

## Taş Mastik Asfalt Karışımlarda Mermer Tozu Kullanımının Dayanma Etkisinin Araştırılması

Elif İZOL\*<sup>1</sup> ORCID 0000-0003-2826-6970

Ali SARIŞIK<sup>2</sup> ORCID 0000-0001-7698-6134

<sup>1</sup>Harran Üniversitesi, İnşaat Teknolojisi Programı, Şanlıurfa

<sup>2</sup>Harran Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa

Geliş tarihi: 09.06.2021

Kabul tarihi: 21.03.2022

Atıf şekli/ How to cite: SARIŞIK, A., İZOL, E., (2022). Taş Mastik Asfalt Karışımlarda Mermer Tozu Kullanımının Dayanma Etkisinin Araştırılması. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(1), 1-11.

### Öz

Doğal kaynaklarda meydana gelen hızlı tüketim gelecek kaygısına neden olmaktadır. Bu nedenle ortaya çıkan atık malzemelerin değerlendirilmesi önemli hale gelmektedir. Bu çalışmada, üstün performanslı asfalt kaplama olan Taş Mastik Asfalt (TMA) karışımına, mineral filler olarak atık mermer tozu eklenerek, Marshall tasarım prosedürü ile oluşturulan karışımların performansına ilişkin bir karşılaştırma yapılmıştır. Bunun yanı sıra alternatif filler malzemesi olarak, kalker ve atık halde ortaya çıkan mermer tozu kullanılmıştır. Asfalt karışımlarda sıklıkla kullanılan bazalt malzemesi, kaba-ince agrega ve kontrol filler olarak kullanılmıştır. Agregaların kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi için gradasyon eğrisine uygun olacak şekilde, belirli oranlarda bitüm kullanılarak Marshall stabilite deneyi yapılmıştır. Her bitüm yüzdesine sahip 3 numune olmak üzere, toplam 45 numune dökümü yapılmıştır. Optimum bitüm yüzdesinin belirlenmesinin ardından bazalt, kalker ve mermer filler malzemenin kullanıldığı numuneler, Karayolları Teknik Şartnamesine göre değerlendirilmiştir. Diğer malzemelerle benzer sonuçların elde edilmesi ile mermer tozunun taş mastik asfaltlarda alternatif filler malzemesi olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Taş mastik asfalt, Marshall stabilite, Mineral filler, Mermer tozu, Aşınma tabakası

## Investigation of the Effect of Using Marble Dust on Strength in Stone Mastic Asphalt Mixtures

### Abstract

Rapid consumption of natural resources causes future anxiety. For this reason, the evaluation of the resulting waste materials becomes important. In this study, a comparison was made regarding the

---

\*Sorumlu yazar (Corresponding author): Elif İZOL, [elifizol@harran.edu.tr](mailto:elifizol@harran.edu.tr)

performance of the mixtures formed by Marshall design procedure by adding waste marble dust as mineral filler to the Stone Mastic Asphalt (SMA) mixture, which is a high-performance asphalt coating. In addition, limestone and waste marble dust were used as alternative filler materials. Basalt material, which is frequently used in asphalt mixtures, was used as coarse-fine aggregate and control filler. In order to determine the chemical, physical and mechanical properties of the aggregates, the Marshall stability test was carried out using certain proportions of bitumen in accordance with the gradation curve. A total of 45 samples were cast, 3 samples with each bitumen percentage. After determining the optimum bitumen percentage, the samples using basalt, limestone and marble filler materials were evaluated according to the Highway Technical Specifications. It has been concluded that marble dust can be used as an alternative filler material in stone mastic asphalts with similar results with other materials.

**Keywords:** Stone mastic asphalt, Marshall stability, Mineral filler, Marble dust, Wear layer

## 1. GİRİŞ

Son zamanlarda çevrenin korunmasına ilişkin sorunlar ve bu sorunlara karşı çözümler, toplumlarda büyük önem kazanmıştır. Bu konu ile ilgili endişelerin artmasıyla ülkeler, geri dönüşüm ve kaynakların korunması için oldukça kapsamlı çalışmalar başlatmıştır. Birçok yetkili ve bilim araştırmacısı, atıkların çevresel ve ekonomik olarak sürdürülebilir bir şekilde yeniden kullanılmasına ayrıcalık tanımaya başlamışlardır. Bu çalışmalardan biri de atıkların değerlendirilmesi ile alakalıdır [1,2].

İnşaat mühendisliği uygulamalarında, endüstriyel atıkların geri dönüşümü hakkında yapılan çalışmalar, önemli bir gelişme göstererek devam etmektedir. Buna benzer şekilde atıkların yeniden kullanılması, kalıntıların yapı malzemeleri üzerine etkisinin araştırılması ve bunun çevreye olan etkilerinin araştırılması da uzun yıllardan beri incelenmektedir [3]. Türkiye’de mermer üretimi yıllık 7 milyon ton’dur. Ayrıca Türkiye’nin mermer rezervleri, dünya rezervlerinin %40’ını oluşturmaktadır [4,5]. Mermer atıkları, mermer ocaklarında mermer üretimi, blok alınması ve yapılan diğer işlemler sonucu ortaya çıkmaktadır. Bu atıklar, parça mermer atıkları ile daha küçük boyutlara sahip olan, özellikle kesim sonucu açığa çıkan toz mermer atıklarıdır. Bu tür atıklar hem görüntü hem de çevre kirliliğine neden olmaktadır,

bu nedenle inşaat sektöründe kullanılarak değerlendirilmesi çevresel açıdan da yarar sağlayacaktır.

Yapılan araştırmalar çeşitli boyutlardaki mermer atıklarının, bitümlü sıcak karışımlarda (BSK) kullanılabileceğini göstermiştir. Asfalt karışımlar için alternatif malzeme olarak çeşitli atıkların değerlendirildiği, hatta bitümün atıklarla modifiye edilebileceğine dair birçok çalışma mevcuttur [1]. Ahmadinia ve arkadaşları [6], polimer modifiye bitümün maliyetli olması sebebiyle buna alternatif olarak, atık polimer kullanımını değerlendirmişlerdir. Bu kapsamda atık plastik şişelerin (Poliyeten Tereftalat (PET)), taş mastik asfalt karışımlara etkisini çeşitli deneylerle incelemişlerdir. Sonuç olarak PET ilavesinin, hem taş mastik asfalt karışımların özellikleri üzerinde olumlu etkiye sahip olduğunu hem de ekonomik olduğunu göstermişlerdir. Gürü ve arkadaşları [7], tüketim sonrası meşrubat şişelerinden oluşan, polietilen tereftalat (PET) atıklarını, yol kaplama malzemesi olarak değerlendirmişlerdir. Bu amaç kapsamında, ince sıvı polioliol pet (TLPP) ve viskoz polioliol PET (VPP) katkılarını PET şişelerden kimyasal olarak türeterek, asfalt ağırlığının belirli oranlarında kullanmışlardır. Modifiye asfaltın düşük sıcaklıkta çatlama direncini iyileştirdiği, soyulma direncini arttırdığı ancak tekerlek izi direncini azalttığı sonucuna varmışlardır. Keskin ve Karacasu [8], yapmış oldukları çalışmada atık bor içeren

asfalt betonlarının performansını değerlendirmişlerdir. Çalışma kapsamında atık halde bulunan bor mineralini, ince ve filler malzeme yerine, öğütülmüş Atık Bor (ÖAB), Etibor-48 (Boraks Pentahidrat) (BP) ve Etibor-68'i (Susuz Boraks) (SB) ise değişik oranlarda kullanılmıştır. ÖAB katkı içeren numunelerin aşınma ve binder tabakaları için gerekli koşulları sağladığı ve kullanılabilir olduğu sonucuna varmışlardır. Karacasu ve Bilgiç [9], atık değerlendirmesi yaparak, çevresel açıdan katkı sağlayacak bir çalışma yapmayı amaçlamışlardır. Bu çalışma kapsamında araç lastiği parçacıkları, sert plastik parçaları ve lastik tozu atıkları kullanmışlardır. Yapılan tekrarlı yükler altında oluşan deformasyon sonuçlarına bakılarak, %2 oranında lastik tozu ile sert plastik parçacıkları ilave edilmiş olan asfalt betonlarında, deformasyon açısından oldukça olumlu sonuçlar elde edildiğini dile getirmişlerdir. Yıldırım ve arkadaşları [10], yapmış oldukları çalışmada, bitümü, atık lastik ve cam lif ile modifiye ederek asfalt betonunun performansı üzerine etkilerini incelemişlerdir. Cam lifinin, asfalt dayanımı arttırdığını ve atık lastik kullanılarak oluşturulan numunelerden daha dayanıklı olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, cam lifi katkısının asfalt betonlar için daha ekonomik olacağını dile getirmişlerdir. Moghaddam ve arkadaşları [11], atık plastik şişeler içeren taş mastik asfalt karışımların, dinamik özelliklerini incelemişlerdir. Deneysel çalışma sonucunda karışımın sertlik modülünün, daha düşük PET içeriği miktarında arttığını görmüşler. Ayrıca PET takviyeli karışımlar, PET içermeyen karışımlara kıyasla önemli ölçüde daha yüksek yorulma ömürleri sergilemiştir. Karakuş [12], Diyarbakır'daki bazalt işleme tesislerinden alınan ince ve kaba bazalt atığının öncelikle bazı mekanik ve yapısal özelliklerini belirlemiştir. Daha sonra bu atık malzemeleri kullanarak, Türkiye Karayolları Teknik Şartnamesine göre bir TMA tasarlamış; Marshall stabilite ve akma testlerini, tasarlanan TMA numuneleri üzerinde gerçekleştirmiştir. Test sonuçlarına göre, üretilen

bazalt atığının ve TMA'nın özelliklerinin, belirtilen sınırlar içinde olduğunu ve bu atık malzemelerin TMA' da agrega ve mineral dolgu olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

Bu çalışma ile atık mermer tozunun inşaat sektöründe, özellikle asfalt kaplamalarda, mineral filler olarak kullanılabilirliği ve atıkların değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1. Materyal

Türkiye'de devamlı olarak nüfusun artmasıyla tüketimde de artışlar meydana gelmiş ve sınırlı bulunan hammaddeler hızlı bir şekilde azalmaya başlamıştır. Bunun sonucunda ise, mevcut bulunan kaynakların daha ekonomik biçimde kullanılması oldukça önem kazanmıştır. En küçük boyuta sahip mermer atıkları olan mermer tozunun, büyük bir miktarı 300 mikronun altındaki boyutlara sahiptir. Ülkemizde 1 m<sup>3</sup> boyuta sahip olan blokların işlenmesiyle açığa çıkan toz miktarı, blok ağırlıklarının yaklaşık olarak %80'i olmaktadır. Oluşan bu atıklar çamur yığınlarıyla beraber doğaya zarar vermekte ve kontrolsüz olarak dökülmektedir [13].

Yapılan araştırmalar sonucunda Afyon'da bulunan işletmelerde mermer plakalarının ve bloklarının parlatılması ve kesilmesiyle yılda en az 125.000 ton ile 150.000 ton mermer tozu açığa çıktığı görülmüştür. Açığa çıkan bu mermer tozlarının büyük bir kısmı çevre kirliliğine sebebiyet vermektedir. Bu nedenle atıkların alternatif olarak kullanım alanları bulunmalı ve değerlendirilmelidir [13]. Türkiye'deki mermer yataklarının harita üzerinde gösterimi Şekil 1'de, işletilebilir mermer rezervleri ise Çizelge 1'de sunulmuştur.

## Taş Mastik Asfalt Karışımlarda Mermer Tozu Kullanımının Dayanıma Etkisinin Araştırılması



Şekil 1. Türkiye’de mermer yataklarının haritada gösterimi [14]

Çizelge 1. Türkiye’nin işletilebilir mermer rezervleri [15]

İl	İşletilebilir rezerv (Bin m <sup>3</sup> )
Balıkesir	1.300.000
Bursa	135.000
Kırklareli	33.500
Afyon	135.000
Aydın	9.000
İzmir	1.500
Muğla	181.000
Kütahya	200.000
Uşak	500.000
Ankara	2.000
Eskişehir	960.000
Kırşehir	165.000
Niğde	250.000

Bu çalışmada agrega ve bitüm ana malzeme, filler agregası ise değişken malzeme olarak belirlenmiştir. Üç farklı tipte kullanılan filler agregalarından biri mermer tozu olup, Diyarbakır ilinde bulunan DİMER (Diyarbakır Mermer A.Ş.) mermer fabrikalarında açığa çıkan atıklardan temin edilmiştir. Diğer filler agregalar ise yine Diyarbakır ilinden temin edilen kalker ve bazalttır. Kaba ve ince agrega olarak da bazalt malzemesi kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılan B-50/70 penetrasyona sahip bitüm, Batman rafinerisinde üretilmiştir. Taş mastik asfalta özgül malzeme olan selülozik elyaf ise Teknomet Mühendislik’ten temin edilmiştir.

Çizelge 2. TMA aşınma tabakası Tip-1 A sınır değerleri [16]

Elek çapı (mm)	Alt limit (%Geçen)	Üst limit (%Geçen)
19,00	100	100
12,50	90	100
9,50	50	75
4,75	25	40
2,00	20	30
0,425	12	22
0,180	9	17
0,075	8	12

Karayolları Teknik Şartnamesine uygun olarak hazırlanan, Çizelge 2’de görülen, TMA Tip-1 A aşınma için önerilen sınır değerler kullanılarak gradasyon oluşturulmuştur. Deneyde kullanılan malzemelerin içeriklerini belirlemek amacıyla civalı porozimetre ve XRF analizleri yapılmış ve bu özellikler sırasıyla Çizelge 3 ve Çizelge 4’te belirtilmiştir. Yoğunluğu en düşük olan malzemenin mermer olduğu görülmektedir. Bunun

nedeni, mermerin safsızlık (temizlik) özelliğidir. Kalkerin yoğunluğu ise mermerin yoğunluğundan fazladır. Bunun nedeni ise kalkerin oksitli bileşen içermesidir. Yoğunluk olarak bazaltın diğer iki malzemeyi geride bırakmasının nedeni ise, bazaltın barındırdığı bileşenlerin, diğer iki malzemenin bileşenlerinden daha ağır olmasıdır.

**Çizelge 3.** Civalı porozimetre analizi sonuçları

Malzeme	Ortalama gözenek çapı (µm)	Görünür yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Porozite (%)
Mermer	1,95	2,5131	3,24
Kalker	0,29	2,6740	6,22
Bazalt	0,28	2,9090	5,38

**Çizelge 4.** XRF analiz sonuçları (%)

Bileşen	Bazalt %	Kalker %	Mermer tozu %
SiO <sub>2</sub>	45,36	0,44	0,12
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,46	0,24	0,02
CaO	10,74	55,42	43,28
Na <sub>2</sub> O	4,19	-	0,04
MgO	4,18	0,15	10,65
TiO <sub>2</sub>	2,65	-	-
K <sub>2</sub> O	1,92	0,01	0,002
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,55	0,04	0,006
SO <sub>3</sub>	0,05	0,01	0,13
SrO	-	0,02	-
Cl	0,01	-	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,17	-	-
Kız. Kaybı	0,15	43,45	45,62

## 2.2. Metot

Çalışma kapsamında agrega özelliklerini belirlemek amacıyla; elek analizi, kaba-ince ve filler malzemelerinin özgül ağırlık tespiti, kaba-ince agregalarda su emme oranının tespiti, Los Angeles aşınma, yassılık indeksi, soyulma mukavemeti ve metilen mavisi deneyleri uygulanmıştır. Bitüm özelliklerini belirlemek amacıyla; penetrasyon, yumuşama noktası, duktilite, parlama noktası, dönmeli ince film etüvü

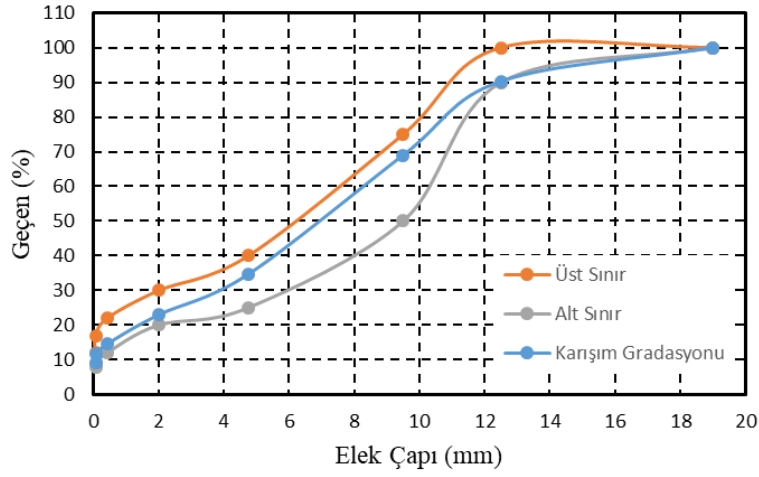
(RTFOT = Rolling Thin Film Oven Test), bitüm özgül ağırlık deneyleri uygulanmıştır. Bu deneylerden elde edilen veriler ve sonuçlar ışığında optimum bitüm oranını belirlemek amacıyla, atık mermer tozundan elde edilen agregalar ve kontrol grubu agregalar kullanılarak Marshall numuneleri hazırlanmıştır.

Belirlenmiş olan agrega gradasyonları sonucu toplam 1150 g ağırlığında agrega ile bitüm oranları; %5,5, %6, %6,5, %7, %7,5 olacak şekilde her bir bitüm oranına sahip üç adet numune hazırlanmıştır. Toplamda 45 adet numune, 145 °C karışım sıcaklığıyla oluşturulmuştur. Oluşturulan bu numunelerin ise her birine karışım ağırlığının %0,3'ü oranında elyaf ilave edilmiştir. Ayrıca bunun yanında bitüm miktarının %4'ü oranında da modifiye katkı olarak SBS (Stiren-Bütadien-Stiren) kullanılmıştır. Hazırlanmış olan karışımlar kalıplara dökülerek her iki yüze 50 vuruş yapılmıştır. Dizayn sonucu optimum bitüm miktarları belirlenmiştir. Bunun yanı sıra TMA karışımlar için uygulanan Schellenberger bitüm süzülme deneyi yapılmıştır. Bu deneyde amaç, bitüm ve bitüm harcının mineral agregadan ne miktarda süzülüğünü belirlemektir. Deney sonucunda karışımın ağırlığı tartılıp elde edilen ağırlık kaybı, yüzde cinsinden elde edilmiştir. Sıkıştırılmış olan bitümlü karışımların, nemden veya sudan kaynaklanan bozulmalara karşı direncini ölçmek amacıyla da indirekt çekme mukavemeti deneyi yapılmıştır.

## 3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

### 3.1. Agrega Deney Sonuçları

Bu bölümde yol agregalarına uygulanması gereken standart agrega deneyleri ele alınmıştır. Çalışmada kullanılan agregalar için, özgül ağırlık ve su emme oranları Çizelge 6'da sunulmuştur. Ayrıca bu agregalara ait olan gradasyon eğrisi Şekil 2'de ve gradasyon değerleri Çizelge 5'te verilmiştir. Yapılan elek analizi sonucunda agrega gradasyonunun, Karayolları Teknik Şartnamesi'nde verilen TMA Tip-1 aşınma tabakası için önerilen sınır eğrileri arasında kaldığı görülmüştür.



Şekil 2. Karışım gradasyon eğrisi

Çizelge 5. Karışım gradasyonu

Eleğ çapı (mm)	Karışım gradasyonu (%)	Üst sınır	Alt sınır
19	100	100	100
12,50	90,3	100	90
9,50	69	75	50
4,75	34,6	40	25
2,00	22,9	30	20
0,425	14,5	22	12
0,075	11,6	17	9
0,075	9,3	12	8

Çizelge 6. Özgül ağırlık ve su emme deney sonuçları

Özellikler	Agrega tipi				
	Kaba agrega (Bazalt)	İnce agrega (Bazalt)	Filler		
			Bazalt	Kalker	Mermer tozu
Hacim özgül ağırlık	2,79	2,722			
Zahiri özgül ağırlık	2,92	2,946	2,945	2,731	2,853
Su emme (%)	1,6	2			

Agregalara uygulanan diğer deneyler Çizelge 7'de sunulmuştur. Agregalar, yol kaplamaları yapıldığında sıkıştırılmaya maruz kalmaktadırlar. Bunun yanı sıra trafik yüklerinin de etkisiyle aşınma ve kırılmalara karşı dirençli olması gerekmektedir. Yapılan Los Angeles deneyinde, agregaların dirençli olduğu saptanmıştır. Ayrıca agreganın yassı olması, küresel ya da kare şekilli agregalara göre karışıma uygunluk açısından yeterli olmamaktadır. Bu nedenle çalışma kapsamında kullanılan agrega örnekleri, yassılık

indeksi deney standardına göre tanımlanmıştır. Bunun yanı sıra trafik ve su etkisiyle, bitüm-agrega adezyonu bozulur ve bitüm, agreganın üzerine soyulmaya başlar. Çalışma kapsamında kullanılan bitüm ve agregaların, birbirine yapışma özelliğinin ölçüsünü belirlemek amacıyla soyulma deneyi yapılmış ve standarda uygunluğu saptanmıştır. Metilen mavisi deneyi sonucunda tüm agregaların sınır değerleri sağladığı görülmüştür. En iyi sonucu ise mermer tozunun verdiği görülmektedir. Bilindiği gibi bu deney

numunelerdeki kil miktarı hakkında bilgi zararlı olabilmektedir. Vermektedir. Kil ve silt gibi ince malzemeler ise

**Çizelge 7.** Agrega deneylerinin sonucu

Deneyin adı	Deney standardı	Birim	Deneyin sonucu	Şartname sınır değerleri
Los Angeles	TS-EN 1097-2	(%)	19,6	Maks. %25
Yassılık indeksi	TS-EN 933-3	(%)	15,7	Maks. %25
Soyulma mukavemeti	TS-EN 12697-11	(%)	60-70	Min. %60
Metilen mavisi	TS EN 933-9	(%)	1,25 (Bazalt) 2,0 (Kalker) 1,0 (Mermer tozu)	Max. %3

### 3.2. Bitüm Deney Sonuçları

Bu bölümde ise kullanılan bitüm malzemesinin özelliklerini belirlemek ve şartnameye uygunluğunu tespit etmek amacıyla gerekli deneyler yapılmış olup sonuçları Çizelge 8’de sunulmuştur. Oluşturulan karışımlarda, stabiliteye etki eden faktörlerden biri de penetrasyondur. Optimum stabiliteyi sağlayan bitüm kullanılarak, trafik yükü nedeniyle oluşan deformasyonlar

azaltılabilmektedir. Öte yandan, tekerlek izi etkisini azaltmak amacıyla yumuşama noktası değeri belirlenmelidir. Bunun yanı sıra, karışımın hazırlanması, serilmesi ve sıkıştırılmasıyla bitümlü bağlayıcı yaşlanmaya maruz kalmaktadır. Bu yaşlanmanın örneği ise dönmeli ince film etüvü ile gözlemlenebilmektedir. Yapılan bitüm deneyleri sonucunda, deney standartlarına göre tanımlanmış bitümlü bağlayıcı kullanılmıştır.

**Çizelge 8.** Bitüm deneylerinin sonucu

Deneyin adı	Deney standardı	Birim	Deneyin sonucu	TS EN 14023 sınır değerleri
Penetrasyon	TS-EN 1426	0,1 mm	40	25-55
Yumuşama noktası	TS-EN 1427	°C	75,7	min. 70
Kuvvet ölçümlü düktilite	TS-EN 13589	cm	100+	min. 100
Parlama noktası	TS-EN ISO 2592	°C	238	min. 220
Özgül ağırlık	TS-EN 15326	g/cm <sup>3</sup>	1,03	1,0-1,1
Dönmeli ince film etüv deneyi				
Kütle değişimi (artma)	TS-EN 12607-1	%	0,27	maks. 0,5
Yumuşama noktası farkı (artma)	TS EN 1427	°C	2,5	maks. 8
Kalıcı penetrasyon	TS EN 1426	%	72,2	min. 40

### 3.3. Sıcak Karışım Deney Sonuçları

#### 3.3.1. Marshall Stabilite Deneyi Sonuçları

Gradasyona uygun olacak şekilde 1150 gram agrega, %5,5, %6, %6,5, %7, %7,5 oranlarında

bitüm ile karıştırılarak numuneler hazırlanmıştır. Daha doğru bilgi elde edilmesi için, her bitüm yüzdesine sahip üç adet olmak üzere toplam 45 adet numune hazırlanmıştır. Deney sonucunda, bitüm yüzdesine bağlı olarak % boşluk değerleri karşılaştırılmalı olarak elde edilmiştir. Optimum

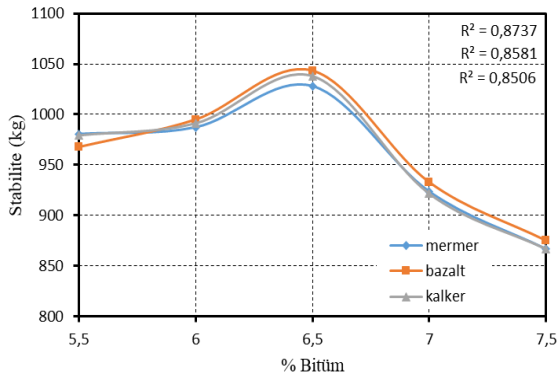
## Taş Mastik Asfalt Karışımlarda Mermer Tozu Kullanımının Dayanıma Etkisinin Araştırılması

bitüm miktarı; en yüksek  $D_p$ 'ye karşılık gelen bitüm miktarı, en yüksek stabiliteye karşılık gelen bitüm miktarı,  $V_f$  ve  $V_h$  grafiği şartname ortalama değerden indirilen dikmeye karşılık gelen bitüm miktarlarının ortalaması dikkate alınarak hesaplanmıştır. Ardından akma ve VMA değerlerine uygunluğu kontrol edilmiştir.

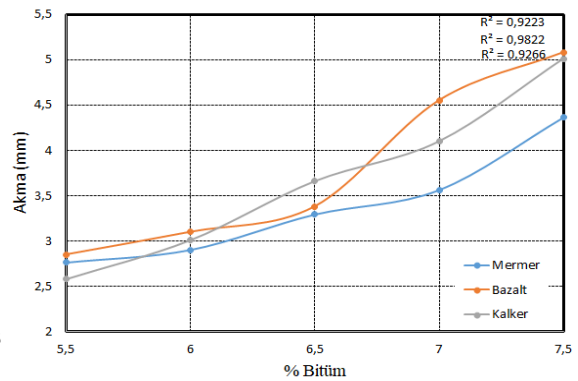
Belirlenen optimum bitüm miktarları; bazalt kullanılan karışımda %6,6, kalker kullanılan karışımda %6,5 ve mermer kullanılan karışımlarda %6,6 olarak elde edilmiştir.

Marshall deneyi sonucunda elde edilen grafikler Şekil 3'te görülmektedir. Stabilite, deformasyonlara karşı kaplamanın gösterdiği direnç olarak tanımlanmaktadır. Bitüm-Stabilite % grafiği incelendiğinde, kalker ve mermer kullanılan numunelerin aynı eğilimde davranış

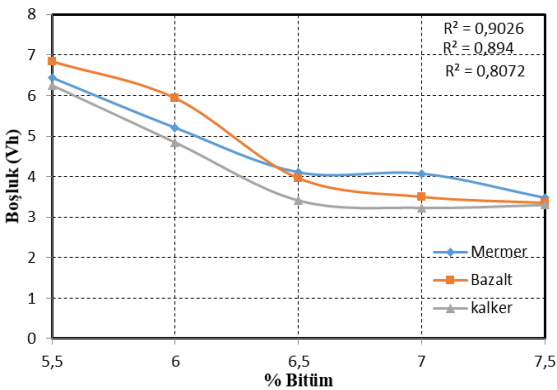
gösterdiği gözlenmektedir. Bazalt kullanılan numunelerde ise, stabilite değeri başlangıçta diğer numunelerden düşüktür. Ancak bitüm oranı arttıkça diğerlerinden daha yüksek stabilite değerine ulaştığı görülmektedir. En düşük stabilite değerinin mermer kullanılan numunelerde, en yüksek stabilite değerinin ise bazalt kullanılan numunelerde olduğu görülmektedir. Bunun yanı sıra akma değeri, trafik yükü altında, bitümün yüke karşı gösterdiği dirençtir. % Bitüm-Akma grafiği incelendiğinde, mermer ve kalker kullanılan numunelerin aynı eğilimde olduğu ve en düşük akma değerine mermer kullanılan numunelerin sahip olduğu görülmektedir. Bitüm-Boşluk % grafiğinde ise boşluk oranının, şartnamede belirtilen sınırlar içerisinde kalan değerlerinin, yaklaşık olarak %6,5 bitüm oranlarına denk geldiği görülmektedir.



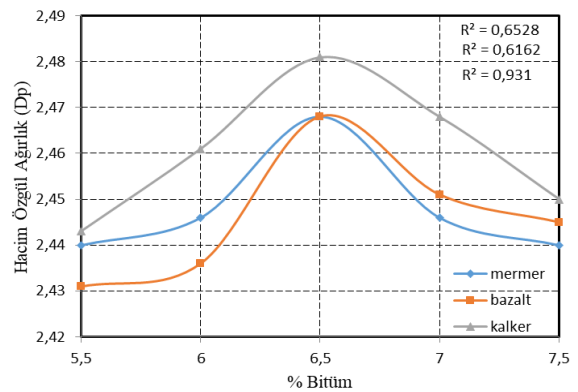
a)



b)

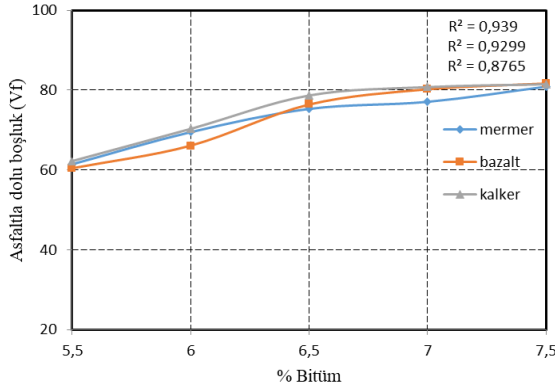


c)

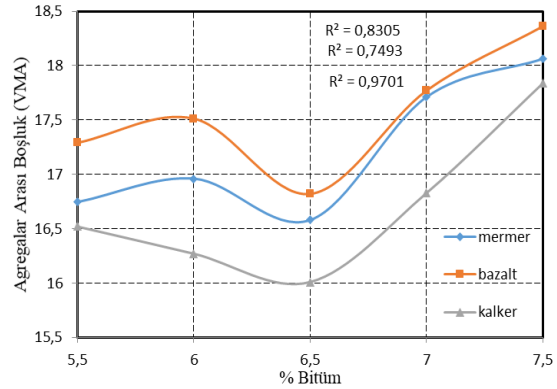


d)





e)



f)

Şekil 3. Marshall stabilite deneyi grafikleri

Her numunede bitüm miktarının artmasıyla hava boşluğunun azaldığı gözlenmiştir. Optimum bitüm içeriğinde en fazla boşluk oranına mermer kullanılan numunelerin sahip olduğu görülmüştür. Bitüm-Hacim Özgül Ağırlık % grafiğine bakıldığında, her numune için belirli bitüm miktarına kadar hacim özgül ağırlık ( $D_p$ ) değerinin arttığı ve sonrasında azalma meydana geldiği görülmektedir. Optimum bitüm miktarında bazalt ile mermerin aynı değere ve kalkerin de bu numunelere oldukça yakın bir değere sahip olduğu görülmeye karşın en yüksek hacim özgül ağırlık değeri kalker kullanılan numunelerde gözlenmiştir. Asfaltla dolu boşluk ( $V_f$ ) oranına bakılmasının sebebi, agregalar arasındaki boşluğu, ayrıca buna bağlı olarak da asfalt içeriğini sınırlamaktır [17]. Bitüm- $V_f$  % grafiğinde,  $V_f$  değerleri bitüm miktarının artmasıyla artış göstermiştir. Her üç numune türü için de değerlerin birbirine yakın olduğu görülmektedir. En fazla oran ise kalker kullanılan numunelerde gözlenmiştir.

Agregalar arası boşluk (VMA) değerleri, sıkışmış durumda olan karışımların içerisinde bulunan agregaların arasındaki boşluk alanı hacmini temsil etmektedir. Bu değer bitümlü sıcak karışımlarda durabiliteye etki eden en önemli tasarım parametresidir [18]. VMA değerlerinin, şartnameye göre minimum %16 olması istenmektedir. Bitüm-VMA % grafiğine bakıldığında, bütün numuneler bu değeri sağlamaktadır.

### 3.3.2. İndirekt Çekme Mukavemeti Deneyi

İndirekt çekme mukavemeti (İÇM) deneyi, sıkıştırılmış olan bitümlü karışımlarda, sudan veya nemden kaynaklı olarak meydana gelen bozulmalara karşı direnci ölçmek amacıyla yapılan bir deneydir. İÇM deneyi için Marshall test cihazı kullanılarak indirekt çekme mukavemeti değerleri hesaplanmıştır. TMA Tip-1 dizaynına uygun numuneler üzerinde, koşullu ve koşulsuz şartlar olacak şekilde deney yapılmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 9'da verilmiştir.

Asfalt karışımlarda suya karşı direncin sayısal indeksini elde etmek için, donma-çözülme koşullandırmasından sonra bulunan mukavemet değerinin, normal numunelerin mukavemetine oranı hesaplanmalıdır, bu da İÇM oranını vermektedir [19].

Çizelge 9. İÇM deney sonuçları

TMA karışımları	Koşullu (kg/cm <sup>2</sup> )	Koşulsuz (kg/cm <sup>2</sup> )	İÇM (%)
Bazalt	8,04	8,57	93,81
Mermer	6,62	7,52	88,03
Kalker	7,79	8,98	86,74

\*AASHTO T 283 İÇM Oranı, min % 80

## 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada; kaba ve ince agrega olarak bazalt, filler malzeme olarak da bazalt, mermer tozu ve kalker olmak üzere üç tip agrega kullanılmıştır.

Ayrıca polimer modifiye bitüm ve taş mastik asfalt için kullanılan selülozik elyafla karışımlar oluşturulmuştur. Mineral filler olarak bazalt ve kalker agregasının kullanıldığı numuneler kontrol numuneleri olarak değerlendirilmiştir. Gerekli görülen agrega deneyleri ve ardından modifiye bitüm için gerekli deneyler yapıldıktan sonra karışımlar oluşturulmuştur. Optimum bitüm miktarını belirlemek amacıyla bu karışımlara öncelikle Marshall stabilite deneyi yapılmıştır. Ardından süzülme deneyi ve indirekt çekme deneyi uygulanmıştır.

Çalışma koşullarında geçerli olmak üzere aşağıda verilen bazı sonuçlar elde edilmiştir.

- TMA karışımlarda taş iskelet, bitümün bağlayıcı etkisiyle bir arada tutunmakta ve tekerlekten gelen yükleri taşımaktadır. Bitüm ise agregalar arasında oluşan boşluğu kısmen doldurmakta ve bu sayede arada hava boşlukları kalmaktadır. Elbette BSK içerisinde hava boşluklarının bulunması gereklidir. Hava boşluklarının bu değeri Karayolları tarafından % 2-4 olarak sınırlandırılmaktadır.
- TMA Tip-1 için dizayn kriterlerinde belirtilmiş olan  $V_h$  sınır değerleri, tüm karışımlar için uygundur. Bazaltın filler olarak kullanıldığı karışımlarda VMA değeri 16,82 ile diğer iki tür karışıma oranla daha yüksek değere sahiptir. Bununla beraber tüm karışımlar, şartname değerlerini sağlamaktadır.
- $V_f$  değeri, agregalar arasındaki boşluğun bitümlle dolması nedeniyle, bitüm arttıkça artmaktadır. Boşlukların yeterli miktarda dolmaması sonucunda, yağmur suyu ve istenmeyen maddeler aradaki boşluklara girmektedir. Bunun sonucunda yolda çatlamlar ve çökmeler oluşmaktadır. Her karışım için bu değerler birbirine yakındır.
- Stabilite, agregaların birbirlerine kenetlenmesiyle ilişkilidir. Çalışmada kaba ve ince agregalar ile aynı türde olan bazalt fillerinin kullanılması, iç kenetlenmeyi arttırmış ve stabilite değerini yükseltmiştir.

- Marshall deneyi sonucunda elde edilen optimum bitüm yüzdesi; kalker fillerinin kullanıldığı karışımlarda % 6,5, mermer fillerinin kullanıldığı karışımlarda % 6,6 ve bazalt fillerinin kullanıldığı karışımlarda % 6,6 olarak elde edilmiştir. Bu sayede mermer tozunun TMA karışımlarla, bitüm kullanımı açısından aynı ekonomikte olduğunu söylemek mümkündür.
- Mermer fillerinin, bitüm süzülme deneyinde en iyi sonucu verdiği görülmüştür. TMA karışımlarda oldukça önemli olan süzülme deneyi, atık mermerin katkı malzemesi olarak da kullanılabilmesini göstermiştir.
- Su ve nemden kaynaklanan bozulmalara karşı en iyi direnç, bazalt fillerinin kullanıldığı karışımlarda elde edilmiştir.

Sonuç olarak, mermer atıklarından oluşan mermer tozunun, filler olarak kullanıldığı karışımların birçok deneyde uygun sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Hem çevre kirliliğini azaltması hem de bazı noktalarda iyileştirici özelliklerinin olması sebebiyle TMA karışımlarda kullanılabilceği sonucuna varılmıştır. Ancak daha kesin sonuçlar elde etmek için farklı oranlarda mermer tozu içeren numunelerin incelenmesi önerilmektedir.

## 5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Harran Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (HÜBAP) tarafından 19262 numaralı proje tarafından desteklenmiştir. Çalışmada kullanılan malzemelerin temini, Teknomet Mühendislik ve Diyarbakır Mermer tarafından yapılmıştır. Desteklerinden dolayı teşekkürlerimizi sunarız.

## 6. KAYNAKLAR

1. Aubert, J.E., Husson, B., Sarramone, N., 2006. Utilization of Municipal Solid Waste Incineration (MSWI) Fly Ash in Blended Cement Part 1: Processing and Characterization of MSWI Fly Ash. Journal of Hazardous Materials, B136, 624-631.

2. Karaşahin, M., Terzi, M., 2006. Evaluation of Marble Waste Dust in the Mixture of Asphaltic Concrete. *Construction and Building Materials*, 21(3), 616–620.
3. Dosho, Y., 2007. Development of a Sustainable Concrete Waste Recycling System. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 5(1), 27-42.
4. Akbulut, H., Güner, C., 2006. Atık Mermerlerin Asfalt Kaplamalarda Agregası Olarak Değerlendirilmesi. *İMO Teknik Dergi*, 17(4), 3943-3960.
5. Ceylan, H., Mança, S., 2013. Mermer Parça Atıklarının Beton Agregası Olarak Değerlendirilmesi. *SDU Teknik Bilimler Dergisi*, 3(2), 21-25.
6. Ahmadinia, E., Zargar, M., Karim, M.R., Abdelaziz, M., Shafiqh, P., 2011. Using Waste Plastic Bottles as Additive for Stone Mastic Asphalt. *Materials and Design*, 32, 4844-4849.
7. Gürü, M., Çubuk, M.K., Arslan, D., Farzanian, A.S., Bilici, İ., 2014. An Approach to the Usage of Polyethylene Terephthalate (PET) Waste as Roadway Pavement Material. *Journal of Hazardous Materials*, 279, 302–310.
8. Keskin, M., Karacasu, M., 2018. Atık Bor İçeren Asfalt Betonlarının Performanslarının Değerlendirilmesi. *Fırat Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 30(2), 185-192.
9. Karacasu, M., Bilgiç, Ş., 2009. Atık Lastik Katkısının Sıcak Asfalt Özelliklerine Etkisi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(2), 46-64.
10. Yıldırım, B.Z., Karacasu, M., Okur, V.D., 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.
11. Moghaddam, T.B., Karim, M.R., Syammaun, T., 2012. Dynamic Properties of Stone Mastic Asphalt Mixtures Containing Waste Plastic Bottles. *Construction and Building Materials*, 34, 236-242.
12. Karakuş, A., 2011. Investigating on Possible use of Diyarbakir Basalt Waste in Stone Mastic Asphalt. *Construction and Building Materials*, 25(8), 3502-3507.
13. İzol, E., 2020. Taş Mastik Asfalt Yapımında Mineral Filler Olarak Mermer Tozunun Kullanılması. Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Şanlıurfa, 93.
14. Coğrafya Harita, Türkiye Maden Haritaları, <http://cografyaharita.com/haritalarim/4fturkiyemermer-madeni-haritasi.png>, Erişi Tarihi: 25.10.2021
15. Erkek, F., Özdemir S., 2011. Mermer ve Traverten Sektörüne Küresel ve Bölgesel Yaklaşım, 41.
16. Karayolları Genel Müdürlüğü, 2013. Karayolu Teknik Şartnamesi, Ankara, 431.
17. Sağlam, Çitoğlu G., Bayraktar, O.Y., 2018. Atık Mermer Tozu ve İnşaat Sektöründeki Kullanımı ile İlgili Çalışmalar. Conference: 2<sup>nd</sup> International Symposium on Innovative.
18. Kaya, D., Topal, A., 2016. Marshall ve Superpave Tasarım Yöntemleri Arasındaki Farklılıkların Ilık Karışım Asfaltlar Açısından İncelenmesi. *CBÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 12(2), 289-302.
19. KGM, 2000. Bitümlü Karışımlar Laboratuvar El Kitabı, Ankara.

