

ATIK LASTİKLERDEN ELDE EDİLEN SİYAH KARBONUN ASFALTIN İŞLENEBİLİRLİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Tacettin GEÇKİL¹, Zülfükar AKSAĞAN², Ceren Beyza İNCE^{3*}

¹⁻³ İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Malatya, 44280, Türkiye

²Munzur Üniversitesi, İnşaat Bölümü, Tunceli, 62000, Türkiye

Geliş Tarihi/Received Date: 09.04.2021 Kabul Tarihi/Accepted Date: 06.10.2021 DOI: 10.54365/adyumbd.912209

ÖZET

Bu çalışmada, atık lastiklerden elde edilmiş olan siyah karbon (SK) katkısının asfaltın orta ve yüksek sıcaklıklardaki işlenebilirlik özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, penetrasyon sınıfı B 160/220 olan saf asfalta ağırlıkça %5, 10, 15 ve 20 oranlarında SK eklenerek modifiye asfaltlar elde edilmiştir. Saf ve modifiye asfaltların fiziksel özellikleri penetrasyon, yumuşama noktası ve duktilite testleri ile belirlenmiştir. Ayrıca, bağlayıcıların sıcaklık hassasiyetlerinin bir ölçüsü olarak kabul edilen penetrasyon indeksi (PI) değerleri de hesaplanmıştır. Daha sonra, saf ve modifiye bağlayıcıların yüksek sıcaklıklarda bünyelerinde meydana gelen uçucu madde kaybı dönel ince film etüvü deneyi (RTFOT) ile, bağlayıcıların işlenebilirlik özellikleri ise dönel viskozimetre (RV) deneyi ile belirlenmiştir. Fiziksel test sonuçlarına göre, SK katkısıyla bağlayıcıların sertleşme eğiliminin arttığı ve penetrasyon sınıfının B 100/150 olarak değiştiği görülmüştür. Ayrıca, SK katkısıyla bağlayıcıların sıcaklık hassasiyetlerinin azaldığı bu bakımdan en uygun oranın %15SK olduğu görülmüştür. RV sonuçlarına göre, SK katkısıyla bağlayıcıların işlenebilirliklerinin azalarak karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarının yükseldiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: *Asfalt, Siyah karbon, Modifiye asfalt, Sıcaklık hassasiyeti, İşlenebilirlik*

THE EFFECT OF CARBON BLACK OBTAINED FROM WASTE TIRES ON THE WORKABILITY OF ASPHALT

ABSTRACT

In this study, the effect of carbon black (CB) additive obtained from waste tires on the workability properties of asphalt at medium and high temperatures was investigated. For this purpose, modified asphalts were obtained by adding CB in proportions of 5, 10, 15 and 20% by weight to pure asphalt with penetration class B 160/220. The physical properties of pure and modified asphalts were determined by penetration, softening point and ductility tests. In addition, penetration index (PI) values, which are considered as a measure of the temperature sensitivity of the binders, were also calculated. Then, volatile matter loss in pure and modified binders at high temperatures was determined by the rolling thin film oven test (RTFOT), and the workability properties of the binders were determined by the rotational viscometer (RV) test. According to the physical test results, it was observed that the hardening tendency of the binders increased and the penetration class changed to B 100/150 with the addition of CB. In addition, it was observed that the temperature sensitivity of the binders decreased with the CB additive, and the optimum rate was 15%. According to the RV results, it was observed that the workability of the binders decreased and the mixing and compaction temperatures increased with the addition of CB.

Keywords: *Asphalt, Carbon black, Modified asphalt, Temperature sensitivity, Workability*

*³ e-mail: c.beyzaince@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6385-0964> (Sorumlu Yazar),

¹ e-mail: tacettin.geckil@inonu.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8070-6836>,

² e-mail: aksaganzulfikar@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1217-5073>

1. Giriş

Artan taşıt miktarı ve değişen iklim koşulları sebebiyle klasik asfaltlar ile inşa edilen sıcak karışım asfalt (HMA) yol kaplamalarında yüksek sıcaklıklarda tekerlek izi oturmaları, düşük sıcaklıklarda termal çatlaklar, orta sıcaklıklarda yorulma çatlakları ve su etkisiyle agrega-asfalt ayrışması gibi çeşitli deformasyonlar meydana gelmektedir. Bu deformasyonlar, kaplamanın performansını düşürerek yolun sürüş konforunu ve güvenliğini tehlikeye atmakta ve projesinde öngörülen hizmet ömrünü azaltarak yol bakım-onarım masraflarının artmasına neden olmaktadır [1-3].

Klasik asfaltların performans özelliklerini iyileştirmek ve dolayısıyla HMA kaplama performansını arttırmak amacıyla saf asfalt bağlayıcılara çeşitli katkı malzemeleri eklenerek modifiye asfaltlar elde edilmektedir [4]. Bu amaçla, başta stiren-bütadien-stiren (SBS), stiren-bütadien-kauçuk (SBR), reaktif terpolimer (RET) ve etilen-vinil-asetat (EVA) gibi ticari polimerler başta olmak üzere, kauçuk, çeşitli filler malzemeler, yağlar ve çözücüler katkı malzemesi olarak kullanılmakta ve kaplamaların performansı artırılmaya çalışılmaktadır [4-6].

Ancak yapılan çalışmalarda, ticari polimerlerin büyük çoğunluğunun yüksek maliyetleri sebebiyle, bu malzemelerin kullanımı çalışmaları sınırlandırmıştır. Bu sebeple, araştırmacılar son yıllarda asfalt modifikasyonunda atık malzemeleri kullanmaya başlamışlardır [5,7].

Kullanım ömrünü tamamlamış, yer bertaraf eden ve çevreye zarar veren her türlü malzeme “atık” olarak adlandırılmaktadır [8]. İnsanoğlunun günlük yaşamında beslenmeden ısınmaya hatta barınmaya kadar her türlü zorunlu veya sosyal ihtiyaç sonucunda çeşitli atık malzemeler meydana gelmektedir. Günümüzde atık malzeme denilince akla ilk plastikler gelse de, çeşitli tarımsal atıklar (zeytin, pamuk, ayçiçeği vb.), sanayi atıkları (lastik, pil, madeni yağ, cüruf vb.) ve ormansal atıklar (talaş, tomruk vb.) da atık malzemeler olarak bilinmektedir [9].

Bu çalışmada, atık araç lastiklerinden elde edilmiş olan siyah karbon katkısının asfaltın orta ve yüksek sıcaklıklardaki işlenebilirlik özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Siyah karbon (SK), karbon esaslı çok ince parçacıklardan (0,15-3,5 mikron) oluşan siyah renkli bir malzemedir. Bu malzeme, atık araç lastiklerinden piroliz yöntemi (oksijensiz ortamda, yüksek sıcaklıklarda ısıtılıp katı, sıvı ve gaz ürünlere dönüştürülmesi) ile üretilen bir geri dönüşüm ürünüdür. Dünyada her yıl yaklaşık 17 milyon ton atık araç lastiği oluşmakta olup, bu durum Türkiye’de yıllık 180.000–300.000 ton civarındadır [10-12]. Araç lastikleri her türlü fiziksel, kimyasal ve biyolojik bozulmaya karşı çok dirençli malzemelerdir [12]. Bu sebeple, çevre dostu malzemeler sınıfına girmemekle birlikte bu malzemeler çoğunlukla daha basit çözümler olarak bilinen depolanmaya ya da yakılarak yok edilmeye çalışılmaktadır. Özellikle büyük yerleşim alanına sahip ve hızla büyüyen kentlerde yeterli kapasitede uygun depo alanı bulmak kolay olmamaktadır. Hızlı ve düzensiz bir yapılanma olduğundan, katı atık düzenli depo yerlerinin şehirlere çok uzakta seçilmesi ise bu atıkların taşınmasını pahalı kılmaktadır. Bu sebeple, atık araç lastiklerinin taşınması veya depolanması çok fazla tercih edilmemektedir. Ayrıca bu malzemelerin yakılarak yok edilmeye çalışılmasıyla da, çıkarmış oldukları zararlı gazlar sebebiyle çevreye ve canlılara büyük oranda zarar verdikleri için bu yöntemde tercih edilmemektedir [12,13]. Bu durumda, atık lastiklerin çevreye vermiş olduğu zararı en aza indirmek için, maliyetli ve çevre dostu olmayan çözümler yerine araştırmacılar bu atıkları geri dönüşüme kazandırarak tekrar kullanmaya çalışmışlardır [14,15].

SK katkısının bir iyileştirici olarak yol mühendisliğinde asfalt ve karışım modifikasyonunda kullanılması birçok araştırmaya konu olmuştur. Cong ve arkadaşları yaptıkları çalışmada ticari SK katkısının bağlayıcıların yaşlanma direncini, yüksek sıcaklıklık performansını, termal ve elektriksel iletkenliğini arttırdığını ifade etmişlerdir [16]. Alataş ve ekibi, piroliz işlemiyle elde ettikleri SK katkısının asfaltın kıvamını ve tekerlek izine karşı dayanımını arttırdığını, ancak SK katkısının işlenebilirlik açısından %15 oranında sınır değerini aştığını ifade etmişlerdir [17]. Yao ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, SK katkısının asfaltın tekerlek izine karşı dayanımını, yoğunluğunu ve esneklik modülünü geliştirdiğini ifade etmişlerdir [18]. Button ve arkadaşları SK katkısının asfalt bağlayıcıların kalıcı deformasyonlara karşı direncini geliştirdiğini ifade etmişlerdir [19]. Terrel ve arkadaşları SK katkı

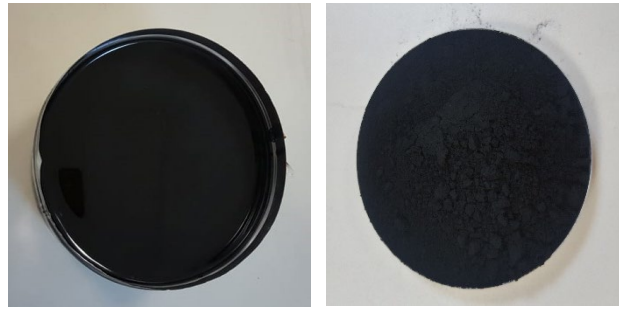
karışımların stabilitesini önemli ölçüde düzelttiğini ve karışımın rijitlik modülünü arttırdığını ifade etmişlerdir [20]. Ahmedzade vd. çalışmalarında SK katkısının asfalt karışımlarda filler malzeme olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Yapılan çalışma sonucunda SK katkısının asfalt karışımların mekanik özelliklerini geliştirdiğini görmüşlerdir [21].

Bu çalışmada ise, atık lastiklerin yenilenebilir enerji üretiminde kullanılabilmesi amacıyla kurulan bir piroliz tesisinde atık ürün olarak açığa çıkan SK katkısının modifiye asfaltların orta ve yüksek sıcaklıklardaki işlenebilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla, ilk olarak saf ve SK katkılı bağlayıcıların fiziksel özellikleri penetrasyon, yumuşama noktası ve düktilite testleri ile belirlenmiştir. Ayrıca, bağlayıcıların sıcaklık hassasiyetlerinin ölçüsü olarak kabul edilen PI değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra, RTFO deneyi ile kısa süreli yaşlandırmaya tabi tutulmuş ve bağlayıcıların işlenebilirlik özellikleri dönel viskozimetre deneyi ile belirlenmiştir.

2. Materyal ve Metod

2.1. Materyal

Bu çalışmada, asfalt modifikasyonunda bağlayıcı olarak penetrasyon sınıfı B 160/220 olan saf asfalt, katkı malzemesi olarak siyah karbon (SK) kullanılmıştır (Şekil 1). Elazığ Karayolları 8.Bölge Müdürlüğü asfalt şantiyesinden temin edilen B 160/220 asfaltın (Şekil 1a) fiziksel özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir.



(a) (b)
Şekil 1. Saf asfalt (a), SK (b)

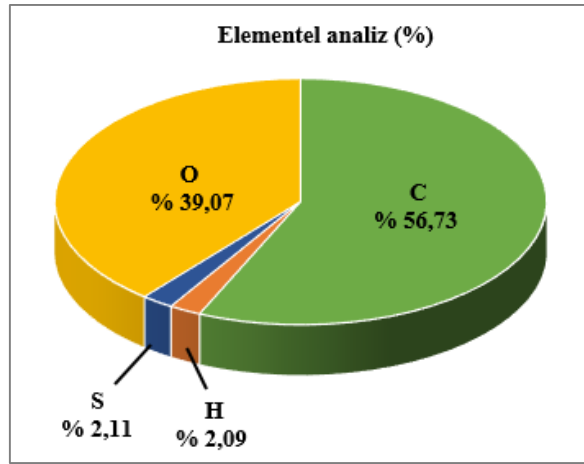
Çizelge 1. Saf asfaltın fiziksel özellikleri

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

Katkı malzemesi olarak, Erzincan ERA Çevre Teknolojileri A.Ş’ den temin edilen ve atık lastiklerden elde edilmiş olan SK (Şekil 1b) kullanılmıştır. SK’nın özellikleri Çizelge 2’de, element analizi sonuçları ise Şekil 2’de verilmiştir.

Çizelge 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

2.2. Metot

2.2.1. Modifiye Asfaltların Hazırlanması

Çalışmada, siyah karbon modifiyeli asfaltlar elde etmek amacıyla saf asfalt 150 °C sıcaklığa kadar ısıtılmıştır. Daha sonra, saf asfalta literatürle uyumlu olacak şekilde [17,22] ağırlıkça %5, 10, 15 ve 20 oranlarında SK eklenerek 500 devirde 60 dakika boyunca aynı sıcaklıkta karıştırma cihazı ile 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 duktilite testleri ile, kısa süreli yaşlandırılması dönel ince film etüvü deneyi (RTFOT) ile; asfalt bağlayıcıların işlenebilirlik özellikleri ise dönel viskozimetre (RV) deneyi ile belirlenmiştir.

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

3. Deneysel Yöntem

3.1. Asfalt Bağlayıcıların Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi

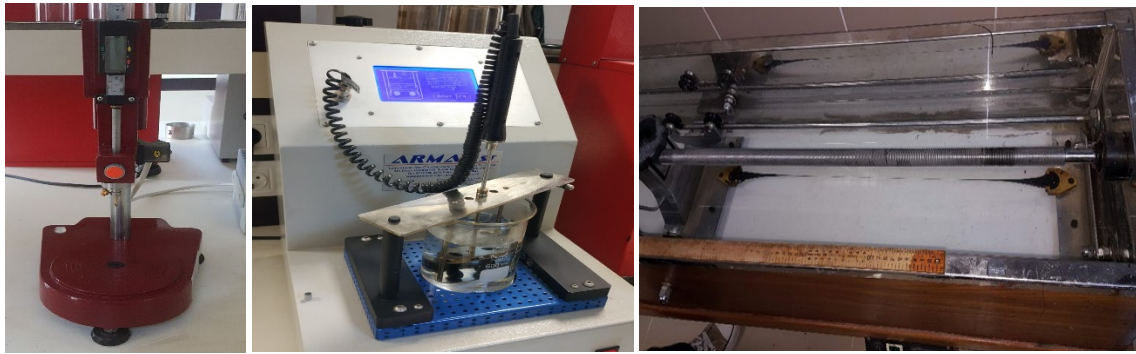
Saf ve SK katkılı asfalt bağlayıcıların fiziksel özellikleri, penetrasyon, yumuşama noktası ve duktilite testleri ile belirlenmiştir.

Penetrasyon deneyi, asfalt bağlayıcıların sertliğini belirlemek amacıyla uygulanmaktadır. Deney, 100 gr ağırlığındaki bir iğnenin 25°C sıcaklıkta 5 saniye süreyle asfalt içerisinde ilerlediği düşey mesafe olarak tanımlanmaktadır. Penetrasyon birimi 10^{-1} mm'dir (ASTM D5, TS EN 1426).

Yumuşama noktası deneyi, asfalt bağlayıcıların yüksek sıcaklıklara karşı direncini ölçmeyi amaçlar. Yumuşama noktası, standarda göre üzerine bir bilye yerleştirilmiş olan asfalt bağlayıcının belirli bir hızda ısıtılması sonucunda sıcaklığın artması ile yumuşamış bağlayıcının tabana temas ettiği andaki sıcaklıktır (ASTM D36, TS EN 1427).

Duktilite deneyi, asfalt bağlayıcıların uzama kabiliyetini ve kohezyon mukavemetini belirlemek için yapılır. Duktilite, standarda göre standart kalıp içerisinde hazırlanmış asfaltın, 25°C sıcaklıkta ve 5cm/dakika hızla her iki ucundan çekilerek kopuncaya kadar uzadığı mesafenin cm cinsinden ifadesidir (ASTM D113).

Fiziksel özelliklerin belirlenmesinde kullanılan deney cihazları Şekil 3' de verilmiştir.



(a)

(b)

(c)

Şekil 3. Penetrasyon (a), yumuşama noktası (b) ve duktilite (c) deney cihazları

Fiziksel özellikleri tespit edilen asfalt bağlayıcıların, sıcaklığa karşı hassasiyetlerinin bir ölçüsü olarak kabul edilen penetrasyon indeksi (PI) değerleri de denklem 1 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$PI = \frac{1952 - 500 \times \log(Pen_{25}) - 20 \times SP}{50 \times \log(Pen_{25}) - SP - 120} \quad (1)$$

Denklem 1'de yer alan Pen_{25} , bağlayıcıların 25 °C'deki penetrasyon değerini, SP ise yumuşama noktası değerini ifade etmektedir. PI değerinin artması, asfalt bağlayıcının sıcaklık hassasiyetinin azaldığını ve sertliğinin arttığını göstermektedir. Sıcak karışım hazırlanırken yüksek PI değerine sahip bir asfalt kullanıldığında, karışımların yüksek sıcaklıklarda tekerlek izi deformasyonuna, düşük sıcaklıklarda ise termal çatlamlara karşı daha dirençli hale geldiği değerlendirilmektedir [9].

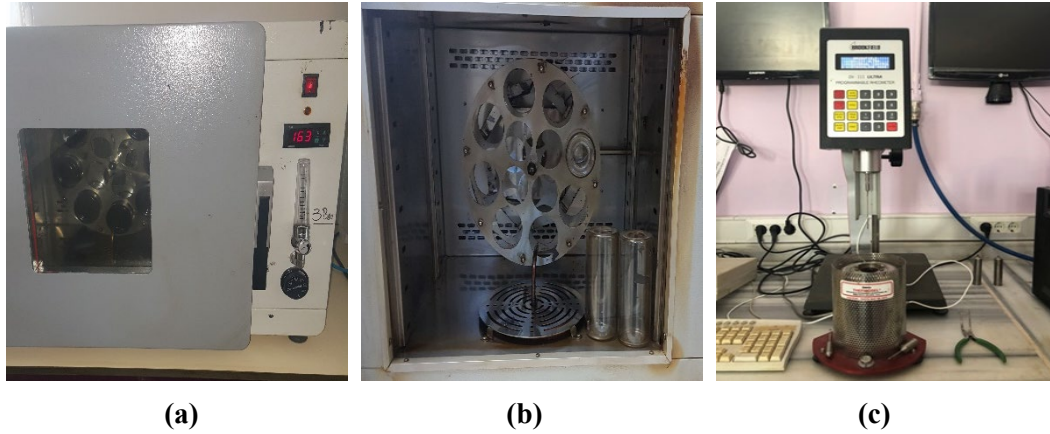
3.2. Asfalt Bağlayıcıların Kısa Süreli Yaşlandırılması

Asfalt bağlayıcıların bünyesinde zamanla sıcaklık, basınç, hava, radyasyon ve çevre etkileri ile meydana gelen kayıp “yaşlanma” olarak isimlendirilir. Bağlayıcıların karıştırma, sıkıştırma, taşıma ve depolama gibi servis öncesi süreçte sıcaklık ve hava etkileriyle yaşlanması “kısa süreli yaşlanma” olarak

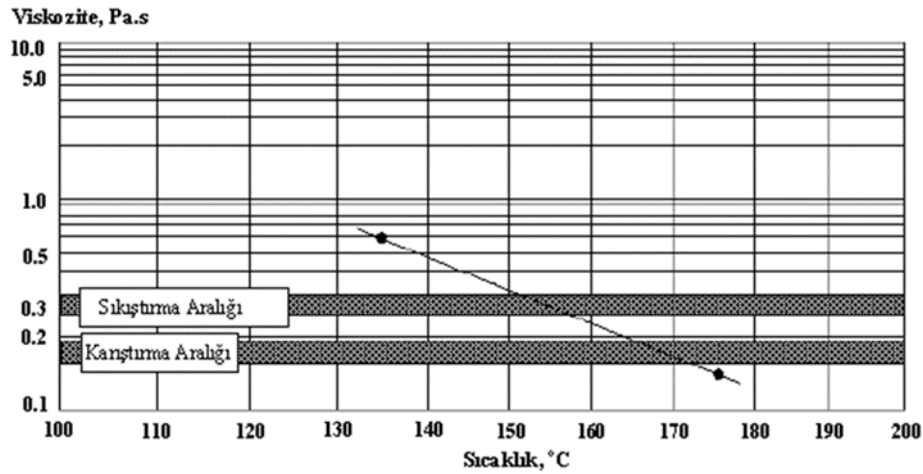
ifade edilmektedir. Asfalt bağlayıcıların kısa süreli yaşlanması laboratuvar ortamında dönel ince film etüvü deneyi (RTFOT) ile simüle edilmektedir. ASTM D2872 standardına göre gerçekleştirilen RTFO deneyinde (Şekil 4a), bağlayıcıdan 35gr'lık numuneler alınarak özel şişelere (Şekil 4b) doldurulur. Şişeler 163 °C sıcaklıkta dakikada 15 devir yapacak şekilde ayarlanmış cihaza yerleştirilir ve 80 dakika boyunca şişelere 4000±200 mL/dak olacak şekilde hava verilerek numuneler yaşlandırılır. Bağlayıcıların kütle kaybı, ilk kütle ile son kütle arasındaki farkın ilk kütleyle bölünmesi ile elde edilmektedir [2, 9, 23].

3.3. Asfalt Bağlayıcıların İşlenebilirlik Özelliklerinin Belirlenmesi

Asfalt bağlayıcıların yüksek sıcaklıklardaki akışkanlık özelliklerinin tayin edilmesinde kullanılan RV deneyi (Şekil 4c), ASTM D 4402 standardına göre yapılmaktadır. Bağlayıcıların yüksek sıcaklık viskozite değerleri, pompalanma, karıştırma ve sıkıştırma sırasında bağlayıcıların yeterince akışkan olduklarının tespiti amacıyla belirlenmektedir. Bağlayıcıların karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarının tespiti için Asfalt enstitüsü tarafından, 135°C ve 165°C'deki viskozite değerlerinin tespit edilmesi önerilmektedir. Ancak, bağlayıcıların 135°C'deki viskozite değerlerinin 3000 cP'yi aşmaması istenmektedir. RV testi sonucunda bağlayıcıların çizilen viskozite-sıcaklık grafiği (Şekil 5) yardımı ile HMA'nın karıştırma ve sıkıştırma sıcaklık aralıkları da tespit edilmektedir. Karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarının tespit edilmesi için sırasıyla 170±20 ve 280±30 cP viskozite sınırlarına karşılık gelen sıcaklık aralıklarının kullanılması önerilmektedir [23-25].



Şekil 4. RTFOT cihazı (a), RTFOT şişeleri (b) ve RV cihazı (c)



Şekil 5. Asfalt Bağlayıcı İçin Tipik Viskozite Eğrisi [26]

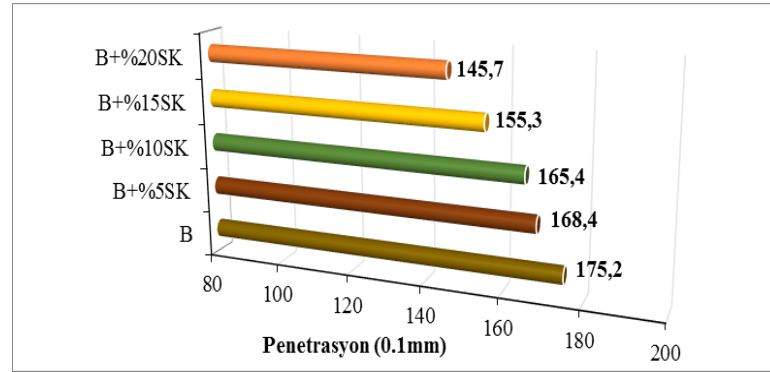
4. Deneysel Bulgular

4.1. Fiziksel Test Sonuçları

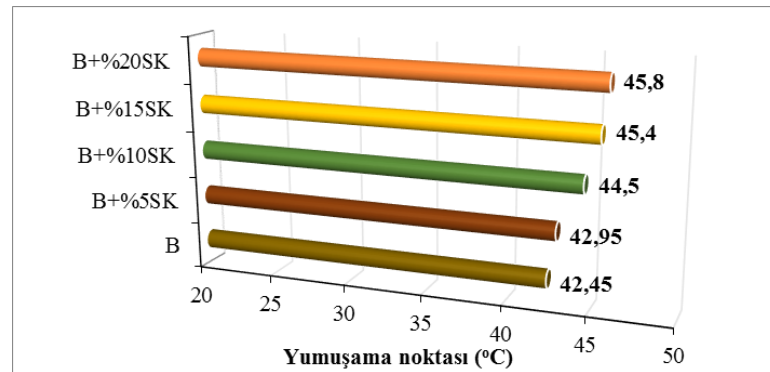
Çalışmada, saf ve SK katkıli asfalt bağlayıcıların fiziksel özellikleri penetrasyon, yumuşama noktası ve duktilite testleri ile, kütle kaybı ise RTFO deneyi ile belirlenmiştir. Ayrıca tüm bağlayıcıların PI değerleri de hesaplanarak elde edilen tüm sonuçlar Çizelge 3’de verilmiştir. Saf ve SK katkıli bağlayıcıların fiziksel özelliklerinin SK içeriklerine göre değişimi ise sırasıyla Şekil 6-8’de verilmiştir.

Çizelge 3. Bağlayıcıların fiziksel test sonuçları

Özellik	Bağlayıcı türleri				
	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	44,5	45,4	45,8
Duktilite (cm)	130	123	121	116	111
PI	0,37	0,39	0,88	0,92	0,79
RTFOT sonrası					
Kütle kaybı (%)	0,08	0,11	0,15	0,17	0,25



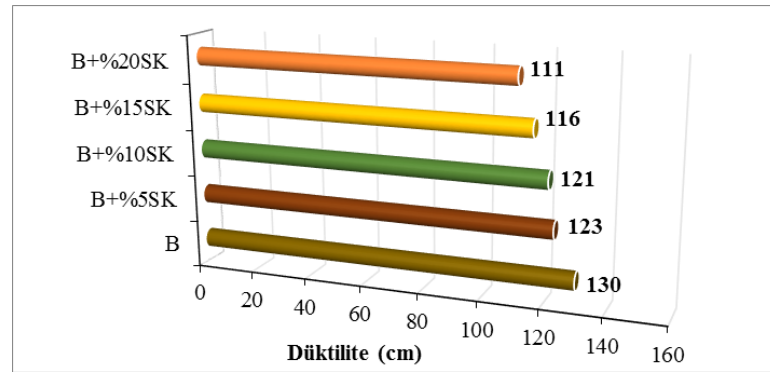
Şekil 6. Bağlayıcıların penetrasyon değişimleri



Şekil 7. Bağlayıcıların yumuşama noktası değişimleri

Şekil 6’da görüldüğü gibi, penetrasyon sınıfı B 160/220 olan saf asfalta SK ilavesiyle (%5, 10, 15 ve 20) penetrasyon değerlerinde düzenli azalmalar meydana gelmiştir. Bu azalmalar saf asfalta kıyasla sırasıyla %3,9; %5,6; %11,4 ve %16,8 oranlarında olmuştur. SK ilavesiyle modifiye bağlayıcıların kıvamında meydana gelen sertleşmenin sonucu olarak, bağlayıcıların yumuşama noktası değerleri (Şekil 7) de saf asfalta kıyasla düzenli artış göstermiştir. Bu artışlar saf asfalta kıyasla sırasıyla %1,2; %4,8; %5,5 ve %7,9 oranlarında meydana gelmiştir. Bağlayıcıların SK katkısıyla penetrasyon

değerlerindeki azalma ile yumuşama noktası değerlerindeki artış [22], SK'nın bağlayıcıların sertliğini attırdığını ve SK katkılı bağlayıcıların daha yüksek sıcaklığa sahip bölgelerde kullanılabileceğini göstermektedir.

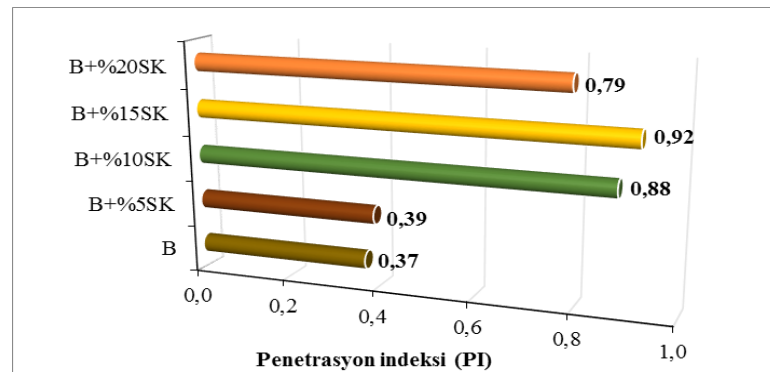


Şekil 8. Bağlayıcıların düktilite değişimleri

Bununla birlikte Şekil 8'de görüldüğü gibi, SK katkı oranı artışıyla asfalt bağlayıcıların düktilite değerlerinde de düzenli azalmalar meydana gelmiştir. Meydana gelen bu azalmalar saf asfalta kıyasla sırasıyla %5,4; %6,9; %10,8 ve %14,6 oranlarında olmuştur. Duktilite değerlerindeki azalma, bağlayıcıların kıvamında bir sertleşme meydana geldiğini ve bunun sonucu olarak bağlayıcıların uzama kabiliyetinin azaldığını göstermektedir. Ancak düktilite standardında (ASTM D113) saf asfalt için belirtilmiş olan en az 100 mm uzama yeteneği SK katkılı bağlayıcılar içinde göz önüne alındığında bu durum olumsuz olarak değerlendirilmemektedir [9].

Fiziksel test sonuçları birlikte göz önüne alındığında, SK katkısı ile bağlayıcıların kıvamında sertleşme meydana geldiği ve bu sertleşme sonucunda penetrasyon sınıfının B 100/150 asfalta dönüştüğü tespit edilmiştir. Bu sebeple, SK katkısı ile elde edilen asfalt bağlayıcıların daha sıcak bölgelerde karşılaşılan ve asfalttan kaynaklanan kalıcı deformasyonlara karşı kullanılabileceği ifade edilebilir.

SK katkı oranına bağlı olarak bağlayıcıların PI değerlerinde meydana gelen değişimler Şekil 9'da verilmiştir.

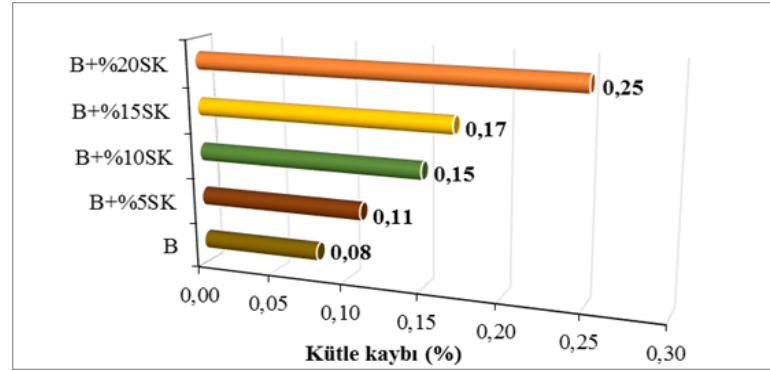


Şekil 9. Bağlayıcıların PI değişimleri

Şekil 9'da görüldüğü gibi, katkı oranı artışıyla asfalt bağlayıcıların PI değerlerinde değişimler meydana gelmiştir. Meydana gelen bu değişimler saf asfalta kıyasla sırasıyla %5; %138; %149 ve %114 oranlarında artış şeklindedir. SK katkısıyla bağlayıcıların PI değerlerinde meydana gelen artış, bağlayıcıların sertleşmesi sebebiyle sıcaklığa karşı hassasiyetlerinin azaldığını ifade etmektedir. Bu durumda, %15SK katkılı bağlayıcıların sıcaklık hassasiyetlerinin en az olması sebebiyle özellikle yüksek sıcaklıklarda oluşan kalıcı deformasyonlara karşı daha dirençli olacağı [9] ifade edilebilir.

4.2. Kütle Kaybı Sonuçları

Saf ve SK katkıli asfalt bağlayıcıların bünyelerinde meydana gelen uçucu madde kaybının tayini RTFOT ile belirlenmiştir. SK katkı oranına bağlı olarak (%5, 10, 15 ve 20), bağlayıcıların bünyelerinde meydana gelen kütle kaybı değişimleri Şekil 10'da verilmiştir.

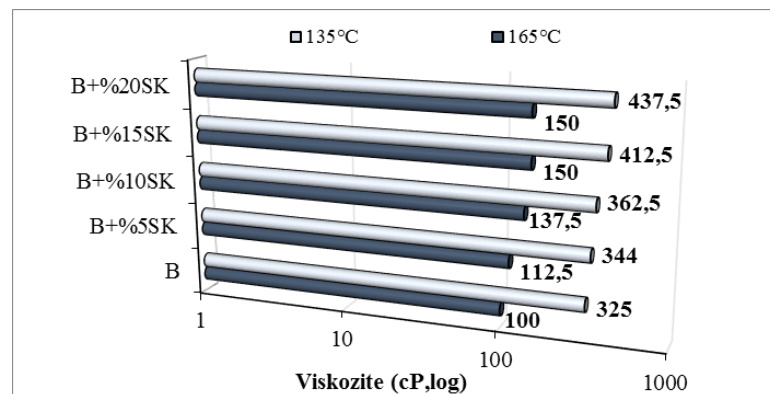


Şekil 10. Bağlayıcıların kütle kaybı değişimleri

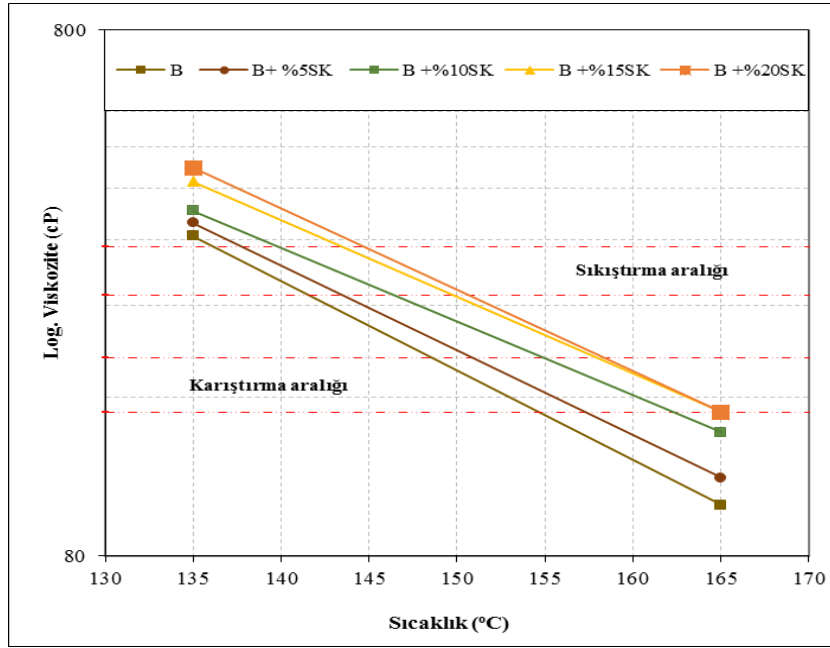
Şekil 10'da görüldüğü gibi, SK katkı artışıyla (%5, 10, 15 ve 20) modifiye asfaltların bünyesinde meydana gelen kütle kayıpları şartnamenin (ASTM D2872) öngördüğü sınırın (maks. 1,0) oldukça altında kalmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, SK katkısının asfalt bağlayıcıların yaşlanması üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olmadığı ve SK katkıli bağlayıcıların yüksek sıcaklıklardaki oksidasyona karşı dirençli olduğu [9] görülmüştür.

4.3. RV Test Sonuçları

Saf ve SK katkıli asfaltların, 135 °C ve 165 °C sıcaklıklardaki viskoziteleri Brookfield DV-III dönel viskozimetre cihazı kullanılarak belirlendi. Asfalt bağlayıcıların işlenebilirlik sıcaklıkları olan plentteki karıştırma ve yoldaki serme sıcaklıkları, belirlenen bu viskozite değerleri yardımıyla oluşturulan sıcaklık-viskozite grafiği yardımı ile tespit edilmiştir. Saf ve SK katkıli bağlayıcıların viskozite değerleri Şekil 11'de, sıcaklık-viskozite grafiği Şekil 12'de verilmiştir. Ayrıca, bağlayıcıların ortalama karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları ise Şekil 13'de verilmiştir.

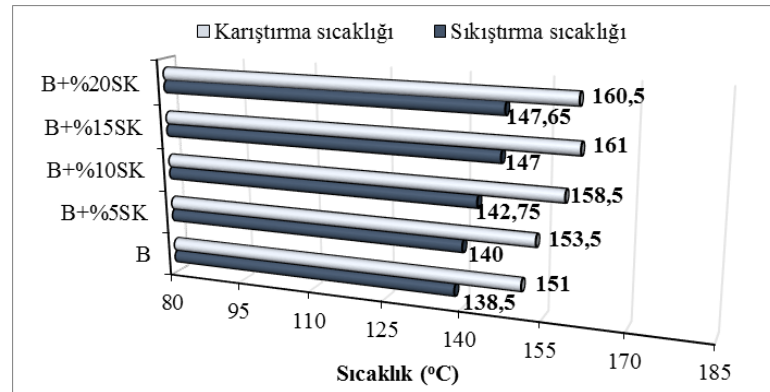


Şekil 11. Bağlayıcıların 135 °C ve 165 °C sıcaklıklardaki viskozite değerleri



Şekil 12. Bağlayıcıların sıcaklık-viskozite ilişkisi

Şekil 11 ve Şekil 12’de görüldüğü gibi, SK katkı oranı artışıyla bağlayıcıların 135 °C ve 165 °C sıcaklıklardaki viskozite değerlerinde önemli oranda değişimler meydana gelmiştir. 135 °C’de meydana gelen değişimler saf asfalta kıyasla sırasıyla %5,8; %11,5; %26,9 ve 34,6 artış, 165 °C sıcaklık için ise sırasıyla %12,5; %37,5; %50 ve %50 artış şeklindedir. Bu artışlar, SK ilavesiyle asfaltın kıvamında sertleşme meydana geldiğini ve bunun sonucu olarak akıcılığının azaldığını [22] göstermektedir.



Şekil 13. Bağlayıcıların ortalama karıştırma-sıkıştırma sıcaklıkları

Asfalt bağlayıcıların ortalama karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarında meydana gelen değişimler ise saf asfalta kıyasla sırasıyla karıştırma için %1,7; %5; %6,6 ve %6,3 artış; sıkıştırma için ise %1,1; %3,1; %6,1 ve %6,6 artış şeklindedir. Katkı oranı değişimiyle (%5, 10, 15 ve 20) meydana gelen bu artışlara göre, %15 ve %20 SK oranlarında ortalama karıştırma ve sıkıştırma sıcaklık artış hızının hemen hemen aynı kaldığı görülmektedir (Şekil 13). Bu durumun, modifiye karışımdaki SK katkısının özgül ağırlığının, asfaltın özgül ağırlığından daha yüksek olması sebebiyle yüksek sıcaklıklarda viskoz hale gelen asfalt içerisinde dibe çökmesinden kaynaklandığı şeklinde yorumlanmaktadır.

Elde edilen bu sonuçlara göre, SK katkısının asfalt bağlayıcıların kıvamında sertleşme meydana getirerek yüksek sıcaklıklardaki işlenebilirlik özelliklerini azalttığı görülmüştür. SK katkısıyla bağlayıcıların ortalama karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarının artış göstermesi, SK katkılı bağlayıcıların plentteki enerji sarfiyatını arttıracaklarını göstermektedir.

Ancak, asfalt modifikasyonunda sıklıkla kullanılan ve etkinliği kanıtlanmış olan SBS gibi polimer katkıların karıştırma sıcaklıklarının 180 °C'ye kadar ulaştığı [9] ve bir atık olan SK'nın çevreye verdiği zarar göz önüne alındığında bu enerji sarfiyatının göz ardı edilebileceğini söylemek mümkündür.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, atık lastiklerden elde edilmiş olan siyah karbon (SK) katkısının asfaltın işlenebilirlik özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Penetrasyon deney sonuçlarına göre, SK katkı oranının artışı ile modifiye bağlayıcıların sertliğinin arttığı ve nispeten daha sert kıvamlı olan penetrasyon sınıfı B 100/150 asfalta dönüştüğü görülmüştür.

2. Yumuşama noktası sonuçlarına göre, elde edilen sonuçların penetrasyon sonuçları ile paralellik gösterdiği ve SK katkısıyla bağlayıcıların sertleşmesi sonucunda yumuşama noktası değerlerinin de artış gösterdiği görülmüştür. Penetrasyon ve yumuşama noktası sonuçları birlikte değerlendirildiğinde, SK katkısıyla bağlayıcıların yüksek sıcaklıklardaki deformasyon direncinin arttığı ve SK katkılı asfaltların nispeten daha sıcak bölgelerde kullanılabilmesi görülmüştür.

3. Düktilite deney sonuçlarına göre, SK katkısı ile bağlayıcıların sertleşmelerine rağmen uzama ve kohezyon yeteneklerinde önemli bir azalma meydana gelmediği görülmüştür. Bu durum, SK'nın asfaltı sertleştirdiği ancak elastik özelliğini geliştirdiği şeklinde yorumlanmaktadır.

4. PI sonuçları değerlendirildiğinde, SK ilavesiyle bağlayıcıların sıcaklık hassasiyetinin azaldığı ve yüksek sıcaklığa karşı en dirençli bağlayıcının %15SK katkılı bağlayıcı olduğu görülmüştür.

5. Kütle kaybı sonuçlarına göre, SK katkısının bağlayıcıların yüksek sıcaklık ve oksidasyon direnci üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğu görülmüştür.

6. RV sonuçlarına göre, SK katkısı ile bağlayıcıların kıvamında sertleşme meydana geldiği ve akıcılıklarının azaldığı, bunun sonucu olarak işlenebilirlik sıcaklıklarının artış göstererek daha fazla enerji tüketimi gerektireceği görülmüştür. Ancak, atık lastiklerin çevreye vermiş olduğu zarar ve yer işgali göz önüne alındığında bu enerji sarfiyatının göz ardı edilebileceği söylenebilir.

Sonuç olarak, SK katkısının asfaltın kıvamını sertleştirdiği ve işlenebilirlik sıcaklıklarını arttırdığı tespit edilmiştir. Ancak, atık lastiklerden elde edilmiş olan SK katkısının karayolu mühendisliğinde bir iyileştirici olarak kullanılmasının, bu atıkların çevreye vermiş olduğu zararı ve yer işgalini büyük oranda azaltacağı ve ülke ekonomisine önemli bir katkı sağlayabileceği değerlendirilmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinasyon Biriminin **İÜ-BAP FYL 2016/99** numaralı projesi ile desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı BAP Koordinasyon Birimine teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] Kasanagh SH, Ahmedzade P, Fainleib AM, Behnood A. Rheological properties of asphalt binders modified with recycled materials: A comparison with Styrene-Butadiene-Styrene (SBS), Construction and Building Materials 2020; 230: 117047.
- [2] Geçkil T, Önal Y, İnce CB. Atık Polietilen Tereftalat (PET) ile Modifiye Edilmiş Saf Bitümün Fiziksel, Morfolojik ve Isıl Özellikleri, Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2020; 32(1), 157-166.

- [3] Li X, Ouyang C, Yuan Y, Gao Q, Zheng K, Yan J. Evaluation of ethylene-acrylic acid copolymer (EAA) modified asphalt: fundamental investigations on mechanical and rheological properties, *Construction and Building Materials* 2015; 90: 44-52.
- [4] Tunç A. *Yol Malzemeleri ve Uygulamaları*, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 2007.
- [5] Yıldırım Y. Polymer modified asphalt binders, *Construction and Building Materials* 2007; 21: 66-72.
- [6] Feng Z, Rao W, Chen C, Tian B, Li X, Li P, Guo. Performance evaluation of bitumen modified with pyrolysis carbon black made from waste tyres, *Construction and Building Materials* 2016; 111: 495-501.
- [7] Ahmedzade P, Fainleib A, Günay T, Grygoryeva O. Modification of bitumen by electron beam irradiated recycled low density polyethylene, *Construction and Building Materials* 2014; 69: 1-9.
- [8] Akyıldız H, Efe H, Önen F. Baraj Yapımında Atık Malzemelerin Kullanımı: Kadıköy Göleti Örneği, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi* 2020; 11(1): 439-445.
- [9] Geçkil T, İnce CB, İssi S. Pirina modifiyeli bitümlerin yüksek sıcaklıklardaki işlenebilirliği ve kalıcı deformasyon direnci, *Politeknik dergisi* 2021.
- [10] Anonim. Era Çevre Teknolojileri A.Ş. <https://eracevre.com/faaliyet/yenilenebilir-enerji-uretimi> (Erişim tarihi: 01.10.2021).
- [11] Eryılmaz H, Demirarslan KO. Ömrünü tamamlamış lastiklerin (ÖTL) sıvılaştırılarak geri dönüşümünün araştırılması, *Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi* 2019; 2(1): 50-56.
- [12] Demir APT, <http://www.plastik-ambalaj.com/tr/plastik-ambalaj-makale/2452-arac-lastiklerinin-geri-doenuesuemue-uezerine-bir-derleme> (Erişim tarihi: 01.10.2021).
- [13] Adhikari B, De D, Maiti S. Reclamation and recycling of waste rubber, *Progress in Polymer Science* 2000; 25: 909-948.
- [14] Zhang SL, Xin ZX, Zhang ZX, Kim JK. Characterization of the properties of thermoplastic elastomers containing waste rubber tire powder, *Waste Management* 2009; 29: 1480-1485.
- [15] Wu B, Zhou MH, Recycling of waste tyre rubber into oil absorbent, *Waste Management* 2009; 29: 355-359.
- [16] Cong P, Xu P, Chen S. Effects of carbon black on the anti aging, rheological and conductive properties of SBS/asphalt/carbon black composites, *Construction and Building Materials* 2014; 52, 15: 306-313.
- [17] Alataş T, Yılmaz M, Kök BV, Çeloğlu ME, Akpolat M, Yamaç ÖE, Yalçın E. Öğütülmüş araç lastiğinin ve Piroiliz İşleminde Sonra Oluşan Karbon Siyahının Bitümlü Bağlayıcıların Reolojik Özellikleri Üzerindeki Etkisi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi* 2018; 23(1): 311-328.
- [18] Yao Z, Monismith CL. Behavior of Asphalt Mixtures With Carbon Black Reinforcement, *Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists* 1987; 32.
- [19] Button JW, Little JL, Kim Y, Ahmed J. Mechanistic Evaluation of Selected Asphalt Additives, *Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists* 1987; 56.
- [20] Terrel RL, Rimstrington S. Evaluation of Wood Lignin as a Substitute or Extender for Asphalt, Report FHWA/RD-80/125 1980; FHA, Washington DC.
- [21] Ahmedzade P, Alataş T, Geçkil T. Asfalt Betonunda Siyah Karbonun Filler Olarak Kullanımı, *İMO Teknik Dergi* 2008; 297: 4493-4507.
- [22] Notani MA, Arabzadeh A, Satvati S, Tabesh MT, Hashjin NG, Estakhri S, Alizadeh M. Investigating the high-temperature performance and activation energy of carbon black-modified asphalt binder, *SN Applied Sciences* 2020; 2: 303.
- [23] Geçkil T, Seloğlu M. Performance properties of asphalt modified with reactive terpolymer, *Construction and Building Materials* 2018; 173: 262-271.
- [24] McGennis RB, Shuler S, Bahia HU. Background of Superpave Asphalt Binder Test Methods, Publication FHWA-SA-94-069, Federal Highway Administration 1994, USA.
- [25] Zaniewski JP, Pumphrey ME. Evaluation of Performance Graded Asphalt Binder Equipment and Testing Protocol, Asphalt Technology Program 2004, West Virginia, USA.

- [26] Alataş T, Kizirgil ME. Saf ve polimer modifiyeli bitümlü bağlayıcıların karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarının dönel viskozimetre deneyi ile belirlenmesi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2012; 28(3): 249-256.