları kullanılarak yüke düzeltme faktörü uygulanır [10].

Deneyde; üst segman sabittir. Alt segman yükleme hızı ise 50,8 mm/dakikadır. Basınç arttıkça stabilometrede okunan değer artarak maksimuma ulaşır, daha sonra düşmeye başlar. Bu anda numune kırılır. Stabilometrede okunan maksimum değer yardımıyla bitümlü karışımın stabilitesi saptanır. "Marshall Stabilitesi" adı verilen bu değer numunenin kırılmasını sağlayan kg cinsinden toplam yük miktarıdır. Kırılma sırasında örneğin çökme ya da hareket miktarı ölçülür. Buna "Akma" denir. Ayrıca bu deney sonucunda elde edilen veriler yardımı ile karışımın birim ağırlığı, boşluk oranı ve bitüm ile dolu bulunan agregada boşluğu yüzdesi saptanır [11].

Bu çalışmada kırılmış karbon lifin kullanıldığı asfalt betonun davranışının incelenmesi amaçlanmıştır. Deney örnekleri karbon lifin asfalt karışımındaki mekanik özelliklerini anlamak için 5 farklı konsantrasyonuyla (%3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5) çalışılmıştır. 3 ayrı uzunlukta karbon lif (3, 6 ve 12 mm) ihtiva eden Marshall karışım numuneleri hazırlanmıştır. Çalışmada en iyi sonucu elde edebilmek için her uzunlukta 6 farklı lif oranı kullanılmıştır. Her uygulanan oran için 3'er numune hazırlanmıştır.

Lif oranları agregada ağırlığı yüzdesi (1245gr) baz alınarak hesaplanmıştır. Karbon lif oranları %0.25, %0.50, %0.75, %1.00, %1.25, %1.50 olarak belirlenmiştir. Deney gruplarında aynı agregada yüzdesi

ve aynı bitüm (% 5.13) yüzdesi kullanılmıştır. Karbon lif içeren asfalt betonun fiziksel özellikleri üzerine etkisini incelemek için, deney grubu sonuçları istatistiksel olarak kontrol grubu ile karşılaştırılmıştır.

3.1.1. Optimum bitüm yüzdesinin belirlenmesi

Optimum bitüm yüzdesinin belirlenmesi için farklı bitüm yüzdelinde hazırlanmış olan numunelere ait Marshall stabilite, birim ağırlık, bitüm ile dolu agregada boşluğu yüzdesi ve boşluk yüzdesi grafiklerinin çizilmesi gerekir. Marshall stabilite değerinin en yüksek olduğu bitüm yüzdesi değeri, maksimum birim hacim ağırlığı veren bitüm yüzdesi, şartnameye uygun olarak bitüm ile dolu agregada boşluğu yüzde değeri %65 - 75 olarak sağlayan bitüm yüzdesi, %4 boşluk yüzdesini (şartnamede belirtilen % 3-5 arasındaki sınır içinde kalan) sağlayan bitüm yüzdesi oranı grafiklerden bulunur. Bulunan dört farklı yüzdenin ortalaması optimum bitüm yüzdesini verecektir [11].

Bu yüzdeye tekabül eden akma değeri akma-bitüm grafiğinden bakılarak, şartnamede belirtilen değerlerin (2-4) arasında olup olmadığı kontrol edilir. Ayrıca agregalar arası boşluk oranının sınır değer üstüne olup olmadığı kontrol edilir. Bu şekilde saptanan bitüm oranına göre gerçekleştirilen bir beton asfalt karışımı şartnamelerde aranan özellikleri taşıyacaktır [11].

3.2. Dolaylı çekme deneyi

Nemin etkilerini ölçmek için ya da bir asfalt karışımının kırılma direncini belirlemek için kullanılan gerilme mukavemeti, asfalt karışımlarını değerlendirmek için yaygın olarak kullanılan bir parametredir. Gerilme mukavemeti genellikle AASHTO TP9-02 [12] ile uygun olarak gerçekleştirilen bir dolaylı çekme mukavemeti (ITS) testi ile tam olarak belirlenebilir.

Yükleme yapılandırması uygulanan yükün yönüne dik ve dikey çap boyunca bölerek örneğin başarısız olmasına neden olan dikey çapsal düzlem boyunca nispeten homojen bir çekme gerilmesi geliştirir. Testin tutarlı bir şekilde gerçekleşmesini garantilemek için İndirekt Çekme Mukavemeti (Indirect Tensile Strength - ITS) mukavemeti testinin bir test prosedürü hazırlanmıştır [13].

Bu çalışmada, testten önce, kalıplar prosedüre göre ölçülmüş ve 45 °C derecede 30-40 dakika bekletilmek üzere su banyosuna konulmuştur. Test sıcaklığı yüksek sıcaklık aralığında asfalt mukavemetini ifade etmesi için 45 °C derece olarak belirlenmiştir, ancak ziftin yumuşama sıcaklığının altındadır. Numuneler 50.8 ± 2 mm/dk levhanın hareket oranını vermek için esneklik modülü tarzı bir yükleme jiginin içine yerleştirilir. Bu yükleme jigi yükün sabit hızda başlaması için MS makinesine yerleştirilmiştir [13].

3.3. Koşullandırılmış dolaylı çekme deneyi

İndirekt Çekme Mukavemeti (ITS) testi, Marshall cihazı kullanılarak dakikada 50.8 ± 2 mm/dk yük artış hızında yapılmıştır. 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 Denklem (1) kullanılır [1].

$$ITS = \frac{2P_{max}}{\pi t x d} \quad (1)$$

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

Bunun için öncelikle elde edilen karışımdan altı adet \emptyset 100mm Marshall numunesi hazırlanır. Bu numuneler öncelikle sabit ağırlığa ulaşınca kadar 72 saat boyunca 40° C sıcaklıkta bekletilir. 72 saat sonunda her altı numune de etüvden çıkartılır ve üçü 25° C sıcaklıkta su banyosuna 24 saat boyunca beklemek üzere yerleştirilir. Diğer üç numune ITS_{KURU} değerini belirlemek üzere ITS cihazı ile kırılır. Su banyosunda bekleyen numuneler 24 saat dolunca banyodan çıkartılır ve ITS_{WET} değerini belirlemek üzere ITS cihazı ile kırılır. Bu işlemler esnasında karışıma ilave edilecek aktif filler belirlenir ve sırasıyla mevcut karışıma dahil edilir. Elde edilen her bir yeni karışımdan altışar adet daha \emptyset 100mm Marshall numuneleri hazırlanır ve ITS_{DRY} ve ITS_{WET} değerleri elde edilir. Aktif filler kullanılmayan numune ve kullanılan her bir aktif filler ile hazırlanan numunelerin Çekme Mukavemeti Oranı (Tensile Strength Ratio - TSR) değerleri aşağıdaki formülle hesaplanır. Tipik TSR değerleri 0,70-0,90 aralığındadır. HMA karışımın tipine bağlı olarak 0.70 altında veya 0.90 yukarıda değerlerini görmek için nadir değildir. Şartnamede Çekme dayanımı oranı % 80' dir.

$$TSR = \frac{ITS_{ISLAK}}{ITS_{KURU}} * 100 \quad (2)$$

Burada ITS_{ISLAK} ve ITS_{KURU} değerleri ıslak ve kuru ITS değerlerinin ortalaması olup TSR değeri ortalama ıslak ve kuru değerlerinin oranının % olarak hesaplanmıştır [14].

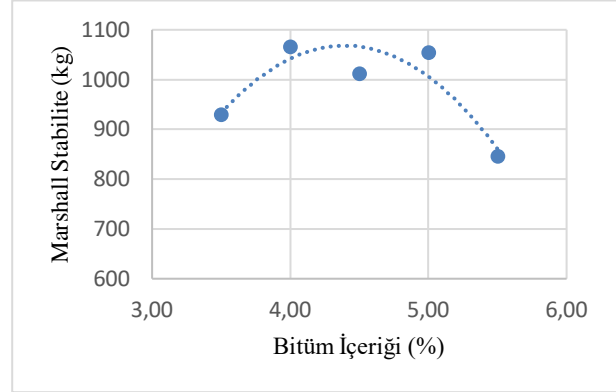
4. Araştırma Bulguları

4.1. Optimum bitüm yüzdesi

Optimum bitüm yüzdesinin tespit edilmesi için Marshall deney metodu ve numuneleri hazırlanmış, agrega gradasyonu sabit tutularak %3.5, 4.0, 4.5, 5.0,

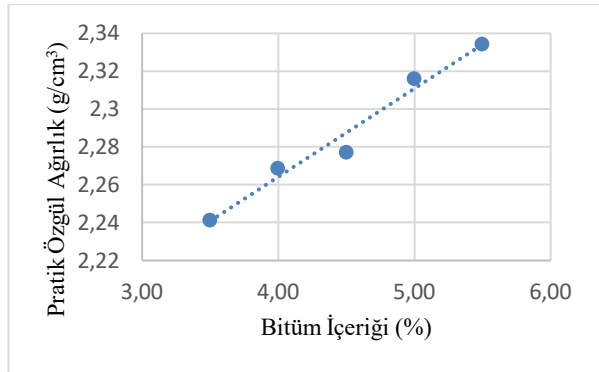
5.5 oranlarında bitüm oranı kullanılmıştır. Deney sonuçlarına ilişkin değerler Şekil 2, 3, 4 ve 5'de görülmektedir.

Araştırmalar neticesinde maksimum stabilite değerini veren bitüm yüzdesi %4 olarak hesaplanmıştır.



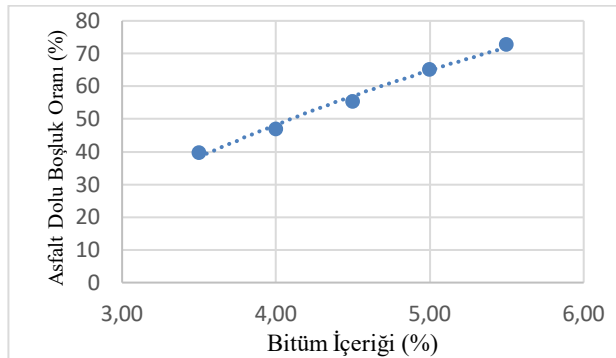
Şekil 2. Marshall stabilite-bitüm ilişkisi.

Çalışma sonucunda grafikte kırılma görülmediğinden hesaplamalar sonucu maksimum birim ağırlığa karşılık gelen bitüm yüzdesi % 5.5 olarak hesaplanmıştır.



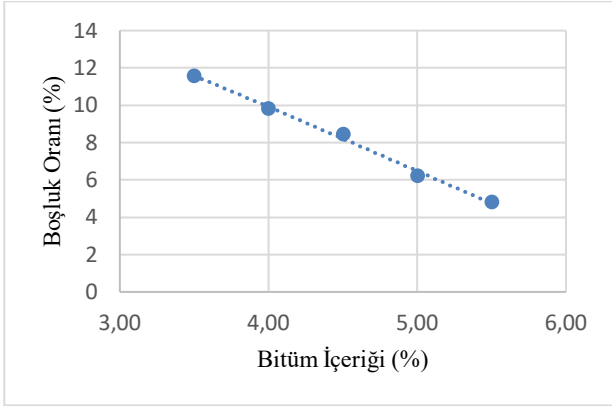
Şekil 3. Karışımın birim ağırlık-bitüm ilişkisi

Deney sonucunda şartnameye uygun olarak bitüm ile dolu agrega boşluğu yüzdesi %65-75 şartını sağlayan bitüm oranı % 5.5 olarak görülmektedir.



Şekil 4. Asfaltla dolu boşluk yüzdesi-bitüm ilişkisi.

Deney sonucunda şartnamede belirtilen %3-5 arasındaki sınır içinde kalan %5.5 bitüm oranına tekabül etmiştir.



Şekil 5. Karışımdaki boşluk hacmi-bitüm ilişkisi.

Deney sonucunda hava boşluğuna karşılık gelen bitüm yüzdesi 5.5 olarak tayin edilmiştir.

Şekil 2, 3, 4, ve 5'te bulunan dört bitüm yüzdesinin ortalaması optimum bitüm oranını verecektir. Bu durum sonucunda optimum bitüm oranı %5.13 olarak bulunmuştur.

4.2. Marshall stabilite deney sonuçları

Başlangıçta karbon lif, agrega ve bitümü karıştırma tekniği için en basit yöntemlere başvurulmuştur. Karışım hazırlandığı esnada kaptaki bitümün viskozitesini sabit tutabilmek için karıştırma kabı sürekli ısıtılmıştır. Bitüm hazırlanırken kullanılan agregalar da bitüm sıcaklığını sabit tutabilmek için etüvde bekletilip kullanılmıştır. Bütün malzemeler el gücüyle kaşık yardımıyla karıştırılmıştır. Bu işlem 3 sırasında karbon lif sürekli kaşığa yapışmış ve bir spatula yardımıyla kazınarak tekrar karışımın içine ilave edilmiştir. Karışım homojen bir kıvama gelinceye kadar karıştırma işlemine devam edilmiştir. Daha sonra numuneler 101,6 mm çapında ve 76,2 mm yüksekliğindeki numune kalıbında, 457,2 mm)den düşen 4536 gr ağırlığındaki otomatik bir tokmakla sıkıştırılmıştır. Numunenin her iki yüzüne yüksek trafik için 75 darbe uygulanmıştır.

Tablo 4'de uzunluklarına göre karbon lifli numunelerin Marshall stabilite değerleri ve akma değerleri görülmektedir. Tabloda da görüldüğü gibi Marshall stabilite değerleri sadece % 0.25 ve 0.50 oranındaki 3 mm ve 6 mm uzunluğundaki karbon lif

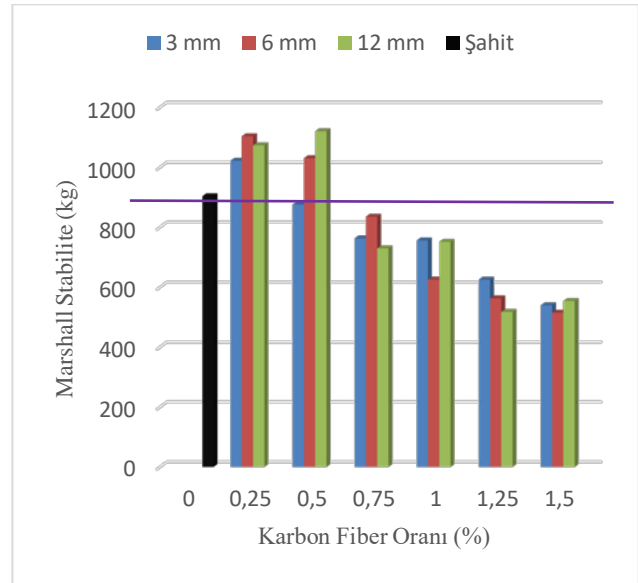
katkılı numunelerin şartname gerekliliklerini karşılamıştır.

Şekil 6'da uzunluklarına göre karbon lifli numunelerin Marshall stabilite değerleri ve akma değerleri görülmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi sadece 3, 6, ve 12 mm'lik %0.25 karbon lif katkı numuneler ve 6 ve 12 mm'lik % 0.50 karbon lif katkı numuneler şartname gerekliliklerini karşılamaktadır.

Akma değerleri ise, % 0.25 ve 0.50 oranında 3 mm uzunluğundaki karbon lif katkı numuneler şartname gereğini sağlamıştır (Şekil 7).

Şekil 8'de uzunluklarına göre karbon lifli numunelerin asfalt dolu boşluk oranları görülmektedir. Şekil 8'de görüldüğü gibi sadece 0.25 oranında 3 mm uzunluğundaki karbon lif katkı numuneler şartname değerini sağlamaktadır.

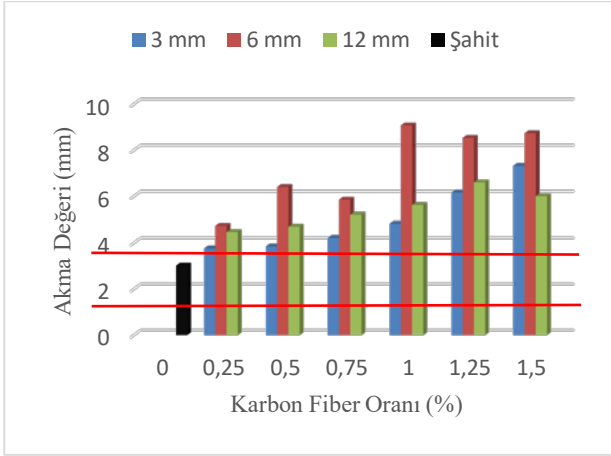
Şekil 9'da uzunluklarına göre karbon lifli numunelerin boşluk oranları görülmektedir. Karışıma eklenen karbon lif oranı arttıkça boşluk oranı artma eğilimi göstermektedir. Yapılan testler sonucu hiçbir karbon lif katkı numune şartname değerlerini sağlamamaktadır.



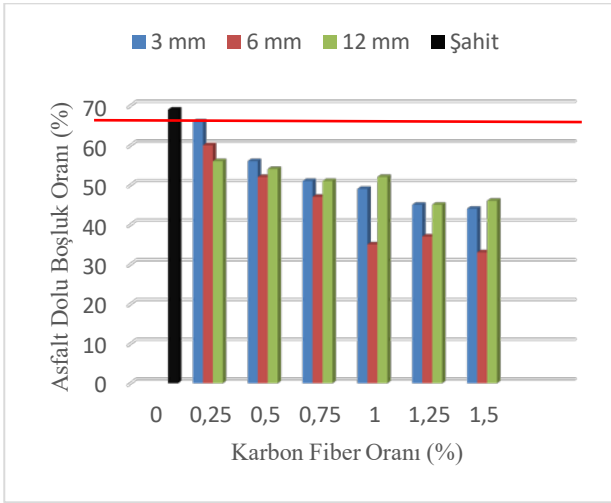
Şekil 6. Marshall stabilite değerleri.

Tablo 4. Karbon lif eklenmiş numunelerin Marshall Stabilite ve Akma sonuçları.

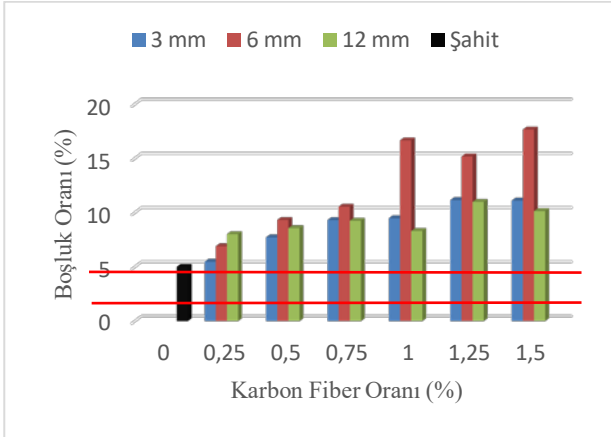
Lif %	3mm karbon lif		6 mm karbon lif		12 mm karbon lif	
	Marshall Stabilite (kg)	Akma (mm)	Marshall Stabilite (kg)	Akma (mm)	Marshall Stabilite (kg)	Akma (mm)
0	903.32	3.02	903.32	3.02	903.32	3.02
0.25	1021.67	3.76	1103.33	4.74	1073.33	4.47
0.5	875.67	3.85	1030.00	6.40	1120.00	4.70
0.75	762.67	4.22	835.00	5.85	729.33	5.20
1	755.67	4.83	625.33	9.07	751.00	5.62
1.25	625.00	6.16	562.67	8.53	517.33	6.60
1.5	539.33	7.32	514.67	8.73	553.67	6.00



Şekil 7. Akma değerleri.



Şekil 8. Asfaltla dolu boşluk yüzdesi değerleri.



Şekil 9. Toplam hacmin yüzdesi olarak sıkıştırılmış karışımdaki agrega boşluğu değerleri.

4.3. Dolaylı çekme deney sonuçları

Dolaylı Çekme Deneyi, nemin etkilerini ölçmek için ya da bir asfalt karışımının kırılma direncini belirlemek için yaygın olarak kullanılan bir parametredir. Gerilme mukavemeti genellikle AASHTO TP9-02 [12] ile uygun olarak gerçekleştirilen bir ITS testi ile tam olarak belirlenebilir.

Yükleme yapılandırması uygulanan yükün yönüne dik ve dikey çap boyunca bölerek örneğin başarısız

olmasına neden olan dikey çap düzlemi boyunca nispeten homojen bir çekme gerilmesi geliştirir. Testin tutarlı bir şekilde gerçekleşmesini garantilemek için İndirekt Çekme Mukavemeti (Indirect Tensile Strength - ITS) prosedürüne göre numuneler hazırlanmıştır.

Tablo 5. Uzunluklarına göre karbon lifli numunelerin dolaylı çekme değerleri.

3 mm karbon lif		6 mm karbon lif		12 mm karbon lif	
Lif %	Gerilme Mukavemeti (St)	Lif %	Gerilme Mukavemeti (St)	Lif %	Gerilme Mukavemeti (St)
0	327.7886		327.7886		327.7886
0.1	259.7689	0.1	297.3725	0.1	293.6255
0.2	259.0429	0.2	270.8681	0.2	274.8396
0.3	245.4197	0.3	246.1647	0.3	259.6262
0.4	273.8487	0.4	266.3194	0.4	272.2911
0.5	284.8322	0.5	244.9271	0.5	241.8519
0.6	223.9889	0.6	232.9956	0.6	226.6893

Uzunluklarına göre karbon lifli numunelerin dolaylı çekme değerleri Tablo 5'te görülmektedir. En yüksek dolaylı çekme değeri şahit numunelerde elde edilmiştir. Karbon lif katkılı numunelerin dolaylı çekme değerleri şahit numuneye göre daha düşükken, 3 mm uzunluğundaki lif katkılı numuneler için maksimum dolaylı çekme değeri 0.5 oranında elde edilmiştir. 6 mm ve 12 mm için ise 0.1 oranı maksimum dolaylı çekme değerini vermektedir.

4.4. Koşullandırılmış dolaylı çekme deney sonuçları

Bu çalışmada, kırılmış karbon lif kullanılarak asfalt betonunun dolaylı çekme davranışını değiştirmek amaçlanmıştır. Marshall stabilite deneyinde ve dolaylı çekme deneyinde en iyi sonucu 3 mm' lik karbon lif vermiştir. Bunu göz önünde bulundurarak koşullandırılmış ve koşullandırılmamış dolaylı çekme deneyi için numuneler 3 mm karbon lifle hazırlanmıştır. Bu çalışmada % 0.4 ve % 0.5 olarak iki karbon lif oranı kullanılmıştır. Her orandan 4' er numune hazırlanmıştır. Lif oranları agrega ağırlığı yüzdesi (1245gr) baz alınarak hesaplanmıştır. Sonuçlar Tablo 6 ve 7'de verilmiştir.

Tablo 6. ITS deneyi sonuçları.

3 mm karbon lif	0.4	0.5	Şahit
ITS _{KURU}	577.361	458.7881	533.5006
ITS _{ISLAK}	895.2111	681.2035	1031.352

Tablo 7. TSR oranları.

3 mm karbon lif	0.4	0.5	Şahit
TSR (%)	155.052	148.479	193.318

Tüm numuneler % 80 TSR oranının üzerindedir ve şartnameyi sağlamaktadır.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, karbon lifin bitümlü sıcak karışımındaki davranışı araştırılmıştır. Çalışma, karbon lif kullanılarak standart bir asfalt beton karışımının davranışındaki değişikliği belirlemek için bir ön çalışma niteliğindedir. Karbon lifli asfalt karışımındaki mekanik özelliklerinde gelişmeler elde etmek için Marshall Stabilite, akma ve indirekt çekme değerlerine odaklanılmıştır.

Marshall Stabilite deneyinde en iyi sonucu veren değerler % 0.25 oranında kullanılan 3, 6 ve 12 mm karbon lif değerleri şartnameyi sağlamıştır. % 0.5 oranında kullanılan ise sadece 6 ve 12 mm lik karbon lif katkılı numunelerde şartnameyi sağlamıştır. Şahit numune şartnameyi sağlarken, asfalt karışımında % 0.25 ve % 0.50 karbon lif katkısı daha iyi sonuç vermiştir. Çalışmada kullanılan diğer değerlerde (0.75, 1, 1.25, 1.50) başarısız olunmuştur. Sonuç olarak % 0.25 ve % 0.50 oranında karbon lif katkılı asfalt karışımlar, standart aşınma tabakalarında daha mukavemetli olacaktır.

Marshall Stabilite deneyinde elde edilen % 0.25 ve 0.50 oranlarında elde edilen başarı göz önüne alınarak dolaylı çekme deneyi için kullanılacak karbon lif oranı % 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6 olarak kullanılmıştır. En yüksek dolaylı çekme değerini % 0.1 oranında 6 ve 12 mm karbon lif katkılı numuneler vermiştir.

Marshall Stabilite ve akma sonuçlarına göre karbon lif katkılı bitümlü sıcak karışımların ağır taşıt trafiği ve yüksek trafik hacmi olan yerlerde kullanılabilir nitelikte olduğu düşünülmektedir. Dolaylı çekme değerlerine göre nemin etkisi altında çok dayanımlı olmadığı görülmüştür.

Çalışmada karbon lifin bitümlü sıcak karışımlarda uzunluk etkisi de araştırılmıştır. En iyi sonucu veren karbon lif uzunluğu 6 mm ve 12 mm' dir. Karbon lif katkılı asfalt karışımları farklı bitüm ve agrega oranları için araştırılabilir.

Teşekkür

Bu çalışma Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma projeleri koordinasyon birimi tarafından 3901-YL1-14 nolu proje ile desteklenmiştir.

Kaynakça

[1] Ahmedzade, P., Alataş, T., Geçkil T., 2008, Asfalt Betonunda Siyah Karbonun Filler Olarak Kullanımı, İMO Teknik Dergi, 2008 4493-4507, Yazı 297.

- [2] Serin, S., Morova, N., Saltan, M., Terzi, S., 2012, Investigation of usability of steel fibers in asphalt concrete mixtures, Construction and Building Materials, Volume 36, November 2012, Pages 238-244
- [3] Morova, N., Serin, S., Terzi, S., Saltan, M., Özdemir Küçükçapraz, D., Karahançer, Ş., Erişkin, E., 2016, Utility of polyparaphenylene terephthalamide fiber in hot mix asphalt as a fiber, Construction and Building Materials 107(2016) 87-94
- [4] ASTM C 136-84a, 1992, Standard Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. Annual Book of ASTM Standards USA.
- [5] ASTM D5, 1992, Standard Test Method for Penetration of Bituminous Materials Annual Book of ASTM Standards USA.
- [6] ASTM D70, 1992, Standard Test Method for Density of Semi-Solid Bituminous Materials (Pycnometer Method) Annual Book of ASTM Standards USA.
- [7] ASTM D36, 1992, Standard Test Method for Softening Point of Bitumen (Ring-and-Ball Apparatus), Annual Book of ASTM Standards USA.
- [8] ASTM D92, 1992, Standard Test Method for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup Tester, Annual Book of ASTM Standards USA.
- [9] ASTM D113, 1992, Standard Test Method for Ductility of Bituminous Materials, Annual Book of ASTM Standards USA.
- [10] ASTM D 1559-89, 1992, Standard Test Method for Resistance to Plastic Flow of Bituminous Mixtures Using Marshall Apparatus. Annual Book of ASTM Standards USA.
- [11] Umar, F., Açar, E., 1991, Yol Üst Yapısı, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul, 339s.
- [12] AASHTO TP9-02, 2002, Standard Test Method for Determining Creep Compliance and Strength of Hot Mix Asphalt (HMA) Using the Indirect Tensile Test Device (Draft Test Protocol), American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C.
- [13] Tran, J., Van L., H., 2009, Indirect Tensile Strength of Asphalt Mixes in South Australia, Australian Asphalt Paving Association, Thirteenth International Flexible Pavements Conference, Surfers Paradise, Queensland, Australia, pp. 1-3.
- [14] ASTM D6931-12, 2012, Standard Test Method for Indirect Tensile (IDT) Strength of Bituminous Mixtures, ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org.