

Esnek Yol Üst Yapısı Kaplamaların Üretiminde Çevresel Bir Yaklaşım: Odun Talaşının Kullanılabilirliğinin Deneysel Olarak Araştırılması

An Environmental Approach in the Production of Flexible Pavements: Experimental Investigation of the Usability of Sawdust

Halil İbrahim Yumrutaş^{1*}, Mustafa Yurdabal Apak², Stive Ricardo Dongmo¹, Isxaq Osman Abdurahman¹

¹ Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Karabük/Türkiye

² İstanbul Gelişim Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Avcılar, İstanbul/Türkiye

Öz

Son yıllarda dünya genelinde artan üretim ve tüketim miktarlarına bağlı olarak atıkların depolanması ve bertarafı önemli bir sorun olarak ortaya çıkmıştır. Çeşitli çevresel yaklaşımlarla bu atıkların geri dönüştürülmesi ile elde edilen farklı yan ürünlerin kullanımı teşvik edilmektedir. Bu çalışmada ağaçların işlenilmesinden elde edilen yan/atık ürün olan odun talaşının bitümlü sıcak karışım yol üst yapısı kaplama üretiminde kullanılabilirliğinin deneysel olarak araştırılması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, sıcak karışımındaki agrega yerine, %5, %10 ve %15 oranlarında iri agrega, ince agrega ve mineral filler boyutlarında odun talaşı kullanılarak numuneler elde edilmiştir. Bu numuneler, TS EN 12697 standardına göre Marshall testine tabi tutularak stabilite ve akma değerleri elde edilmiştir. Karayolu Teknik Şartnamesi uyarınca elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde optimum sonucun %4.3 bitüm oranına sahip %10 filler boyutunda odun talaşı ikamesi içeren 4.3FI10 numunesinde elde edildiği görülmüştür. Buna göre kontrol numunesine oranla stabilite açısından yaklaşık %27'lik bir iyileşme sağladığı, akma değerinde ise kayda değer bir fark oluşturmadığı görülmüştür. Elde edilen sonuç filler boyutunda odun talaşının bir yan ürün olarak sıcak asfalt betonu karışımlarında kullanılabileceğini ortaya koymuş olup çalışmanın çevresel anlamda atık/yan ürün yönetimi çabalarına katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Esnek yol üst yapısı, Asfalt betonu, Odun talaşı, Marshall test, Atık yönetimi

Abstract

In recent years, the storage and disposal of waste have emerged as an important problem due to the increasing production and consumption of waste worldwide. Using different by-products obtained by recycling these wastes is encouraged with various environmental approaches. This study aimed to investigate the usability of wood sawdust, which is a by-product/waste product obtained from the processing of wood, in the production of bituminous hot mix asphalt pavements. In this context, samples were obtained by using 5%, 10% and 15% coarse aggregate, fine aggregate and mineral filler-sized wood sawdust instead of aggregate in the hot mix asphalt concrete. These samples were subjected to the Marshall test according to TS EN 12697 standard and stability and flow values were attained. When the results obtained in accordance with the Highway Technical Specification were evaluated, it was seen that the optimum result was obtained in the 4.3FI10 sample containing 10% filler-sized wood sawdust substitution with a 4.3% bitumen ratio. Accordingly, it was observed that it improved approximately 27% in terms of stability compared to the control sample, and that there was no significant difference in the flow value. The results revealed that filler-sized wood sawdust can be used as a by-product in hot mix asphalt pavements, and it is hoped that the study will contribute to environmental waste/by-product management endeavors.

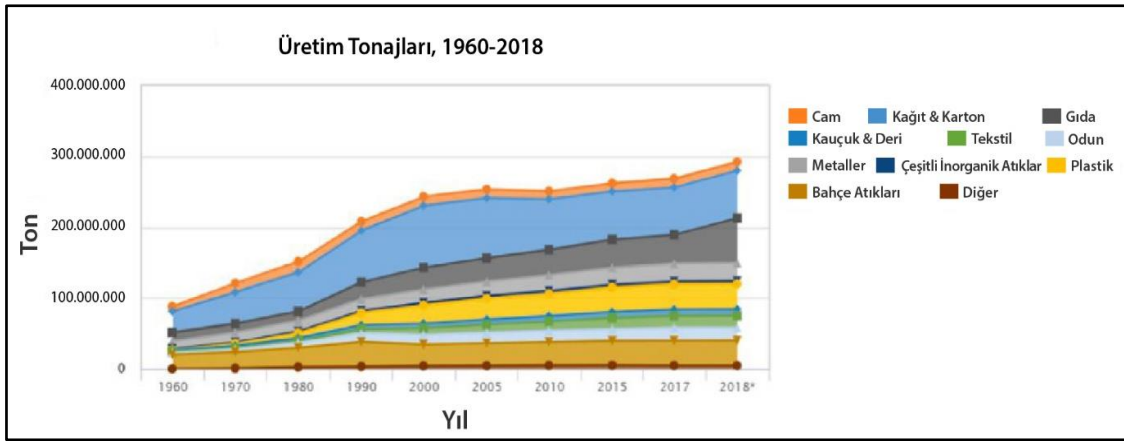
Keywords: Flexible pavement, Asphalt concrete, Sawdust, Marshall test, Waste management

* Sorumlu yazar e-posta (Corresponding e-mail): iyumrutas@karabuk.edu.tr

Geliş Tarihi (Received): 10.10.2024, Kabul Tarihi (Accepted): 07.02.2025

1. Giriş

Atık malzeme yönetimi ve bertarafı, dünya genelinde birçok ülkede ele alınması gereken başlıca bir çevre ve sağlık sorunudur. Dünya çapındaki tüketimin hızla artması nedeniyle, sorun günümüzde daha da önemli hale gelmiştir. Gelişmiş ülkelerin çoğunun bu durumla başa çıkmak için çeşitli önlemler almasına rağmen, atık sorunu giderek daha da büyümektedir. ABD'de üretilen toplam katı atık 2018'de 292.4 milyon ton olup bunun yaklaşık 69 milyon tonu geri dönüştürülmüş, 25 milyon tonu ise kompostlanmıştır (Şekil 1) [1]. AB-27'de tüm ekonomik faaliyetler ve haneler tarafından üretilen toplam atık 2.317 milyon tona ulaşmıştır [2]. Atık üretimi son yıllarda dünya çapında önemli ölçüde artmış ve önümüzdeki yıllarda daha da artacak gibi görünmektedir. 2050 yılına kadar, dünya çapında katı atık üretiminin yaklaşık %70 oranında artarak 3.4 milyar metrik tona ulaşması beklenmektedir. Bunun nedeni, kentleşme, nüfus, ekonomik büyüme, tüketici alışveriş alışkanlıkları ve davranışları gibi çeşitli faktörler olarak sıralanabilmektedir [3,4].



Şekil 1. ABD'de yıllık bazda üretilen katı atık miktarı

Son yıllardaki hızlı endüstriyel ve teknolojik gelişmeler nedeniyle gelecek nesiller, ciddi çevre sorunlarıyla baş etmek zorunda kalacaktır. Doğal kaynakların hızla tüketilmesi, artan çevre kirliliği ve ekolojik dengenin genel olarak bozulması tüm dünyayı etkilemekte ve ciddi önlemler alınmasını gerektirmektedir. Avrupa Atık Çerçeve Direktifi 2008/98/EC'nin atık hiyerarşisine göre, atıkların yeniden kullanımını ve geri dönüşümünü teşvik ederek ve atıkların bertarafını veya yakılmasını aşamalı olarak kaldırarak AB kaynak verimliliğini iyileştirmeye ve iklim ve çevresel etkileri azaltmaya açık bir ihtiyaç vardır [5].

Ahşap (odun) sanayi, yangın ve kuraklık nedeniyle orman miktarının azalması ve yan ürün olarak yüksek miktarda talaş üretilmesi açısından kritik konulardan biridir. Odunun testere vasıtası ile kesilirken düşen küçük bir parçası olan odun talaşı, biyolojik olarak parçalanabilen bir malzemedir. Ancak talaş genellikle imalat sanayinde ahşap levhalar, raflar, ilan panoları, mobil evler için duvar ve çatı kaplamaları gibi hafif yapı malzemeleri için hammadde olarak kullanılmaktadır. Ayrıca soğutma sisteminde izolator olarak ve enerji endüstrilerinde soğuk muhafazasında, doğrudan veya dolaylı olarak odun gazı, briket, pelet vb. üretmek için de kullanılmaktadır. Fakat odun talaşı bu ve benzeri alanlarda değerlendirilmediği takdirde çevreyi kirleten bir endüstriyel atık olarak kabul edilmektedir [6]. Son yıllarda işlenmiş ahşaba olan talep artışı ahşap endüstrisinin hızlı bir şekilde büyümesine neden olmuştur. Ahşap işleme sırasında ortaya çıkan talaş miktarı, ahşabın türü, kullanılan makineler ve işleme teknikleri gibi faktörlere bağlı olarak değişir. Tipik olarak talaş, işlenen odun hacminin yaklaşık %10-15'ini oluşturmaktadır. 2018 yılında dünya genelinde yaklaşık olarak 49-74 milyon metreküp talaş üretildiği ifade edilmektedir [18].

Ahşap malzemeler, pencere, kapı, inşaat elemanları, ambalaj ve mobilyalarda kullanılmakta olup cam, metal ve plastik gibi malzemeleri içermektedir. Ayrıca yapıştırıcı, boya, vernik, ahşap koruma ürünleri ve çeşitli kimyasallarla kaplıdır. Ekonomik ve teknolojik açıdan en rasyonel yaklaşım, daha fazla işlenmemiş

talaş ve talaş tozu şeklindeki birincil ahşap işleme malzemelerinin kullanılmasıdır [7]. İnşaat uygulamalarında yan ürün ve kalıntıların değerlendirilmesi, bertaraf problemlerinin azaltılmasında ekonomik ve çevre dostu bir alternatif çözüm olabilir.

İnşaat mühendisliği uygulamalarında özellikle karayolu üst yapı kaplamalarının inşasında, geri kazanılmış asfalt kaplama ve beton agregası, yıkım atıkları, mermer tozu, çimento tozu, kırıntı kauçuk, hurda lastikler, cam, plastik atıklar, çelik çürüfleri, kömür atıkları, uçucu kül, yakma kül, seramik atıkları, beton atıkları, odun atıkları, tekstil atıkları, atık yağlar gibi birtakım geri dönüştürülmüş ve yan ürün malzemelerin kullanımına yönelik talep artışı olmuştur. Bu uygulamalar, hammadde kullanımının en aza indirilmesine, sera gazlarının (emisyonların) azaltılmasına, sürdürülebilirliğin artırılmasına ve bertaraf sorunlarının dolayısıyla küresel çevre sorunlarının azaltılmasına katkıda bulunmaktadır [8-11].

Literatürde odun atıklarının asfalt betonlarda kullanılabilirliği ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Odun atıkları karayolu üstyapısı yapımında genellikle iki şekilde kullanılmaktadır. Birincisi kimyasal katkı maddesi (biyo-asfalt bağlayıcı) olarak, ikincisi ise geri dönüştürülmüş atık talaş veya ağaç tozunun yakılarak agreganın belirli bir yüzdesi olarak kullanımı şeklindedir.

Fayıssa vd. [12] talaş külünün asfalt beton üretiminde filler malzemesi olarak uygulanması üzerine bir çalışma yürütmüşlerdir. Bu kapsamda Talaş Tozu Külü (SDA) için çeşitli fiziksel ve kimyasal testler yapılmıştır. Bazalt tozu miktarının %3, %6, %9 ve %12 oranlarında SDA kullanılmıştır. Asfalt betonunun yorulma ömrü, kalıcı deformasyon ve nem hassasiyeti kullanılan SDA miktarı ile iyileşme göstermiştir. Osuya [13], asfalt betonunda bir katkı maddesi olarak talaş külünün etkinliğini değerlendirmiştir. Asfalt beton numuneleri, granit filler maddesinin ağırlıkça %0, %5, %10, %15, %20 ve %25 oranında talaş külü ile hazırlanmıştır. Numuneler üzerinde Marshall Stabilite testleri yapılmıştır. Talaş külü asfalt betonunun reolojik özelliklerini olumlu yönde ve dikkat çekici bir şekilde etkilemiştir. Yasanthi vd. [14], sıcaklık değişiminin talaşlı sıcak karışım asfalt betonu üzerindeki etkilerini gözlemlemişlerdir. Geleneksel filler malzemesinin yerine kısmen talaş külü kullanılmıştır. Marshall testi sonuçları, talaşlı karışımların yüksek sıcaklıklara daha duyarlı olduğunu ancak buna mukabil talaş tozu külünün düşük sıcaklıklarda filler malzemesinin belirli bir miktarı yerine kullanılabileceğini ortaya koymuşlardır. Osinubi vd. [15], talaş külünün (SDA) asfalt kaplamalarda alttemel ve taban zemini katmanları olarak kullanılmak üzere geri kazanılmış asfalt kaplamanın (RAP) performansı üzerindeki etkinliğini gözlemlemişlerdir. Numunelere Standart Proctor (SP) ve California Bearing Ratio (CBR) testleri uygulanmıştır. Test sonuçları, RAP'ın mekanik özelliklerinin SDA ilavesi ile olumlu yönde geliştiğini göstermiştir. Dimter vd. [8], odun külü filler asfalt karışımının mekanik özelliklerini ve suya direncini değerlendirmişlerdir. Bu kapsamda Marshall stabilite ve doğrusal olmayan çekme dayanımı testleri uygulanmıştır. Filler içerisindeki %50 biyo-kül içeriği, asfalt karışımın çekme dayanımını, plastik deformasyonlara ve su etkisine karşı direncini artırmıştır. Odun külünün endüstriyel filler maddesinin kısmi ikamesi olarak kullanılma potansiyeline sahip olduğunu ancak bu alanda daha fazla test/çalışma yapılması gerektiğini vurgulamışlardır. Akter vd. [16], Marshall testi ile asfalt betonunda geleneksel filler maddesine alternatif olarak odun tozu külünün (WPA) performansını gözlemlemişlerdir. Sonuçlar, deformasyona, yorulma ömrüne ve nemin neden olduğu hasarlara karşı daha iyi direnç gösterdiği yönündedir. Araştırmacılar, dolaylı çekme yorulma testi, dört noktalı eğilme testi, tekrarlanan aks yük testi ve tekerlek izleme testi gibi birtakım özellikler hakkında daha fazla araştırma yapılmasını önermişlerdir. Nassef vd. [8] odun talaşını modifiye malzemesi olarak kullanarak asfalt bağlayıcıların ve karışımların performansı üzerindeki etkisini değerlendirmişlerdir. Asfalt bağlayıcının toplam ağırlığına göre %10, %15 ve %20 oranında talaş ilave edilmiştir. Çalışmada modifiye malzemesi olarak sadece 150 µm elekten (ASTM standardı Elek No. 100) geçen ince parçacıklar kullanılmıştır. Daha sonra talaş modifiyeli asfalt bağlayıcıların mikroyapısal ve kimyasal karakterizasyonlarını gözlemlemek için Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) ve Fourier Dönüşümü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) testleri yapılmıştır. Bu talaş modifiyeli bağlayıcılarla Sıcak Karışım Asfalt (HMA) numuneleri hazırlanmış ve Marshall, Çekme Dayanımı Oranı (TSR) ve Stabilite Kaybı testleri uygulanmıştır. Marshall stabilitesi talaşlı karışımlarda bir miktar azalma göstermekte ancak limitler içerisinde kalmaktadır. Karışım, stabilite Kaybı ve TSR açısından nem hasarına karşı iyi bir direnç

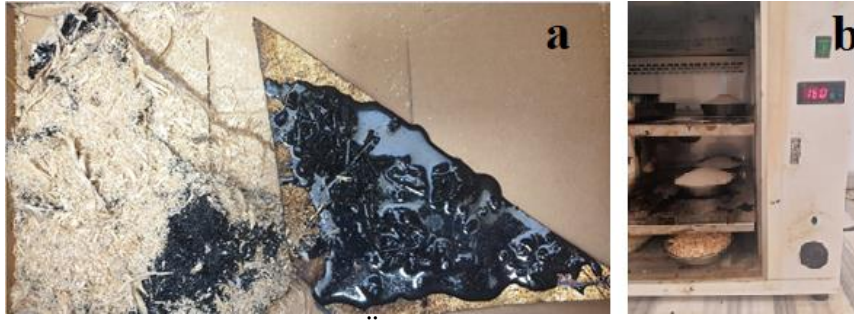
göstermiştir. Yasanthi vd. [11] karbonize edilmiş (yanmış) talaşın sıcak karışım asfaltta (HMA) filler malzemesi olarak performansını Marshall testi ile incelemişlerdir. Sonuçlar, oksijensiz durumda karbonize edilen talaş tozunun, toplam agreg ağırlığının %2.74'üne kadar HMA betonundaki geleneksel filler malzemesinin yerini almak için kullanılabileceğini göstermiştir. Jegatheesan [12], Sıcak Karışım Asfaltın (HMA) toplam agreg ağırlığının %1.77'si, %2.73'ü ve %3.75'i ile 1.18 mm (filler malzemesi olarak) olan karbonize edilmiş (yanmış) odun talaşının (CWD) uygunluğunu Marshall Metodu uygulayarak araştırmıştır. CWD modifiyeli sıcak karışım asfaltta Marshall Stabilitesi azaltılmıştır ancak sonuçlar minimum gereksinimleri karşılamıştır. Buradan hareketle karbonize edilmiş (yanmış) odun talaşının geleneksel filler malzemesi ile değiştirilebileceği sonucuna ulaşılmıştır. Bao vd. [17], odun atıklarından elde edilen biyo-asfaltın reolojik özelliklerini ve kimyasal bileşimini araştırmışlardır. Sonuçlar, odun atığından yapılan biyo-asfalt bağlayıcının özelliklerinin petrol bazlı asfaltinkine benzer olduğunu, dolayısıyla odun atığından elde edilen biyo-asfalt bağlayıcının petrol bazlı asfalt bağlayıcıyı temsil edebileceğini ortaya koymuşlardır. Turobova [13], bitüm modifikasyonu için ağaç işleme endüstrisi atığını (ahşap filler katkı maddesi) kullanmıştır. Ahşap filler malzemesi olarak ortalama tane boyutu 0.5-1 mm aralığında olan Sarıçam Ağacının kabuğu kullanılmıştır. Ahşap filler katkı maddesinin kullanılması, organik bağlayıcının termal ve fiziksel özelliklerini (yumuşama sıcaklığı ve kırılma sıcaklığı) iyileştirmiştir.

Özetlemek gerekirse, literatürde odun talaşı çoğunlukla yakılarak kül haline getirilip sıcak karışım asfaltta filler malzemesi olarak ve ayrıca asfalt bağlayıcıların modifiye edilmesinde kullanılmaktadır. Talaşın doğrudan (yakılmadan) iri, ince ve filler boyutlarında agreg ağırlığı olarak kullanıldığı herhangi bir çalışmaya rastlanılamamıştır. Dolayısıyla bu çalışma, konusyla yenilikçiliğini ve özgün değerini ortaya koymaktadır.

2. Deneyisel Metodoloji

2.1 Ön Deneyler

Deney metodolojisinin sağlıklı olarak belirlenebilmesi amacıyla iki önemli ön araştırma sorusuna cevap arama ihtiyacı doğmuş ve bu doğrultuda birtakım ön deneyler gerçekleştirilmiştir. Odun malzemesi yanıcı özelliklere sahip bir malzeme olup üretim prosesine bağlı olarak agreg ağırlığı ve bitüm, sıcak karışım elde etmek amacıyla 160 °C'lere varan sıcaklıklara maruz kalabilmektedir. Çalışmada kullanılacak olan ahşap talaşı ise agreg ağırlığı yerine ikame edilecek olup bu karışım sıcaklıklarından nasıl etkileneceğinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu ön araştırma sorusuna cevap aramak amacıyla iki adet ön deney gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan odun talaşı Safranbolu Sevingen Orman Ürünleri Firmasından ve bitüm malzemesi ise Karabük İl Özel İdaresi Asfalt plantinden temin edilmiştir. İlk ön deney, Şekil 2a'da farklı boyutlardaki talaş malzeme üzerine 160 °C ısıya sahip bitüm dökülerek talaşın yüksek sıcaklık karşısındaki fiziksel tepkisi gözlemlenmiştir. İlk adım başarılı olmuş ve talaş numunelerinin en yüksek karışım sıcaklığına dayanıklı olduğu ve önerilen hipotez için odun talaşının kullanılmasına engel bir durum olmadığı kanıtlanmıştır. Sonrasında diğer deneyle ise talaş numuneler etüvde 3 saat boyunca 160 °C sıcaklıkta tutulmuş ve sonuç olarak bitümlü sıcak karışım (BSK) sıcaklıklarına dayanıklı olduğu görülerek talaş malzeme açısından riskli sıcaklık değerinin gözlemlendiği ön deney safhası tamamlanmıştır (Şekil 2b).



Şekil 2. Ön deney sonuçları

İkinci önemli ön araştırma sorusu ise iri, ince ve filler boyutlarında olmak üzere agrega yerine kullanılacak olan odun talaşı miktarının uygun oranlarının tespiti olup bu sorunun cevabının bulunabilmesi için öncelikle %30 ve %20 oranlarında talaş içeren numuneler üretilerek Marshall testlerine tabi tutulması planlanmıştır. Bunun için farklı oranlarda %4, %5, %6 oranlarında bitüm kullanılarak numuneler hazırlanmış ancak numunelerin bir kısmı henüz daha kalıptan çıkarılmadan dağılmış (Şekil 3a), bir kısmı ise kalıptan başarıyla çıkmış ancak su banyosunda ısıtıldığında dağılmış (Şekil 3b) ve Marshall stabilite testlerine tabi tutulamamıştır.



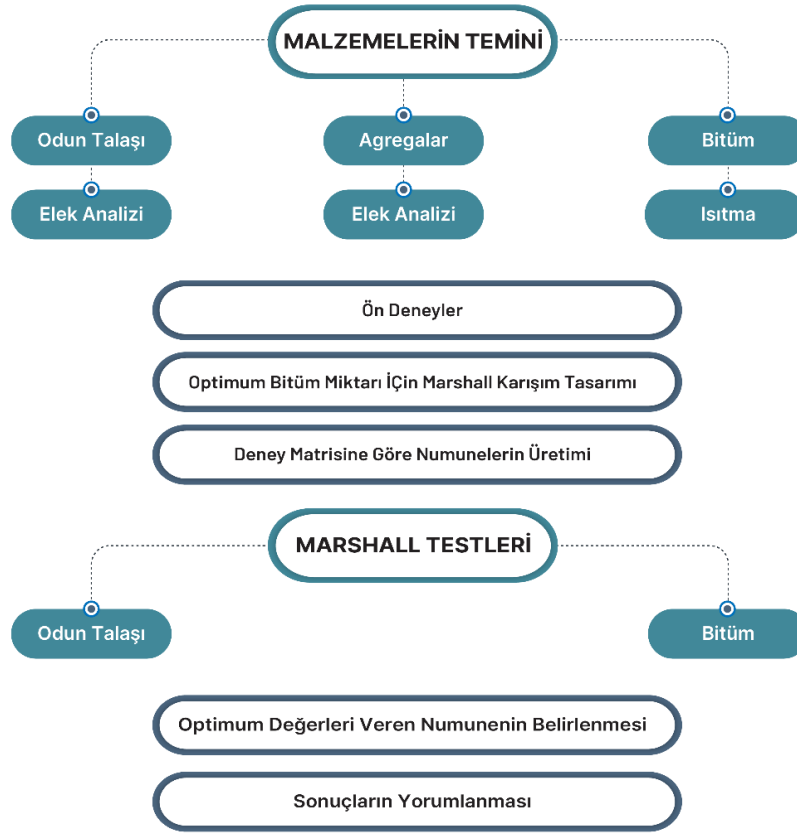
Şekil 3. a) Kalıptan çıkamadan dağılan numune örneği (%30 talaş ikamesi) b) Su banyosunda dağılan numune örneği (%20 talaş ikamesi)

Elde edilen sonuçlar değerlendirilerek ikame talaş miktarları açısından %5, %10 ve %15 oranlarının yeterli ve uygun olacağı kararlaştırılmıştır. Çizelge 1'deki deney matrisi dikkate alınarak deneylere başlanmıştır. Deney metodolojisine ait akış şeması ise Şekil 4'te sunulmuştur.

Çizelge 1. Deney Matrisi

Deney Türleri	İkame Oranları			
	0%	10%	20%	30%
Kontrol numunesi	CS*	-	-	-
İri agrega ile ikame edilen odun talaşı miktarı	-	CA10*	CA20*	CA30*
İnce agrega ile ikame edilen odun talaşı miktarı	-	FA10*	FA20*	FA30*
Filler ile ikame edilen odun talaşı miktarı	-	FI10*	FI20*	FI30*

* Her bir deney türü için en az 3 başarılı numune üretilmektedir



Şekil 4. Çalışmanın metodolojisi

2.2 Marshall Deneyleri

Bu safhada ilgili numunelerin TS EN 12697 standardı [19] doğrultusunda hazırlanması ve stabilite/akma deneylerine tabi tutulabilmesi amacıyla malzeme temini sağlanmıştır. Bu doğrultuda gerekli odun talaşı Safranbolu Sevingen Orman Ürünleri Firmasından temin edilmiştir. Bu çalışmada çam ağacından elde edilen talaş malzemesi deneylerde kullanılmakla birlikte gelecek çalışmalarda farklı ağaç türlerine ait talaş kullanımının etkisinin de araştırılması önerilmektedir.

AC50/70 penetrasyon değerine sahip bitüm ve 0-5mm, 5-12 mm ve 12-25 mm aralıklı agregalar Karabük İl Özel İdaresi asfalt plantinden temin edilmiştir. Deneylerde kullanılan bitümün karakteristik özellikleri Çizelge 2’de, agregaların karakteristik özellikleri ise Çizelge 3’te sunulmuştur.

Çizelge 2. Deneylerde kullanılan bitümün karakteristik özellikleri

Deney Adı	Birim	Ref. Sınır Değeri	Bağıl Belirsizlik % $\pm$ (1)	Deney Sonuçları	Deney Yöntemi
Penetrasyon, 25°C'ta, 100g, 5 sn. (Otomatik)	x0.1 mm	50 - 70	4.61	59	TS EN 1426
Yumuşama Noktası (Su banyosu), (Otomatik), (pt 100)	°C	46 - 54	2.51	48.8	TS EN 1427
Sertleşmeye Karşı Direnç, 163°C'ta					
Kütle Değişimi	%	(-)0.5	55	(-) 0.03	TS EN 12607-1
Kalıcı Penetrasyon	%	$\leq$ 50	4.61	65	
Yumuşama Noktası Yükselmesi	°C		2.51	4.2	
Parlama Noktası	°C	$\leq$ 230	2.2	338	TS EN ISO 2592
Çözünürlük (Toluen, cam fiber filtre)	%(m/m)	99	0.03	99.85	TS EN 12592

Çizelge 3. Deneylerde kullanılan agreganın karakteristik özellikleri

Ocak Adı	Cumayanı Taş Ocağı			
Kayacın cinsi	Kalker			
Deney Adı	Kaba Agrega	İnce Agrega	Filler	Deney Standardı
Hacim Özgöl Ağırlığı	2.696	2.649		TS EN 1097-6
Zahiri Özgöl Ağırlığı	2.737	2.745	2.756	
Absorpsiyonu, %	0.5	1.3		
Karışımın Efektif Özgöl Ağırlığı (deneyle)			2.711	ASTM D-2041
Karışımın Efektif Özgöl Ağırlığı (hesapla)			2.711	
Cilalanma Değeri				TS EN 1097-8
Micro-Deval				TS EN 1367-1
MgSO ₄ Donma Kaybı %			18	TS EN 1367-2
Los Angeles Aşınma Kaybı, %			21	TS EN 1097-2
Yassılık İndeksi, %			12.7	BS 812
Soyulma Mukavemeti			65/70	KTŞ Kısım 403 Ek-A
Bitüm özgül ağırlığı			1.03	TS-1087
Bitüm Penetrasyonu, dmm			60	TS EN 1426
Yumuşama Noktası, 0 C				TS EN 1427
İmalatta Kullanılacak Bitümlü Bağlayıcı			Rafinerisi	Kırıkkale
			Tipi	Bitüm
			Sınıfı	B 50/70

Malzeme temini sonrası ilk adım olarak optimum bitüm oranının belirlenmesine çalışılmıştır. Bunun için öncelikle elek analizleri gerçekleştirilerek agregalar Karayolları Teknik Şartnamesinde verilen ilgili elek boyutlarında elde edilmiştir. Bu safhada, daha sonra kullanılacak olan talaş malzemeler de elek işlemine tabi tutulmuştur.

Sonrasında kontrol numunesi için optimum bitüm muhtevasının tespit edilebilmesi ve dizayna esas miktarların belirlenmesine yönelik Marshall testleri gerçekleştirilmiştir. Bu safhada 6 adet Marshall numunesi üretilerek optimum bitüm oranı %4.3 olarak tespit edilmiştir.

Optimum bitüm oranının belirlenmesinden sonra Çizelge 1’de sunulan deney matrisine göre TS EN 12697 Marshall Deney standardı ve Karayolları Teknik Şartnamesi dikkate alınarak ilgili numuneler üretilmiştir. Marshall standardına göre agregalar 110 ± 5 °C’ de en az 1 saat boyunca etüvde kurutulmalı ve ısıtılmalıdır, bitüm ise 150 ± 5 °C’ye kadar 3-5 saat boyunca etüvde ısıtılmalıdır. Bu durum göz önünde bulundurularak talaş malzeme de dahil olmak üzere tüm karışım malzemeleri ilgili süre ve sıcaklıklarda etüvde bekletilmiştir.

Malzemelerin etüvde ısıtılmasından sonra bitüm, agregalar ve odun talaşı, ısıtıcılı mikserde karıştırılarak kompaksiyon ısısı olan 150 °C de karışım elde edilmiştir. Bu safhada karışımın ısısı elektronik bir çubuk (prob) termometre vasıtasıyla izlenmiştir.

Isıtıcılı mikserde elde edilen karışım sıcak olarak etüvden çıkarılan Marshall kalıplarına vakit kaybetmeksizin dökülmüş, şişleme işlemi ile numunenin homojenliği sağlanmaya çalışılmış ve standartta belirtildiği şekliyle her iki yüze 75 defa olacak şekilde tokmaklanarak kompaksiyon işlemi tamamlanmıştır.

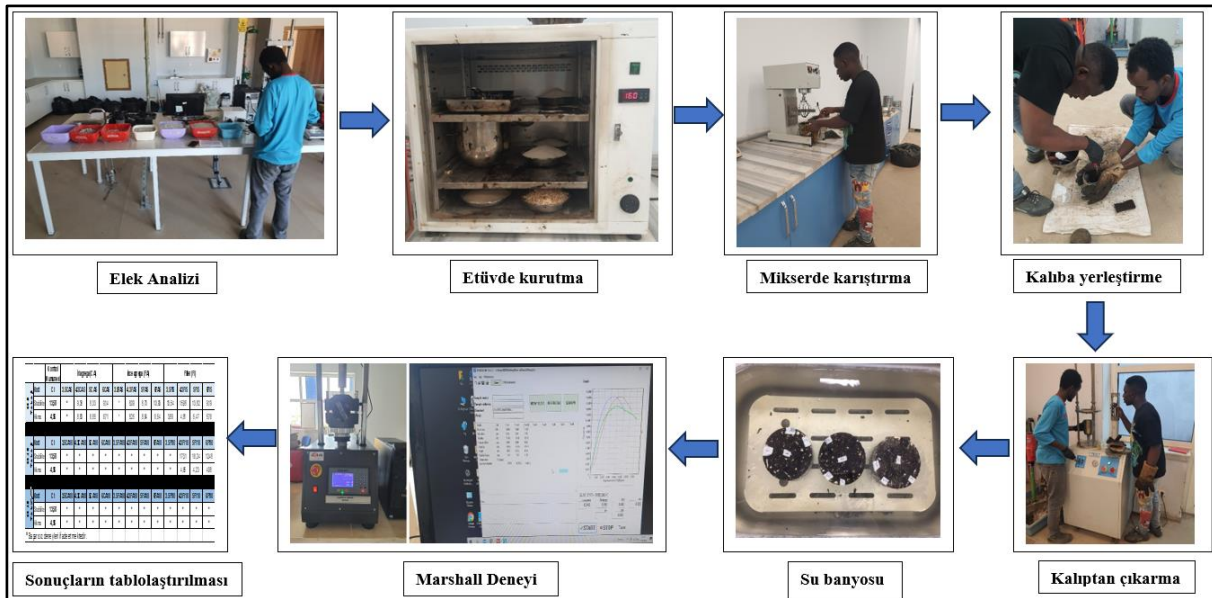
Her bir deney için 3’er adet numune üretilmiş olup kalıba yerleştirilerek kompaksiyon işlemi tamamlanan numuneler, oda sıcaklığında soğumaya bırakılmış ve standartta bahsedilen süre içerisinde kalıp çıkarıcı

ile kalıplardan çıkarılarak bir kumpas yardımıyla boyut ölçümleri yapılmıştır. Sonrasında ise Marshall testine tabi tutulabilmesi için 60 °C su banyosunda 45 dk bekletilmiştir. Su banyosundan çıkarılan numuneler Marshall cihazına yerleştirilerek stabilite ve akma sonuçları elde edilmiştir.

Tüm bu işlem adımları Çizelge 1’de belirtilen deney matrisinde yer alan bütün numunelere uygulanmıştır. Çalışmanın bu safhasında, odun talaşının organik bir malzeme olması ve bitüm ihtiyacını etkileyebilecek olması ihtimali göz önünde bulundurularak bitüm miktarının da sonuçlar üzerinde etkisinin olabileceği değerlendirilmiştir. Buna istinaden tüm deneyler optimum bitüm oranı olan %4.3’e ilave olarak %3.5, %5 ve %6 oranlarında olmak üzere tekrarlanarak yeni deney süreçleri geliştirilmiştir. Bitüm oranları da dikkate alınarak ortaya çıkan en son deney matrisi Çizelge 4’te, takip edilen tüm işlem adımlarına ilişkin görsel iş akış şeması ise Şekil 5’te sunulmuştur.

Çizelge 4. Revize edilmiş deney matrisi

		BİTÜM MİKTARI			
		3.50%	4.30%	5.00%	6.00%
		KOMPAKSIYON			
		75x2	75x2	75x2	75x2
Talaşsız	KONTROL NUMUNESİ	CS			
% 5 talaş	İri agrega	3.5CA5	4.3CA5	5CA5	6CA5
	İnce agrega	3.5FA5	4.3FA5	5FA5	6FA5
	Filler	3.5FI5	4.3FI5	5FI5	6FI5
% 10 talaş	İri agrega	3.5CA10	4.3CA10	5CA10	6CA10
	İnce agrega	3.5FA10	4.3FA10	5FA10	6FA10
	Filler	3.5FI10	4.3FI10	5FI10	6FI10
% 15 talaş	İri agrega	3.5CA15	4.3CA15	5CA15	6CA15
	İnce agrega	3.5FA15	4.3FA15	5FA15	6FA15
	Filler	3.5FI15	4.3FI15	5FI15	6FI15



Şekil 5. İşlem adımlarına ait görsel iş akış şeması

3. Sonuçlar

Çizelge 4’deki deney matrisi dikkate alınarak gerçekleştirilen deney sonuçlarından elde edilen Marshall deney verileri Çizelge 5’te sunulmuştur.

Çizelge 5. Marshall deney sonuçları

	Kontrol Numune	İri agrega (CA)					İnce agrega (FA)					Filler (FI)			
% 5 TALAŞ	Kod	CS	3.5CA5	4.3CA5	5CA5	6CA5	3.5FA5	4.3FA5	5FA5	6FA5	3.5FI5	4.3FI5	5FI5	6FI5	
	Stabilite	13.58	*	9.38	8.33	9.14	*	8.09	8.73	10.93	13.54	15.98	13.82	9.19	
	Akma	4.96	*	8.80	6.85	6.71	*	8.25	8.84	6.54	3.89	4.81	5.47	5.76	
% 10 TALAŞ	Kod	CS	3.5CA10	4.3CA10	5CA10	6CA10	3.5FA10	4.3FA10	5FA10	6FA10	3.5FI10	4.3FI10	5FI10	6FI10	
	Stabilite	13.58	*	*	*	*	*	*	*	*	*	17.31	16.24	12.48	
	Akma	4.96	*	*	*	*	*	*	*	*	*	4.65	4.23	4.98	
% 15 TALAŞ	Kod	CS	3.5CA15	4.3CA15	5CA15	6CA15	3.5FA15	4.3FA15	5FA15	6FA15	3.5FI15	4.3FI15	5FI15	6FI15	
	Stabilite	13.58	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
	Akma	4.96	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
* Başarısız deneyleri ifade etmektedir.															

* Başarısız deneyleri ifade etmektedir.

Çizelge 5'te (*) ile ifade edilen deneyler karışımın kalıptan çıkarılma esnasında dağılması veya su banyosunda bekletilmesi sonrası dağılmasına bağlı olarak Marshall deneyine tabi tutulamayan deneyleri ifade etmektedir.

%5 talaş ikamesi içeren numuneler değerlendirildiğinde; iri agreg ve ince agreg boyutlu talaş içeren numunelerin stabilite değerlerinin kontrol numunelerine oranla belirgin bir düşüş (%40 - %20) sergilediği, akma değerlerinin ise kontrol numunesine oranla oldukça yüksek bir artış (%32 - %78) sergileyerek şartname limitleri açısından yetersiz kaldığı görülmüştür. Filler boyutunda talaş içeren numunelerin stabilite değerlerinin kontrol numunelerine oranla minimum %32 düşüş ile maximum %18 artış sergilediği görülmüş olup %5 talaş içeren numunelerde en iyi sonuç %4.3 bitüm oranına sahip %5 filler boyutunda talaş ikamesi içeren 4.3FI5 numunesinden elde edilmiştir.

%10 talaş ikamesi içeren numuneler değerlendirildiğinde; iri agreg ve ince agreg boyutlu talaş içeren numunelerin su banyosunda dağılması sebebiyle Marshall testlerine tabi tutulamamış dolayısıyla stabilite ve akma değerleri tespit edilememiştir. Filler boyutunda talaş içeren numunelerin stabilite değerlerinin ise kontrol numunelerine oranla minimum %8 düşüş ile maximum %27 artış sergilediği görülmüş olup %10 talaş içeren numunelerde en iyi sonuç %4.3 bitüm oranına sahip %10 filler boyutunda talaş ikamesi içeren 4.3FI10 numunesinden elde edilmiştir.

%15 talaş ikamesi içeren numuneler değerlendirildiğinde numunelerin bir kısmının henüz kalıptan çıkarılma esnasında, bir kısmının ise su banyosunda dağılması sebebiyle Marshall testlerine tabi tutulamamış dolayısıyla stabilite ve akma değerleri tespit edilememiştir.

Elde edilen sonuçlar, ilgili numunelerin değişen bitüm oranları dikkate alınarak değerlendirildiğinde ise tasarıma esas optimum bitüm içeriği olan %4.3 oranı, genel olarak tüm boyutlardaki (iri, ince, filler) talaş içeren numuneler açısından en uygun orandır. Bu oranın kullanıldığı testlerde, stabilite ve akma değerleri sağlanmış olup odun talaşının özellikle filler boyutunda ikamesinin, karışımın bitüm miktarı açısından herhangi ilave bir ihtiyaç doğurmayacağı ve ekonomik açıdan bir mahzur olmayacağı değerlendirilmiştir.

Tüm deney sonuçları dikkate alındığında stabilite ve akma değerleri açısından en uygun sonucun filler ile ikame edilen talaş miktarları için ortaya çıktığı görülmektedir. Hem stabilite değeri hem akma değeri hem de performans açısından kullanılabilecek maksimum miktar açısından en uygun oran olarak %4.3 bitüm oranına sahip %10 filler boyutunda talaş ikamesi içeren 4.3FI10 numunesi optimum numune olarak tayin edilmiştir.

4. Tartışma ve Değerlendirme

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, odun talaşının sıcak asfalt karışımlarda Marshall stabilitesi ve akma değerleri açısından kullanımının fizibil olduğunu ortaya koymuştur.

Buna göre;

- Deney sonuçları iri ve ince agrega boyutlarında kullanılan ikame odun talaşından ziyade özellikle filler boyutunda odun talaşı ikamesinin daha anlamlı sonuçlar çıkardığını göstermiştir.
- Değişen bitüm miktarının sonuçlar üzerindeki etkisi sınırlı olmakla birlikte başlangıçta seçilen tasarıma esas optimum bitüm muhtevasının korunmasının uygun olduğu görülmüş, en iyi sonuçlar optimum bitüm oranında elde edilmiştir. Buradan hareketle odun talaşı içeren numunelerin ilave bitüm ihtiyacı doğurmadığı ve ekonomik açıdan herhangi bir kaygı oluşturmadığı değerlendirilmiştir.
- Çalışmada kullanılan odun talaşı bir atık/yan ürün olup elde edilen sonuçların hem geri dönüşüm ve atık bertarafı gibi çevresel çabalara katkı sağlayacağı hem de maliyet etkin bir çözüm olarak değerlendirilebileceği görülmüştür.
- Çalışmada çam ağacından elde edilen odun talaşı kullanılmış olup farklı ağaç türlerine ait talaş kullanımları ile mukayeseli deneyler gerçekleştirilmesi önerilmektedir.
- Gelecek çalışmalarda Marshall testlerine ilave olarak asfalt kaplamanın uzun süreli yükler altındaki reolojik performansının gözlemlenebilmesine yönelik ilave deneylerin yapılması önerilmektedir. Ayrıca BT (bilgisayarlı tomografi) görüntüleri veya ultrasonik ölçümler gibi teknikler de kullanılarak numunelerin boşluk oranı ve homojenlik açısından durumlarının da irdelenmesi önerilmektedir.

Fon Destek Beyanı

Bu çalışma Karabük Üniversitesi (KBU) Bilimsel Araştırma Projesi (BAP) Koordinasyon Birimi KBÜBAP-23-YL-134 ve aynı zamanda TÜBİTAK 1002/B Acil Destek Modülü 223M421 nolu projeler ile desteklenmiştir.

Teşekkür

Çalışmada kullanılan bitüm ve agrega malzemeleri Karabük İl Özel İdaresi'nden ücretsiz olarak temin edilmiş olup özellikle Yol ve Ulaşım Hizmetleri Müdürlüğü'ne teşekkürlerimizi sunarız.

Etik Standartların Beyanı

Bu makalenin yazarları çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

Yazar Katkılarının Beyanı

Bu bölümde makalede adı geçen her bir araştırmacı, literatür araştırması, deney süreçleri, raporlama olmak üzere tüm süreçlerde yer almıştır.

Çıkar Çatışmasının Beyanı

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

Kaynaklar

- [1] EPA National overview: wastes and recycling. <https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/national-overview-facts-and-figures-materials> (Erisim Tarihi: 02.05.2024).

- [2] Eurostat waste statistics. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Waste_statistics (Erisim Tarihi 02.05.2024).
- [3] Statista global waste generation - statistics & facts. <https://www.statista.com/topics/4983/waste-generation-worldwide/> (Erisim Tarihi 02.05.2024).
- [4] Van L, Hamid NA, Ahmad MF, Aizat AN, Ruslan R, Muhamad PF. Factors of single use plastic reduction behavioral intention. *Emerging Science Journal* 2021; 5(1): 269–278. <https://doi.org/10.28991/esj-2021-01275>.
- [5] European commission, directive 2008/98/EC of the european parliament and of the council. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:312:0003:01:ES:HTML>. (Erisim Tarihi 07.09.2024).
- [6] Rominiyi OL, Adaramola BA, Ikumapayi OM, Oginni OT, Akinola SA. Potential utilization of sawdust in energy, manufacturing and agricultural industry; Waste to wealth. *World Journal of Engineering and Technology* 2017; 5(3): 526–539. <https://doi.org/10.4236/wjet.2017.53045>.
- [7] Mirski R, Dukarska D, Derkowski A, Czarnecki R, Dziurka D. By-products of sawmill industry as raw materials for manufacture of chip-sawdust boards. *Journal of Building Engineering* 2020;32(1). <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101460>.
- [8] Nassef MM, Gabr AR, El-badawy SM. Laboratory evaluation of rice husk and sawdust on the performance of asphalt binders and mixtures. *Mansoura Engineering Journal* 2021;46.
- [9] Vishnu TB, Singh KL. A study on the suitability of solid waste materials in pavement construction: A review. *International Journal of Pavement Research Technology* 2021;14(1): 625–637. <https://doi.org/10.1007/s42947-020-0273-z>.
- [10] Kandhal PS. *Waste materials in hot mix asphalt - an overview*. New York: ASTM; 1993.
- [11] Yasanthi RGN, Rengarasu TM, Bandara W. Study on the performance of waste materials in hot mix asphalt concrete, *American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences* 2016;23(1): 252–267.
- [12] Fayissa B, Gudina O, Yigezu B. Application of sawdust ash as filler material in asphaltic concrete production. *Civil and Environmental Engineering Journal* 2020;16(2):351–359. <https://doi.org/10.2478/cee-2020-0035>.
- [13] Osuya DO, Mohammed H. Evaluation of sawdust ash as a partial replacement for mineral filler in asphaltic concrete. *African Journals Online* 2017;19(2): 431–440.
- [14] Yasanthi RGN, Rengarasu TM, Jegatheesan N, Bandara W. Effects of temperature variation on hot mix asphalt concrete with saw dust ash used as aggregates. In: 5th International Symposium on Advances in Civil and Environmental Engineering, Ruhuna, Japan; 2017.
- [15] Osinubi KJ, Edeh JE, Onoja WO. Sawdust ash stabilization of reclaimed asphalt pavement. *Journal of ASTM International* 2012;9(2): 454–467. <https://doi.org/10.1520/stp154020120022>.
- [16] Akter R, Hossain MK, Anwar MS, Rahman K. Performance evaluation of coal dust and wood powder ash as alternates of conventional filler in the asphalt concrete. *Sustainable Engineering Innovation* 2022;4(1): 82–96. <https://doi.org/10.37868/sei.v4i1.id157>.
- [17] Bao DX, Yu YY, Zhao QM. Evaluation of the chemical composition and rheological properties of bio-asphalt from different biomass sources. *Road Material and Pavement Design* 2020;21(1): 1829–1843. <https://doi.org/10.1080/14680629.2019.1568287>.
- [18] FAO, Forest Product Statistics. <https://www.fao.org/forestry-fao/statistics/80938/en/> (Erişim Tarihi: 02.12.2024).
- [19] Bitümlü karışımlar-Sıcak asfalt karışımlar-Deney yöntemleri. Türk Standartları Enstitüsü, TS EN 12697; 2009.