



İhsan Güzel

Bingöl University, guzelihsan23@gmail.com, Bingöl-Turkey

DOI	http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2020.15.4.1A0463
ORCID ID	0000-0002-9153-8644
CORRESPONDING AUTHOR	İhsan Güzel

ÇELİK FİBERLİ ASFALT BETONU KARIŞIMLARIN MARSHALL STABİLİTESİ VE İNDİREKT ÇEKME MUKAVEMETİNİN İNCELENMESİ

ÖZ

Asfalt betonu kaplamaların proje süresince bozulmaları azaltarak, istenilen performansı sağlamak amacıyla karışımlarda kullanılan iletken fiber tiplerinden biri de çelik fiberlerdir. Son yıllarda tabakaların onarım aşamasında ısıtılarak kendini iyileştirebilme özelliği kazandırmak için çelik fiber kullanımıyla ilgili çalışmalar ilgi çekmektedir. Çelik fiberli tabakaların ekonomikliğini değerlendirmek için bu tabakaların onarım durumuna gelmeden mekanik özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu çalışmada aşınma, binder karışımlarına Marshall dizaynı yapılmış, dizayn sunucuna göre karışımlara agra ve bitüm ağırlıkları toplamının %0.1, %0.15 ve %0.2'si oranında, 10 mm uzunluğunda 1 mm çapında çelik fiber katılmıştır. Karışımlara birinci Marshall stabilitesi, koşullandırılmış indirekt çekme mukavemet, testlerinden sonra numuneler cihazdan çıkarılmadan tekrar aynı testler uygulanmıştır. Sonuç olarak %0.10 çelik fiberli binder karışımlarda, katkısızlara göre en yüksek Marshall stabilitesi ve koşullandırılmış indirekt çekme mukavemeti elde edilirken; katkılı aşınma karışım testlerinde ise katkısızlara yakın veya daha düşük sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Asfalt Betonu, Çelik Fiber, Marshall Dizaynı, Karışım, İndirekt Çekme Mukavemeti

INVESTIGATION OF MARSHALL STABILITY AND INDIRECT TENSILE STRENGTH OF STEEL FIBERED ASPHALT CONCRETE MIXTURES

ABSTRACT

One of the conductive fiber types used in the mixtures in order to provide the desired performance by reducing the deterioration of asphalt concrete coatings during the project is steel fibers. In recent years, studies on the use of steel fiber to provide self-healing property by heating the layers during the repair phase have attracted attention. In order to evaluate the economy of steel fiber layers, it is necessary to know the mechanical properties of these layers before they come into repair. In this study, the abrasion made Marshall design to binder mixtures, according to the design result, at the rate of 0.1%, 0.15% and 0.2% of the total weight of aggregate and bitumen, a steel fiber of 10 mm length and 1 mm diameter was added to the mixtures. After the first Marshall stability, conditioned indirect tensile strength tests on the mixtures, the same tests were applied again without removing the samples from the device. As a result, the highest Marshall stability and conditioned indirect tensile strength were obtained in binder mixes with 0.10% steel fiber compared to the unadulterated, while in the additive wear mixture tests, close to the additive-free or lower results were obtained.

Keywords: Asphalt Concrete, Steel Fiber, Marshall Design, Mixture, Indirect Tensile Strength

How to Cite:

Güzel, İ., (2020). Çelik Fiberli Asfalt Betonu Karışımların Marshall Stabilitesi ve İndirekt Çekme Mukavemetinin İncelenmesi, Engineering Sciences (NWSAENS), 15(4):209-217, DOI: 10.12739/NWSA.2020.15.4.1A0463.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Asfalt betonu kaplamaların değişen hava koşulları, çevre, artan trafik sayısı, dingil yükleri ve ağır yük taşıtlarının büyüyen lastik basınçları nedeniyle proje süresinden önce dayanımı ve durabilitesi azalarak teker izinde oturma, yorulma, yansıma ve termal çatlaklar meydana gelmektedir. Bu çatlaklar üst yapının servis kabiliyetini ve hizmet süresini olumsuz yönde etkilemektedir. Asfalt beton karışımının durabilitesini etkileyen ana faktörler bitüm yaşlanması, su hasarı ve termal çatlama [1]. Çok fazlı kompleks bitümlü sıcak karışımlarla yapılan asfalt betonu tabakalarında, karışım bileşenlerinin tekrarlanan yük ve sıcaklığa duyarlılığından dolayı istenilen performansı sağlamak amacıyla, katkı malzemesi olarak fiberlerin kullanılması son zamanlarda yaygınlaşmıştır [2]. Fiberler, tabakaların sürtünme, donma çözülme, tekerlek izi, ayrışmaya karşı direncini, dinamik modülünü ve sünekliğini artırarak; termal, yorulma çatlama başta olmak üzere en yaygın olan bozulma tiplerini azaltarak, kaplamadan istenilen performansı sağlamak amacıyla kullanılmaktadır [3]. Ayrıca fiberler karışımın visko-elastisitesini değiştirerek, kaplamalarda yansıtıcı çatlakların miktarını azaltmaktadır. Bitüme göre, daha fazla gerilme mukavemetine sahip olan fiberlerin, geleneksel bitümlü sıcak karışımlara katılması sonucu elde edilen kompozit malzemelerin, kırılma enerjisi emme özelliği ve gerilme mukavemeti yüksek olup; bağlayıcı, agrega, fiber bağı çatlak oluşumunu ve asfalt karışımında çatlakların yayılmasını önleyen bir bariyer görevi görmektedir [4].

Kökenlerine göre sınıflandırılan fiberlerin asfalt betonunda kullanılanları, polyester, polipropilen, poliakrilonitril organik (selüloz, lignin, hurma ağacı, palmiye yağı, kenevir), mineral (asbest, taş yünü), cam, iletken (karbon, siyah karbon, grafit, çelik), atık (nylon, hurda lastik, tekstil) ve diğer fiber (polipropilen ve aramid fiberlerin karışımı) çeşitleridir [5 ve 6]. Elektriksel iletkenlik potansiyeline sahip, nemli koşullarda tabaka içinde korozyona uğramayan çelik fiberlerin [7] tabaka karışımlarına eklenmesi tabakanın dayanımını artırarak hizmet süresini uzatmaktadır. Çelik fiberlerden dolayı endüktif ısıtma ile kaplamada mikro çatlakların onarımı ve kırılmaların iyileştirebilmesinden dolayı asfalt betonu kaplamalara kendini iyileştirme fonksiyonu kazandırılarak; verimlik ve sürdürülebilirlik avantajları sağlanmaktadır [8]. Çelik fiberlerle ilgili literatürde yapılan bazı çalışmalara ait sonuçlar aşağıda verilmiştir. Köfteci, çelik liflerin yüksek maliyeti nedeniyle kalker agregalı %4.40 bitüm içeren asfalt betonu karışımlarında, çapı 1 mm, uzunluğu 2 ile 6 mm arasında olan inşaat tellerini agrega ağırlığına (%1, %2, %5, %7 %9) göre kullanmıştır. Sonuç olarak %3 tel oranında stabilite artışları olmasına rağmen katkılı numunelerin indirekt çekme mukavemeti değerleri, katkısız numunelere göre daha az çıkmıştır [9].

Guo, maksimum agrega dane boyutu 16 mm, %4.6 bitüm içeren bazalt agregalı karışımlara, karışım ağırlığının %0.5 oranında değişik uzunluklarda (6, 12, 20 mm) cam, bazalt ve çelik fiber ilave ederek, asfalt betonu karışımların düşük sıcaklık özelliklerini ve çatlama direncini DIC (Digital Image Correlation) tekniği kullanarak incelemiştir. Kısa liflerin uzunlara göre çatlama direncini, esneklik ve sürekliliği artırdığı; ayrıca çelik liflerle karışım arasında bağın zayıf olduğunu tespit etmiştir [10]. Bdairi, bitüm içeriği %5, maksimum agrega dane boyutu 12 mm olan karışımlara 13 mm uzunluğunda 0.2 mm çapında çelik fiber, 12 mm uzunluğunda polipropilen fiberleri değişik oranlarda ayrı ayrı ve beraber kullanarak hazırladığı karışım numunelerine 40°C, 60°C'de Marshall deneyi yapılmıştır. Fiberli karışımların (karışım ağırlığının %0.4) kontrol numunelerine göre akma değerleri 40°C'de yükselirken, 60°C'de aynı kalmıştır. 60°C'de stabilite değerlerinde fazla düşüşler meydana gelmiştir. En iyi sonuçlar

polipropilen ve çelik fiberlerin beraber katıldığı karışımlarda elde edilmiştir [11]. Al Ridha, bitüm içeriği %5, %5.50, %6, maksimum agrega dane boyutu 12.50 mm olan karışımlara, 0.2 mm çapında 13 mm uzunluğunda çelik fiber, karışım hacmine göre (%0.1, %0.2, %0.3, %0.4) farklı bitüm içerikli karışımlara eklenerek hazırlanan numunelere Marshall deneyi yapmıştır. Bitüm içeriği %6 olan karışımda %0.3, diğer bitüm içeriklerinde ise %0.2 çelik fiber kullanımı karışımlarda maksimum stabilite elde edilirken; akma değerlerinde artışlar meydana getirmiştir [12].

Sercan, optimum bitüm içeriği %5.50, maksimum dane boyutu 25 mm olan kalker agregalı karışıma, 60 mm uzunluğunda 0.75 mm çapında çelik fiberleri (Dramix) bitüm içeriğine göre farklı oranda (%0.25 %0.50, %0.75 %1.00 %1.50 %2.00, %2.50) kullanmıştır. Optimum bitümlü karışımda en iyi stabiliteyi %0.75 oranında tespit etmiştir. Ayrıca %5, %6 bitüm içerikleri için fiber oranlarına göre Marshall test değerlerini hesaplamıştır [13]. Ridha, diğer bir çalışmasında optimum bitüm içeriği %5.00 maksimum agrega dane boyutu 12.50 mm olan karışımlara, 0.2 mm çapında 13 mm uzunluğunda çelik fiberleri, karışım toplam ağırlığına göre farklı oranda (%0.1, %0.2, %0.3, %0.4) katarak 50, 75, 125 darbeyle hazırladığı Marshall numunelerine 50°C, 60°C, 70°C sıcaklıklarda yapılan deneylerden %0.2 oranında kullanılan çelik fiberli numunelerin kontrol numunelerine göre darbe sayısının artışıyla birlikte stabilitesinin arttığı, akmaların ve ultrasonik test değerlerini azaldığını tespit etmiştir [14]. Elseifi, kaplama yüzeyine elektromanyetik bir alan uygulamak suretiyle yeni nesil asfaltik malzemelerin yapay olarak iyileştirilebileceği hipotezini test etmek amacıyla, kendi kendini onaran asfalt betonu üretiminde kullanılacak alüminyum ve çelik liflerden, çelik fiberlerin indüksiyonla ısıtmada daha çabuk ısındığını, 0.634 mm çatlakların kapandığını belirlemiştir [15].

Garcez, kendi kendini iyileştiren kaplamalar için çatal bıçak takımı endüstrisinden elde edilen kısa boyutlu çelik fiberleri, çeşitli oranlarda bitüm katarak elde ettiği karışımların, mikrodalgayla ısıtma oranlarını ve bitümün özelliklerinde değişimleri göstermiştir [16]. Liu, çelik cürufu, çelik fiber ve her ikisini beraber ekleyerek hazırladığı asfalt karışımlarında, çelik fiberli karışımların cüruflara göre termal iletkenliği, termal difüzyonunu daha iyi olmasına karşın çelik cürufu ve çelik fiberin beraber kullanıldığı karışımlarda en iyi mekanik ve indüksiyon iyileştirmesinin sağlandığı sonucuna varmıştır [17]. Jasni, taş mastik kaplama karışımlarına, karışım ağırlığının çeşitli oranlarında (%0, %0.2, %0.3, %0.4, %0.5, %0.6) eklenen çelik fiberlerin farklı oranlarda karışımın stabilite, esneklik modülü ve dinamik sünmesini artırdığını tespit ederek, uygun fiber oranını %0.4 olarak belirlemiştir [18].

İncelenen çalışmalarda genel olarak çelik fiberli karışımların, elektriksel iletkenliğinden dolayı kaplamalara kendini iyileştirme özelliği kazandırarak kaplamaların yerinde ısıtılarak onarımının sağlanabilmesinin en önemli avantajının olduğu; ayrıca mekanik özelliklerinin, sıkıştırma enerjisi, karışım gradasyonu, karışım sıcaklığı, fiber boyutu ve miktarıyla ilişkili olarak etkilendiği tespit edilmiştir. Karayolu üst yapısında trafik yükü, çevre ve iklim koşullarından en çok etkilenen binder ve aşınma tabakalarının ortalama toplam kalınlığı ülkemizde 15cm yapılmaktadır. Platform genişliği 12m olan bir güzergâhta bu tabakaların 2020 yılı Karayolları Genel Müdürlüğü birim fiyatlarıyla maliyeti 860000 TL/Km olup; bu tabakalar için yaklaşık 4300 Ton/Km agregaya ihtiyaç bulunmaktadır. Ülkemizde yeni ve onarım projelerinde binder, aşınma tabakalarının maliyetleri ve agreganın temini için kullanılan taş ocaklarının doğal çevreye olumsuz etkileri göz önüne alındığında; kendini iyileştiren kaplamaların alternatif olarak değerlendirilmesi, doğal çevrenin korunması ve ekonomiklik

acılarından önemlidir. Bitümlü sıcak karışım tabakaların (bitümlü temel, binder aşınma) ortalama yapım maliyetleri 200 TL/ton, çelik fiberlerin temin maliyeti ise 10000 TL/Ton dur. Çelik fiberlerin %0.1 oranında karışımlara ilave edilmesi tabaka maliyetlerini %5 oranında artırmaktadır. Çelik fiberli aşınma ve binder tabakalarının tercih edilmesinde, onarım aşamasına gelinceye kadar servis kabiliyeti ve çelik fiberin ek maliyetleri önemli etkenlerdir. Bu çalışma çelik fiberin karışımlara ek maliyeti göz önüne alınarak, maliyetin %10'dan daha fazla artmaması için agrega ve bitüm ağırlıkları toplamının %0.1, %0.15 ve %0.2'si oranında çelik fiber katılması durumunda kaplamaların onarım seviyesine gelinceye kadar durabilite ve stabilite değişimlerinin belirlenmesinin, çelik fiberli karışımların yaşam döngüsü maliyet değerlendirmelerine katkıda bulunacağı düşünülmektedir.

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Trafik ve çevre koşullarına en fazla maruz kalan binder ve aşınma tabakalarına kendini iyileştirme özelliği kazandırmak için katılan çelik fiberlerin, bu tabakaların onarım aşamasına gelinceye kadar geleneksel karışımlara göre Marshall stabilitesi, indirekt çekme mukavemetine etkilerinin tespiti; yaşam döngüsü maliyet değerlendirmelerine katkı sağlayacaktır.

3. ÇALIŞMANIN YÖNTEMİ (METHOD OF WORK)

Çelik fiber tel katkılı ve katkısız aşınma ve binder karışım dizaynları Marshall Metoduna göre Karayolları 12. Bölge Müdürlüğü'ne ait Şendurak bazalt taş ocağından üretilen kırma taş agregalarla NesCe İnşaata ait laboratuvarında yapılmıştır. Çalışmada çelik fiber tel katılmadan aşınma ve binder tabakası karışım dizaynları yapıldıktan sonra karışım gradasyonu ve bitüm yüzdesi değiştirilmeden her karışım için tespit edilen agraga ve bitüm ağırlıkları toplamının %0.1, %0.15 ve %0.2'si oranında çelik fiber tel katılarak Marshall dizaynı ve koşullandırılmış indirekt çekme mukavemeti testi için her gruptan 3 adet olmak üzere toplam 48 adet numune hazırlanmıştır. Karayolu üst yapıları ilk çatlaklar meydana geldikten sonrada onarım yapılıncaya kadar hizmetlerini sürdürdüklerinden dolayı bu durumu temsil edeceği düşüncesiyle, karışım numunelerine iki defa Marshall stabilitesi, koşullandırılmış indirekt çekme mukavemeti testi uygulanmıştır.

4. MATERYAL (MATERIAL)

Karışım gradasyonları bazalt (Şendurak) taş ocağından üretilmiş dört (1"-3/4", 3/4"-1/2", 1/2"-No4) ve altı) grup agregadan hazırlanmıştır. Kaba ve ince agregaların mekanik ve fiziksel özelliklerini belirlemek için yapılan deneylerin sonuçları Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Agregalara yapılan deneylerin sonuçları
(Table 1. Results of the experiments on aggregates)

Deney Adı	Standart	Deney Sonucu
Los Angeles Aşınma Kaybı (%)	TS EN 1097-2 AASHTO T 96	13
Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık (MgSO ₄)	TS EN 1367-2	1.9
Metilen Mavisini	TS EN 933-9	2.75
Su Absorpsiyonu (%)	TS EN 1097-6	1.59
Soyulma Mukavemeti (Katkısız)	TS EN 12697-11	85-90

Binder dizaynı için dört (1"-3/4", 3/4"-1/2", 1/2"-No4 ve altı), aşınma dizaynı için ise üç (3/4"-1/2", 1/2"-No4 ve altı) grup agrega Karayolları Teknik Şartnamesinde belirtilen gradasyon limitleri [19] içerisinde kalacak şekilde belli oranlarda karıştırılmıştır. Karışım gradasyonları (Tablo 2) gösterilmiştir.

Tablo 2. Karışım gradasyonları
(Table 2. Mix gradations)

Elek Açıklığı mm (İnch, No)	Aşınma Geçen (%)		Binder Geçen (%)	
	Dizayn Gradasyonu	Aşınma (Tip-1) Şartname Limitleri	Dizayn Gradasyonu	Binder Şartname Limitleri
25.40 (1)	-	-	100	100
19.1 (3/4)	100	100	90.8	80-100
12.7 (1/2)	92.70	88-100	71.00	58-80
9.5 (3/8)	76.60	72-90	59.50	48-70
4.75 (No 4)	45.10	42-52	40.50	30-52
2.00 (No 10)	28.80	25-35	28.60	20-40
0.42 (No 40)	12.90	10-20	12.40	8-22
0,177 (No 80)	8.30	7-14	8.90	5-14
0,075 (No 200)	4.80	3-8	4.70	2--7

Dizaynlarda kullanılan bitümün sınıfı B70/100, özgül ağırlığı 1.043gr/cm³, yumuşama noktası 50.80°C, penetrasyonu (25°C'de 0.1 mm=1penetrasyon) ise 91'dir. Katkılı karışımlarda kullanılan çelik fiber teller, 1.00 mm çapında 50 mm uzunluğunda temin edilmiş olup (Şekil 1); bu teller ortalama 1200 MPa çekme mukavemeti sahiptir [20]. Karışımda daha homojen dağılım sağlanması için 10mm uzunluğunda kesilerek, agrega ve bitüm ağırlığı toplamının %0.1, %0.15 ve %0.2'si oranında karışımlara eklenmiştir. Kesilmemiş çelik fiber tellerin bir tanesinin yaklaşık ağırlığı 0.24 gramdır. Katkılı karışım numunelerinin her birinde ortalama olarak 20 adet kesilmiş çelik fiber tel kullanılmıştır.



Şekil 1. Çelik fiber tel
(Figure 1. Steel fiber wire)

5. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

Aşınma ve binder karışımları için belirlenen agrega gradasyonlarına göre karışımının efektif, zahiri, hacim özgül ağırlıkları hesaplanmıştır. Bitüm içeriği %3.50'den başlanarak (100gr kuru agregaya 3.5gr bitüm) %0.50 artışla %6.50'e kadar her bitüm yüzdesinde 3 adet olmak üzere ayrı ayrı hazırlanan aşınma, binder karışımları kalıplarda alt ve üstten 75 darbeye sıkıştırılmıştır. Her bitüm içeriği için briketlerin (sıkıştırılmış numune) yükseklik ölçümleri yapılarak; briketlerin ortalama hacim özgül ağırlığı (D_p), teorik özgül ağırlığı (D_t), boşluk (V_h), asfaltla dolu boşluk (V_f), agregalar arası boşluk (VMA) yüzdeleri hesaplanmıştır. Briketler 40 dakika 60°C'de su banyosunda bekletildikten sonra Marshall akma ve stabilite cihazında akma, stabilite değerleri okunmuş, briket yüksekliklerine göre stabilite değerleri düzeltilmiştir. Bitüm içeriğiyle ilişkili olarak D_p , V_h , V_f , VMA, akma ve stabilite grafikleri çizilmiştir. Aşınma ve binder karışımların optimum içeriği, şartnamede belirtilen boşluk yüzdeleri aralığı içerisinde kalacak şekilde karışımın diğer özelliklerinin şartnameye uygunluğu kontrol edilerek tespit

edilmiştir. Karışımlıların optimum bitüm içeriğine göre şartnamede istenen diğer özelliklerine ait değerler Tablo 3’de gösterilmiştir.

Tablo 3. Karışımların dizayn ve şartname değerleri
(Table 3. Design and specification values of mixtures)

Özellikler	Aşınma		Binder	
	Dizayn Değerleri	Şartname Limitleri	Dizayn Değerleri	Şartname Limitleri
Darbe Sayısı	75	75	75	75
Hava Boşluğu V_h (%)	3.73	3-5	4.43	4-6
Agrega Arası Boşluk VMA(%)	13.82	14-16	12.13	13-15
Akma. (mm)	3.53	2-4	3.26	2-4
Min. Marshall Stabilitesi (kg)	1203	900	1216	750
Asfaltla dolu boşluk V_f (%)	73	65-75	63.4	60-75
Bitüm (100 gr agregaya) W_a (%)	5.9	4-7	5.2	3.50-6.50
Filler/ bitüm oranı	0.81	1.5	0.9	1.4

Aşınma ve binder karışımlar için belirlenen dizayn gradasyonuna göre tespit edilen bitüm yüzdesi değiştirilmeden karışımlara agrega ve bitüm ağırlıkları toplamının %0.1, %0.15 ve %0.2’si oranında çelik fiber tel katılmıştır. Marshall ve indirekt çekme deneyi için her çelik fiber tel oranından üç adet olmak üzere toplam kırk sekiz adet briket (kontrol için 12 adedi katkısız) hazırlanmıştır (Şekil 1).



Şekil 2. Çelik fiber tel katkılı karışım numuneleri
(Figure 2. Steel fiber-reinforced mix samples)

Briketlerin yükseklik ölçümleri yapılarak; ortalama hacim özgül ağırlığı (D_p), teorik özgül ağırlığı (D_t), boşluk (V_h), asfaltla dolu boşluk (V_f), agregalar arası boşluk (VMA) yüzdeleri hesaplanmıştır. Briketlere 40 dakika 60°C su banyosunda bekletildikten sonra Marshall cihazında birinci akma, stabilite değerler okunduktan sonra numuneler cihazdan çıkarılmadan ikinci kere kırılmıştır. Karışımların her grup için birini ve ikinci işlemlere ait akma, stabilite değerleri ve dizaynının diğer kriterlerine ait değerler Tablo 4’de gösterilmiştir. Bu değerlere göre en belirgin farklılık %0.10 katkılı binder karışımı stabilite ve akmalarında tespit edilmiştir.

Tablo 4. Aşınma, binder karışımlarının Marshall stabilitesi, akma değerleri
(Table 4. Abrasion, Marshall stability of binder mixtures, yield values)

Dizayn Kriterleri	Karışım tipi							
	Katkısız	Çelik Fiber Tel Katkılı	Çelik Fiber Tel Katkılı	Çelik Fiber Tel Katkılı	Katkısız	Çelik Fiber Tel Katkılı	Çelik Fiber Tel Katkılı	Çelik Fiber Tel Katkılı
		%0.10	%0.15	%0.20		%0.10	%0.15	%0.20
Optimum Bitüm, %'e	5.9	5.9	5.9	5.9	5.2	5.2	5.2	5.2
Pratik yoğunluk, (D _p)	2.402	2.41	2.423	2.402	2.436	2.435	2.436	2.447
Asfaltla dolu boşluk (V _f), %	73	76.3	75.3	71.5	63.4	58.8	63	66.6
Hava Boşluğu (V _h), %	3.73	3.16	3.26	3.93	4.43	5.1	4.4	3.9
Agrega arası Boşluk (VMA), %	13.82	13.34	13.21	13.82	12.13	12.35	11.96	11.67
1.Akma (mm)	3.53	3.59	3.47	3.52	3.26	2.7	3.24	2.61
2.Akma (mm)	2.15	0.65	1.37	1.42	1.36	1.25	1.18	0.81
Marshall Stabilitesi kg 1. Kırım	1203	1040	1175	1227	1216	1415	1128	1051
Marshall Stabilitesi kg 2. Kırım	1002	843	951	910	977	1139	867	626

Karışım briketlerinden geriye kalan yirmi dört adet numuneye AASHTO T283(2014) Standardının koşullandırma şartlarına (%7 boşluk hariç) göre indirekt çekme mukavemeti testi yapılmıştır. Briketler birinci kırımdan sonra cihazdan çıkarılmadan ikinci kere kırılmıştır (Şekil 2).



Şekil 3. Koşullandırılmış indirekt çekme mukavemeti deney numuneleri
(Figure 3. Conditioned indirect tensile strength test specimens)

Briketlerin birinci, ikinci kırım indirekt çekme mukavemeti ve dizaynın diğer kriterlerine ait değerler Tablo 5'de gösterilmiştir. Test sonucunda Marshall stabilitelere olduğu gibi en iyi değerler %0.10 katkılı binder karışımlarında elde edilmiştir.

Tablo 5. Aşınma, binder karışımlarının koşullandırılmış indirekt çekme mukavemeti değerleri
(Table 5. Conditioned indirect tensile strength values of abrasion, binder mixtures)

Dizayn Kriterleri	Karışım tipi							
	Katkısız	Çelik Tel	Çelik Tel	Çelik Tel	Katkısız	Çelik Tel	Çelik Tel	Çelik Tel
		Katkılı	Katkılı	Katkılı		Katkılı	Katkılı	Katkılı
		%0.10	%0.15	%0.20		%0.10	%0.15	%0.20
Optimum Bitüm, %'e	5.9	5.9	5.9	5.9	5.2	5.2	5.2	5.2
Pratik yoğunluk, (Dp)	2.397	2.399	2.421	2.397	2.435	2.44	2.43	2.44
Asfaltla dolu boşluk (Vf), %	71	71.8	75.1	69.6	63.3	60.8	60.9	65.9
Hava Boşluğu (Vh), %	4.1	3.96	3.3	4.3	4.46	4.7	4.8	4
Agrega arası Boşluk (VMA), %	14.17	14.07	13.28	14.17	12.15	11.98	12.32	11.76
İndirekt Çekme Muk.1. Kırım	781	766	754	772	721	859	716	701
İndirekt Çekme Muk. 2. Kırım	438	413	434	434	363	432	393	391

5. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS)

Aşınma tabakasının Marshall stabilitesi, koşullandırılmış indirekt çekme mukavemeti değerlerinde katkısızlara göre önemli artışlar sağlamamıştır. Binder karışımlarına bitüm, agrega toplam ağırlığının %0.10'u oranında katılan çelik fiber teller birinci ve ikinci Marshall stabilitesi, koşullandırılmış indirekt çekme mukavemeti değerlerini katkısızlara göre ortalama %18 artırmıştır. Yol üst yapısında en fazla trafik yükü ve iklim koşullarına maruz kalacak olan aşınma tabakasında beklenen performansı karşılaması ve onarımı aşamasında ısıtılarak kendini iyileştirilebilen karışım özelliği kazandırılması için kullanılacak çelik fiber oranının, trafik güvenliğini (lastik patlamaları) göz önüne alınarak; çelik fiberlerin boyutları, yüzey pürüzlüğü ve karışım gradasyonuna göre araştırılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Garcia, A. ve Norambuena, J., (2013). A Parametric Study on the Influence of Steel Wool Fibers in Dense Asphalt Concrete. *Materials and Structures*.47: 1559-1560.
- [2] Demirkaya, Ö. ve Terzi, S., (2017). Karbon Liflerin Bitümlü Sıcak Karışımlarda Kullanımının Araştırılması. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 20: 1-2.
- [3] Serin, S., Macit, M., Çinar, E. ve Çelik, S., (2018) Doğal Kenevir Lifi Kullanımının Asfalt Beton Karışımlara Etkisi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi* 6:2-7.
- [4] Callomamani, L., (2020.) Laboratory Investigation of the Performance of Fiber Modified Asphalt Mixes in Cold Regions. Master Thesis of Civil and Environmental Engineering in University of Alberta.25-32.



- [5] Park, L., (2012). Characteristics And Applications of High Performance Fiber Reinforced Asphalt Concrete. Doctor Thesis of Civil Engineering in University of Michigan 24-44.
- [6] Acevedo, C., González, P., Fresno, D. ve Bueno, M., (2020). An Experimental Laboratory Study of Fiber Reinforced Asphalt Mortars with Polyolefin-Aramid and Polyacrylonitrile Fibers. Construction and Building Materials 248:2-3.
- [7] Li, H., Yu, J., Wu, S., Liu, Q., Wu, Y., Xu, H. ve Li, Y., (2019). Effect of Moisture Conditioning on Mechanical and Healing Properties of Inductive Asphalt Concrete. Construction and Building Materials 241:2-5.
- [8] Liu, K., Dai, D., Pan, S., Wang, F., Hou, C. ve Xu, P., (2020). Numerical Investigation and Thermal Predictions of Asphalt Pavement containing Inductive Materials Under Alternating Magnetic Field. International Journal of Thermal Sciences 153:2-7.
- [9] Köfteci, S., (2018). Experimental Study Concerning Iron Wire Fiber Reinforced Asphalt Concrete. Teknik Dergi, 2018: 8517-8520.
- [10] Guo, Q., Wanga, W., Gao, Y., Jiaob, Y., Liua, F. ve Donga, Z., (2020). Investigation of The Low-Temperature Properties and Cracking Resistance of Fiber-Reinforced Asphalt Concrete Using The DIC Technique. Engineering Fracture Mechanics 229:2-5.
- [11] Bdairi, A., Taweel, H, M. ve Noor, H.M., (2020). Improving the Properties of Asphalt Mixture Using Fiber Materials. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 870:3-10.
- [12] Ridha, A., İbrahim, S. ve Dheyab, S., (2016). Steel Fiber Effect on the Behavior of Hot Mixture Asphalt With Variable Asphalt Content. International Journal Advanced Technology in Engineering and Science. Vol 4: 204-210.
- [13] Serin, S., Morova, N., Salta, N.M. ve Terzi, S., (2012). Investigation of Usability of Steel Fibers in Asphalt Concrete Mixtures. Construction and Building Materials 36:238-245.
- [14] Ridha, A., Hameed, N. ve İbrahim, S., (2014). Effect of steel Fiber on the Performance of Hot Mix Asphalt with Different Temperatures and Compaction. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 8(6):123-132.
- [15] Elseifi, M., (2016). Use of Steel Fibers for Induction Heating and Self-Healing in Asphalt Concrete.
- [16] Garcez, M., (2017). Production Of Self-Healing Asphalt With Steel Short Fibres and Microwave Heating: Pilot Study Technical Report:3-12.
- [17] Liu, Q., Li, B., Schlangen, E., Sun, Y. ve Wu, S., (2017). Research on the Mechanical, Thermal, Induction Heating and Healing Properties of Steel Slag/Steel Fibers Composite Asphalt Mixture. Applied Sciencis (<https://www.researchgate.net/publication/10.04.2020>):1-7.
- [18] Jasni, N., Masri. K., Ramadhansyah. P., Arshad, A, K., Shaffie, E., Ahmed, J. ve Norhidayah, A., (2020). Mechanical Performance of Stone Mastic Asphalt Incorporating Steel Fiber IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 712:3-7.
- [19] Karayolları Teknik Şartnamesi (2013), 407-410.
- [20] Atlas Bir Yapı ve Mühendislik A.Ş ürün kataloğu. <https://betonfiber.com/ceлик-telle>.