

Taş Mastik Asfalt Karışımlarında Tekstil Atığı Kullanımının Araştırılması

Jülide ÖNER^{1*}, Ferhat ÖZDAŞ²

¹Uşak Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Ulaştırma Anabilim Dalı, Uşak

²Uşak Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Bölümü Ulaştırma Anabilim Dalı, Uşak

¹<https://orcid.org/0000-0003-3229-152X>

²<https://orcid.org/0000-0003-2407-6678>

*Sorumlu yazar: julide.oner@usak.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 30.11.2021

Kabul tarihi: 06.02.2022

Online Yayınlanma: 18.07.2022

Anahtar Kelimeler:

Taş mastik asfalt

Selüloz elyaf

Tekstil atığı

Kum yama testi

ÖZ

Taş mastik asfaltın agregalar arası boşluk oranının fazla olması nedeniyle yüksek oranda bağlayıcı gerektirmesi, bitümün agregalardan süzülmesine neden olmaktadır. Süzülmeleri engellemek için kullanılan geleneksel elyafın (mineral, selüloz) pahalı olmasından dolayı kaplama maliyetleri artmaktadır. Bu çalışmada selüloz elyaf yerine tekstil fabrikalarında atık olarak nitelendirilen tekstil atığının kullanımı araştırılmıştır. Çalışma kapsamında farklı oranlarda tekstil atığı ve selüloz elyaf ilavesiyle hazırlanmış numuneler üzerinde Marshall deneyi, Schellenberg bitüm süzülme deneyi ve Kum Yama deneyi yapılmıştır. Test sonuçları bir arada değerlendirildiğinde, tekstil atığı selüloz elyafa kıyasla Marshall stabilitesine katkı sağlamış ve daha az süzülerek yüksek performans gösterdiği tespit edilmiştir. Kullanılan agrega gradasyonunun yüzey dokusunun derinlik koşulunu sağladığı Kum Yama deneyi ile belirlenmiştir. Çalışmanın sonuçları, hem atıkların bertaraf edilmesi hem de kaplama maliyetinin azaltılması açısından geleneksel elyaf yerine tekstil atıklarının kullanılabilceğini göstermektedir.

Evaluation of Textile Waste Addition in Stone Mastic Asphalt

Research Article

Article History:

Received: 30.11.2021

Accepted: 06.02.2022

Published online: 18.07.2022

Keywords:

Stone mastic asphalt

Cellulose fiber

Textile waste

Sand patch test

ABSTRACT

Stone mastic asphalt requires a high amount of binder due to the high inter-aggregate void ratio, which causes the bitumen to drain from the aggregates. Pavement costs increase due to the expensiveness of conventional fiber (mineral, cellulose) used to prevent draining. In this study, the use of textile waste, which is considered as waste in textile factories, instead of cellulose fiber was investigated. Within the scope of the study, Marshall test, Schellenberg bitumen draining test and Sand Patch test were performed on the samples prepared with the addition of textile waste and cellulose fiber at different rates. When the test results are evaluated together, it has been determined that textile waste contributed to Marshall stability compared to cellulose fiber and showed higher performance with less draining. It was determined by the Sand Patch test that the used aggregate gradation provided the depth condition of the surface texture. The results of the study show that textile wastes can be used instead of traditional fiber in terms of both waste disposal and reduction of coating cost.

To Cite: Öner J., Özdaş F. Taş Mastik Asfalt Karışımlarında Tekstil Atığı Kullanımının Araştırılması. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(2): 522-533.

1. Giriş

Günümüzde, yolcu ve yük taşımacılığında ülkeler karayoluna bağımlı hale gelmiştir. Trafik hacminin artmasıyla yeni yol ağlarına ihtiyaç duyulmuştur. Büyük yatırım harcamaları gerektiren yol ağlarının tasarımı bu yüzden önemlidir. İyi bir kaplama tasarımında; yeterince uzun ömürlü, dayanıklı, kalıcı deformasyonlara karşı dirençli, ekonomik ve çevre dostu olmalıdır (Çalışıcı ve Döndü, 2019).

Esnek kaplama tasarımlarında; açık granülometreli, yoğun granülometreli, üniform granülometreli ve kesikli granülometreli karışımlar olmak üzere dört farklı asfalt betonu granülometresi kullanılmaktadır. Açık granülometreli asfalt karışımlarda, ince agregası oranı az ve hava boşluğu yüzdesi fazla olan poroz asfalttır. Yoğun granülometreli asfaltlarda agregası bileşenleri süreklilik sağlayarak minimum hava boşluğu yüzdesini veren ve en sık kullanılan asfalt tasarımıdır. Üniform granülometreli karışımlarda, parçacıkların çoğunu çok dar bir boyut aralığını içeren bir derecelendirmeyi ifade eder. Özünde, tüm parçacıklar aynı boyuttadır. Kesikli granülometreye sahip asfalt karışımında ise belirli elek aralığında agregası oranı fazla ve pürüzlü yüzeye sahip olan Taş Mastik Asfalt (TMA) kaplamalarıdır (Şanlıer, 2018).

Taş Mastik Asfalt (TMA) 1960'larda çivili lastiklerin neden olduğu deformasyonları engelleyerek geleneksel asfalt tasarımlarına (yoğun granülometreli asfaltlar) göre daha dayanıklı bir asfalt kaplaması elde etmek için ilk kez Almanya'da geliştirilmiştir (Şanlıer, 2018). Taşın taşa temasıyla daha büyük tipte agregası dağılımına sahip asfalt karışımı olması ve boşluk yapısını dolduran yüksek bağlayıcı içeriğiyle asfaltın dayanıklılığını arttırmaktadır (Köfteci, 2018). İlk ve nihai maliyetler birlikte düşünüldüğünde geleneksel asfalt tasarımlarına göre inşaat maliyeti %20-25 fazla olmasına rağmen TMA'nın uzun hizmet ömrü boyunca önemli avantajları vardır (Aslan, 2015; Razahi ve Chopra, 2020). Hizmet ömrünün uzaması, sürekli deformasyonlara ve aşınmaya karşı yüksek direnç göstermesi, neme karşı dayanıklılığı, daha yavaş yaşlanması, gürültü seviyesinin düşük olması Taş Mastik Asfalt kullanımının sağlayacağı başlıca avantajlardandır (Aslan, 2015; Salas ve Perez-Acebo, 2018; Razahi ve Chopra, 2020). Bu üstün özelliklerinden dolayı kavşaklarda, otobüs duraklarında, otoparklarda, eğimli arazilerde, köprülerde, limanlarda ve ağır trafik yüklerinin geçtiği güzergâhlarda tercih edilmektedir (Rajesh ve ark., 2017).

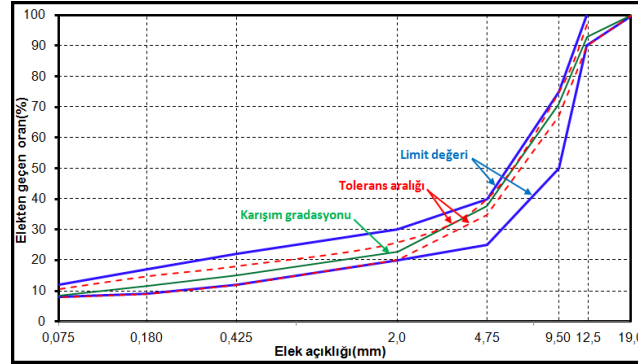
TMA kaplama tasarımının içeriğinde agregası ağırlığının %70-80'i iri agregası, %8-12 filler, %5-7 bağlayıcı ve yaklaşık %0,3-0,5 fiber kullanılmaktadır (Xavier, 2018; Udayabhanu, 2020). Yüksek bağlayıcı içeriği ve boşluklu yapısından dolayı asfaltın üretim, nakliye, serme esnasında bitüm agregalardan süzülmemektedir. Bitümün agregalardan süzülmesi ise istenmeyen bir durumdur (Kabadayı, 2019). Süzülmeyi engellemek için selüloz elyaf, mineral elyaf veya polimerler kullanılmaktadır. Genellikle selüloz veya mineral esaslı elyaf süzülmeyi azaltmak için tercih edilmektedir. TMA'da yaygın olarak kullanılan geleneksel elyaf pahalı olması nedeniyle kaplama maliyetlerini arttırmaktadırlar.

Bu çalışmanın amacı Taş Mastik Asfalt kaplamalarında bitümün süzülme problemini engellemek için kullanılan geleneksel elyafın yerine tekstil atıklarının kullanılabilirliğini araştırmaktır. Tekstil atıkları

ile kontrol numunesi olarak seçilen geleneksel elyaf hazırlanan asfalt numunelerine Marshall stabilite deneyi uygulanmıştır. Araştırma kapsamında, tasarımın dizayn parametreleri Marshall testine göre hesaplanarak numunelerin optimum bitüm oranları ve mekanik performansları test edilmiştir. Taş Mastik Asfalt numunelerine Schellenberg bitüm süzülme deneyi yapılarak drenaj özellikleri karşılaştırılmıştır. Son olarak numunelere Kum Yama deneyi uygulanarak doku derinlikleri tespit edilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Çalışma kapsamında; Karayolu Teknik Şartnamesi'nin TMA bölümü kriterlerine uygun malzemeler seçilmiştir (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2013). Agregalar sağlam, dayanıklı, temiz daneleri içeren kırmataştan oluşmaktadır. No.4 (4,75mm) eleği üzerinde kalan kaba agrega bileşeninde bazalt kullanılmıştır. Bazaltı kırması zor ve ince agrega üretimi az olmasından dolayı ince agrega (No.4 elekten geçen) bileşeninde kalker kullanılmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan kalker tipi doğal agregalar Uşak Oktaş taş ocağından ve bazalt tipi doğal agregalar Uşak Gedikler taş ocağından temin edilmiştir. TMA karışım gradasyon eğrisi dizayn sınırları içinde Şekil 1'de gösterilirken gradasyonu oluşturan agregaların bileşeni ise Şekil 2'de sunulmaktadır.



Şekil 1. TMA Tip-1A aşınma tabakası karışım gradasyonu eğrisi



Şekil 2. Agregaların bileşenleri

Bu çalışmada bitüm olarak TS EN 12591 standardına uygun 50/70 penetrasyonlu modifiye edilmemiş saf bitüm kullanılmıştır. Modifiye edilmemiş bitüm kullanılmasının sebebi bitüm süzülme testlerinde polimerlerin etkisini ortadan kaldırarak elyafın etkisini daha iyi gözlemlemektir.

Bitümün drenaj problemini önlemek için selüloz veya mineral elyaf kullanılmaktadır. Bu çalışmada tekstil nihai atıkları geleneksel selüloz elyafın yerine kullanılarak deney sonuçları kıyaslanmıştır. Karayolu Teknik Şartnamesi'ne göre tekstil nihai atığının mekanik özellikleri Tablo 1'de gösterilmektedir. TMA karışımında kullanılan geleneksel selüloz elyafın görüntüsü Şekil 3'de, tekstil nihai atığının görüntüsü Şekil 4'de verilmiştir. Gevşek halde bulunan Şekil 4'deki tekstil nihai atıkları agrega karışımına eklenmeden önce homojen bir şekilde dağılması amacıyla elekten (1,70mm) geçirilmiştir.

Literatür araştırmalarında optimum selüloz elyaf içeriği genellikle karışım ağırlığının %0,3 oranında kullanılmaktadır (Arshad ve ark., 2016; Kiran ve Ravitheja, 2019; Çınar ve ark. 2020; Razahi ve Chopra, 2020). Karayolu Teknik Şartnamesi TMA aşınma tabakası için karışım ağırlığının %0,3-%1,0 oranında veya imalatçı firmanın önerdiği oranlarda elyaf karışıma ilave edilmektedir (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2013). Bu çalışmada öncelikle tekstil atığı ve selüloz elyaf %0,3 oranında TMA karışımında kullanıldıktan sonra tekstil atığı %0,1 ve selüloz elyaf %0,2 oranında kullanılarak bitümün süzülme durumları değerlendirilmiştir.

Tablo 1. Tekstil nihai atığı özellikleri

Özellik	Şartname limitleri	Sonuçlar
Kül muhtevası	%18 ± %5	14
PH	7,5 ± %1	6,9
Yağ absorpsiyonu	Elyaf ağırlığının 5 ± 1 katı	6,0
Nem absorpsiyonu	Ağırlıkça % 5	5



Şekil 3. Selüloz elyaf



Şekil 4. Tekstil atığı

Çalışmada, Marshall numunelerinin üretimi TMA dizayn kriterlerine göre yapılmıştır (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2013; TS EN 12697-34, 2012; TS EN 13108-5, 2016). Bitümlü bağlayıcı ve mineral agrega en az 165 °C'lik, en fazla 180 °C'lik karışım sıcaklığı elde edilecek bir sıcaklıkta karıştırılmaktadır. Tekstil atığı (%0,3-%0,1) ve selüloz elyaf (%0,3-%0,2), 1100 g agrega karışımına ayrı ayrı ilave edilmiştir. Agrega karışımına farklı oranlarda (%5,5-6,0-6,5-7,0) bitüm eklenerek TMA numuneleri üretilmiş numunelerin her iki yüzeyi 50 Marshall darbesiyle sıkıştırılmıştır.

Oda sıcaklığında Marshall briketinden çıkartılan TMA numunelerinin her birine havadaki ağırlığı, sudaki ağırlığı ve doygun yüzey ağırlıkları ölçülerek hacim özgül ağırlıkları (D_p) tespit edilmiştir. Maksimum teorik özgül ağırlıkları (D_t), hava boşluk oranı (V_h), agregalar arası boşluk oranı (VMA) ve asfalt dolu boşluk (VFA) oranı teorik olarak hesaplanmış ve TMA numunelerin optimum bitüm oranı grafiklerden elde edilmiştir. Marshall stabilite testi yapılarak akma ve stabilite sonuçları değerlendirilmiştir.

Taş Mastik Asfalt karışımlarında bitümün süzülme miktarını ölçmek için Schellenberg deneyi yapılmaktadır. Selüloz elyafta yaygın olarak kullanılan Schellenberg bitüm süzülme deneyi TS EN 12697-18 standardına uygun hazırlanmıştır (TS EN 12697-18, 2018). $130 \pm 5^\circ\text{C}$ tolerans sıcaklığına getirilen TMA karışımlarından 1000 g alınarak önceden 110°C 'lik etüvde 15 dk ısıtılmış cam behere gevşek halde konulmuştur. 0,1 g hassasiyetle cam beher karışımı tartılarak üzeri kapatılmıştır.

TMA karışımları 175°C 'de etüvde 1 saat bekletilmiştir. Süre sonunda etüvden çıkartılan asfalt karışımı, beheri sarsmadan boşaltılarak 0,1 g hassas terazide ölçülmüştür. Beherin içinde kalan süzölmüş bitüm, karışım ağırlığına oranlanarak süzülme yüzdesi elde edilmiştir. Şartnameye göre Schellenberg bitüm süzülme yüzdesi maksimum %0,3'tür (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2013).

Bu çalışmada öncelikle optimum bitüm oranlarında ve aynı stabilizör oranlarında (%0,3 tekstil atığı, %0,3 selüloz elyaf) karışımlarının süzülme miktarları elde edilmiştir. Daha sonra farklı bitüm oranlarında (%5,5-6,0-6,5-7,0) ve farklı stabilizör oranlarında (%0,1 tekstil atığı, %0,2 selüloz elyaf) içeriğine sahip TMA karışımlarının süzülme davranışları kıyaslanarak optimum bitüm oranına karşılık

gelen süzülme miktarları grafik üzerinden elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, analiz sonuçları bölümünde özetlenmiştir.

TMA karışımlarında, yüzey dokusunun pürüzlülüğü Kum Yama testi yapılarak doku derinliğinin ölçülmesiyle tespit edilmektedir. Bu araştırmada Kum Yama deneyi ASTM E 965 deney standardı referans alınarak test edilmiştir.

Kum yama testi için öncelikle her bir TMA briketinin ortalama çapı (bu çap aynı zamanda, dökülecek kumun ortalama çapını temsil etmektedir) elektronik kumpas yardımıyla ölçülerek kaydedilmiştir. 100 g ağırlığında bir miktar kum (özgül ağırlığı 1,50 g/cm³) alınmış ve tepsi içine yerleştirilen TMA briketinin üzerine dökülmüştür. Dökülen kum bir düzeç yardımıyla briketin yüzey boşluklarını dolduracak şekilde yaydırılmıştır.

Briketlerin yüzey boşluklarını dolduran kumun ağırlığı kayıt altına alınarak her bir numune için dökülen kumun hacmi hesaplanmış ve ortalama doku derinliği aşağıdaki denklem yardımıyla ayrı ayrı tespit edilmiştir. Burada; H: Ortalama doku derinliğini (mm), V: Kumun hacmini (mm³) ve D: Ortalama kumun çapını (mm) ifade etmektedir.

$$H= 40*V/ \pi*D^2$$

Briketlerin yüzey boşluklarını dolduran kumun ağırlığı kayıt altına alınarak her bir numune için dökülen kumun hacmi hesaplanmış ve ortalama doku derinliği yukarıda ki denklem yardımıyla ayrı ayrı tespit edilmiştir. Burada; H: Ortalama doku derinliğini (mm), V: Kumun hacmini (mm³) ve D: Ortalama kumun çapını (mm) ifade etmektedir.

Çalışma kapsamında kullanılan TMA Tip-1A aşınma tabakası için ortalama doku derinliği 1,0 mm'den fazla olmalıdır (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2013). Şekil 5'te Kum Yama deneyinin görüntülerine yer verilmiştir.



Şekil 5. Kum Yama deneyine ait görüntüler

Bu çalışmada; %0,3 selüloz elyaf, %0,3 tekstil atığı, %0,2 selüloz elyaf ve %0,1 tekstil atığıyla hazırlanmış TMA briketleri üzerinde Kum Yama deneyi yapılmış ve ortalama doku derinlikleri ayrı ayrı hesaplanmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

TMA karışımlarında optimum bitüm içeriğini belirlemek amacıyla genellikle hava boşluk oranı (Vh) kullanılmaktadır. Her bir TMA karışımının hava boşluk oranı (Vh) grafikten %3,5 seçildiğinde optimum bitüm oranları ayrı ayrı elde edilerek %3,5 hava boşluğuna karşılık gelen agregalar arası boşluk oranı (VMA) şartname limitini sağlamıştır. Karayolu Teknik Şartnamesi TMA aşınma tabakası için hava boşluk oranı %2-4 (sıcak iklim bölgelerinde %3-4), Tip-1A agrega karışımlarının agregalar arası boşluk (VMA) oranı minimum %16, bitümlü bağlayıcı oranı ise minimum %5,8 olmaktadır (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2013). %0,3 selüloz elyaf, %0,3 tekstil atığı, %0,2 selüloz elyaf ve %0,1 tekstil atığı içeren TMA karışımları üzerinde Marshall deney gerçekleştirilmiş ve optimum bitüm oranında hazırlanan her bir TMA Marshall numunesinin; havadaki ağırlığı, sudaki ağırlığı, doymun yüzey ağırlıkları, hacim özgül ağırlıkları (Dp), Maksimum teorik özgül ağırlıkları (Dt) ,hava boşluk oranı (Vh), agregalar arası boşluk oranı (VMA), asfalt dolu boşluk oranı (VFA), akma ve stabilite sonuçları Tablo 2’de özetlenmektedir (Oner ve Ozdas, 2021).

%0,3 selüloz elyaf, %0,3 tekstil atığı, %0,2 selüloz elyaf ve %0,1 tekstil atığı içeren TMA karışımlarının optimum bitüm oranı sırasıyla %6,70; %6,50; %6,60; %6,40 olduğu grafiklerden tespit edilmiştir. Optimum bitüm oranında Marshall sonuçları değerlendirildiğinde; aynı cins TMA karışımlarında stabilizatör kullanım oranının artması optimum bitüm oranını artırırken hacim özgül ağırlıkları (Dp) azalma eğiliminde olmuştur. Tekstil atığıyla hazırlanan karışımların optimum bitüm oranı selüloz elyaf karışımlarından daha az olduğu grafiklerden tespit edilmiştir. TMA karışımlarının teorik özgül ağırlığı (Dt) bitüm miktarıyla ters orantılı değişirken agregalar arası boşluk (VMA) ve asfalt dolu boşluk (VFA) bitüm miktarıyla doğru orantılı değişmiştir.

Marshall stabilite testinden elde edilen akma miktarı stabilite sonuçlarına paralel bir değişim göstermiştir. En yüksek stabilite değerini %0,3 tekstil atığı içeriğine sahip TMA karışımı verirken en düşük stabiliteyi %0,2 selüloz elyaf karışımı vermiştir. Tekstil atığıyla hazırlanan TMA karışımları Marshall stabilitesine katkı sağlamıştır. Ayrıca bu araştırmada kullanılan TMA Tip-1A agrega gradasyonu karışımında bitümün agregalardan yüksek miktarda süzülme problemi olmasından dolayı elyaf katkısız (%0,0 elyaf) TMA numunesi hazırlanamadığı için Marshall testi yapılamamıştır.

Karayolu Teknik Şartnamesi dizayn kriterlerine göre Schellenberg bitüm süzülme deneyi TS EN 12697-18 standardına uygun yapılmaktadır (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2013; TS EN 12697-18, 2018). Standarda göre hazırlanan TMA karışımlarının süzülme miktarı maksimum %0,3 olmaktadır (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2013). %0,3 selüloz elyaf, %0,3 tekstil atığı, %0,2 selüloz elyaf ve %0,1 tekstil atığı içeren TMA karışımlarının optimum bitüm oranlarında süzülme miktarları Tablo 3’te özetlenmiştir.

Tablo 2. Marshall grafiklerinden elde edilen sonuçlar (Oner ve Ozdas, 2021)

Karışımlar	Selüloz elyaf	Tekstil atığı	Selüloz elyaf	Tekstil atığı	Şartname limitleri	Deney Standardı
Stabilizör oranı (%)	0,3	0,3	0,2	0,1	0,3 – 1,0	-
Optimum bitüm oranı (%)	6,70	6,50	6,60	6,40	>5,80	TS EN 12697-1
Dp (g/cm ³)	2,271	2,277	2,274	2,281	-	-
Dt (g/cm ³)	2,352	2,358	2,355	2,361	-	-
Vh (%)	3,50	3,50	3,50	3,50	2 - 4	TS EN 12697-8
VMA (%)	16,84	16,48	16,66	16,24	>16,00	TS EN 12697-8
VFA (%)	79,0	78,2	78,5	77,9	-	-
Akma (mm)	4,42	4,48	4,28	4,31	-	-
Stabilite (kg)	814	838	798	812	-	-

Tablo 3. Schellenberg süzülme testi sonuçlarının özeti (Oner ve Ozdas, 2021)

Stabilizör oranı (%)	Optimum bitüm oranı (%)	Süzülme oranı (%)	Şartname limiti (%)	Deney standardı
0,3 selüloz elyaf	6,70	0,25	<0,30	TS EN 12697-18
0,3 tekstil atığı	6,50	0,03	<0,30	
0,2 selüloz elyaf	6,60	0,27	<0,30	
0,1 tekstil atığı	6,40	0,07	<0,30	

TMA tasarımlarında stabilizör kullanım oranının artırılması optimum bitüm oranını arttırdığından dolayı maliyetlerinin artmasına neden olmaktadır. TMA karışımları üzerine yapılan araştırmalarda optimum selüloz elyaf miktarı genel olarak %0,3 oranında kullanıldığı için bu çalışmada başlangıçtaki tekstil atığından ve referans numune olarak seçilen geleneksel selülozik elyaftan %0,3 oranında kullanılmıştır. %0,3 tekstil atığı ve %0,3 selüloz elyafın optimum bitüm oranında süzülme miktarları sırasıyla %0,03 ve %0,25 bulunmuştur. Bu durumda tekstil atığı karışımı süzülmelelere karşı emici gücünün gösterdiği yüksek dirençle az miktarda süzüldüğünden dolayı %0,1 oranında tekstil atığı alınırken selüloz elyaf karışımı %0,2 oranında alınıp tekrar Schellenberg süzülme testi yapılmıştır. %0,1 tekstil atığı ve %0,2 selüloz elyafın optimum bitüm oranına karşılık gelen süzülme miktarları sırasıyla %0,07 ve %0,27 bulunmuştur. Tablo 3'te görüldüğü üzere aynı cins karışımlar için stabilizör kullanım oranı azaltıldığında selüloz elyafın optimum bitüm oranı %6,70'ten %6,60'a düşerken tekstil atığının optimum bitüm oranı %6,60'tan %6,40'a düştüğünü Marshall deney sonuçları göstermiştir.

Bu TMA karışımları içinde geleneksel selüloz elyafın %0,2 oranında kullanılması ve tekstil atığından %0,1 oranında kullanılması karışımların optimum bitüm oranını azaltarak maliyetlerinin düşmesine katkı sağlayacağı için bu oranların optimum stabilizör miktarı olarak TMA karışımlarında kullanılması uygun görülebilmektedir.

Sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde, TMA tasarımlarında bitümün drenajını engellemek için kullanılan geleneksel selüloz elyaf yerine tekstil atıkları kullanıldığında hem asfalt kaplama maliyetlerinin düşmesine hem de çevre kirliliğinin azalmasına katkı sağlayacaktır (Oner ve Ozdas, 2021).

TMA Tip-1A aşınma tabakasını temsil eden; %0,3 selüloz elyaf, %0,3 tekstil atığı, %0,2 selüloz elyaf ve %0,1 tekstil atığı numuneleri ASTM E 965 deney standardı referans alınarak Kum Yama (Sand Patch) deneyi yapılmış ve ortalama doku derinliği sonuçları Tablo 4'te detaylı olarak verilmiştir.

Tablo 4. Kum Yama deney sonuçları

Numune adı		%0,3	%0,3	%0,2	%0,1
		selüloz elyaf	tekstil atığı	selüloz elyaf	tekstil atığı
Kumun özgül ağırlığı (g/cm ³)	C	1,5	1,5	1,5	1,5
Numune çapı (cm)	D	10,14	10,18	10,16	10,21
Numune yüzey alanı (cm ²)	$S=\pi \times D^2/4$	80,75	81,39	81,07	81,87
Deneyden önce kum ağırlığı (g)	A	100	100	100	100
Deneyden sonra kum ağırlığı (g)	B	85,5	84,1	84,7	83,3
Numune yüzeyinde kalan kumun ağırlığı (g)	A-B	14,5	15,9	15,3	16,7
Numune yüzeyinde kalan kumun hacmi (cm ³)	$V=(A-B)/C$	9,67	10,6	10,2	11,13
Ortalama doku derinliği (mm)	$H=V/S \times 10$	1,20	1,30	1,26	1,36
ASTM E 965 deney standardı, doku derinliği limiti (mm)		1,00 < H	1,00 < H	1,00 < H	1,00 < H

Kum Yama deneyinin sonuçlarına bakıldığında: %0,3 selüloz elyafın 1,20 mm, %0,3 tekstil atığının 1,30 mm, % 0,2 selüloz elyafın 1.26 mm ve % 0,1 tekstil atığının 1,36 mm ortalama doku derinliği elde edilmiş ve her bir TMA numunesi minimum şartname limitini sağlamıştır. KTŞ' ye göre ortalama doku derinliği, TMA Tip-1A aşınma tabakası için minimum 1,0 mm'den fazla olması gerekmektedir (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2013).

Sonuç olarak; TMA tasarımlarının gradasyon yapısından dolayı sahip olması gereken yüzey dokusu pürüzlülük şartının, bu araştırma kapsamında kullanılan TMA Tip-1A aşınma tabakasını temsil eden (%0,3 selüloz elyaf, %0,3 tekstil atığı, %0,2 selüloz elyaf, %0,1 tekstil atığı) numunelerin her biri yüzey dokusu pürüzlülük şartını sağlayarak TMA tasarımlarında kullanılabileceğini Kum Yama (Sand Patch) deneyiyle göstermiştir.

Selüloz elyaf yerine tekstil atığının sağlayacağı ekonomik faydayı 1 km'lik bir TMA kaplaması için hesaplama yapacak olursak bu araştırmanın ekonomik anlamda kazanımı daha iyi anlaşılabilir. Örneğin; 10 m platform genişliği, 5 cm kaplama kalınlığı ve 1 km yol kesimi için toplamda 500 m³ TMA ve karışımın özgül ağırlığı 2,5 t/m³ alındığında 1250 ton TMA üretimi yapılmaktadır. TMA karışım ağırlığının %0,3 oranında elyaf kullanıldığında; 3750 kg elyaf tüketilmektedir. Selüloz elyaf piyasa kurları ve markasına göre fiyatları değişkenlik göstermekle birlikte ortalama 1 kg selüloz elyaf 3 €-4 € aralığında satın alındığında ortalama 13125 € ek katkı maliyeti çıkmaktadır. Sonuç olarak selüloz elyaf katkısı yerine atık olarak nitelendirilen tekstil atığı kullanımıyla, 1 km TMA üretiminde yaklaşık olarak 13125 € kadar daha az maliyetle yüksek bir fayda sağlanmaktadır.

4. Sonuç

TMA kaplamalarının agregalar arası boşluk oranının fazla olması nedeniyle yüksek oranda bağlayıcı gerektirmesi, bitümün agregalardan süzülmesine neden olmaktadır. Bu süzülmeleri engellemek için kullanılan geleneksel elyaf endüstriyel ürünler olmasından dolayı ekstra kaplama maliyetlerinin artmasına neden olmaktadır. Bu yüzden son yıllarda yapılan bilimsel araştırmalar geleneksel elyafın yerine ikame olabilecek elyaf üzerine yapılmaktadır. Özellikle selüloz elyaf içeriğini barındıran atıklar üzerine yapılan çalışmalar dikkat çekmektedir.

TMA karışımında %0,3 selüloz elyaf içeriği ve %0,3 tekstil atığı içeriği ayrı ayrı kullanıldığında; %3,50 hava boşluğuna karşılık gelen optimum bitüm oranı selüloz elyafın %6,70 ve tekstil atığının %6,50 oranı Marshall deneyi grafiklerinden elde edilmiştir. Schellenberg bitüm süzülme deneyine göre, optimum bitüm oranında karışımlar hazırlandığında %0,3 selüloz elyaf karışımı %0,25 oranında, %0,3 tekstil atığı ise %0,03 oranında süzülmüştür. Tekstil atığının veya selüloz elyafın TMA karışımında kullanılması bitüm drenajını azaltmıştır. Aynı stabilizatör oranında (%0,3) dikkat çeken bir husus, tekstil atığının selüloz elyafa kıyasla drenajı önemli ölçüde azaltmış olmasıdır.

TMA karışımında %0,2 selüloz elyaf içeriği ve %0,1 tekstil atığı içeriği ayrı ayrı kullanıldığında; %3,50 hava boşluğuna karşılık gelen optimum bitüm oranı selüloz elyafın %6,60 ve tekstil atığının %6,40 Marshall deneyi grafiklerinden elde edilmiştir. Schellenberg bitüm süzülme deneyine göre optimum bitüm oranına karşılık gelen %0,2 selüloz elyaf karışımı %0,27 oranında, %0,1 tekstil atığı ise %0,07 oranında süzülmüştür. Karışımdaki tekstil atığı içeriği selüloz elyaf içeriğinden %50 daha az kullanılmasına rağmen tekstil atığı karışımı emici gücünden dolayı daha az süzülerek yüksek performans göstermiştir. Ayrıca TMA tasarımlarında stabilizatör kullanım oranının artması optimum bitüm oranını artırdığından maliyetlerin artmasına sebep olmaktadır. Farklı bitüm oranlarında ve farklı stabilizatör içeriklerinde drenaj davranışlarına bakıldığında optimum stabilizatör oranının, selüloz elyaf için %0,2 ve tekstil atığı için %0,1 oranında kullanılması uygun görülmektedir.

%0,3 selüloz elyaf, %0,3 tekstil atığı, %0,2 selüloz elyaf ve %0,1 tekstil atığı numunelerine Kum Yama (Sand Patch) deneyi yapılmış ve araştırma kapsamında kullanılan TMA Tip-1A aşınma tabakası

gradasyon yapısının yüzey dokusu pürüzlülük şartını sağlayarak TMA tasarımlarında kullanılabileceğini göstermiştir.

Marshall ve drenaj testlerinin sonuçları birlikte değerlendirildiğinde tekstil atıkları ile hazırlanan TMA karışımı, referans numune olarak seçilen geleneksel selüloz elyaf karışımına göre yüksek performans göstermiştir. Sonuç olarak, drenajı azaltmak için TMA kaplamalarda kullanılan pahalı selüloz elyaf yerine tekstil atığının kullanılmasının hem asfalt kaplamaların maliyetinin düşürülmesine hem de atıkların bertaraf edilmesiyle çevre kirliliğinin azaltılmasına katkı sağlayacağı anlaşılmıştır.

Bu araştırmanın amacı; Taş Mastik Asfalt kaplamalarında bitümün süzülme problemini engellemek için kullanılan geleneksel selüloz elyafın yerine tekstil atığı kullanımının araştırılmasıdır. Bu kapsamda; Marshall deneyi ile Schellenberger bitüm süzülme deneyi sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve ayrıca Kum Yama (Sand Patch) deneyi yapılarak gradasyon yapısının yüzey doku derinliği tespit edilmiştir. Tekstil atığı içeren TMA karışımları; bitümün süzülme problemini önemli ölçüde azaltarak TMA kaplamalarında elyafın yerine kullanılma potansiyeli olduğunu ortaya koymuştur. TMA tasarımı için, gelecekteki araştırmalarda TMA'nın özelliklerini tekstil atığıyla doğrulamak amacıyla İndirekt Çekme Mukavemeti deneyi ve Tekerlek İzinde Oturma deneyi yapılması önerilmektedir.

Teşekkür

Polat İplik Tekstil San. Tic. Ltd. Şti. ve Doğusan İnşaat Tic. A.Ş.'ye vermiş oldukları destek ve katkılardan dolayı teşekkür ederiz.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynakça

Arshad AK., Mansor S., Shafie E., Hashim W. Performance of stone mastic asphalt mix using selected fibres. *Jurnal Teknologi* 2016; 78: 99-103.

Aslan Ş. Endüstriyel ve doğal atıkların bitümlü sıcak karışımlarda kullanılabilirliğinin araştırılması. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, 2015.

Çalışıcı M., Döndü E. Magnezyum temelli metalik katkının asfalt bağlayıcının fiziksel özelliklerine etkileri. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2019; 2(1): 79-82.

Çınar E., DüNDAR B., Şahin E. Cam tozu katkılı lifli harçların fiziksel ve mekanik özellikleri. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2020; 3(1): 17-23.

Kadayı E. Üleksitin taş mastik asfalt karışımlarda filler olarak kullanılabilirliğinin araştırılması. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, 2019.

- Karayolları Genel Müdürlüğü. Karayolu teknik şartnamesi. KGM Yayınları 2013; Ankara.
- Kiran Kumar NLN., Ravitheja A. Characteristics of stone matrix asphalt by using natural fibers as additives. *Materials Today: Proceedings* 2019; 19(2): 397-402.
- Köfteci S. Investigation on the usability of pumice as fibre in stone mastic asphalt. *Građevinar* 2018; 70(8): 695-701.
- Oner J., Ozdas F. Investigation of textile waste usage in stone mastic asphalt (SMA) mixtures. *Građevinar* 2021; 73(5): 469-481.
- Rajesh Y., Nadiu PS., Kumar PS. Experimental study – the use of bamboo fiber using SMA methodology in coarse aggregates. *International Journal for Modern Trends in Science and Technology* 2017; 3(10): 72-88.
- Razahi MM., Chopra A. A review of using sisal fiber and coir fiber as additives in stone matrix asphalt. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)* 2020; 7(2): 1692-1697.
- Salas MÁ., Pérez-Acebo H. Introduction of recycled polyurethane foam in mastic asphalt. *Građevinar* 2018; 70(5): 403-412.
- Şanlıer İ. Kuzey Marmara otoyolu projesi kapsamında taş mastik asfalt (TMA) uygulamaları, performanslarının karşılaştırılması ve maliyet analizi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, 2018.
- Türk Standardı. TS EN 12697-18, Bitümlü karışımlar - Deney metotları - Sıcak karışımlı asfalt için - Bölüm 18: Bağlayıcının süzülmesi. Türk Standartlar Enstitüsü 2018; Ankara.
- Türk Standardı. TS EN 12697-34, Bitümlü karışımlar - Test yöntemleri - Bölüm 34: Marshall testi. Türk Standartlar Enstitüsü 2012; Ankara.
- Türk Standardı. TS EN 13108-5, Bitümlü karışımlar - Malzeme özellikleri - Bölüm 5: Taş mastik asfalt. Türk Standartlar Enstitüsü 2016; Ankara.
- Udayabhanu V., Jagannadharao P., Pavan Kumar NVLN. Study on the marshall properties with sunhemp and kenaf as stabilizer additives in stone mastic asphalt. *International Journal for Innovative Engineering and Management Research* 2020; 9(5): 29-34.
- Xavier RM., Martin B., Babu LA., Jose LE., Roy L. A review on fiber modified stone matrix asphalt. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)* 2018; 5(3): 3018-3020.