

ICEANS 2022



**1st International Conference on Engineering and Applied
Natural Sciences**

May 10-13, 2022 : Konya, Turkey

Proceeding Book



1st International Conference on Engineering and Applied Natural Sciences

May 10-13, 2022, Turkey

Typesetting

Assoc. Prof. Dr. Umut ÖZKAYA

Cover Design

Assoc. Prof. Dr. Umut ÖZKAYA

Editors

Assoc. Prof. Dr. Umut ÖZKAYA

ISBN: 978-625-00-9278-1



National Organizing Committee

Prof. Dr. Adnan Sözen, Gazi University

Prof. Dr. Murat Yakar, Mersin University, Turkey

Assoc. Prof. Enes Yiğit, Uludağ University

Assoc. Prof. Halit Öztekin, Sakarya Applied Science University

Assoc. Prof. Harun Kemal Öztürk, Pamukkale University

Assoc. Prof. Merih Palandöken, İzmir Katip Çelebi University

Asst. Prof. Umut Özkaya, Konya Technical University

Dr. Şaban Öztürk, Amasya University

International Organizing Committee

Prof. Dr. Josep Guerrero, Aalborg University

Prof. Dr. Carlos A. Coelho, Universidade Nova de Lisboa

Prof. Dr. Mohammad Ashraf Gondal, King Fahd University

Prof. Dr. Weidong Zhu, University of Maryland

Assoc. Prof. Dr. Abdul Ghaffar, Government College University

Assoc. Prof. Dr. Farid Melgani, University of Trento

Assoc. Prof. Dr. Francesco Cottone, University of Perugia

Assoc. Prof. Dr. Rita Ismailova, Kyrgyz Turkish Manas University

Dr. Amina Othmani, University of Monastir -Tunisia

Dr. Arti Jain, Jaypee Institute of Information Technology

Dr. Mariya Ouaisa, Moulay Ismail University

Dr. R.A. Ilyas, Universiti Teknologi Malaysia



Scientific Committee

Prof. Dr. Abdurazzag Ali Aburas, University of Kwazulu-Natal

Prof. Dr. Adnan Sözen, Gazi University

Prof. Dr. Amit Soni, Manipal University

Prof. Dr. Anis Koubaa, Prince Sultan University

Prof. Dr. Carlos A. Coelho, Universidade Nova de Lisboa

Prof. Dr. Josep Guerrero, Aalborg University

Prof. Dr. Juan Vasquez, Aalborg University

Prof. Dr. Laszlo T. Koczy, Budapest University of Technology and Economics

Prof. Dr. Mohammad Ashraf Gondal, King Fahd University

Prof. Dr. Murat Yakar, Mersin University, Turkey

Prof. Dr. Muhammad Rashid, University of West Florida

Prof. Dr. Saad Mekhilef, Malaya University

Prof. Dr. Salim Ibrir, King Fahd University

Prof. Dr. Subarna Shakya, Tribhuvan University

Prof. Dr. Suzuki Hisashi, Chuo University

Prof. Dr. Usha Mehta, Institute of Technology, Nirma University

Prof. Dr. Vagif Gasimov, Azerbaijan Technical University

Prof. Dr. Weidong Zhu, University of Maryland

Assoc. Prof. Abdul Ghaffar, Government College University

Assoc. Prof. Ali Hakan Işık, Burdur Mehmet Akif Ersoy University

Assoc. Prof. Amita Nandal, Manipal University

Assoc. Prof. Aslan İnan, Yıldız Teknik University

Assoc. Prof. Atif Iqbal, Qatar University
Assoc. Prof. Francesco Cottone, University of Perugia
Assoc. Prof. Farid Melgani, University of Trento
Assoc. Prof. Halit Öztekin, Sakarya Applied Science University
Assoc. Prof. Hamdy Ziedan, Assiut University
Assoc. Prof. Harun Kemal Öztürk, Pamukkale University
Assoc. Prof. Jiri Pela, Brno University of Technology
Assoc. Prof. Merih Palandöken, İzmir Katip Çelebi University
Assoc. Prof. Rita Ismailova, Kyrgyz Turkish Manas University
Assoc. Prof. Sadia Samar Ali, King Abdul-Aziz University
Assoc. Prof. Tanmay De, National Institute Of Technology Durgapur
Assoc. Prof. Zeashan Khan, Air University
Dr. Ali Almisreb, International University of Sarajevo
Dr. Amina Othmani, University of Monastir-Tunisia
Dr. Arti Jain, Jaypee Institute of Information Technology
Dr. Arun Kumar Verma, Malaviya National Institute of Technology Jaipur
Dr. Aziz Shah, University of Glaskow
Dr. Bal Chand Nagar, ECE National Institute of Technology Patna
Dr. Baoze Wei, Aalborg University
Dr. Bohumil Brtník, University of Pardubice
Dr. Diptiranjana Behera, The University of the West Indies at Mona
Dr. Fayçal BENSALI, Qatar University
Dr. Fugui Qi, Fourth Military Medical University
Dr. Magdi S. Mahmoud, King Fahd University
Dr. Mariya Ouaisa, Moulay Ismail University
Dr. Merdaci Slimane, University of -Sidi Bel Abbés, Algeria
Dr. Moharram Challenger, Antwerp University

Dr. Muhammad Sultan, Zakariya University

Dr. Lesya Anishchenko, Bauman Moscow State Technical University

Dr. Sadina Gagula Palalić, International University of Sarajevo

Dr. Stefania Tomasiello, University of Tartu

Dr. Syed Omer Gilani, National University of Sciences and Technology (NUST)

Dr. Tarık Namas, International University of Sarajevo

Dr. Uduak A. Umoh, University of Uyo

Dr. Yajuan Guan, Aalborg University



Keynote Speakers

Prof. Dr. Josep M. Guerrero, Aalborg University, Denmark

Prof. Dr. Sunny Joseph Kalayathankal, Jyothi Engineering College, India

Assoc. Prof. Dr. Shahzad Ali Shahid Chatha, Government College University,
Pakistan

Asst. Prof. Dr. R.A. Ilyas, Universiti Teknologi Malaysia, Malaysia



Topics

Engineering

Aerospace Engineering
Agricultural Engineering
Biological Engineering and Sciences
Biological Systems Engineering
Biomedical Engineering
Bioprocess Engineering
Chemical Engineering
Civil Engineering
Computer Engineering
Electrical Engineering
Electronic Engineering
Energy Engineering
Environmental Engineering
Food Engineering
Geotechnical Engineering
Genetic Engineering
Industrial Engineering
Manufacturing Engineering

Materials Engineering
Mechanical Engineering
Mining and Geophysical Engineering
Nanoengineering
Nuclear Engineering
Petroleum Engineering
Power Engineering
Process Engineering
Forest Industry Engineering
Structural Engineering
Systems and Software Engineering
Textile Engineering
Thermal Engineering
Web Engineering

Natural Sciences

Astronomy and Space Sciences
Atmospheric Sciences
Biological Sciences
Botany

Bacteriology
Chemistry
Fisheries and Aquaculture Sciences
Forestry Sciences
Genetics
Geological Sciences
Materials Science
Mathematics
Medical Sciences
Meteorology
Microbiology
Mineralogy
Palaeoecology
Pharmacology
Physical Sciences
Physics
Plant Sciences
Psychology
Statistics
Systems Biology

Kauçuk Modifiyeli Asfalt Betonun Birim Deformasyon Özelliklerinin İrdelenmesi

Yavuz ABUT

Ulaştırma Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Yalova Üniversitesi, Türkiye

ORCID: 0000-0003-4249-7791

(yavuz.abut@yalova.edu.tr)

Özet – Atık lastiklerin asfalt karışımlarında bitüme eklenen bir geri dönüşüm malzemesi olarak kullanılması; geri kazanım, geri dönüştürme, yeniden kullanma, azaltma gibi sürdürülebilirlik ilkelerine katkı sağlamaktadır. Karayolları Teknik Şartnamesi, Kısım-418’de kauçuk modifiye bitümler; lateks, öğütülmüş atık lastiklerden üretilen kauçuk esaslı ürünler gibi maddelerin katılarak, modifiye edilmesi ile üretilen kauçuk modifiye bitümler, gürültü azaltılması, kaplama performansının artırılması gibi amaçlar ile uygun görülen bitümlü tabakalarda kullanılabilen malzeme olarak tanımlanmaktadır. Bu çalışmada, bitümlü sıcak karışımlara bitümün ağırlıkça %20’si kadar öğütülmüş araç lastiği granülü eklenerek, normal ve öğütülmüş araç lastiği granülü ile modifiye edilmiş asfalt karışımların birim deformasyon özellikleri Marshall dizaynı perspektifi üzerinden irdelenmiştir. %20 oranında karışımlarda öğütülmüş araç lastiği granülü kullanımı ile Akma, Boşluk (V_h) ve Agregalar Arası Boşluk (VMA) değerlerinde sırasıyla yaklaşık olarak %32, %53 ve %13’lük bir artış gözlenmiştir. Bu duruma paralel olarak, bitümün daha elastik bir davranış sergilemesi sonucu ile de akma düzeyleri artma eğilimine geçmiştir. Stabilitate, Özgül Ağırlık ve Asfaltla Dolu Boşluk (V_f) değerlerinde sırasıyla %21, %2 ve %14’lük bir azalma meydana gelmiştir. Ayrıca, öğütülmüş araç lastiği granülü kullanımı ile esnek üstyapılarda elastik kabiliyeti daha yüksek kaplamaların yapılabileceği tespit edilmiştir (%37 daha fazla). Türkiye’de her yıl yaklaşık olarak 300.000 ton civarında ömrünü tamamlamış araç lastiğinin ortaya çıktığı düşünüldüğünde, hem sürdürülebilirlik açısından daha ekonomik ve çevreci yolların yapılabilmesi, hem de asfalt kaplamada oluşacak olan kalıcı şekil değiştirmelerin azaltılmasına yönelik yürütülen projelerde lastik atıklarının kullanımının ekonomi ve tasarım avantajlarının olabileceği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler – Öğütülmüş Araç Lastiği, Asfalt Yollar, Modifiye Bitüm, Birim Deformasyon, Sürdürülebilirlik

I. GİRİŞ

Araç altındaki faydalı ömrünü tamamladığı için araçtan sökülen orijinal veya kaplanmış, bir daha araç üzerinde kullanılamayacak durumda olan lastiklere “Ömrünü Tamamlamış Lastik (ÖTL)” denmektedir. Her yıl Türkiye’de yaklaşık olarak 300.000 ton civarında ÖTL ortaya çıktığı bildirilmiştir [1]. Bu lastiklerin geri dönüşüm süreçleri, sürdürülebilir ekonomi ve çevre açısından çok önemli bir konu haline gelmektedir. Kullanılmış araç lastiklerinin öğütülmesiyle elde edilen toz ya da ince granül haldeki kauçuk parçaları, 4,75-0,075

mm arasında değişen tane boyutuna haiz ve özgül ağırlığı $1,15 \pm 0,05$ olan geri dönüştürülmüş bir malzeme olarak tanımlanmaktadır [2].

Amerika Birleşik Devletleri’nde her yıl 300 milyon civarında hurda lastik geri dönüşüme aktarılmakta ve bu miktarın %5,1’ini inşaat mühendisliği uygulamaları oluşturmaktadır [3]. Asfalt kaplamalı yollar, zamanla bitümdeki yaşlanmaya bağlı olarak özellikle düşük sıcaklıklarda çatlamaya eğilimlidir. Yüksek trafik etkisindeki kaplamaların ömrünü artırmak ve bakım maliyetlerini azaltmak için bitümün modifikasyonu en çok kullanılan yöntemlerden biridir. Bitüm

içeriğine belirli oranlarda kauçuk toz ya da ince granül kullanılması kaplamanın ömrünü uzatabilir ve lastik atıkları bertarafından kaynaklanan çevresel sorunlar azaltılabilir. Kauçuk kırıntıları ilk olarak 1840'lerde kullanılmıştır ve birçok araştırmacıya göre kauçuğun bitüme eklenmesiyle asfalt karışımların mekanik özellikleri önemli ölçüde arttırılabilmektedir [4-6]. Kauçuk ile modifiye edilmiş bitümlü sıcak karışımlarda Marshall stabilite değerlerinde bir miktar azalma olsa da gerekli minimum standart koşulların elde edildiği, bu sayede de ciddi anlamda çevresel fayda sağlandığı bildirilmiştir [7]. Chegenizadeh ve diğ. tarafından, kauçuk granüllerinin bitüm ağırlığının %25'i oranında eklenmesi ile asfaltın mekanik özelliklerinin ve dayanıklılığının arttırılabileceği bildirilmiştir [8]. Hashimi ve diğ.'e göre kauçuk granülü ilavesinin asfalt karışımlarının kırılma direncini arttırdığı, orta ve düşük sıcaklıklarda çatlama öncesi performansını iyileştirdiği ifade edilmiştir [9].

Atık lastiklerin asfalt karışımlarında bitüme eklenen bir geri dönüşüm malzemesi olarak kullanılması; geri kazanım, geri dönüştürme, yeniden kullanma, azaltma gibi sürdürülebilirlik ilkelerine katkı sağlamaktadır. Karayolları Teknik Şartnamesi, Kısım-418'de kauçuk modifiye bitümler; lateks, öğütülmüş atık lastiklerden üretilen kauçuk esaslı ürünler gibi maddelerin katılarak, modifiye edilmesi ile üretilen kauçuk modifiye bitümler, gürültü azaltılması, kaplama performansının artırılması gibi amaçlar ile uygun görülen bitümlü tabakalarda kullanılabilen malzeme olarak tanımlanmaktadır [10].

Bununla birlikte, asfalt kaplamaların performansını iyileştirmek için kullanılan farklı tipteki kauçuk karışımların irdelenmesiyle ilgili derinlemesine araştırmalar ve asfalta eklenebilecek kauçuk miktarına ilişkin çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bu çalışmada, bitümlü sıcak karışımlara bitümün ağırlıkça %20'si kadar kauçuk granülleri eklenerek, normal ve kauçuk ile modifiye edilmiş asfalt karışımların birim deformasyon özellikleri Marshall dizaynı perspektifi üzerinden irdelenmiştir.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

A. Malzeme

Bitümlü sıcak karışım içeriğinde Kocaeli, Körfez-Hereke mevki kalker taş ocaklarından elde edilen agregalar kullanılmıştır. Agregalara ait fiziksel

özellikler Tablo 1'de verilmiştir. B 50/70 (PG64-22) Bitüm, Türkiye Petrol Rafinerisi Anonim Şirketi (TÜPRAŞ) Körfez Rafinerisi'nden temin edilmiş olup, bağlayıcıya ait fiziksel özellikler Tablo 2'de verilmiştir. Bitümü modifiye etmek amacıyla kullanılan öğütülmüş araç lastiği granülü (CRM: Crumb Rubber Modified) 0,0-20,0 mm boyutlarında olup, 1,0 -1,04 g/cm³ özgül ağırlığına sahiptir.

Tablo 1. Agregaya ait fiziksel özellikler

TEST	TEST SONUÇLARI		
	İri Agregata	İnce Agregata	Filler
Los Angeles Aşınma (%)	22	--	--
Magnezyum Sulf. Test (%)	1	--	--
Kırılmışlık (%)	100	--	--
Yassılık İndeksi (%)	19.5	--	--
Soyulma Mukavemeti (%)	55	--	--
Plastisite İndeksi (PI)	--	NP	NP
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	2.723	2.721	2.696
Su Emme (%)	0.617	0.41	--

Tablo 2. Bitüme ait fiziksel özellikler

TEST	STANDART	SONUÇ
Penetrasyon (0.1mm), 100 g, 5s	TS EN 1426	54
Yumuşama Noktası (°C)	TS EN 1427	52
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	TS 1087	1,034

B. Marshall Dizaynı

Yoğun gradasyonlu ve maksimum dane çapı 19 mm olan Aşınma (Tip 1) karışımı için yüzde geçen limitleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Karışım gradasyon limitleri

ELEK AÇIKLIĞI		% GEÇEN	AŞINMA (Tip 1) Limitleri [10]
mm	inç		
19,1	3/4"	100	100
12,7	1/2"	90	88-100
9,52	3/8"	77	72-90
4,76	No.4	49	42-52
2,00	No.10	30	25-35
0,42	No.40	13	10-20
0,177	No.80	8	7-14
0,075	No.200	6	3-8

Asphalt Institute MS-2 Marshall Metodu [11] referans alınarak, kuru agregaya göre %4, %4,5, %5, %5,5, %6, %6,5, %7 oranında bitüm muhtevası oluşturacak şekilde Marshall

Tokmağı yardımıyla sıkıştırılmış numuneler (2x75 darbe), 24 saat sonra kriko yardımıyla kalıplarından çıkarılmıştır. Karıştırma sıcaklığı 150 °C ve sıkıştırma sıcaklığı 135 °C olarak belirlenmiştir. Numunelerin pratik özgül ağırlıkları (g/cm^3) belirlendikten sonra, stabilite (kg) ve akma (mm) değerleri hesaplanmıştır. Optimum bitüm muhtevası kuru agregaya göre %4,80 olarak belirlenmiştir.

CRM granülleri kuru işlem ile bitüm ağırlığının %20'si kadar yer değiştirilerek (genellikle karışımdaki toplam agreganın ağırlığının %1-3'ü), CRM katkılı asfalt briketleri (1150 g Agregası + 10,93 g CRM + 43,70 g Bitüm) elde edilmiştir. Numunelerin pratik özgül ağırlıkları (g/cm^3) belirlendikten sonra, stabilite (kg) ve akma (mm) değerleri hesaplanmıştır.

C. Marshall Stabilitesi, Akma ve Birim Deformasyon İndeksi Tayini

Marshall stabilite ve akma deneyi, farklı bağlayıcı içerikli sıkıştırılmış silindirik numunelere uygulanmaktadır [13]. Numuneler, 30-40 dakika kadar 60°C'deki suda bekletildikten sonra, 51mm/dk sabit bir hız etkisi ile, çelik yükleme plakaları vasıtasıyla basınç etkisine maruz kalırlar. Marshall stabilite değeri (kN) yükleme boyunca kaydedilen maksimum kuvvet, akma değeri (mm) ise maksimum kuvvette kaydedilmiş deformasyondur. Optimum bağlayıcı içeriğini belirlemek için; maksimum hacim özgül ağırlık, maksimum stabilite ve asfalt karışımındaki %4 hava boşluğundaki bağlayıcı içeriği değerleri kullanılır.

Marshall birim deformasyon indeksi (kN/mm), stabilitenin (kN) akmaya (mm) oranı olarak hesaplanabilir ve bu şekilde belirli test koşulları altında yükün deformasyona oranına yakın bir değerini temsil ederek, servis esnasında kalıcı deformasyona karşı kaplama direncinin bir ölçüsü olarak kullanılabilir. 60°C'de gerçekleştirilen asfalt karışımı deneylerinde birim deformasyon indeksinin 2 ile 6 kN/mm aralığında olması gerektiği, indeksi 6 kN/mm'nin üzerinde olan karışımların yorulma ve termal çatlamlara karşı düşük dirence sahip olduğu, indeksi 2 kN/mm'nin altında olan karışımlarda ise visko-plastik kalıcı deformasyonun yüksek olabileceği bildirilmiştir [12].

Marshall stabilite ve akma deneyi için Kocaeli Büyükşehir Belediyesi, Yapı Malzemeleri Laboratuvarı'nda, VJ Tech-TRISCAN 50 yükleme cihazı kullanılmıştır (Şekil 1).



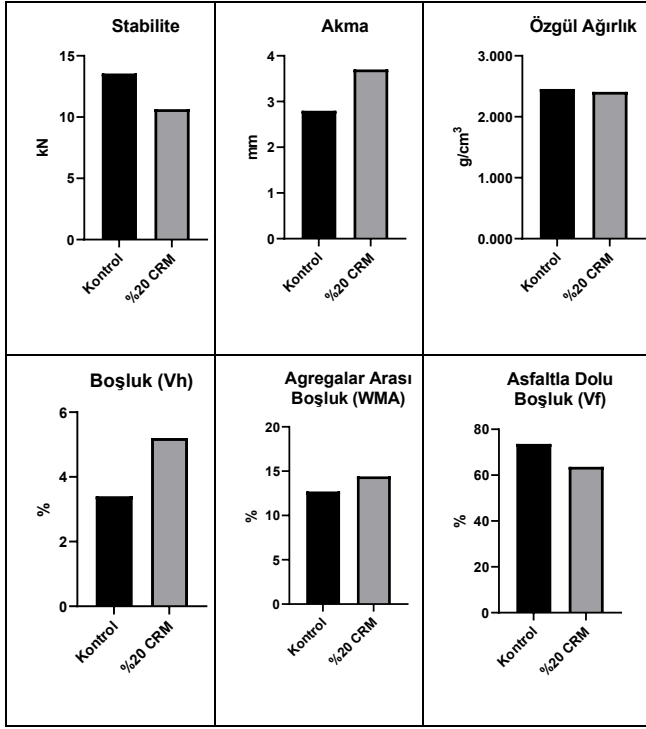
Şekil 1. VJ Tech - TRISCAN 50 yükleme cihazı

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

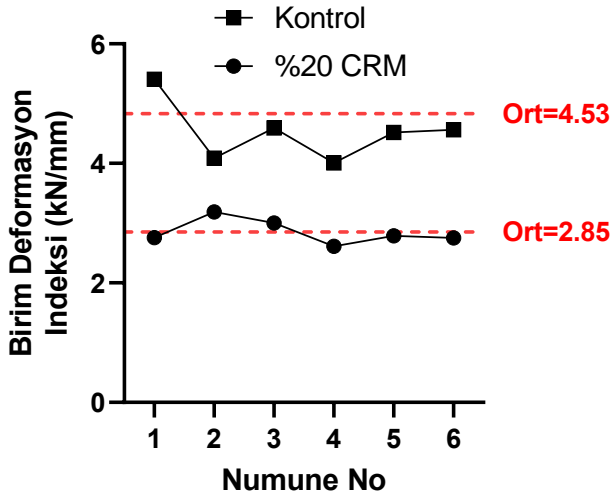
Marshall deneyi sonuçlarına göre; bitüm içeriğinde %20 oranında CRM kullanımı ile Akma, Boşluk (V_h) ve Agregalar Arası Boşluk (VMA) değerlerinde sırasıyla yaklaşık olarak %32, %53 ve %13'lük bir artış gözlenmiştir (Şekil 2). CRM partiküllerinin karışım içeriğinde görece daha fazla boşluk oluşturmasının bir nedeni, bitüm ile CRM partiküllerinin kuru işlem ile karıştırma prosesine tabi tutulması olabilir. Bu duruma paralel olarak, bitümün daha elastik bir davranış sergilemesi sonucu ile de akma düzeyleri artma eğilimine geçmiştir. Stabilite, Özgül Ağırlık ve Asfaltla Dolu Boşluk (V_f) değerlerinde ise sırasıyla %21, %2 ve %14'lük bir azalma meydana gelmiştir (Şekil 2). Oluşan boşluklu yapı karışımlardaki stabilite ve özgül ağırlık değerlerini doğal olarak düşürmüştür. Çalışmanın ilerleyen bölümlerinde mikro yapı incelemesi ile bu boşluklu yapı gözlenmeli, agregası ile bitüm ara yüzey özelliklerinin etkisi ortaya konmalıdır.

Birim deformasyon indeksleri (şekil değiştirme kapasiteleri) incelendiğinde ise, bitüm içeriğinde %20 oranında CRM kullanımı ile numunelerin birim deformasyon indekslerinde yaklaşık olarak %37'lik bir azalma meydana geldiği gözlenmiştir (Şekil 3). Bu sonuç, bitüm içeriğinde CRM kullanılması durumunda, aynı koşullarda yük etkisinde, kontrol numunesine kıyasla daha esnek davranacağı anlamına gelmektedir. Ayrıca, 60°C'de gerçekleştirilen asfalt karışımı deneylerinde birim deformasyon indeksinin 2 ile 6 kN/mm aralığında olması tavsiyesi dikkate alındığında [12], bitümlü

sıcak karışımlarda %20 oranında CRM kullanımı ile bu sınırlar içerisinde (2,85 kN/mm) kalınabileceği görülmüştür.



Şekil 2. Marshall deneyi sonuçları



Şekil 3. Numunelerde birim deformasyon indeksi değişimi

IV. SONUÇLAR

Öğütülmüş lastik granülleri, kuru işlem ile bitüm ağırlığının %20'si kadar yer değiştirilerek karışıma ilave edildiğinde, esnek üstyapılarda elastik kabiliyeti daha yüksek kaplamaların yapılabileceği tespit edilmiştir (%37 daha fazla). Türkiye'de her yıl yaklaşık olarak 300.000 ton civarında ömrünü tamamlamış araç lastiğinin ortaya çıktığı düşünüldüğünde, hem sürdürülebilirlik açısından

daha ekonomik ve çevreci yolların yapılabilmesi, hem de asfalt kaplamada oluşacak olan kalıcı şekil değiştirmelerin azaltılmasına yönelik yürütülen projelerde lastik atıklarının kullanımının ekonomi ve tasarım avantajlarının olabileceği tespit edilmiştir.

TEŞEKKÜR

Yazar, deneysel çalışmalar için verdiği Laboratuvar desteğinden ötürü Kocaeli Büyükşehir Belediyesi'ne teşekkür eder.

Çıkar Çatışması

Yazar, çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

KAYNAKLAR

- [1] Lasder Lastik Sanayicileri Derneği. <http://www.lasder.org.tr/> (Erişim Tarihi: 29.01.2022).
- [2] Presti, D.L. Recycled tyre rubber modified bitumens for road asphalt mixtures: A literature review. *Constr. Build. Mater.* 2013, 49, 863–881.
- [3] Tire Manufacturers Association. U.S Scrap Tire Management Summary 2011–2019; Rubber Manufacturers Association: Washington, DC, USA, 2020.
- [4] Brown, D.R.; Jared, D.; Jones, C.; Watson, D. Georgia's experience with crumb rubber in hot-mix asphalt. *Transp. Res. Rec.* 1997, 1583, 45–51.
- [5] Mashaan, N.S.; Ali, A.H.; Koting, S.; Karim, M.R. Performance evaluation of crumb rubber modified stone mastic asphalt pavement in Malaysia. *Adv. Mater. Sci. Eng.* 2013, 2013, 304676.
- [6] Shu, X.; Huang, B. Recycling of waste tire rubber in asphalt and portland cement concrete: An overview. *Constr. Build. Mater.* 2014, 67, 217–224.
- [7] Yıldırım, Z. B., Karacasu, M. & Okur, D. V. (2018). Atık Lastik ve Cam Lif ile Modifiye Edilmiş Bitümün Asfalt Betonu Performansına Etkileri. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18 (3),1019-1027.
- [8] Chegenizadeh, A.; Jing Shen, P.; Sekar Arumdani, I.; Budihardjo, M.A.; Nikraz, H. The Addition of a High Dosage of Rubber to Asphalt Mixtures: The Effects on Rutting and Fatigue. *Sustainability* 2021, 13, 9718. <https://doi.org/10.3390/su13179718>
- [9] Hashimi, S. , Ahadi, S. , Aslan, H. , Kuyumcu, Z.. (2020). Investigation of the effect of Crumb Rubber Additive on the Fracture of characteristics of asphalt mixtures in control and asphalt rubber mixtures. *Academic Perspective Procedia*, 3 (1), 715-725. DOI: 10.33793/acperpro.03.01.127
- [10] Karayolları Teknik Şartnamesi (2013), Karayolları Genel Müdürlüğü, Türkiye Cumhuriyeti, Ankara, Türkiye, Kısım-148.

- [11] Asphalt Institute, Asphalt mix design methods. Manual series No.2, 7th Edition. AI, Lexington, KY, USA, 2014.
- [12] Radziszewski, P., Sarnowski, M., Plewa, A., & Pokorski, P. (2018). Properties of asphalt concrete with basalt-polymer fibers. Archives of Civil Engineering, 64(4/I). DOI:10.2478/ace-2018-0052.
- [13] ASTM International. ASTM D6927-15 Standard Test Method for Marshall Stability and Flow of Asphalt Mixtures; ASTM International: West Conshohocken, PA, USA, 2015.