



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Asfalt Kaplamaların Nem Performansı Üzerinde Siyah Karbonun Etkisi

Tacettin GEÇKİL^a, Zülfükar AKSAĞAN^b, Ceren Beyza İNCE^{c,*}

^a*İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, İnönü Üniversitesi, Malatya, TÜRKİYE*

^b*İnşaat Bölümü, Tunceli MYO, Munzur Üniversitesi, Tunceli, TÜRKİYE*

^c*İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, İnönü Üniversitesi, Malatya, TÜRKİYE*

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: c.beyzaince@gmail.com

DOI:10.29130/dubited.920549

ÖZ

Bu çalışmada, atık lastiklerden elde edilmiş olan siyah karbon (SK) katkısının sıcak karışım asfalt kaplamaların nem performansı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla, penetrasyon sınıfı B 160/220 olan saf asfalta ağırlıkça %5, %10, %15 ve %20 oranlarında SK eklenerek modifiye asfaltlar hazırlanmıştır. Saf ve modifiye asfaltların fiziksel özellikleri penetrasyon, yumuşama noktası ve duktilite deneyleri ile, işlenebilirlik özellikleri ise dönel viskozimetre (RV) deneyi ile belirlenmiştir. Daha sonra, karışım tasarımı için agrega ve saf asfalt kullanılarak Marshall tasarım yöntemine göre karışımın optimum asfalt içeriği belirlenmiştir. Belirlenen bu oran esas alınarak saf ve modifiye asfaltlar ile sıcak karışım numuneleri hazırlanmıştır. Saf ve SK katkılı modifiye karışım numuneleri Marshall stabilitesi, kalıcı Marshall stabilitesi (RMS) ve dolaylı çekme mukavemeti (ITS) deneylerine tabi tutulmuştur. Fiziksel test sonuçlarına göre, SK katkısı ile modifiye bağlayıcıların sertliğinin ve işlenebilirlik sıcaklıklarının arttığı görülmüştür. Karışım test sonuçlarına göre, Marshall stabilitesi, RMS ve dolaylı çekme mukavemeti oranı (ITSR) değerlerinin özellikle %10SK oranında önemli artışlar göstermesi sebebiyle yol kaplamalarının nem performansı üzerinde SK katkısının iyileştirici bir etki gösterdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Asfalt, Siyah karbon, Modifiye karışım, Marshall stabilitesi, Dolaylı çekme mukavemeti

The Effect of Carbon Black on Moisture Performance of Asphalt Pavements

ABSTRACT

In this study, the effects of carbon black (CB) additive obtained from waste tires on the moisture performance of hot mix asphalt pavements were investigated. For this purpose, modified asphalts were prepared by adding 5%, 10%, 15% and 20% CB by weight to pure asphalt with penetration class B 160/220. Physical properties of pure and modified asphalts were determined by penetration, softening point and ductility tests, and workability properties were determined by rotational viscometer (RV) test. Then, the optimum asphalt content of the mixture was determined according to Marshall design method by using aggregate and pure asphalt for mixture design. Based on this determined ratio, pure and modified asphalts and hot mix samples were prepared. Pure and CB added modified mixture samples were subjected to Marshall stability, retained Marshall stability (RMS) and indirect tensile strength (ITS) tests. According to the physical test results, it was observed that the hardness and workability temperatures of the modified binders increased with the CB additive. According to the test results of the mixture, it was observed that CB additive had an improving effect on the moisture performance of road pavements due to the significant increases in Marshall stability, RMS and indirect tensile strength ratio (ITSR) values, especially at the rate of 10% CB.

I. GİRİŞ

Çeşitli çevresel faktörler, hava, su ve sıcaklık gibi etmenler sıcak karışım asfalt (HMA) kaplamaların dayanıklılığı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir [1]. Ilıman iklim koşullarına sahip bölgelerde, iyi kalitede agrega ve asfalt ile yapılan kaplamalarda bozulmalar çoğunlukla trafik yükleri sebebiyle meydana gelmekte olup bu bölgelerde çoğunlukla tekerlek izi (kalıcı deformasyon) oturmaları görülmektedir. Bununla birlikte, şiddetli (sert) iklim koşullarına sahip bölgelerde ise, HMA kaplamalarda çoğunlukla kaplamadaki suyun varlığı sebebiyle bozulmalar ve ayrışmalar meydana gelmektedir. Kaplamadaki su, asfalt ile agrega ara yüzeyindeki yapışma kaybına neden olur ve bu durum adezyon kaybı olarak bilinmektedir. Kaplamada meydana gelen adezyon kaybı, kaplamanın yumuşamasına neden olur ve bu durum da kohezyon kaybı olarak ifade edilir. Asfalt-agrega yüzey sistemi suya maruz kaldığında asfaltın kimyasal bileşimine ve agregaların kimyasına zarar vererek aralarında oluşan moleküler düzeydeki reaksiyonları bozar ve asfaltın agregadan ayrışmasına sebep olur. Çünkü, su molekülleri yüksek polariteye sahiptir ve güçlü yönlendirme kuvvetleri tarafından agrega yüzeyine çekilir. Asfalt ise çok az polarite sergileyen yüksek moleküler ağırlıklı hidrokarbonlardan oluşur. Bu nedenle, suyun mevcudiyetinde asfalt, agrega yüzeyinden ayrılma eğiliminde olur[2]. Kısacası HMA kaplamada su sebebiyle meydana gelen deformasyon adezyon ve kohezyon kaybı ile doğrudan ilişkilidir [1-4].

HMA kaplamalarda meydana gelen su hasarını temel olarak iki parametre etkilemektedir. Bunlardan ilki, asfalt ve agrega gibi sıcak karışım asfaltı meydana getiren ana malzemelerdir. Su, asfalt ile agrega arasındaki adezyonu zayıflatır ve asfaltın yapısını değiştirerek kohezyonu olumsuz etkiler. Adezyonun zayıflaması ve asfaltın yapısında meydana gelen değişim kaplamanın bozulmasına yol açar. İkincisi ise, sıcak karışım tasarımı ve yapımı (drenaj, film kalınlığı, hava boşluk durumu vb.), çevresel faktörler (donma-çözünme döngüleri, sıcaklık, sudaki iyonların varlığı ve kaplama yaşı), trafik koşulları ve türü, ayrıca katkı malzemelerinin özellikleridir [1,5].

Su hasarı nedeniyle kaplamada oluşan deformasyonları azaltmak amacıyla günümüzde baştahidrate kireç olmak üzere portland çimentosu, silan katkılar, metal iyonu yüzey ajan katkılar, silikon katkılar ve geleneksel sıvı katkılar kullanılmaktadır [5,6]. HMA'ya kireç eklenmesiyle, kirecin asfalt ile agrega arasındaki bağı kuvvetlendirdiği ve yapı ile reaksiyona girdiği görülmüştür [4,7-9]. Son yıllarda, çeşitli polimer modifiye asfaltlar da su hasarını azaltmak için sıcak karışımlarda kullanılmaya başlanmıştır [10]. Polimer modifiye asfaltların kullanımı su hasarlarını azaltmada kısıtlı olsa da soyulma önleyici katkılar gibi işlev gördüğü çeşitli çalışmalarda belirtilmiştir [11,12].

Bu çalışmada ise atık lastiklerden elde edilmiş olan siyah karbon katkısının HMA kaplamaların nem hassasiyeti üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Ülkemizde her yıl 180.000-300.000 ton civarında atık lastik oluşmaktadır [13]. Bu malzemeler çeşitli fiziksel ve kimyasal bozulmalara karşı oldukça dirençli olmaları sebebiyle doğada kendi başına ayrışamazlar [14]. Bu atıklar depolandığında büyük yer işgallerine ve fazla maliyetlere, yakılarak yok edilmeye çalışıldığında ise çevreye ve canlılara büyük zararlar vermektedir [14,15]. Bu sebeple, atık lastiklerin geri dönüştürülerek tekrar kullanımı konusu ciddi önem arz etmektedir. Araştırmacılar, yapı olarak oldukça dayanıklı olan bu malzemeleri çoğunlukla piroliz işlemine tabi tutarak geri dönüşüme kazandırmaya çalışmışlardır [16,17]. Piroliz işlemi, organik maddelerin oksijensiz ortamda 500-800°C'de gaz, sıvı veya katı ürünlere dönüştürülmesi prosesi olarak tanımlanmaktadır. Atık lastiklerin piroliz işlemine tabi tutulmasıyla pirolitik yağlar, siyah karbon (karbon siyahı), çelik tel ve yanıcı gazlar elde edilmektedir [15,17]. Elde edilen bu malzemelerden pirolitik yağlar, mazot eş değeri bir malzeme olup yakıt olarak kullanılırken, çelik tel haddehanelere satılan ve az da olsa değer elde edilen bir üründür. Bununla birlikte, elde edilen yanıcı gaz olarak ise doğalgaz ile karşılaştırılabilecek nitelikte bir ürün elde edilmektedir [17-19]. Tüm bu ürünler dışında çok daha geniş kullanım alanına sahip olan siyah karbon (SK) lastik üretiminde kauçuk ile karıştırılarak kablo, hortum, paspas, siyah

poşet, araba yedek parçaları, ısı yalıtımı ve konveyör bant üretiminde kullanılmaktadır [17]. SK yapı olarak, oldukça küçük tane boyutuna sahip, karbon esaslı bir malzemedir [20].

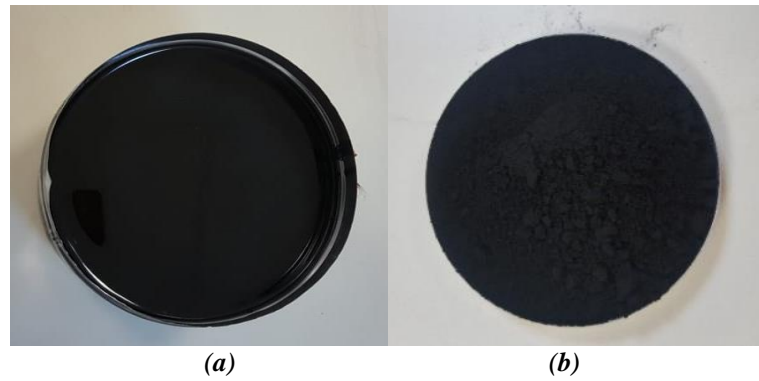
Yol mühendisliğinde SK katkısının asfalt modifikasyonunda bir katkı malzemesi olarak kullanıldığı çalışmalar incelendiğinde, SK katkısının bağlayıcıların kıvamını arttırdığı ve reolojik özelliklerini iyileştirdiği görülmüştür [21-23]. SK katkısının sıcak karışımlarda kullanıldığı çalışmalar incelendiğinde, SK katkısıyla sıcak karışımların stabilitesinin arttığı ve suya karşı hassasiyetinin önemli oranda azaldığı ifade edilmiştir[22]. Başka bir çalışmada Yao ve arkadaşları, SK katkısının karışımın esneklik modülünü geliştirdiğini ifade etmişlerdir [24]. Terrel ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, SK katkısının karışımların stabilitesini önemli ölçüde iyileştirdiğini ve rijitlik modülünü arttırdığını ifade etmişlerdir [25]. Ahmedzade ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada SK katkısının asfalt karışımların mekanik özelliklerini geliştirdiğini ifade etmişlerdir [26]. SK'nın nem direnci üzerindeki etkisinin araştırıldığı başka bir çalışmada, SK katkısının karışımların nem hasarına karşı direncini oldukça artırdığı ifade edilmiştir [27].

Bu çalışmada, SK katkısının HMA kaplamaların nem etkilerine karşı gösterdiği performansı üzerindeki etkileri Marshall stabilitesi, RMS ve ITS deneyleri yardımı ile tespit edilmiştir.

II. MATERYAL VE METOT

A. MATERYAL

Bu çalışmada, asfalt modifikasyonunda penetrasyon sınıfı B 160/220 olan saf asfalt, modifiyerolarak siyah karbon (SK) kullanılmıştır (Şekil 1). Saf B 160/220 asfaltın (Şekil 1a) fiziksel özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 1.(a) Saf asfalt ve (b) SK

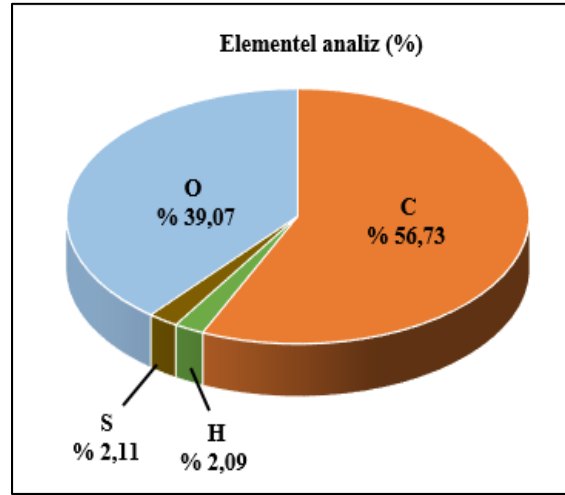
Tablo 1. Saf asfaltın fiziksel özellikleri

Özellik	Standart	B 160/220	
		Limit	Sonuç
Penetrasyon (0,1mm)	ASTM D5	160-220	175,2
Yumuşama noktası (°C)	ASTM D36	35-43	42,45
Düktilite (cm)	ASTM D113	Min. 100	>100
Parlama noktası (°C)	EN 22719	Min. 230	242
Özgül ağırlık (gr/cm ³)	TS 1087	1,0 – 1,1	1,038
Kütle kaybı (%)	ASTM D2872	Maks.1	0,08

Modifiyer olarak kullanılan SK (Şekil 1b), Erzincan ERA Çevre Teknolojileri A.Ş'den temin edilmiştir. SK'nın özellikleri Tablo 2'de, element analizi sonuçları ise Şekil 2'de verilmiştir.

Tablo 2.SK'nın özellikleri

Özellik	SK
Özgül ağırlık	1,7 – 1,9 gr/ml
Hacim özgül ağırlık	20-440 kg/m ³
Parlama noktası	Parlamaz
Renk	Siyah
Erime sıcaklığı	>3000 °C
pH	4-11
Görünüm	Toz, Pellet
Kütle kaybı (125 °C) (%)	0,5



Şekil 2. Element analizi sonuçları

HMA tasarımı için kırmataş kalker agregası kullanılmıştır. Agreganın fiziksel özellikleri Tablo 3'te, gradasyonu ise Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 3. Agreganın fiziksel özellikleri

Özellik	Standart	Limit	Sonuç
Kaba agrega zahiri özgül ağırlık (gr/cm ³)		-	2,711
Kaba agrega hacim özgül ağırlık (gr/cm ³)	ASTM C127	-	2,648
Kaba agrega su emme yüzdesi		maks.2	0,88
İnce agrega zahiri özgül ağırlık (gr/cm ³)		-	2,750
İnce agrega hacim özgül ağırlık (gr/cm ³)	ASTM C128	-	2,664
İnce agrega su emme yüzdesi		maks.2	1,17
Filler zahiri özgül ağırlık (gr/cm ³)	ASTM D 854	-	2,751
Aşınma kaybı, Los Angeles (%)	ASTM C131	maks.30	28
Donma kaybı (%)	ASTM C88	maks.10	4,5
Yassı ve uzun daneler (%)	ASTM D4791	maks.10	4

Tablo 4. Agrega gradasyonu

Açıklık (mm)	19	12,5	9,5	4,75	2,36	1,18	0,6	0,3	0,15	0,075
Geçen (%)	100	94	84	58	35	22	16	12	8	5

B.METOT

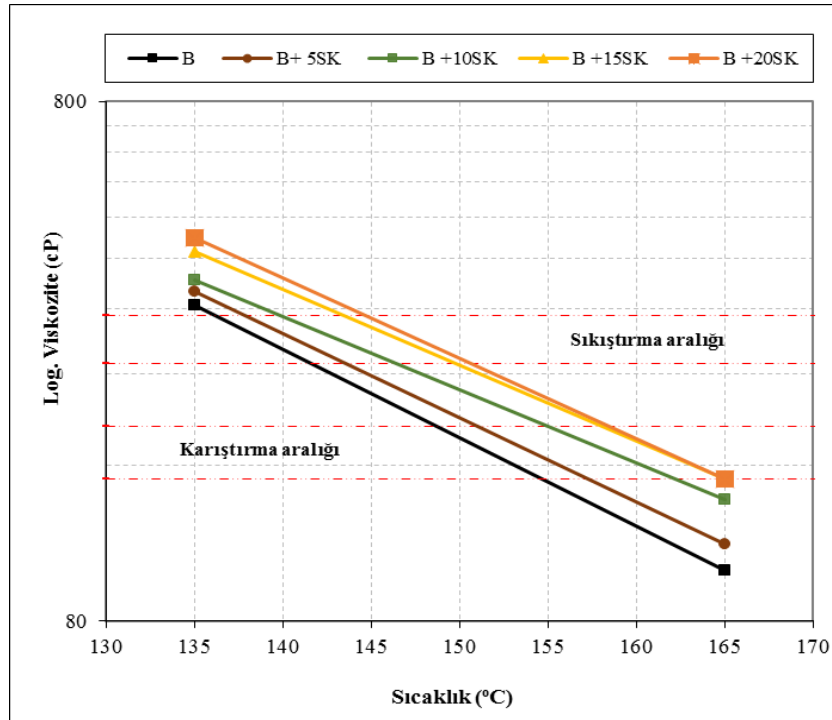
B. 1. SK Katkılı Asfalt Bağlayıcıların Hazırlanması

Çalışmada, siyah karbon katkılı asfaltlar elde etmek için ilk olarak saf asfalt 150 °C sıcaklığa kadar ısıtılmıştır. Daha sonra, saf asfalta literatürle [22,24,26,27] uyumlu olacak şekilde ağırlıkça %5, 10, 15 ve 20 oranlarında SK eklenerek aynı sıcaklıkta 500 devirde 60 dakika boyunca karıştırma işlemi yapılmıştır. Tüm modifiye asfaltlar aynı işlem sırası takip edilerek hazırlanmıştır.

Elde edilen saf ve SK katkılı asfaltların fiziksel özellikleri penetrasyon, yumuşama noktası ve düktilite testleriyle, işlenebilirlik özellikleri ise RV deneyi ile belirlenmiştir.

Çalışmada saf ve modifiye asfaltlar sırasıyla B, B+5SK, B+10SK, B+15SK ve B+20SK olarak kodlanmıştır.

Saf ve SK katkılı asfaltların fiziksel özellikleri sırasıyla ASTM D5, ASTM D36 ve ASTM D113 standartlarına göre penetrasyon, yumuşama noktası ve düktilite testleri ile belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar Tablo 5'te verilmiştir. Ayrıca tüm bağlayıcıların yüksek sıcaklıklardaki işlenebilirlik özellikleri ASTM D4402 standardına göre RV deneyi ile belirlenmiştir. RV deneyi sonucunda elde edilmiş olan viskozite-sıcaklık grafiği (Şekil 3) kullanılarak, saf ve SK katkılı bağlayıcıların işlenebilirlik sıcaklık aralıkları ve ortalama karıştırma-sıkıştırma sıcaklıkları tespit edilmiştir. Elde edilen tüm sonuçlar yine Tablo 5'te verilmiştir.



Şekil 3. Bağlayıcıların viskozite-sıcaklık grafiği

Tablo 5. Asfalt bağlayıcıların geleneksel test sonuçları

Özellik	Bağlayıcı türü				
	B	B+5SK	B+10SK	B+15SK	B+20SK
Penetrasyon (0.1mm)	175,2	168,4	165,4	155,3	145,7
Yumuşama noktası (°C)	42,45	42,95	44,50	45,40	45,80
Düktilite (cm)	130	123	121	116	111
Karıştırma aralığı (°C)	148-154	151-156	155-162	157-165	157-164
Sıkıştırma aralığı (°C)	136-141	137-143	140-145,5	144-150	144,8-150,5
Karıştırma sıcaklığı (°C)	151	153,5	158,5	161,0	160,5
Sıkıştırma sıcaklığı (°C)	138,5	140,0	142,75	147,0	147,65

Tablo 5 incelendiğinde, SK ilavesi ile modifiye bağlayıcıların penetrasyon ve düktilite değerlerinde düzenli bir azalma, ancak yumuşama noktası değerlerinde düzenli bir artış görülmüştür. Bu durumda, SK ilavesi ile bağlayıcıların sertleşmeye eğiliminin arttığını, asfalt sınıfının B 100/150 olarak değiştiğini ve sıcaklık hassasiyetinin azaldığını söylemek mümkündür. Bağlayıcıların viskozite değerleri incelendiğinde ise (Şekil 3), SK ilavesi ile viskozite değerlerinin arttığı görülmektedir. Elde edilen bu viskozite değerleri kullanılarak belirlenen plentteki karıştırma ve yoldaki sıkıştırma sıcaklıkları da SK katkı oranının artışı ile artış göstermiştir. Tüm bu sonuçlar, SK katkısıyla modifiye bağlayıcıların kıvamının sertleştiğini ve bu sebeple plentte karıştırma ve yoldaki serme esnasında daha fazla enerji harcanabileceğini göstermektedir. Ancak SK'nın asfalt ve HMA kaplamanın performansı üzerinde oluşturabileceği olumlu etki ile atık lastiklerin çevreye verdiği zarar göz önüne alındığında fazla enerji sarfiyatı göz ardı edilebilir.

B. 2. SK Katkılı Sıcak Karışım Asfaltların Hazırlanması

HMA'ların su hasarına olan etkisini belirlemek amacıyla saf ve SK katkılı asfaltlar kullanılarak ASTM D1159'a göre Marshall tasarım yöntemi ile karışım numuneleri hazırlanmıştır. Bunun için öncelikle, agrega ve saf asfalt kullanılarak sıcak karışımlar için optimum asfalt içeriği tespit edilmiştir. Bu içerik esas alınarak saf ve modifiye asfaltlar ile sıcak karışım numuneleri hazırlanmıştır. Her bir karışım numunesi için 1200 gr agrega tartılmış ve asfaltlar kendi karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarında işlenerek HMA numuneleri elde edilmiştir. Numuneler, 457 mm yükseklikten serbest düşürülen sıkıştırma tokmağı ile her bir numune yüzeyine 75, toplamda 150 vuruş yapılarak hazırlanmıştır.

Çalışmada, saf ve SK katkılı karışım numuneleri yine sırasıyla B, B+5SK, B+10SK, B+15SK ve B+20SK olarak kodlanmıştır.

III. DENEYSEL YÖNTEM

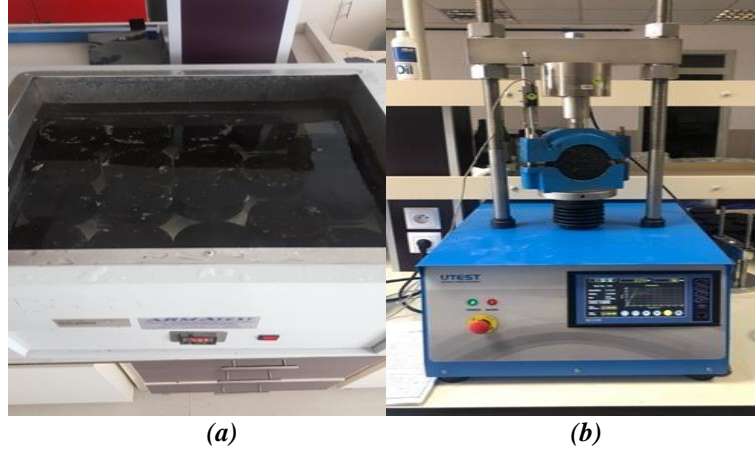
A. MARSHALL STABİLİTE DENEYİ

ASTM D1559 standardına göre, sıcak karışımların plastik akmaya karşı gösterdiği direnç Marshall stabilite ve akma deneyi ile tespit edilmektedir. Deneyde, sıcak karışım numuneleri çeşitli ağırlıkları ve yükseklikleri belirlendikten sonra 60 ± 1 °C sıcaklığa sahip su banyosunda (Şekil 4a) yaklaşık 30-40 dakika kadar bekletilir. Süre bitiminde numuneler su banyosundan çıkarılarak Marshall stabilite cihazına (Şekil 4b) yerleştirilir ve numunelerin 50 ± 2 mm/dakika yükleme hızında kırıldıkları andaki stabilite ve akma değerleri tespit edilir. Burada stabilite değeri, HMA kaplamaların deformasyonlara karşı koyabildiği en yüksek yükü; akma değeri ise bu yük değerine ulaşıldığında oluşan düşeyde meydana gelen deformasyonu belirtmektedir. Deneyde, numunelerin yükseklikleri 63,5 mm'den farklı

ise denklem (1) bağıntısı kullanılarak, numunelerin düzeltilmiş stabilite değerleri tespit edilir. Denklemde yer alan c düzeltme katsayısını, h ise numune yüksekliğini ifade etmektedir [12].

$$c = 5.24x e^{(-0.0258xh)} \quad (1)$$

Deney sonucunda, elde edilen stabilite ve akma değerleri yardımı ile sıcak karışımların sertliklerinin ve deformasyonlara karşı dirençlerinin bir ölçüsü olarak bilinen Marshall oranı (MQ) değerleri de hesaplanmaktadır. MQ değeri, karışımın stabilite değerinin akma değerine oranlanmasıyla elde edilir ve bu değer yüksek olması kaplamanın deformasyonlara karşı dirençli olduğunu belirtmektedir [12].



Şekil 4.(a)Sıcak su banyosunda numunelerin bekletilmesi ve (b)Marshall stabilite cihazı

B. KALICI MARSHALL STABİLİTESİ (RETAINED MARSHALL STABILITY-RMS)

HMA kaplamaların sudan kaynaklı bozulmalara karşı dayanımları RMS deneyi ile belirlenebilmektedir. Bu amaçla, sıcak karışım numuneleri 24 saat boyunca 60 ± 1 °C sıcaklıktaki su banyosunda bekletilerek Marshall stabilite cihazı ile yüklemeye maruz bırakılmaktadır. Elde edilen stabilite değerinin numunenin normal stabilite değerine bölünmesiyle RMS değeri belirlenmektedir. HMA'ların yüksek RMS değerine sahip olması, numunenin suya karşı daha yüksek dirence sahip olduğunu ifade etmektedir [12].

C. DOLAYLI ÇEKME MUKAVEMETİ DENEYİ (INDIRECT TENSILE STRENGTH-ITS)

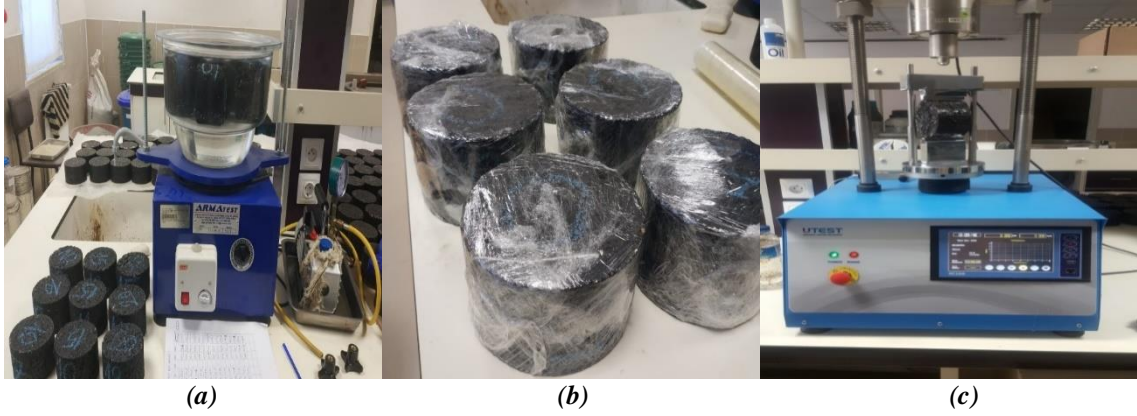
AASHTO T245 standardına göre gerçekleştirilen ITS deneyi, ısı ve yüklere maruz kalan HMA kaplamalarının yapısında oluşan çekme gerilmelerini karakterize etmektedir. Deney, Marshall stabilite test cihazı kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Deneyde, karışım numunelerinin dakikada 50mm'lik yükleme hızında çap düzlemi doğrultusunda düşey olarak yüklemeye maruz bırakılarak kırılması sağlanır. Deney sonucunda, HMA kaplamalarda meydana gelen bu kırılmalar ile kaplamanın yapısı arasında bir ilişki sağlanabilmektedir. Bununla birlikte, HMA kaplamaya ait olan kohezyon kuvveti ve orta sıcaklıklardaki kalıcı deformasyon direncinin başlıca parametreleri olan sertlik ve durabilite hakkında da bilgi sahibi olunabilmektedir [12]. Karışım numunelerinin ITS değerleri, sıcak karışımın kohezyon yeteneğine bağlı olarak değişebilmekte ve bu durumda büyük oranda asfaltın özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Karışım numunelerinin ITS değeri denklem (2) yardımı ile belirlenebilmektedir. Burada P_{max} değeri numune üzerine uygulanmış maksimum yükü, t numune kalınlığını, d ise numune çapını göstermektedir [12,27].

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

D. SU HASARI DİRENCİ DENEYİ

HMA kaplamaların suya karşı hassasiyeti AASHTO T283 standardına göre belirlenmektedir. Suya karşı hassasiyet, kaplamaların su ile temas etmesinden sonra yapısında su sebebiyle oluşabilecek hasara karşı göstermiş olduğu direnci belirtmektedir. Kaplamadaki su, agrega ile asfalt arasındaki bağı zayıflatarak bozulmalara sebep olur. Standarda göre HMA numuneleri “koşullandırılmamış” ve “koşullandırılmış” olmak üzere iki gruba ayrılır. Koşullandırılmamış numuneler (ITS_{kuru}), 25°C sıcaklıktaki su banyosunda 2 saat boyunca bekletilir. Koşullandırılmış numuneler ($ITS_{yaş}$) ise ilk olarak hava boşlukları ortalama %70 su ile dolacak şekilde vakum işlemine (Şekil 5a) tabi tutulur. Daha sonra numuneler streç film ile çevrelenerek (Şekil 5b) -18°C sıcaklıktaki dondurucuda 16 saat boyunca bekletilir ve süre bitiminde numuneler 60°C sıcaklıktaki su banyosunda 24 saat boyunca bekletilir. 24 saatin sonunda su banyosundan alınan numuneler 25°C sıcaklıktaki banyosunda 2 saat boyunca bekletilir. Bu işlemlerden bitiminde numuneler Marshall cihazı kullanılarak dolaylı çekme direnci testine (Şekil 5c) tabi tutulur. Deney sonunda, denklem (3) yardımıyla numunelerinin dolaylı çekme direnci oranı (ITSR) değerleri hesaplanır. HMA kaplamaların sudan kaynaklı bozulmalara karşı dirençleri bakımından ITSR değerlerinin %80’den daha fazla olması beklenmektedir [4,12].

$$ITSR = (ITS_{yaş} / ITS_{kuru}) \times 100 \quad (3)$$



Şekil 5.(a)Numunelere vakum uygulanması, (b) Streç film ile çevrelenmesi ve (c) ITS deneyine tabi tutulması

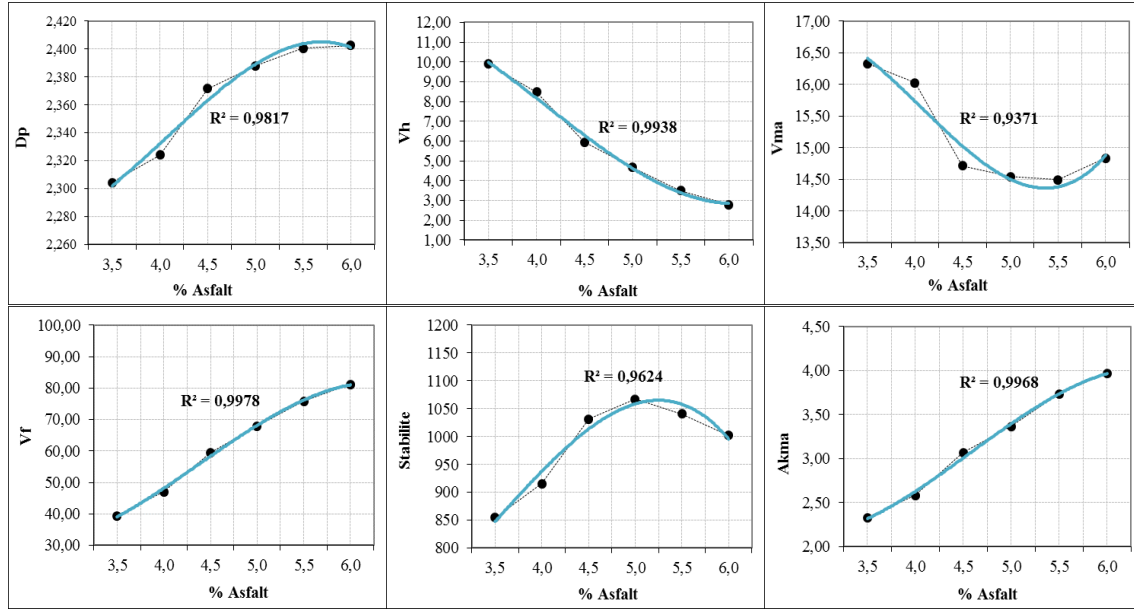
IV. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

A. MARSHALL STABİLİTE SONUÇLARI

Marshall tasarımında, penetrasyon sınıfı B 160/220 saf asfalt ile 1200 gr agrega kullanılarak sıcak karışım numuneleri hazırlanmıştır. Bu amaçla, agrega miktarı sabit tutularak ağırlıkça %3,5 - %4 - %4,5 - %5 - %5,5 ve %6 oranlarında saf asfalt eklenerek her bir yüzdede 3 adet, toplamda 18 adet karışım numunesi hazırlanmıştır. İlk olarak her bir karışım numunesinin ağırlığı ve yüksekliği tespit edilmiştir. Daha sonra numunelerin hacim özgül ağırlık (D_p), boşluk oranı (V_h), agregalar arası boşluk oranı (VMA) ve asfalt dolu boşluk oranı (V_f) gibi hacimsel özellikleri belirlenmiş ve numuneler Marshall stabilite deneyine tabi tutularak numunelerin stabilite ve akma değerleri belirlenmiştir. Karışım numunelerinin tespit edilmiş olan hacimsel ve mekanik özelliklerinin asfalt içeriği ile değişim grafikleri Şekil 6’da verilmiştir.

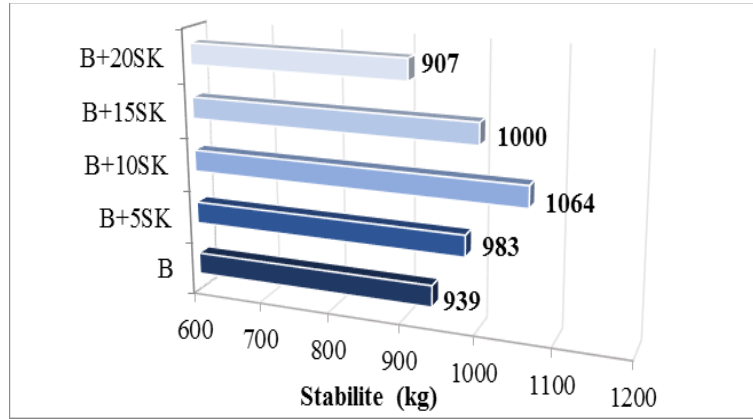
Karayolları Teknik Şartnamesine (KTS) göre, optimum asfalt içeriği belirlenmesinde Şekil 6’daki grafiklerden D_p ’nin maksimum (%5,75) ve stabilitenin maksimum (%5,0), V_h ’ın %4 (%5,25) ve V_f ’nin %70 (%5,1) olduğu asfalt yüzdelere aritmetik ortalaması alınarak optimum asfalt içeriği %5,3 olarak tespit edilmiştir. Tespit edilen bu oran (%5,3) esas alınarak saf (B) ve SK katkıli modifiye

asfaltlarla sıcak karışım numuneleri hazırlanmıştır. SK katkılı modifiye karışım numunelerinin saf karışım numuneleri ile kıyas yapılabilmesi amacıyla bu oran sabit tutulmuştur.



Şekil 6. Hacimsel ve mekanik özelliklerin asfalt içeriği ile değişimleri

Hazırlanmış olan saf (B) ve SKkatkılı sıcak karışım numunelerinden elde edilen Marshall stabilite değerleri Şekil 7’de, akma değerleri Şekil 8’de, MQ değerleri ise Şekil 9’da verilmiştir.

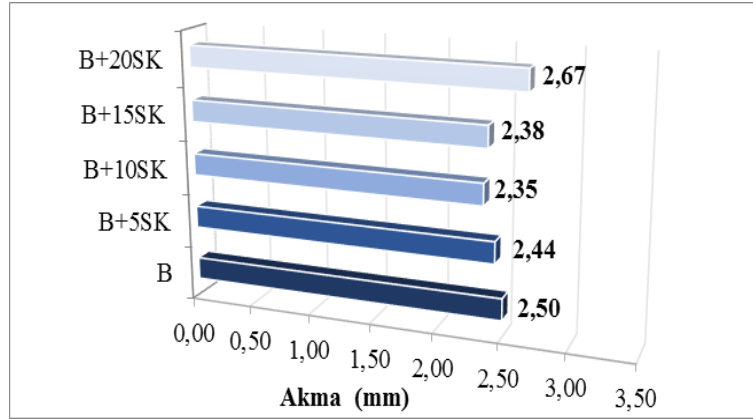


Şekil 7. Saf ve SK katkılı karışımların stabilite değerleri

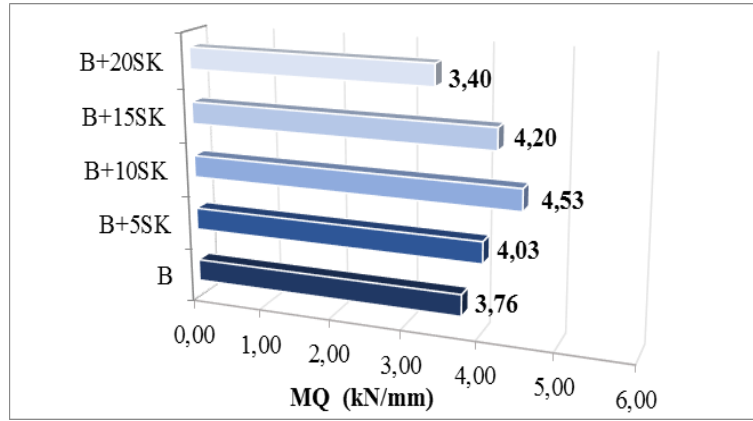
Şekil 7 incelendiğinde, SK katkı ilavesi ile karışımların stabilite değerlerinde saf numuneye kıyasla değişimler meydana gelmiştir. Bu değişimler saf karışıma kıyasla sırasıyla %4,7; %13,3; %6,5 artış ve %3,4 azalma şeklindedir. SK katkısıyla karışımların stabilite değerlerinde meydana gelen artış, SK katkılı HMA kaplamaların kalıcı deformasyonlara karşı direncinin arttığını göstermektedir. Elde edilen sonuç değerlendirildiğinde, en yüksek stabilite değerine B+10SK katkılı karışımında ulaşılmıştır, dolayısıyla bu durumda kalıcı deformasyonlara karşı direnci en yüksek karışım numunesinin B+10SK katkılı karışım olduğunu ifade etmek mümkündür.

SK katkılı karışımların akma değerleri incelendiğinde (Şekil 8), saf (B) karışıma kıyasla değişimler meydana gelmiştir. Bu değişimler saf karışıma kıyasla sırasıyla %2,4; %6; %4,8 azalma ve %6,8 artış şeklindedir. Sıcak karışımların akma değeri, HMA kaplamanın trafik yükleri altındaki plastik veya esnek davranışını ifade etmektedir. SK katkı ilavesi ile akma değerlerinde meydana gelen bu küçük

değişimler, HMA kaplamanın kırılma esnasındaki hemen hemen aynı davranış sergileyeceğini göstermektedir.



Şekil 8. Saf ve SK katkılı karışımların akma değerleri



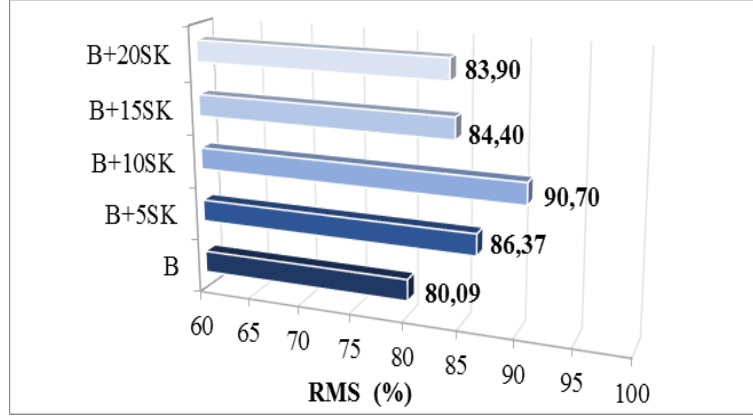
Şekil 9. Saf ve SK katkılı karışımların MQ değerleri

Şekil 9’da MQ değerleri incelendiğinde ise, SK katkısı ile MQ değerlerinde değişimler meydana geldiği görülmektedir. Meydana gelen bu değişimler saf karışıma kıyasla %7,2; %20,5; %11,7 artış ve %9,6 azalma şeklindedir. Bu sonuçlara göre, en yüksek artışın B+10SK karışım numunelerinde görüldüğü ve bu sebeple kayma gerilmelerine karşı en dirençli karışımların B+10SK karışımlar olduğunu söylemek mümkündür.

B. RMS SONUÇLARI

SK katkısının HMA kaplamaların suya karşı hassasiyeti üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla saf ve SK modifiyeli karışım numunelerinin RMS değerleri belirlenerek Şekil 10’da verilmiştir.

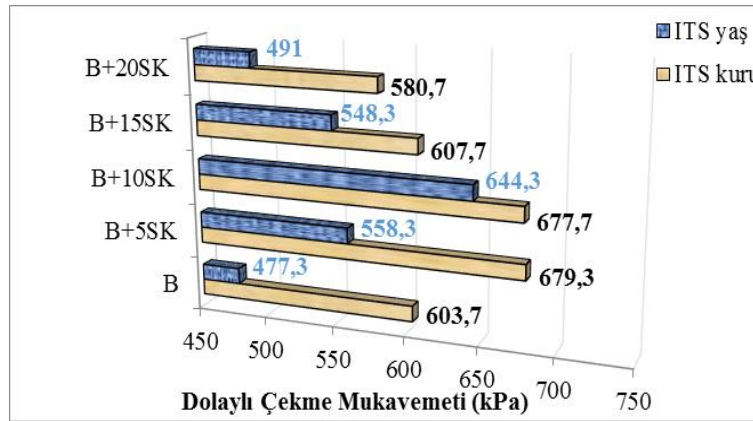
Şekil 10 incelendiğinde, SK katkı ilavesi ile modifiye karışımların saf karışıma kıyasla RMS değerlerinde önemli değişimler meydana gelmiştir. Bu değişimler saf karışıma kıyasla sırasıyla %7,8; %13,2; %5,4 ve %4,8 artış şeklindedir. Bu sonuçlara göre, en yüksek RMS değerinin B+10SK karışımlardan elde edildiği ve bu sebeple en yüksek nem hasarı direncinin B+10SK karışımlarda olduğu söylenebilir. SK ilavesiyle RMS değerinin artış göstermesi, SK’nın agrega ile asfalt arasındaki bağlanma yeteneği üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğunu ve bu nedenle de HMA kaplamanın sudan kaynaklı bozulmalara karşı direnci üzerinde artışa sebep olduğu ifade edilebilir.



Şekil 10. Saf ve SK katkıli karışımların RMS değerleri

C. ITS VE SU HASARI DİRENCİ SONUÇLARI

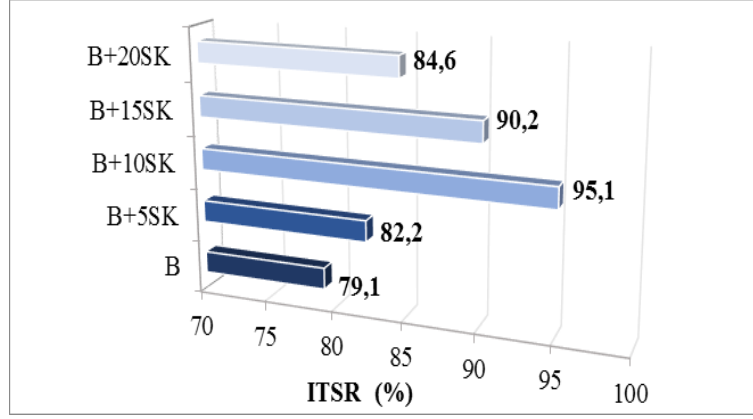
SK katkısının HMA kaplamaların sudan kaynaklı bozulmalara karşı dirençlerini belirlemek amacıyla, koşullandırılmış ve koşullandırılmamış saf ve SK modifiyeli karışım numunelerine ITS deneyi uygulanmıştır. Belirlenen ITS ve ITSR değerleri sırasıyla Şekil 11 ve Şekil 12’de verilmiştir.



Şekil 11. Saf ve SK katkıli karışımların ITS değerleri

Şekil 11 incelendiğinde, SK katkı artışı ile koşullandırılmış ($ITS_{yaş}$) karışım numunelerinin saf karışıma kıyasla ITS değerlerinde değişimler meydana gelmiştir. Bu değişimler saf karışıma kıyasla sırasıyla %17; %35; %14,9 ve %2,9 artış şeklindedir. Koşullandırılmamış (ITS_{kuru}) karışım numunelerinin ITS değerlerinde meydana gelen değişimler ise yine saf karışıma kıyasla sırasıyla %12,5; %12,3; %0,7 artış ve %3,8 azalma şeklindedir. SK katkısı ile karışım numunelerinin $ITS_{yaş}$ ve ITS_{kuru} değerlerinin genel olarak artış göstermesi, trafik yükleri altındaki HMA kaplamaların yük altında oluşan çekme gerilmelerine karşı direncinin arttığını göstermektedir.

Şekil 12 incelendiğinde, SK katkı artışı ile ITSR değerlerinde değişimler meydana gelmiştir. Bu değişimler saf karışıma kıyasla sırasıyla %3,9; %20,2; %14 ve %7 artış şeklindedir. Bu sonuçlara göre, en yüksek ITSR değeri B+10SK karışımlarda görülmüştür. Bu sonuçlara göre, sudan kaynaklı bozulmalara karşı en dirençli karışımların B+10SK karışımlar olduğu söylenebilir. Ayrıca, SK katkısı ile karışımların ITSR değerlerinin %80’in üzerinde olması, SK katkısının HMA kaplamaların sudan kaynaklanan bozulmalara karşı direncini üzerinde iyileştirici bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.



Şekil 12. Saf ve SK katkıli karışımların ITSR değerleri

RMS ve ITSR sonuçları birlikte değerlendirildiğinde, SK katkısının yol kaplamalarının suya karşı hassasiyeti üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğu, özellikle %10SK katkı oranının kaplamaların adezyon ve kohezyon yeteneğini arttırmada etkili olduğu görülmüştür. Bunun, SK'nın çok ince taneli ve yüksek yüzey alanına sahip olması sebebiyle asfalt içerisinde homojen olarak dağılması ve agregaya ile iyi bir adezyon sağlayarak suyun agregaya nüfuz etmesine engel olduğundan kaynaklandığı değerlendirilmektedir.

V. SONUÇLAR

Bu çalışmada, asfalt kaplamalarının nem performansı üzerinde siyah karbonun etkisi araştırılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Saf ve SK modifiyeli bağlayıcıların fiziksel test sonuçlarına göre, SK katkısı ile bağlayıcıların sertleşme eğiliminin arttığı ve dolayısıyla daha yüksek sıcaklığa sahip bölgelerde kullanılabileceği görülmüştür.
2. Marshall stabilite sonuçlarına göre, SK katkısı ile karışımların stabilitesinin %13,3 kadar arttığı ve en yüksek stabilite değerinin B+10SK katkıli karışımlardan elde edildiği görülmüştür.
3. MQ sonuçlarına göre, SK katkısı ile MQ değerinin %20,5 artış ile B+10SK karışımlardan elde edildiği görülmüştür. Bu sonuca göre, SK katkısının HMA kaplamaların kayma gerilmelerine karşı direncinde iyileşme sağladığı söylenebilir.
4. RMS sonuçlarına göre, SK ilavesiyle RMS değerinin %13,2 kadar artış gösterdiği ve en yüksek RMS değerinin B+10SK katkıli karışımlardan elde edildiği ve dolayısıyla bu oranda sıcak karışımların su etkilerine karşı daha dirençli olduğu görülmüştür.
5. ITSR sonuçlarına göre, SK katkısı ile karışımların ITSR değerlerinin %20,2 kadar artış gösterdiği ve en yüksek ITSR değerinin B+10SK katkıli karışımlardan elde edildiği görülmüştür. Bu sonuçlara göre, SK katkısının HMA'ların adezyon ve kohezyon yeteneğini arttırarak yol kaplamalarının nem direncini önemli ölçüde geliştirdiği söylenebilir.

Sonuç olarak, atık lastiklerden elde edilmiş olan SK katkısının asfalt ve dolayısıyla karışım modifikasyonunda kullanılmasıyla HMA kaplamalarının nem direncini arttırmada iyileştirici bir etkiye sahip olduğunu ifade etmek mümkündür. Ayrıca, atık lastiklerin çevreye ve canlılara vermiş olduğu zarar göz önüne alındığında yol mühendisliğinde bir iyileştirici olarak kullanılmasının bu atıkların

çevreye ve canlılara vermiş olduğu zarar azaltılacak, bununla birlikte ülke ekonomisine bir katma değer olarak fayda sağlayacaktır.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir (Proje no: İÜ-BAP 2016/65).

V. KAYNAKLAR

- [1] A. E. A. El-Maaty Behiry, “Laboratory evaluation of resistance to moisture damage in asphalt mixtures,” *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 4, no. 3, pp. 351-363, 2013.
- [2] H. A. Omar, N. I. Yusoff, M. Mubarak and H. Ceylan, “Effects of moisture damage on asphalt mixtures,” *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, vol. 7, no. 5, pp. 600-628, 2020.
- [3] B.V. Kök, “Bitümlü sıcak karışımların üretiminde yeni bir karıştırma yönteminin araştırılması,” Doktora tezi, İnşaat Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2007.
- [4] Ç. Görkem and B. Şengöz, “Predicting stripping and moisture induced damage of asphalt concrete prepared with polymer modified bitumen and hydrated lime,” *Construction and Building Materials*, vol. 23, no. 6, pp. 2227–2236, 2009.
- [5] H. Özen, “Rutting evaluation of hydrated lime and SBS modified asphalt mixtures for laboratory and field compacted samples,” *Construction and Building Materials*, vol. 25, no. 2, pp. 756–765, 2011.
- [6] A. Aksoy, E. İskender, Ş. Oruç ve H. Özen, “SBS polimeri ve su hasarı önleyici katkıların asfalt kaplamalarda performans karşılaştırması,” *İMO Teknik Dergi*, c. 80, ss. 5967-5986, 2012.
- [7] J. C. Petersen, H. P. Plancher and M. Harnsbergen, “Lime treatment of asphalt to reduce age hardening and improve flow properties,” *In: Proceedings AAPT*, vol. 56, pp. 632-653, 1987.
- [8] Anonymous. (2021, September 27). *How to add hydrated lime to hot mix asphalt*. [Online]. Available: https://www.lime.org/documents/publications/free_downloads/how-to-add-lime.pdf.
- [9] T. W. Kennedy and N. J. Anagnos, “Lime treatment of asphalt mixtures,” *4. Center for Transportation Research*, Austin, United States, 1983, pp. 20–28.
- [10] J. Epps, E. Berger and J. N. Anagnos, “Moisture sensitivity of asphalt pavements,” *A National Seminar*, California, United States, 2003, pp. 117-177.
- [11] P. Kumar, S. Chandra and S. Bose, “Strength characteristics of polymer modified mixes,” *International Journal of Pavement Engineering*, vol. 7, no. 1, pp. 63–71, 2006.
- [12] T. Geçkil, Y. Önal ve C. B. İnce, “Atık PET ile modifiye edilmiş bitümlü sıcak karışımların nem direnci,” *Politeknik Dergisi*, c. 24, s. 2, ss. 461-471, 2021.
- [13] H. Eryılmaz ve K. O. Demirarslan, “Ömrünü tamamlamış lastiklerin (ÖTL) sıvılaştırılarak geri dönüşümünün araştırılması,” *Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi*, c. 2, s. 1, ss. 50-56, 2019.

- [14] A. P. T. Demir. (2021, 27 Ekim). *Atık lastiklerin geri dönüşümü üzerine bir derleme*. [Online]. Erişim:<http://www.plastik-ambalaj.com/tr/plastik-ambalaj-makale/2452-arac-lastiklerinin-geri-doenuesuemue-uezerine-bir-derleme>.
- [15] B. Adhikari and D. De, S. Maiti, “Reclamation and recycling of waste rubber,” *Progress in Polymer Science*, vol. 25, pp. 909-948, 2000.
- [16] J. Xu, J. Yu, W. He, J. Huang, J. Xu and G. Li, “Recovery of carbon black from waste tire in continuous commercial rotary kiln pyrolysis reactor,” *Science of The Total Environment*, vol. 772, pp. 145507, 2021.
- [17] E. Durna, G. Köz ve N. Genç, “Türkiye’de ömrünü tamamlamış lastiklerin yönetiminde en uygun bertaraf seçeneğinin Promethee ve bulanık Promethee yöntemi ile belirlenmesi,” *Politeknik Dergisi*, c. 23, s. 4, ss. 915-927, 2020.
- [18] D. Czajczyńska, R. Krzyżyńska, H. Jouhara and N. Spencer, “Use of pyrolytic gas from waste tire as a fuel: a review,” *Energy*, vol. 134, pp. 1121-1131, 2017.
- [19] R. Smelík, S. Vilamová, K. Chuchrová, R. Kozel, A. Király, A. Levit and J. Gajda, “Complex processing of rubber waste through energy recovery,” *Acta Montanistica Slovaca*, vol. 20, pp. 290-297, 2015.
- [20] T. Geçkil, “Siyah karbonubn bitümlü sıcak karışımların özelliklerine etkisinin araştırılması,” Doktora tezi, İnşaat mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2008.
- [21] P. Cong, P. Xu and S. Chen, “Effects of carbon black on the anti aging, rheological and conductive properties of SBS/asphalt/carbon black composites,” *Construction and Building Materials*, vol.52, no. 15, pp. 306-313, 2014.
- [22] R. Casado-Barrasa, P. Lastra-Gonzalez, I. Indacochea-Vega and D. Castro-Fresno, “Assessment of carbon black modified binder in a sustainable asphalt concrete mixture,” *Construction and Building Materials*, vol. 211, pp. 363-370, 2019.
- [23] T. Alataş, M. Yılmaz, B. V. Kök, M. E. Çeloğlu, M. Akpolat, Ö. E. Yamaç ve E. Yalçın, “Öğütülmüş araç lastiğinin ve piroliz işleminden sonra oluşan karbon siyahının bitümlü bağlayıcıların reolojik özellikleri üzerindeki etkisi,” *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, c. 23, s. 1, ss. 311-328, 2018.
- [24] Z. Yao and C. L. Monismith, “Behavior of asphalt mixtures with carbon black reinforcement,” *Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists*, vol. 32, 1987.
- [25] R.L. Terrel and S. Rimstrington, “Evaluation of wood lignin as a substitute or extender for asphalt,” Federal Highway Administration, United States, Report FHWA/RD-80/125, 1980.
- [26] P. Ahmedzade, T. Alataş ve T. Geçkil, “Asfalt betonunda siyah karbonun filler olarak kullanımı,” *İMO Teknik Dergi*, c. 297, ss. 4493-4507, 2008.
- [27] P. Ahmedzade, T. Alataş and T. Geçkil, “The effect of carbon black on the mechanical properties of asphalt mixtures,” *Journal of Engineering and Natural Sciences Sigma*, vol. 25, no. 2, pp. 179-189, 2007.