



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

## Atık Olivin Mineralinin Asfalt Betonunda Filler Olarak Kullanımı

 Murat CANPOLAT<sup>a,\*</sup>,  Ahmet BEYÇİOĞLU<sup>b</sup>,  Nihat MOROVA<sup>c</sup>,  Suna ÇETİN<sup>d</sup>,  Hatice Merve ÇETİN<sup>e</sup>,  Hüseyin GÜNDOĞAN<sup>f</sup>

<sup>a</sup> Karayolları 5. Bölge Müdürlüğü, Mersin, TÜRKİYE

<sup>b</sup> İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Adana, TÜRKİYE

<sup>c</sup> İnşaat Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Isparta, TÜRKİYE

<sup>d</sup> Seramik Bölümü, Güzel Sanatlar Fakültesi, Çukurova Üniversitesi, Adana, TÜRKİYE

<sup>e</sup> İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Toros Üniversitesi, Mersin, TÜRKİYE

<sup>f</sup> Sinpaş Holding, Seranit Granit A.Ş., İstanbul, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: [muratac@kgm.gov.tr](mailto:muratac@kgm.gov.tr)

DOI: 10.29130/dubited.948454

### ÖZ

Bu çalışmada ferrokrom tesislerinde kromit cevherinin zenginleştirilmesi sürecinde ortaya çıkan atık olivin malzemesinin esnek üstyapılarda filler olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. İlk aşamada geleneksel kırmataş kalker agregası tozu kullanılarak elde edilen gradasyonda sabit filler oranı %4.7 olarak alınmış ve bitüm oranı %3,5, %4,0, %4,5, %5,0, %5,5 alınarak optimum bitüm yüzdesi elde edilmiştir. İkinci aşamada, ilk aşamada bulunan optimum bitüm yüzdesi ile geleneksel kırmataş kalker agregası tozuna %0, %25, %50, %75 ve %100 oranlarında olivin ikame edilerek oluşturulan numunelere; stabilite, akma, pratik özgül ağırlık, boşluk yüzdesi, asfalt dolu boşluk yüzdesi ve agregalar arası boşluk yüzdesi deneyi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre geleneksel kırmataş kalker agregası filler malzemesiyle ikame edilen olivin yüzdelere göre asfalt betonunun mühendislik özelliklerinin değişimi karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak olivinin sıcak karışım asfalt betonlarda filler malzeme olarak kullanılabilceği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Olivin, Atık, Bitümlü Sıcak Karışımlar, Mineral filler

## The Use of Olivine Mineral From Chrome Ore Enrichment Process Wastes as Fillers in Asphalt Concrete

### ABSTRACT

In this study, the usability of the waste olivine material obtained as a result of enrichment of chromite ore in Eti Krom plants as fillers in flexible superstructures was investigated. In the first stage, the rate of fixed fillers in the gradation obtained by using traditional crushed stone powder was taken as 4.7% and the optimum bitumen percentage was obtained by taking the bitumen rate as 3.5%, 4.0%, 4.5%, 5.0%, 5.5%. In the second stage, stability, flow, practical specific gravity, percentage of voids, percentage of asphalt filled voids and aggregates to the deposits created by replacing olivine in the ratio of 25%, 50%, 75% and 100% to the traditional crushed stone powder with the optimum percentage of bitumen found in the first stage. Percentage of gap was tested. According to the results, the changes in the engineering properties of asphalt concrete were compared according to the olivine percentages substituted with traditional crushed stone filler material.

**Keywords:** Olivine, Waste, Bituminous Hot Mixes, Mineral filler

# I. GİRİŞ

Nüfus çoğalması, dengesiz kentleşme ve hızlı sanayileşmenin artmasıyla birlikte dünyadaki doğal kaynakların tüketimi artmakta ve bunun sonucunda atık malzeme miktarı artarak çevre problemleri meydana gelmektedir. Bundan dolayı her alanda olduğu gibi karayolu inşaatında da doğal kaynakların korunması amacıyla ve sürdürülebilirlik adına yeni araştırmalar yapılmaktadır. Enerji tüketimini azaltmak için inşaat ve bakım uygulamalarını iyileştirmeyi ve çevresel yükleri en aza indirmeyi amaçlayan malzeme ve teknolojiler geliştirilmektedir [1]. İnşaat malzemeleri ile ilgili araştırmalarda, atık malzemelerden kaynaklanan olumsuzlukları azaltmak için etkili çözümler üretilmektedir. Bu çözümler arasında yol yapımında kullanılan agregaların yerine alternatif olarak atık malzemelerin kullanılması da yer almaktadır [2].

Esnek üstyapı kaplamaları, dünyadaki mevcut kaplamaların % 90'ından fazlasını oluşturmaktadır. Kaplamaların görevi, taşıtlara düzgün bir yuvarlanma yüzeyi sağlamak, trafik yüklerinden dolayı oluşan gerilmeleri taban zeminini deformasyona uğratmadan taşıyabileceği sınır değerlere indirmek, altyapıyı su, iklim koşulları vb. etmenlerden korumaktır. Esnek kaplamalar, taban zemin üzerine inşa edilen, kaplama, temel ve granüler alt temellerden oluşan tabakalı sistemlere denir. Esnek üstyapı tabakalarından olan aşınma ve binder tabakaları asfalt çimentosundan (bitüm) ve agregadan oluşmaktadır. Agregada; kaplamada iskelet, asfalt çimentosu ise karışımında bağlayıcı görevi yaparak yapıyı birlikte tutmaktadır [3]-[6].

Genel olarak asfalt karışımında, agregada ve asfalt çimentosunun yanısıra dolgu dolgu olarak filler malzemeler de kullanılmaktadır. Karışımın ağırlıkça yaklaşık % 94-96'sı agregada ve filler, kalan % 4-6'sı ise asfalt bağlayıcıdan oluşur [7]. Asfalt karışımında dolgu maddeleri kullanmanın faydaları; agregada gradasyon spesifikasyonunu karşılamak ve karışımın mukavemet ve hacimsel gerekliliklerini etkilemek; karışımın optimum bitüm içeriğini ve malzeme maliyetini azaltmak; karışımın mekanik özelliklerini iyileştirmek için bitümün sertleştirilmesi ve karışımların sadece yüksek sıcaklıklarda kalıcı deformasyona direnme kabiliyetini değil, aynı zamanda düşük sıcaklıklarda çatlama direncini ve ara sıcaklıklarda yorulma ömrünü arttırmak; karışımın nem hassasiyetini daha da etkileyen agregada-bitüm sistemindeki "bağ"ı etkilemek; oksidasyonu katalize ederek veya reçine içindeki oksijen difüzyonunu engelleyerek asfalt karışımlarının yaşlanma sürecini yavaşlatmak; olarak sıralanabilir [8].

Yol kaplamalarının maruz kaldığı ağır ve tekrarlı trafik yükleri sebebiyle yüzeyde aşınma, dalgalanma ve çatlaklar meydana gelmektedir. Ayrıca kaplama yüzeylerinin aşınması sonucu cilalanma meydana gelerek yollar pürüzlülüğünü ve sürtünme direncini kaybetmektedir. Bunun sonucunda kaplamalar istenilen dayanımı sağlayamamakta ve servis ömrünü tamamlayamadan deformasyona uğramaktadır [9]. Bu sebeplerden dolayı kaplamalardan istenen performans özelliklerini geliştirmesi açısından tabakalarda kullanılan bitümlü bağlayıcılarda katkı ya da değerli atıklarla modifiye işlemi yapılmaktadır. Ayrıca kaplamada kullanılan agregada ve filler yani dolgu için farklı mineral yapısında olan çeşitli atık mineraller kullanılabilir. Filler malzemesine alternatif olarak atık malzemelerin kullanılması hem yol ömrünün uzamasına hem de atık malzemenin değerlendirilmesini sağlayarak, maliyet, enerji ve iş gücünden tasarruf yapılmasına olanak sağlayacaktır [10].

Atık malzeme kullanımı yoluyla üstyapıların performansını ve dayanıklılığını arttırmak ve sürücülerin güvenliğini sağlamak için yenilikçi ve çevre dostu malzemelerin geliştirilmesi konusunda birçok çalışma yürütülmektedir [11].

Zhang ve arkadaşları [12], asfalt karışımlarda sıkça kullanılan kireç taşı tozu yerine alternatif olarak kırmızı çamurdan türetilen dolgu agregası kullanılmasını araştırmışlardır. Deneysel sonuçlara dayalı olarak, uygulanabilir modifikasyon yöntemi ve optimum malzeme oranı ortaya çıkarılmıştır. Asfalt mastiğinde kireçtaşı dolgusunun yerine kırmızı çamur kullanımının, modifikasyon ajanı olarak belirli bir miktar beyaz çamur eklenerek uygulanabilir olduğu kanıtlanmıştır.

Du ve arkadaşları [13], asfalt kaplamanın maruz kaldığı güneş radyasyonu ısını azaltmak ve karışımın ısı direncini artırmak için filler olarak mikro boyutta cam malzemesiyle çalışmalar yapmışlar. Karışımlarda sıkça kullanılan kireçtaşı mineral dolgusuna göre performanslarını karşılaştırmışlardır. Mikro boyutta cam malzemesi ilavesi asfalt kaplamayı potansiyel olarak soğutabilse de, asfalt karışımının deformasyon direncini azaltabileceği sonucuna varmışlardır.

Zhang ve arkadaşları [14], sanayi atıklarının çoğalmasından dolayı atıkların bertaraf işleminde önemli bir problem haline gelmesinden dolayı asfalt karışımlarda ince katı atık uygulamasını araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmada uçucu kül, diatomit ve dört tip boksit kalıntısı atıkları filler olarak kullanmış ve bu malzemelerin bitümlü sıcak karışımların performansında meydana getirdiği değişimleri incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlar, yüksek metal element içeriğine ve gözenekli yapıya sahip dolgu maddesinin, asfalt harcının nem hasarına karşı direncine fayda sağlayan asfalt harcının polaritesini ( $\gamma$ AB) artırabileceğini göstermiştir.

Wang ve arkadaşları [15], asfalt karışımlarda meydana gelen yaşlanmayı geciktirmek ve kaplamaların performanslarını iyileştirmek amacıyla dolgu olarak uçucu kül, diatomit ve kırmızı çamur malzemelerini kullanmıştır. İnce katı atık eklenmesinin yaşlanma sürecinde modifiye asfaltın yorulma özelliğinin azalmasına yol açıp açmayacağına hala belirsiz olduğunu ortaya koymuşlardır.

Li ve arkadaşları [16], asfalt karışımlarında filler olarak kireçtaşı ve uçucu kül kullanarak karışımlarda meydana gelen oksidasyon sonucu yaşlanmaya karşı direnci araştırmışlardır. Çalışma sonucunda her iki filler grubunun, karışımların oksidasyon direncini iyileştirdiği görülmüştür.

Tao ve arkadaşları [17], çelik cüruf agregasını parçalayarak 0.075 mm'den küçük partikül haline getirmiş ve asfalt karışımında dolgu malzemesi olarak kullanmıştır. Ayrıca filler olarak sıkça kullanılan kireçtaşı tozu ile birlikte farklı oranlarda kullanmıştır. Yapılan analizler sonucunda dolgu maddesi olarak çelik cürufu ve kireçtaşı tozu karışımının birlikte kullanılması kaplamanın dayanımını artırdığı ortaya çıkmıştır.

Wozuk ve arkadaşları [18], yaptıkları çalışmada asfalt karışımlarda filler olarak iki farklı türde uçucu kül kullanmışlardır. Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen karışım asfaltın hava boşluklarının yanı sıra suya ve dona karşı direnci sağladığı ve her iki sınıf uçucu külün de alternatif mineral dolgu olarak uygulanabileceği ortaya çıkmıştır.

Wang ve arkadaşları [19], mineral dolgular yerine asfalt kaplamada uygulanmak üzere çimento dolgu maddelerinin potansiyelini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda fiziksel ve hacimsel özellikler açısından çimento dolgu maddeleri mineral dolgular ile benzer olduğu ortaya çıkmıştır. Performans açısından çimento filleri tekerlek izi gibi deformasyonlarda karışımın dayanımını iyileştirmiştir.

Roy ve Mistry [20], sıcak karışım asfaltta alternatif dolgu maddesi olarak uçucu küllerin etkisini araştırmıştır. Optimum dolgu içeriği olarak % 4 uçucu kül içeren karışım için daha düşük optimum bitüm içeriği ile daha yüksek bir stabilite değeri bulmuşlardır.

Dulaimi ve arkadaşları [21], kaplama tabakaları karışımı için alkali aktifleştirilmiş ikili harmanlanmış çimento esaslı dolgu maddesi üreterek karışımların hızlı kürlenmesini ve çevre dostu soğuk asfalt beton geliştirilmeyi amaçlamışlardır. Üretilen bu dolgu malzemesinin karışımın mekanik özelliklerini ve nem hassasiyetine karşı performansını iyileştirmiştir.

Bu çalışmada ferrokrom tesislerinde kromit cevherinin zenginleştirilmesi sürecinde ortaya çıkan atık olivin malzemesinin esnek üstyapılarda filler olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. İlk aşamada geleneksel kırmataş kalker agregası tozu kullanılarak elde edilen gradasyonda sabit filler oranı %4.7 olarak alınmış ve bitüm oranı %3.5, %4.0, %4.5, %5.0 ve %5.5 alınarak optimum bitüm yüzdesi elde edilmiştir. İkinci aşamada, ilk aşamada bulunan optimum bitüm yüzdesi ile geleneksel kırmataş kalker agregası tozuna %0, %25, %50, %75 ve %100 oranlarında olivin ikame edilerek oluşturulan numunelere stabilite, akma, pratik özgül ağırlık, boşluk yüzdesi, asfalt dolu boşluk yüzdesi ve agregalar arası boşluk

yüzdesi deneyi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre geleneksel kırmataş kalker agregası filler malzemesiyle ikame edilen olivin yüzdelere göre asfalt betonunun mühendislik özelliklerinin değişimi karşılaştırılmıştır. Atık olarak kromit cevherinin zenginleştirilmesi sürecinde ortaya çıkan atık olivin malzemesinin esnek üstyapılarda filler olarak kullanılması, bu çalışmanın önceki çalışmalardan farklılığını ortaya koymaktadır.

## **II. MATERYAL VE METOD**

### **A. MATERYAL**

Bu çalışmada Mersin İli Aydınçık İlçesine bağlı Sipahili mevki taşı ocağından getirilen kırmataş kalker agregası mineral agrega olarak kullanılmıştır. Çalışmada kullanılmış olan No.4 üstü iri ve No.4 altı ince agreganın fiziksel ve mekanik özellikleri Karayolları Teknik Şartnamesine (KTS) [22] uygun olarak belirlenmiş olup özgül ağırlık ve su emme sonuçları Tablo 1, fiziksel ve mekanik özelliklerine ait deney sonuçları ise Tablo 2’de sunulmuştur.

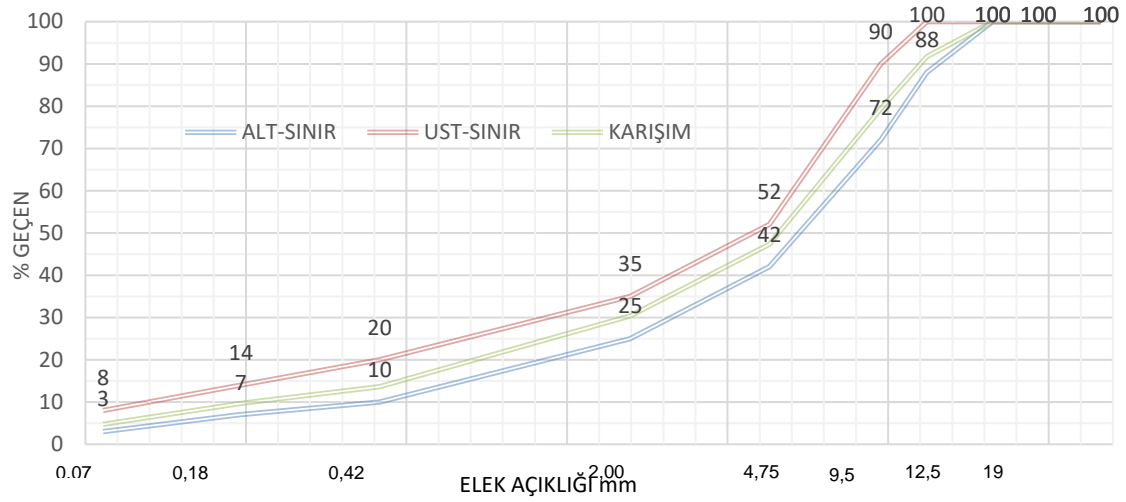
*Tablo 1. İri ve ince agregaya yapılan deneyler*

<b>Deney</b>	<b>Sonuç</b>	<b>Standart</b>
İri agrega zahiri özgül ağırlığı (gr/cm <sup>3</sup> )	2,730	ASTM C 127 [23]
İri agreganın hacim özgül ağırlığı (gr/cm <sup>3</sup> )	2,696	ASTM C 127 [23]
İri agreganın su absorpsiyonu (%)	0,47	ASTM C 127 [23]
İnce agreganın zahiri özgül ağırlığı (gr/cm <sup>3</sup> )	2,742	ASTM C 128 [24]
İnce agreganın hacim özgül ağırlığı (gr/cm <sup>3</sup> )	2,700	ASTM C 128 [24]
İnce agreganın su absorpsiyonu (%)	0,57	ASTM C 128 [24]

*Tablo 2. Agregaların fiziksel ve mekanik özellikleri*

<b>Agrega Deneyleri</b>	<b>Sonuç</b>	<b>Şartname Değeri (KTS-2013) (Aşınma tabakası için)</b>	<b>Standart</b>
Parçalanma Dayanımı Değeri, % Kayıp	24,9	≤27	TS EN 1097-2 [25]
Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık, %	2,1	16	TS EN 1097-1 [26]
Yassılık İndeksi, %	14,4	≤20	BS 812 [27]
Soyulma Mukavemeti, %	75	≥60	TS EN12697-11 [28]
Metilen mavisi, g/kg (ince agreganın 0/2 mm kısmına)	0,5	≤1,5	TS EN 933-9 [29]

Deneyisel çalışmada kullanılmış olan agrega gradasyonu Karayolları Teknik Şartnamesi aşınma tip-1 limitine göre seçilmiştir. Kullanılan gradasyon değerleri Şekil 1’de verilmiştir. Grafikte görüldüğü gibi referans karışım için kullanılan agreganın gradasyonu tüm elek setlerinde KTS’deki limitler arasında kalmıştır.



Şekil 1. Deneylerde kullanılan agrega gradasyonu grafiği

## A.1. Bitüm

Batman rafinerisinden alınan ve Karayolları 5. Bölge Müdürlüğünden temin edilen 50-70 penetrasyon sınıfında, özgül ağırlığı  $1,040 \text{ gr/cm}^3$  olan bitüm kullanılmıştır. Tablo 3'te bitümün özellikleri verilmiştir. Asfalt çimentosuna yapılan deneyler sonucunda bitümün, tasarımında kullanılabilirliğinin olduğu KTS 2013'ün belirlediği limit değerlere uygunluğuyla anlaşılmıştır.

Tablo 3. 50/70 Penetrasyon sınıfındaki bitümün özellikleri

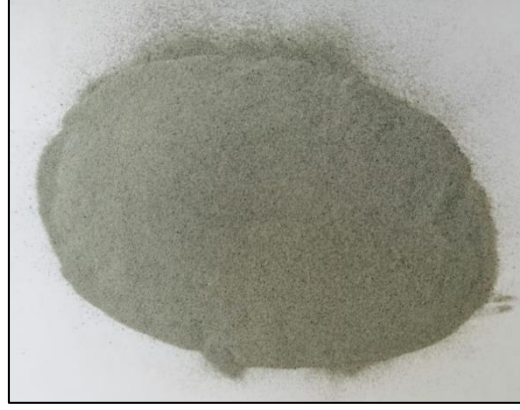
Deney Adı	Deney Sonucu	Şartname Değeri (KTS-2013)	Standart
Penetrasyon Deneyi, (25 °C) 0,1mm	55	50-70	TS EN 1426 [30]
Yumuşama Noktası, °C	50,5	46-54	TS EN 1427 [31]
Kalıcı Penetrasyon, %	52,7	$\geq 50$	TS EN 1426 [30]
Yumuşama Noktası Yükselmesi, °C	7,4	$\leq 9$	TS EN 1427 [31]
Parlama Noktası, °C	245	$\geq 230$	TS EN ISO 2592 [32]
Çözünürlük, %	99,5	$\geq 99,0$	TS EN 12592 [33]

## A.2. Filler

Bu çalışmada Elazığ-Bingöl Karayolu 55. km'sinde bulunan Eti Krom işletmesinin kromit cevheri zenginleştirilmesi sonucu atık olarak depoladığı olivin mineralinin filleri ve Mersin İli Aydınçık İlçesine bağlı Sipahili taş ocağından temin edilen kırmataş kalker agregası tozu filler olarak kullanılmıştır. Asfalt betonunda kırmataş kalker agregası tozu ile yer değiştirilerek kullanılacak olan, kromit cevherinin zenginleştirilmesi sonucu ortaya çıkan olivin atıkları Elazığ-Bingöl Karayolu 55. kilometresinde bulunan Eti Krom atık sahasından temin edilmiştir. Olivin atıklarının kimyasal özellikleri Tablo 4'de verilmiştir. Kullanılan olivine ait bir görsel Şekil 2'de verilmiştir.

Tablo 4. Olivin analiz sonuçları [34]

Numune Cinsi	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	NiO (%)
Olivin	1.68	6.76	33.20	1.29	44.99	0.29	0.039	1.20



*Şekil 2. Eti Krom olivin filler agregası*

Gerçekleştirilen ön deneylerde maksimum stabilite değerini veren optimum filler oranı %4.7 olarak belirlenmiştir. Olivin katkılı karışımlarda da %4.7 toplam filler oranı ile deneylere devam edilmiştir. Kırmataş kalker agregası tozu %25, %50, %75, %100 oranlarında kırmataş kalker agregası tozu ile yer değiştirilen olivine ait özgül ağırlık değeri Tablo 5’te verilmiştir.

*Tablo 5. Kullanılan filler malzemelerinin özgül ağırlık değerleri*

Filler Cinsi	Özgül Ağırlık Değeri ( $gr/cm^3$ )	Standart
Kırmataş kalker agregası filler (Taş tozu)	2,770	ASTM C 854 [35]
Olivin filleri	2,770	ASTM C 854 [35]

## B. METOD

### B.1. Marshall Stabilite Ve Akma Deneyi

Ülkemizde bitümlü karışım tasarımı olarak en yaygın kullanılan yöntemdir. Bu çalışmada da karışım tasarımı olarak Marshall yöntemi kullanılmıştır. Yöntem prensip olarak bitümlü kaplama karışımlarından elde edilen numunelerin Marshall stabilite deney aleti yardımıyla briket yan yüzeyine yükleme yapılarak akma direncinin ölçülmesini sağlar. Maksimum agregada dane boyutu 25 mm ya da daha küçük olan, viskozitesi, penetrasyonu belirlenmiş olan bitüm kullanılarak hazırlanan sıcak karışım asfalt kaplamalarına uygulanan bir yöntemdir.

Bu deney, farklı bitüm muhtevalarında hazırlanan silindirik numunelere Marshall Stabilite deney aleti (Ele Test-E) yardımıyla yanal yüzeylerine yükleme yaparak akmaya karşı direncin ölçümünü kapsar. Yükseklikleri ve gerekli ağırlıkları alınan numunelerin stabilite ve akma değerlerinin tayini için numuneler  $60\pm 1^\circ C$  suda 30–40 dakika bekletilir. Sudan çıkarılan numune çelik bir halkanın iki segmanı arasına yerleştirilir ve akma çubuğu sabitlenir. Maksimum yüke erişinceye kadar dakikada 51mm’lik bir hızla yükleme yapılır. Marshall stabilite değeri (kN) yükleme boyunca kaydedilen maksimum kuvvet, akma değeri (mm) ise maksimum kuvvette kaydedilmiş deformasyon olarak alınır. Ayrıca bu deneyle karışımın birim ağırlığı, boşluk oranı ve bağlayıcı ile dolu bulunan agregada boşluğu yüzdesi de saptanır. Optimum bağlayıcı içeriğini belirlemek için; maksimum hacim özgül ağırlığı, maksimum stabilite, asfalt karışımındaki %4 hava boşluğu ve bağlayıcı ile dolu agregada karışımındaki % 80 boşluğundaki bağlayıcı içeriği değerleri kullanılır [36]. Hazırlanan Marshall stabilite deney numuneleri ve adı geçen deneyin uygulanışı Şekil 3’de görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 3. Marshall stabilite deney numuneleri ve deneyin uygulanışı

### **III. BULGULAR VE TARTIŞMA**

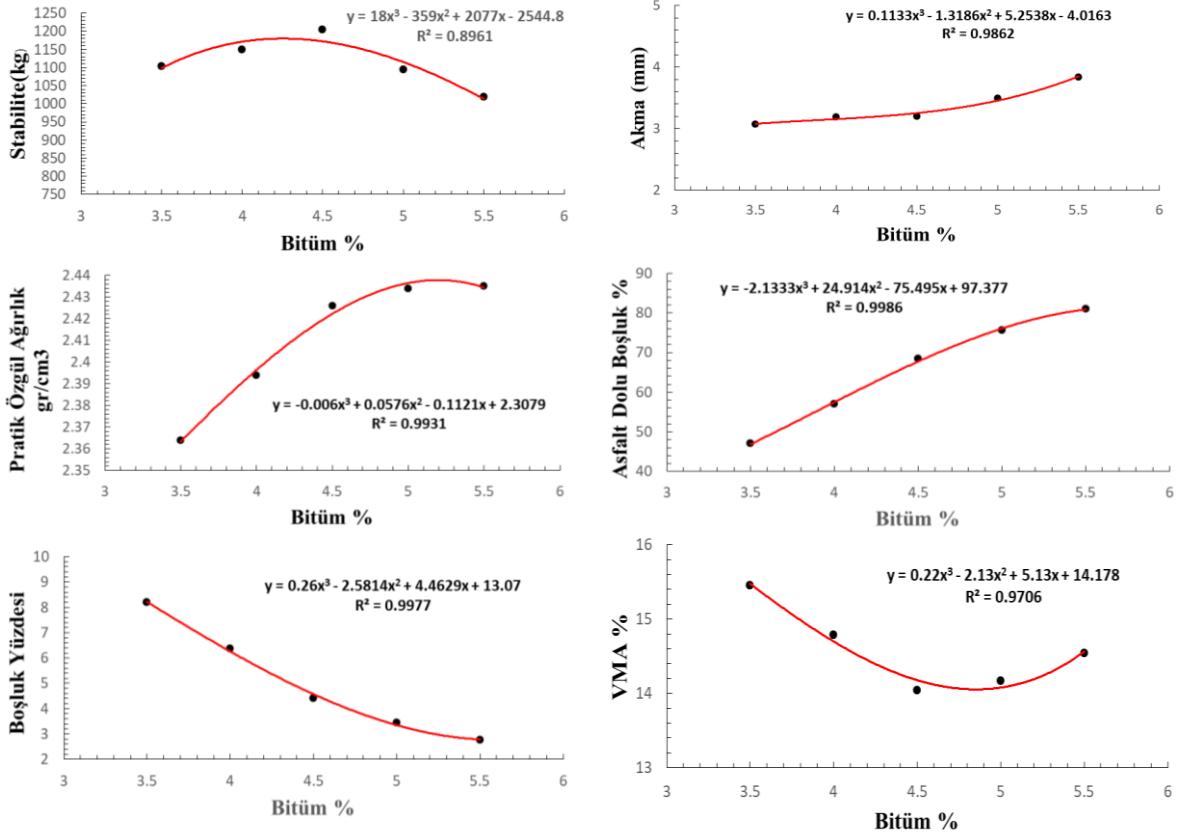
#### **A. MARSHALL STABİLİTE TEST SONUÇLARI**

Kırmataş kalker agregası filleri %25, %50, %75, %100 oranlarında olivin ile yer değiştirilerek her oranda 3 adet numune olmak üzere 15 adet Marshall numunesi elde edilmiştir. Elde edilen numunelere Marshall stabilite ve akma deneyi yapılmış, numunelerin sudaki, havadaki ve yüzey kuru suya doymun ağırlıkları hesaplanarak % stabilite % bitüm, % pratik özgül ağırlık – bitüm, % asfaltla dolu boşluk - bitüm, %boşluk - bitüm grafikleri çizilmiştir.

Agrega gradasyonu sabit tutulup %3.5- 4.0- 4.5- 5.0- 5.5 değerlerinde bitüm oranı kullanılarak numuneler hazırlanmış olup optimum bitüm yüzdesini belirlemek amacıyla stabilite, akma, pratik özgül ağırlık, boşluk yüzdesi, asfalt dolu boşluk yüzdesi ve agregalar arası boşluk yüzdesi grafikleri elde edilmiştir. Optimum bitüm yüzdesi tayin edilirken maksimum birim ağırlığa karşılık gelen bitüm yüzdesi %5.1 boşluk yüzdesi şartname sınırlarının ortalaması olan %4 e karşılık gelen bitüm yüzdesi %4.6, asfalt dolu boşluk yüzdesi %70 e denk gelen bitüm yüzdesi %4.5 ve maksimum stabilitesini veren bitüm yüzdesi %4.2 değerlerinin ortalaması alınarak optimum bitüm yüzdesi %4.6 olarak hesaplanmıştır.

Kırmataş kalker agregası tozu ile yapılan Marshall stabilite sonuçlarına göre yatay ekseninde değişen bitüm oranının yer aldığı, düşey ekseninde ise stabilite, akma, pratik özgül ağırlık, asfalt dolu boşluk yüzdesi, boşluk yüzdesi ve agregalar arası boşluk yüzdesi (VMA) değerlerinin değişimi Şekil 4'te verilmiştir.

Şekil 4'de görüldüğü üzere stabilite değeri bitüm yüzdesi arttıkça bir noktaya kadar artmış fakat daha sonra azalmıştır. Bitüm yüzdesinin artması akma değerini arttırmıştır. Fakat deney yapılan bütün briketlerde akma değeri aşınma tabakası limit değerleri (2- 4mm) arasında kalmıştır. Pratik özgül ağırlık değeri bitüm miktarının artmasıyla artmıştır. Maksimum birim ağırlık bitüm yüzdesinin %5.1 olduğu yerde elde edilmiş daha sonra pratik özgül ağırlık değeri düşüş göstermiştir. %3.5- 4.0- 4.5- 5.0- 5.5 değerlerinde bitüm oranı kullanılarak elde edilen briketlerin asfalt dolu boşluk yüzdesi değerinin sürekli olarak arttığı gözlenmiştir. Ancak alt sınır olan % 65 değerine % 4.2 bitüm yüzdesinde ulaşmış, üst sınır olan %75 A.D.B değerini ise % 5.0 lik bitümden sonra geçmiştir. Aşınma Tip-1 gradasyon kullanılarak yapılan asfalt betonlarında bir diğer faktör boşluk yüzdesi değeri olmakla birlikte, % 4 olarak alınan boşluk yüzdesi değeri asfalt betonunda istenen boşluk yüzdesidir. Grafikte de görüldüğü gibi %4'e karşılık gelen bitüm yüzdesi % 4.6 dır.



Şekil 4. Kırmataş kalker agregası tozunun filler olarak kullanıldığı numunelere ait grafikler

Optimum bitüm yüzdesi, filler olarak % 4.7 kırmataş kalker agregası tozu içeren referans karışımlarda belirlendikten sonra filler yerine olivin ikamesinin stabilite, akma, pratik özgül ağırlık (Dp), agregalar arası boşluk (VMA), boşluk yüzdesi (Vh) ve asfalt dolu boşluk (ADB) değerlerini nasıl etkilediğini belirlemek amacıyla fillere ağırlıkça %25, %50, %75 ve %100 oranlarında olivin ikame edilerek marshall briketleri hazırlanmıştır. Olivin ikame oranına bağlı olarak asfalt betonunun mühendislik özelliklerindeki değişimler % olivin fillere göre stabilite değişim grafiği, %olivin fillere göre akma değişim grafiği, % olivin fillere göre pratik özgül ağırlık değişim grafiği, % olivin fillere göre % (VMA) değişim grafiği, % olivin fillere göre boşluk yüzdesi (Vh) değişim grafiği ve % olivin fillere göre asfalt dolu boşluk (ADB) değişim grafiği Şekil 5’te verilmiştir.

Şekil 5’deki stabilite değerlerine göre referans karışımda 1067 kg olan stabilite %25, %50, %75 ve %100 olivin ikame oranlarında referansa göre sırasıyla %2.2, %4.5, %17 ve %32 oranlarında bir artış göstererek 1090kg, 1115kg, 1256 kg ve 1409 kg değerlerini almıştır. Bu artışlar dikkate alındığında olivin ikamesinin marshall stabilite değerlerini önemli derecede arttırdığı görülmektedir.

Şekil 5’deki akma sonuçları incelendiğinde olivin ikamesiyle akma davranışının ters orantılı olduğu görülmektedir. Olivin ikame miktarı %100 e çıkartıldığında bitümlü sıcak karışımın akma değeri 2.04 mm’ ye kadar düştüğü görülmüştür.

Elde edilen bu deneysel bulgular olivin ikamesinin, akma değerlerinde %11’lere varan azalma ile asfalt betonunu daha gevrek bir malzeme formuna dönüştürdüğü görülmektedir. Buradaki sonuçlara göre tüm değerler KTS de belirtilen sınırlar arasında (2-4 mm) arasında kalmıştır. Burada dikkat çekici olan, fillerin tamamen olivin olarak kullanılması, akma değerini KTS alt sınır değerine yaklaştırmıştır.

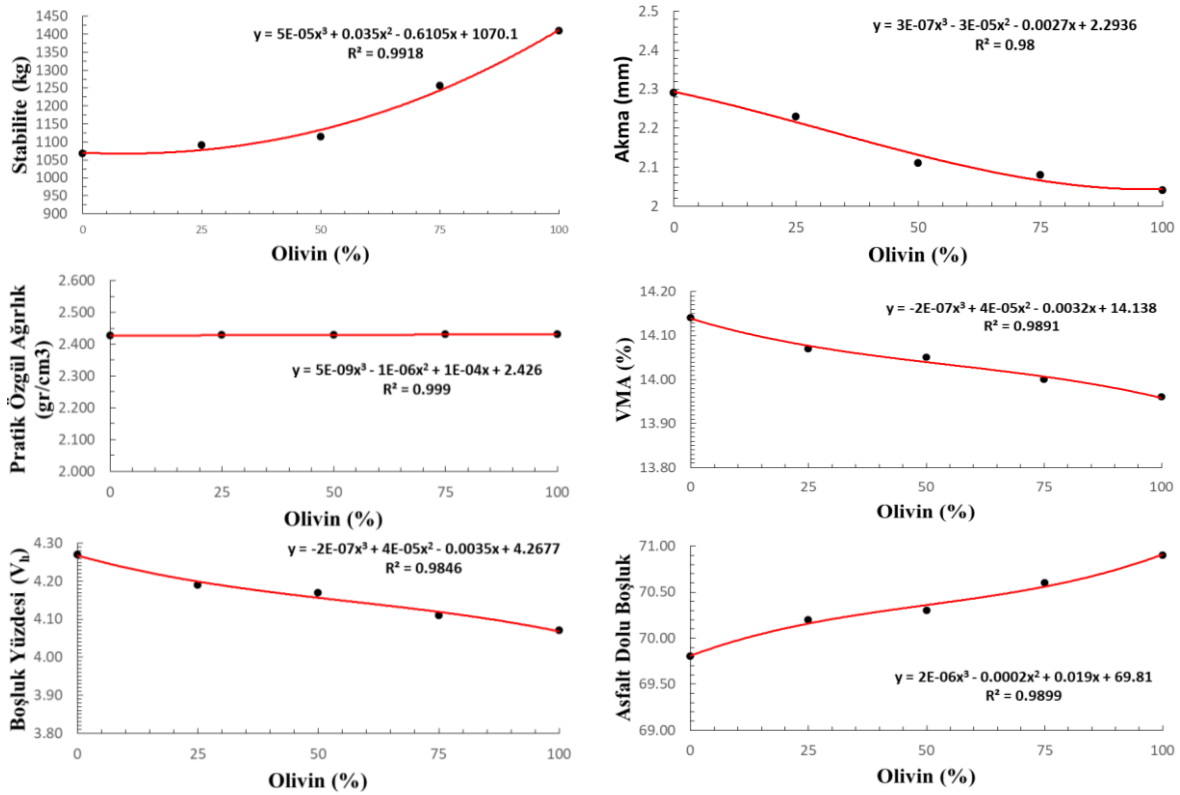
Olivin ikamesinin pratik özgül ağırlık değeri üzerindeki etkisi incelendiğinde, olivin ikameli tüm numuneler ile referans numune arasında anlamlı bir farkın oluşmadığı görülmektedir. Bu da olivin ve kırmataş kalker agregası tozunun özgül ağırlıklarının çok yakın olmasından kaynaklanmaktadır.



Asfalt karışımlarda agrega etrafındaki bitümlü kaplı hacim ile boşluk hacminin toplamı bize agregalar arası boşluk hacmi olan (VMA) değerini verir [37]. Agregaların bitüme daha iyi kenetlenebilmesi sonucu durabilite olumlu etkilenmekte ve bu durum agregalar arası boşluk değerinin önemini ortaya koymaktadır [38]. Şekil 5'deki VMA (%) değerlerine bakıldığında agregalar arası boşluk yüzdesi değerleri olivin ikame yüzdesi arttıkça azalmaktadır.

Uygun hava boşluğu yüzdesi, sıcak asfalt kaplamaların tekrarlı yüklere maruz kaldığı durumlarda sıkışmanın sağlanabilmesi için önemli bir faktördür. Boşluk yüzdesinin eksik olması, sıcaklığın yükselmesi durumunda, asfalt betonunda kusmalara ve stabilite kaybına neden olur. Şekil 5'de görüldüğü üzere artan olivin ikamesi yüzdelerinde boşluk yüzdesi (Vh) değerinin azaldığı gözlenmiştir. Ayrıca olivin ikamesi, boşluk yüzdesinin azalmasına, birim ağırlığın artmasına ve geçirimsizliğin azalmasına neden olacağından asfalt betonunda kayda değer iyileşmelere sebep olacağı görülmektedir. Buna ek olarak olivin ikameli asfalt betonlarının sertleşme ve sökülme problemlerini azaltacağı da söylenebilir. Buradaki en önemli bulgu ise olivin ikameli asfalt betonlarının boşluk yüzdesinin KTS'de tanımlanan %2-4 aralığında kalmasıdır.

Bu çalışmada kırmataş kalker agregası tozu filleri yerine %25, %50, %75 ve %100 olivin ikamesi yapılmış ve asfalt dolu boşluk oranlarının sırasıyla %69.8, %70.2, %70.3, %70.6 ve %70.9 değerlerini aldığı gözlenmiştir. Olivin ikamesine bağlı olarak asfalt dolu boşluk oranındaki artışlar durabilite açısından yorumlanacak olursa, olivin ikamesi ve buna bağlı asfalt dolu boşluk oranının artması asfalt film kalınlığının artmasına neden olmakla birlikte, asfaltın hava boşluğunun azalmasına ve özellikle sıcak havalarda kusmasına sebep olacaktır. Asfalt film tabakasının gereğinden fazla kalın olmasına bağlı olarak da stabilite değerinin düşme ihtimali bulunmakta ve kaplama tabakasında plastik deformasyonların gözlenmesi riski ortaya çıkmaktadır. Ayrıca olivin ikamesine bağlı olarak ortaya çıkan bu artışlar asfalt film kalınlığını arttırabileceği için tekerlek izinde oturma vb. deformasyonların oluşma riski mutlaka göz önünde bulundurulmalı ve bu konuda deneysel çalışmalar yapılmalıdır.



Şekil 5. Kırmataş kalker agregası filleri ile farklı oranlarda yer değiştirilen olivinin kullanıldığı numunelere ait grafikler

## **IV. SONUC**

Bu çalışma kapsamında yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen bulgulara göre ulaşılan sonuçlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

- Stabilite değerlerine göre referans karışımında 1067 kg olan stabilite %25, %50, %75 ve %100 olivin ikame oranlarında referansa göre sırasıyla %2.2, %4.5, %17 ve %32 oranlarında bir artış göstererek 1090kg, 1115kg, 1256 kg ve 1409 kg değerlerini almıştır. Bu artışlar dikkate alındığında olivin ikamesinin marshall stabilite değerlerini önemli derecede arttırdığı görülmüştür.
- Akma sonuçları incelendiğinde ise olivin ikamesiyle akma davranışının ters orantılı olduğu görülmüştür. Olivin ikame miktarı %100'e çıkartıldığında bitümlü sıcak karışımın akma değeri 2.04 mm ye kadar düştüğü görülmüştür. Ancak bütün sonuçlarda akma değeri şartname limitleri içerisinde kalmıştır.
- Olivin ikamesinin pratik özgül ağırlık değeri üzerindeki etkisi incelendiğinde, olivin ikameli tüm numuneler ile referans numune arasında anlamlı bir farkın oluşmadığı görülmüştür. Bu da olivin ve kırmataş kalker agregası tozunun özgül ağırlık değerlerinin birbirine yakın olmasından kaynaklanmıştır.
- Agregalar arası boşluk (VMA) değerlerine bakıldığında tıpkı akma değerindeki gibi ters orantılı olarak olivin ikame yüzdesi arttıkça VMA değeri azalmıştır. Sonuçlar bütün briketlerde şartnamede istenen değer olan 14-16 arasındadır.
- Kırmataş kalker agregası tozu filleri yerine %25, %50, %75 ve %100 olivin ikamesi yapılmış ve asfalt dolu boşluk oranlarının sırasıyla %69.8, %70.2, %70.3, %70.6, %70.9 değerlerini aldığı gözlenmiştir.
- Bu çalışmada, asfalt betonunda filler yüzdesi daha önce yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sabit filler yüzdesi % 4.7 olarak alındı. Atık olivin geleneksel kırmataş kalker agregası filler ile yer değiştirilerek çalışma tamamlandı. Bundan sonraki yapılacak çalışmalarda asfalt betonunda optimum atık olivin filleri tespit edildikten sonra, geleneksel kırmataş kalker agregası tozu yerine atık olivin filleri ikame edilmesi önerilmektedir.

## **V. KAYNAKLAR**

- [1] F.G. Pratic`o, M. Giunta, M. Mistretta and T.M. Gulotta, "Energy and environmental life cycle assessment of sustainable pavement materials and technologies for urban roads," *Sustainability*, vol. 12, pp. 704-719, 2020.
- [2] A. M. Babalghaith, S. Koting, N. H. R. Sulong, M. R. Karim and B. M. Almashjary, "Performance evaluation of stone mastic asphalt (SMA) mixtures with palm oil clinker (POC) as fine aggregate replacement," *Construction and Building Materials*, vol. 262, 2020, Art. no: 120546.
- [3] J. Ma, G. Sun, D. Sun, Y. Zhang, A. C. Falchetto, A, T. Lu, M. Hu and Y. Yuan, "Rubber asphalt modified with waste cooking oil residue: Optimized preparation, rheological property, storage stability and aging characteristic," *Construction and Building Materials*, vol. 258, 2020, Art. no: 120372.
- [4] A. Balaguera, G.I. Carvajal, J. Albertí and P.F. Palmer, "Life cycle assessment of road construction alternative materials: A literature review," *Resources Conservation Recycling*, vol. 132, pp. 37-48, 2018.
- [5] C. Oreto, R. Veropalumbo, N. Viscione, S.A. Biancardo and F. Russo, "Investigating the environmental impacts and engineering performance of road asphalt pavement mixtures made up of jet grouting waste and reclaimed asphalt pavement," *Environmental Research*, vol. 198, 2021, Art. no 111277.

- [6] G. Sun, D. Sun, A. Guarin, J. Ma and F. Chen, and E. Ghafooriroozbahany, "Low temperature self-healing character of asphalt mixtures under different fatigue damage degrees," *Construction and Building Materials*, vol. 223, pp. 870–882, 2019.
- [7] A. Gedik, S. Selcuk and A.H. Lav, "Investigation of recycled fluorescent lamps waste as mineral filler in highway construction: A case of asphaltic pavement layers," *Resources, Conservation & Recycling*, vol. 168, 2021, Art. no: 105290.
- [8] A. Beycioğlu, O. Kaya, Z.B. Yıldırım, B. Bağrıaçık, M. Dobiszewska, N. Morova and S. Çetin, "Use of GRP Pipe Waste Powder as a Filler Replacement in Hot-Mix Asphalt," *Materials*, vol. 13, pp. 1-15, 2020.
- [9] Q. Chen, C. Wang and H. Fu, "Durability evaluation of road cooling coating," *Construction and Building Materials*, vol. 190, pp. 13–23, 2018.
- [10] A. H. Korayem, H. Ziari, M. Hajiloo, M. Abarghoosie and P. Karimi, "Laboratory evaluation of stone mastic asphalt containing amorphous carbon powder as filler material," *Construction and Building Materials*, vol. 243, 2020, Art. no: 118280.
- [11] S. S. Islam, G.D.R.N. Ransinchung and J. Choudhary, "Analyzing the effect of waste jarosite as an alternative filler on the engineering properties of asphalt mixes," *Construction and Building Materials*, vol. 270, 2021, Art. no: 121466.
- [12] J. Zhang, P. Li, M. Liang, H. Jiang, Z. Yao, X. Zhang and S. Yu, "Utilization of red mud as an alternative mineral filler in asphalt mastics to replace natural limestone powder," *Construction and Building Materials*, vol. 237, 2020, Art. no: 117821.
- [13] Y. Dua, M. Dai, H. Deng, D. Deng, T. Wei and L. Kong, "Laboratory investigation on thermal and road performances of asphalt mixture containing glass microspheres," *Construction and Building Materials*, vol. 264, 2020, Art. no: 120710.
- [14] H. Zhang, H. Li, A. Abdelhady, M. Jia and N. Xie, "Investigation on surface free energy and moisture damage of asphalt mortar with fine solid waste," *Construction and Building Materials*, vol. 231, 2020, Art. no: 117140.
- [15] H. Wang, H. Li, H. Zhang, X. Zhang, B. Guo, B. Yu, L. Liu and Y. Tian, "Experimental study on the aging behavior of modified asphalt with different types of fine solid wastes under different aging conditions," *Construction and Building Materials*, vol. 291, 2021, Art. no: 123308.
- [16] F. Li and Y. Yang, "Experimental investigation on the influence of interfacial effects of limestone and fly ash filler particles in asphalt binder on mastic aging behaviors," *Construction and Building Materials*, vol. 290, 2021, Art. no: 123184.
- [17] G. Tao, Y. Xiao, L. Yang, P. Cui, D. Kong and Y. Xue, "Characteristics of steel slag filler and its influence on rheological properties of asphalt mortar," *Construction and Building Materials*, vol. 201, pp. 439–446, 2019.
- [18] A. Wozuk, L. Bandura and W. Franus, "Fly ash as low cost and environmentally friendly filler and its effect on the properties of mix asphalt," *Journal of Cleaner Production*, vol. 235, pp. 493-502, 2019.
- [19] J. Wang, M. Guo and Y. Tan, "Study on application of cement substituting mineral fillers in asphalt mixture," *International Journal of Transportation Science and Technology*, vol. 7, pp. 189–198, 2018.

- [20] R. Mistry and T. K. Roy, "Effect of using fly ash as alternative filler in hot mix asphalt," *Perspectives in Science*, vol. 8, pp. 307–309, 2016.
- [21] A. Dulaimi, H.A. Nageim, F. Ruddock and L. Seton, "High performance cold asphalt concrete mixture for binder course using alkaliactivated binary blended cementitious filler," *Construction and Building Materials*, vol. 141, pp. 160–170, 2017.
- [22] Karayolları Genel Müdürlüğü. *Karayolu Teknik Şartnamesi*, Ankara, Türkiye, 2013. [Çevrimiçi]. Erişim: [https://www.tamyol.com.tr/UserFiles/Content/KGM\\_Teknik\\_Sartnamesi\\_2013.pdf](https://www.tamyol.com.tr/UserFiles/Content/KGM_Teknik_Sartnamesi_2013.pdf).
- [23] *Test method for specific gravity and absorption of coarse aggregate. annual books of ASTM standards designation*, ASTM C 127-88, 64-68, 1998.
- [24] *Test method for specific gravity and absorption of coarse aggregate. annual books of ASTM standards designation*, ASTM C 128-97, 69-72.
- [25] *Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler bölüm 2: parçalanma direncinin tayini için metotlar*, TS EN 1097-2, 2000.
- [26] *Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler-bölüm 1: aşınmaya karşı direncin tayini (Mikro-Deval)*, TS EN 1097-1, 2002.
- [27] *Testing aggregates, methods for determination of particle shape, Flakiness index*, British Standards Institution BS 812, Part 105-1, 1985.
- [28] *Bitümlü karışımlar-deney metotları*, TS EN 12697-11, 2012.
- [29] *Agregaların geometrik özellikleri için deneyler- Bölüm 9: İnce tanelerin tayini- Metilen mavisi deneyi*, TS EN 933-9, 2014.
- [30] *Bitümler ve bitümlü bağlayıcılar-İğne batma derinliği tayini*, TS 118 EN 1426, 2002.
- [31] *Bitümler ve bitümlü bağlayıcılar-Yumuşama noktası tayini-Halka ve bilya metodu*, TS 120 EN 1427, 2002.
- [32] *Petrol ve ilgili ürünler –parlama ve yanma noktasının tayini- Cleveland açık kap yöntemi*, TS EN ISO 2592, 2017.
- [33] *Bitümlü ve bitümlü bağlayıcılar-çözünürlük tayini*, TS 1090 EN 12592, 2002.
- [34] "AR-GE merkezi teknik raporları," Etikrom AŞ, Türkiye, 2021.
- [35] *Standard test methods for specific gravity of soil solids by water pycnometer*, ASTM D854-14, 2014.
- [36] T. Alataş, T. Geçkil ve P. Ahmedzade, "Asfalt betonunda siyah karbonun filler olarak kullanımı," *İMO Teknik Dergi*, c. 297, ss. 4493-4507, 2008.
- [37] S. Çetin, "Afyonkarahisar Bölgesi volkanik kayaların sıcak karışım asfalt kaplamalarında agrega olarak kullanılabilirliğinin araştırılması," Yüksek Lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, Türkiye, 2007.
- [38] C. Gürer, "Atık mermer parçalarının bitümlü yol kaplamalarında değerlendirilmesi," Yüksek Lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, Türkiye, 2005.