



Araştırma Makalesi/Research Article

## Diatomitin bitümlü sıcak karışımlarda filler olarak kullanılabilirliğinin araştırılması

Bilge Kaan Karışmaz<sup>1</sup>, Nihat Morova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi , Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 32200 , Isparta, Türkiye

<sup>2</sup>Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 32200 , Isparta, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

Bitümlü sıcak karışımlar (BSK), Diatomit Binder tabakası Mineral filler Marshall deneyi

### Makale geçmişi:

Geliş Tarihi: 06.08.2022  
Kabul Tarihi: 12.11.2022

**Öz:** Çalışmada, diatomitin asfalt beton kaplamalarda filler olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla kireçtaşı agrega ve kırmataş tozu filler kullanılarak %3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0 bitüm içeriklerinde Marshall briketleri hazırlanmıştır. Hazırlanan bu numunelere Marshall stabilite ve akma deney prosedürü uygulanarak stabilite, akma, pratik özgöl ağırlık (Dp), boşluk yüzdesi (Vh) asfaltla dolu boşluk oranı (Vfa), agregalar arası boşluk miktarı (VMA) değerleri bulunmuştur. Kireçtaşı numune sonuçlarından yola çıkılarak ilgili grafikler çizilerek optimum bitüm miktarı %4.68 olarak belirlenmiştir. Belirlenen optimum bitüm miktarı esas alınarak ve aynı gradasyon kullanılarak kireçtaşı filler ile diatomit filler malzemesi %0, 25, 50, 75, 100 oranlarında yer değiştirilerek diatomit ikameli asfalt beton numuneler üretilmiştir. Diatomit filler ikameli briketlerin stabilite, akma, Dp, Vh, Vfa, VMA değerleri tespit edilerek deney sonuçları değerlendirilmiştir. Yapılan araştırmalar neticesinde %25 diatomit filler içeren numunelerin yüksek stabilite ve uygun akma değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir.

### Atıf için/To Cite:

Karışmaz B.K. Morova N. Diatomitin Bitümlü Sıcak Karışımlarda Filler Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Ulusalaraarı Teknolojik Bilimler Dergisi, 14(3), 103-115, 2022.

## Investigation of usability of diatomite in a hot mix asphalt as a filler

### Keywords

Hotmix asphalt concrete (HMA), Diatomite Mineral filler Marshall experiment test Binder course

### Article history:

Received: 06.08.2022  
Accepted: 12.11.2022

**Abstract:** In the study, the usability of diatomite as filler in asphalt concrete pavements was investigated. For this purpose, Marshall briquettes were prepared with bitumen content of 3.0-3.5-4.0-4.5-5.0% by using limestone aggregate and crushed stone dust filler. These samples were prepared using the Marshall stability and flow test procedure, and the following results were discovered: stability value, flow value, bulk specific gravity (Dp), percentage of voids (Vf), percent voids filled with asphalt (vfa) and voids in mineral aggregate (VMA). The optimum bitumen content was determined as 4.68% after the relevant graphs were created based on the results of the limestone sample. Based on the optimum amount of bitumen determined and using the same gradation, limestone fillers and diatomite fillers were replaced at the rates of 0, 25, 50, 75, 100%, and diatomite-modified asphalt concrete samples were produced. After the stability, flow, Dp, Vh, Vfa, VMA values of the diatomite filler briquettes were determined, the test results were evaluated. As a result of the research, it was determined that the samples containing 25% diatomite fillers had high stability and acceptable flow values.

### 1. Giriş

Asfalt beton kaplamaların yapımında en çok tercih edilen tip sıcak karışım asfalt betonudur (BSK). BSK kaplamalar suya karşı olan dayanımı, seyir konforu, yüksek servis kabiliyeti yeteneğine sahip olmasından

dolayı tercih edilmektedir. Materyallerin ekonomik boyutu, enerji ve kaynakların iyi kullanımı gibi konular üstyapı mühendislerini alternatif malzeme ve yol yapım yöntemlerine yöneltmektedir. Agrega birçok inşaat imalatında olduğu gibi yol üstyapılarının da başlıca hammaddesidir. Üstyapıda kullanılan BSK'nın büyük

\* İlgili yazar/Corresponding author: nihatomorova@isparta.edu.tr

bir bölümünü oluşturan agreganın özellikleri karışım performansını büyük ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle BSK'lar için gerekli özellikleri sağlayan agrega temininde sıkıntılar yaşanabilmekte ve agrega maliyetleri daha yüksek olmaktadır [1].

Bağlayıcısız temel ve alt temel tabakalarının tamamı, BSK'larının ağırlıkça %90-95'i, hacimce ise %85'lik kısmı agregalardan oluşur. Beton ve asfalt kaplamalardaki bozulmaların birincil veya ikincil nedeni uygun olmayan agrega kullanımı ya da kullanılan agregaların istenmeyen maddeler içermesidir. Agreganın tipi, yüzey pürüzlülüğü, yassılık durumu, gradasyonu gibi özellikleri BSK'nın yorulma ve tekerlek izi açısından performansları üzerinde büyük bir öneme sahiptir [1].

Esnek üstyapılar, mineral agrega, filler, bitüm ve havadan oluşan çok fazlı kompleks bir malzemedir. Asfalt-agrega karışımlarında agreganın belirli bir miktar filler ihtiva etmesi, arzu edilen karışım özelliklerini ve performansı sağlamak için şarttır. Filler, asfalt karışımlarda ince agrega oranını arttırmak, boşluk miktarını azaltmak ve asfalt betonunun dayanımını arttırmak için karışımların ana bileşenlerinden biri olarak dikkate alınır. Mineral filler malzemesinin özellikleri, onun asfalt betonunun performansını geliştirmedeki potansiyelini tespit etmek, özellikle de sıcak karışımın stabilitesini ve durabilitesini artırarak ötelenme ve tekerlek izi oluşumu ile ilgili sorunları azaltmak için araştırılmıştır.

Belirli mineral filler malzemelerinin kullanımı, asfalt betonundaki tekerlek izi derinliği, rijitlik ve gerilme artışı üzerinde olumlu bir değer artışı sağlar. Ayrıca kalıcı deformasyon, yorulma çatlağı ve nem hasarına karşı olumlu bir etkiye sahiptir [2]. Mineral fillerin iki ana görevi vardır. İlki karışımda oluşan boşlukları doldurmaktır. Bu sayede daha yoğun ve daha sert tabakalar oluşturulur. İkincisi ise daneler arası temas noktası sağlamaktır. Genellikle BSK'da kırmataş tozu, mineral filler olarak kullanılmaktadır [3].

Kizelgur veya diatome toprağı olarak isimlendirilen mineral, su yosunları sınıfına ait tek hücreli mikroskobik alglerin fosilleşmiş silisli kavkılarında oluşan bir çökeldir. Bugün işletilen diatomit rezervlerinin günümüzden 5-6 milyon yıl önce oluştuğı düşünülmektedir. Diatomit organik kökenli bir mineraldir. Beyazdan kahverengiye renklerde, porozif bir yapıda ve oldukça hafiftir. Ancak mikroskobik görünüş ile mineralin kesin tanısı konabilir. Natural diatomit olarak kurutulmuş kullanılabildiğı gibi, en yaygın olan kullanım şekli ise üretime tabi tutularak elde edilen flaks kalsine ve kalsine ürünlerin, filtre yardımcısı göreviyle her türlü filtrasyon işlemlerinde kullanılmasıdır [4].

Diatomların yaklaşık olarak 15000 türü olduğu tespit edilmiştir. Her türün kendine özgü olan gözenek yapısı, büyüklüğü ve geometrik şekli vardır. Sahip oldukları büyüklükleri 2-500 mikron arasında değişiklik göstermektedir. Ülkemizde büyüklükleri 5-150 mikron arasında değişiklik gösteren diatomit türlerine rastlanmaktadır. Bahsi geçen diatomların çeşitli nedenlerden ötürü yaşamlarının son bulmasıyla silisli kavkuları bir araya toplanıp çökelerek diatomit rezervlerini oluşturmaktadırlar [4].

Sıcak karışım asfalt betonunda agrega veya filler olarak kullanılmak üzere birçok doğal taş veya atık malzeme araştırılmıştır: pirinç kabuğı külü [5], siyah karbon [6], atık olivin [7], bor atıkları [8], zeolit ve pomza [9], endüstriyel atıklar [10], cam elyaf takviyeli polyster boru atık tozu [11], arduvaz (kayrak) [12], uçucu kül [13] ve mermer tozu [14].

Üstünkol ve Turabi (2010), BSK'larda önemli sorunlardan biri olarak sudan kaynaklanan bozulmalar kabul edildiğinden ve suyun verdiği zararların en aza indirilmesi amacıyla çalışmalar yapmışlardır. Suyun koheziona etkisini belirlemek için gerçekleştirilen koşullandırılmış Marshall stabilite ve akma deneyinde %0 taş tozu - %7 endüstriyel atık filler kullanılarak akma ve stabilite değerleri yönünden en elverişsiz durum irdelenmeye çalışılmıştır. Deney sonuçlarına göre, kullanılan endüstriyel atık filler malzemelerin değişen kür şartlarında ve yüksek sıcaklıklarda, asfalt betonu kaplamalarda taş tozu filler yerine kullanılabileceğı görülmüştür. [10]

Elmacı (2011), tarafından İzmir Çimstone fabrikasından elde edilen kuvars esaslı granit arıtma çamurunun bitümlü sıcak kaplamalarda filler olarak kullanımı araştırılmıştır. Marshall numunelerinin optimum bitüm oranları belirlenmiş ve %0, 2, 4, 6, 8 oranlarında granit arıtma filleri eklenerek sonuçları incelenmiştir. Sonuç olarak kuvars esaslı granit arıtma çamurunun filler olarak kullanılabileceğı sonucuna varılmıştır. [15]

Çubuk (1998), tarafından yapılan çalışmalarda diatomit kullanılarak modifiye edilen asfalt betonu karışımlarının elastiklik modülü ve Marshall stabilitesi incelenmiştir. Her asfalt yüzdesinde, katkı maddesi olarak kullanılan diatomit oranı arttıkça bir maksimum noktaya ulaşmaktadır ve o noktadan sonra belirli düşüşler olmaktadır. Maksimum stabilite değerini veren %2 diatomit oranına ve %7.5 asfalt oranına sahip numunelerde, diatomit oranı sabit tutularak asfalt oranı arttırıldıkça stabilite düşmektedir. Katkısız olarak dizayn edilen numunelerin stabilite değerleri, tüm diatomit katkılı karışımların stabilite değerlerinden daha düşüktür. Diatomit karışımın stabilitesini arttıran bir faktör olarak ortaya çıkmaktadır. [16]

Bu çalışmada ülkemizin sahip olduğu kaynakların etkili ve doğru kullanımı ile atık malzemelerin asfalt beton üretiminde kullanılabilirliği amaçlanmıştır. Bu amaçla diatomitin asfalt betonunda mineral filler malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Ülkemizin çeşitli bölgelerinden çıkarılan bu kayacın mekanik ve fiziksel özellikleri dikkate alınarak karayollarında dayanımın artırılması ve doğal kaynakların tüketiminde daha tasarruflu olunabilmesi için filler malzemesi yerine kullanılabilirliği amaçlanmıştır.

## 2. Materyal

Deneysel çalışmalarda kireçtaşı (kalker) agrega, kireçtaşı (kırmataş tozu) filler, diatomit filler ve 50/70 penetrasyona sahip asfalt çimentosu kullanılmıştır. Marshall dizayn kriterleri doğrultusunda asfalt beton (binder tabakası) numuneler üretilmiştir.

Çalışmada filler olarak kullanılan diatomit öğütülmüş olarak temin edilmiştir. Diatomit tozu etüvde kurutulmuş ve No:200 elekten elenerek filler malzemesi olarak kullanıma hazır hale getirilmiştir.

Diatomit için zahiri özgül ağırlık deneyi ASTM C127 [17], ASTM C128 [18] ve BS812 [19] deney standartlarına göre yapılmıştır. Bulunan değerlere göre diatomitin zahiri özgül ağırlığı Tablo 1’de verilen formül ile hesaplanmıştır.

Tablo 1. Diatomit zahiri özgül ağırlık hesabı

		Ağırlıklar (gr)
<b>A</b>	Piknometre ağırlığı	123.2
<b>B</b>	Piknometre+ Su ağırlığı	369.32
<b>C</b>	Piknometre+ Numune ağırlığı	168.54
<b>D</b>	Piknometre+ Numune+ Su ağırlığı	388.06
<b>E</b>	Kuru numune ağırlığı	41.94
<b>Formül</b>	SGzahiri	$E/[(B-A)-(D-C)]$
	SGzahiri	1.58

Ağırlıkça %0, %25, %50, %75, %100 diatomit ikameli (kalker filler ile yer değiştirilen) asfalt beton numuneler hazırlanmış ve Marshall stabilite ve akma deneyine tabi tutulmuştur.

Bağlayıcı asfalt çimentosu olarak Aliğa rafinerisinde üretilmiş olan bitüm kullanılmıştır. Sıcak karışım asfalt beton numunelerin üretiminde kullanılan bitüm Isparta Belediyesi Asfalt Şantiyesinden alınmıştır. Çalışmada kullanılan bitüm B50-70 penetrasyon sınıfındadır. Özgül ağırlığı 1.037 gr/cm<sup>3</sup> [20] olan bitüm kullanılmıştır. Tablo 2’de asfalt çimentosunun özellikleri verilmiştir. Bitüm üzerinde yapılan deney çalışmaları sonucundan kullanılan bitümün Karayolu Teknik Şartnamesi (KTŞ) [21] standartlarına uygun olduğu belirlenmiştir.

Tablo 2. 50/70 Penetrasyon sınıfındaki bitümün özellikleri

Deney Adı	Deney Sonucu	Şartname Değerleri	Standart
Bitüm Özgül Ağırlığı	1.037		TS-1087 [20]
Bitüm Penetrasyon, (25 °C) 0.1 mm	58	50-70	TS EN 1426 [22]
Yumuşama Noktası (22-80 °C)	51	46-54	TS EN 1427 [23]
<b>İmalatta Kullanılacak Bitümlü Bağlayıcı</b>	<b>Rafinerisi</b>	Aliğa	
	<b>Tipi</b>	Bitüm	
	<b>Sınıfı</b>	B 50/70	

Diatomit ikameli asfalt betonu numunelerinin hazırlanmasında kullanılan agregalara uygulanan deneylere ait sonuçlar Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Kireçtaşı agregaların fiziksel ve mekanik özellikleri

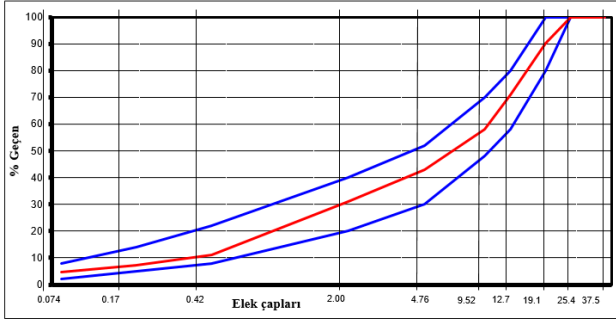
Kayacın Cinsi	Kalker			Deney Standardı
	Kaba Agrega	İnce Agrega	Kireçtaşı Filler	
Deney Adı				
Hacim Özgül Ağırlık	2.686	2.674		ASTM C 127 [17] ASTM C128 [18]
Zahiri Özgül Ağırlık	2.714	2.716	2.73	ASTM C 127 ASTM C128 BS812 [19]
Absorpsiyon (%)	0.4	0.6		ASTM C 127 ASTM C128
Karışımın Efektif Özgül Ağırlığı (deneyle)			2.699	ASTM D-2041 [24]
Karışımın Efektif Özgül Ağırlığı (hesapla)			2.699	
Cilalanma Değeri			-	TS-EN 1097-8 [25]
MgSO4 Donma Kaybı %			10.2	TS-EN 1367-2 [26]
Los Angeles Aşınma Kaybı %			22	ASTM C-131
Aşınma Direnci (Mikro-Deval)			9.1	TS-EN 1097-1 [27]
Yassılık İndeksi %			19.1	BS 812
Soyulma Mukavemet %			60-65	KTŞ Kısım 403 Ek-A [21]
Metilen Mavisi %			0.25	TS EN 933-10 [28]

Çalışmada kullanılan agregalara uygulanan elek analizi deneyi KTŞ binder tabakası için belirlenen standartlara uygun gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda belirlenen

agrega gradasyonu Tablo 4'te ve granülometri eğrisi Şekil 1'de verilmiştir.

Tablo 4. Çalışmada kullanılan agrega gradasyonu

Elek Açıklığı		Karışım Gradasyonu	KTŞ Binder	
mm	inch			
25.4	1"	100	100	100
19.1	3/4"	90.3	80	100
12.7	1/2"	71.1	58	80
9.52	3/8"	58.1	48	70
4.76	No.4	42.9	30	52
2.00	No.10	31.1	20	40
0.42	No.42	11.2	8	22
0.177	No.80	7.3	5	14
0.075	No.200	4.6	2	8



Şekil 1. Çalışmada kullanılan granülometri eğrisi

Hazırlanan karışım gradasyonu doğrultusunda diatomitin kireçtaşı filler ile yer değiştirilerek üretilen diatomit ikameli asfalt beton numunelerin hazırlanmasında filler oranı olarak %4.6 toplam filler oranı kullanılmıştır.

### 3. Metot

#### 3.1. Marshall stabilite ve Akma Deneyi

Marshall tasarımı Bruce Marshall tarafından 1939 yılında geliştirilip formülize edilmiştir. 1943'te Amerikan Ordusu Mühendisler Birliği gradasyon ve trafik koşulları fonksiyonlarına dayanarak optimum bitüm miktarı tayininde kullanmak üzere Marshall metodunu kabul etmiştir. Marshall metodu istenilen yoğunluk, stabilite ve akma değerlerine sağlama kriteri ile optimum bitüm oranı tayininde kullanılmaktadır. Marshall tasarım metodunun Türk standartlarındaki karşılığı TS3720'de verilmiştir [29]. Asfalt betonu içerisinde kullanılacak optimum bitüm miktarını tayin etmek için yapılmaktadır.

Marshall karışım tasarımı altı adımdan oluşmaktadır:

- Agregası seçimi
- Bitüm seçimi
- Numune hazırlama

- Hava boşluğu ve yoğunluk değerlerinin tespiti
- Marshall deney aleti kullanarak stabilite ve akma değerlerinin bulunması
- Optimum bitüm miktarı tayini

Marshall stabilite ve akma deneyi bitümlü karışım tasarım yöntemlerinden en yaygın kullanılan yöntemdir. Marshall stabilitesi bir esnek kaplamanın yapısal durumu hakkında bilgi vermektedir. Üstyapının yapısal durumu denildiği zaman genellikle akla kaplamanın stabilitesi gelir. Stabilite, BSK'nın yapısal durumunu ifade eder. Bu yapısal durum karışım içeriğindeki asfalt çimentosunun özellikleri ve miktarı, kaplamanın imalatında kullanılan agreganın fiziksel ve mekanik özellikleri ile agrega gradasyonuna bağlıdır.

Marshall stabilite ve akma deneyinde, çelik kalıplar ve sıkıştırıcı kompaktörler yardımıyla 101 mm çapında ve 63.5 mm yüksekliğe sahip silindir şeklinde numuneler üretilir. Marshall deney cihazı ile 50 mm/dk'lık sabit bir hızda ve uygun sıcaklıkta (60 °C sıcaklık altında) numunelere yükleme yapılarak stabilite (deformasyona karşı dirençleri) ve akma değerleri belirlenmektedir [30].

Marshall stabilite ve akma deneyinde numunenin kırılmadan taşıyabileceği maksimum yük Marshall stabilitesi ve kırılma anına kadar oluşan deformasyon miktarı ise Marshall akması olarak isimlendirilir.

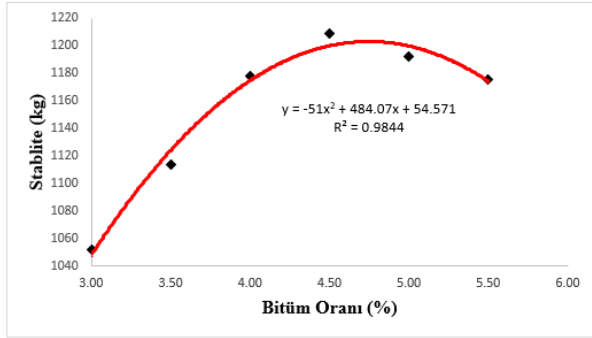
### 4. Bulgular ve Tartışma

#### 4.1. Kireç taşının filler olarak kullanıldığı numunelere ait Marshall stabilite ile akma deneyi sonuçları ve grafikleri

Kireçtaşı tozunun filler olarak kullanıldığı numunelere ait bitüm oranı-stabilite, bitüm oranı-akma, bitüm oranı- pratik özgül ağırlık (Dp), bitüm oranı- asfaltla dolu boşluk miktarı (Vfa) yüzdesi, bitüm oranı- boşluk (Vh), bitüm oranı- agregalar arası boşluk miktarı (VMA) yüzdesi grafikleri sırasıyla Şekil 2, 3, 4, 5, 6 ve 7'de verilmiştir.

BSK'nın en önemli özelliklerinden biri Marshall stabilite değeridir. Marshall stabilitesi bir esnek kaplamanın yapısal durumu hakkında bilgi vermektedir. Stabilite değeri arttıkça sıcak karışım asfalt kaplamaların sürekli dinamik yükler ile taşıtlardan gelen uzun dönem statik yükler, hızlanma ve yavaşlamadan kaynaklı düşey ve yatay gerilmeler (kayma-çekme) ile kayma gerilmelerine karşı direnci artar [31]. KTŞ'de binder tabakası dizaynında stabilite değeri için min.750 kg değeri verilmiştir.

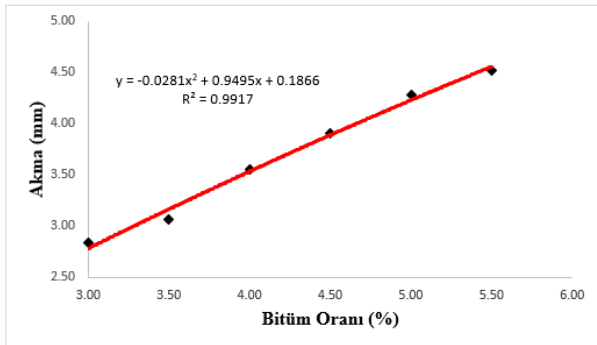
Deney sonuçlarına göre numunelerin ihtiva ettikleri bitüm oranlarına (%) karşılık gelen stabilite değerleri Şekil 2'de verilmiştir. Verilen değerlere göre;



Şekil 2. Marshall stabilite değerinin bitüm oranına (%) göre değişimi

- Bitüm oranı %3.0, 3.5, 4.0, 4.5 olan numunelerde bitüm oranı arttıkça stabilite değerinde artış tespit edilmiştir.
- Bitüm oranı %4 ile %4.5 olan numuneler arasında stabilite düşük bir artış göstermiştir.
- %4.5 bitüm oranına sahip numunelere göre %5, 5.5 bitüm oranına sahip numunelerde stabilite değeri düşüş göstermiştir.
- %4.5 bitüm oranına sahip numune en yüksek stabilite değeri olan 1209 kg değerini vermiştir.
- Şartname sınırının altında stabilite değeri olan numune tespit edilmemiştir.

Akma dayanımı değeri esneklik ve plastik özelliklerini gösteren bir değerdir. Marshall numunelerinin uygulanan kuvvet ile kırıldığı anda uygulanan yüke karşılık gelen deformasyon değeridir. Akma, sıkıştırılmış karışımların içsel sürtünmelerinin ölçüsüdür. İç sürtünme ve akma arasında doğrusal ve ters bir oran vardır. KTŞ'ye göre binder dizaynında akma değeri 2-4 mm değerleri arasında olmalıdır. Farklı bitüm oranlarına göre karşılık gelen ortalama akma değerleri Şekil 3'te verilmiştir.

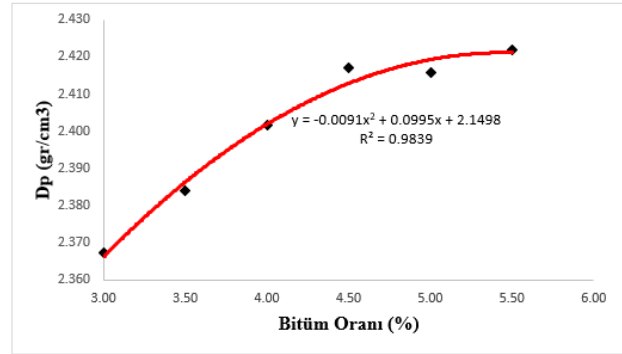


Şekil 3. Akma - bitüm oranı (%) grafiği

Akma ve bitüm içeriğine göre hazırlanan grafik incelendiğinde;

- Numune içerisinde bulunan bitüm arttıkça akma değerinin de artış görülmüştür.
- KTŞ'de binder tabakası için belirtilen 2-4mm sınır değerlerini %3, %3.5, %4 ve %4.5 bitüm oranına sahip numuneler sağlamıştır.
- Bitüm oranı %5 ve %5.5 olan numunelerin şartname sınırlarından fazla bir akma değerine sahip oldukları tespit edilmiştir.

Karışımda bulunan bitüm miktarı arttıkça Dp'nin arttığı tespit edilmiştir. %4.5 bitüm oranına sahip numune ve sonrasında artış hızında düşüş görülmüştür. Deneyde %3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5 oranlarında bitüm içeren numuneler hazırlanmış ve sırasıyla pratik özgül ağırlık değerleri 2.367, 2.384, 2.402, 2.417, 2.416, 2.422 olarak belirlenmiştir. Karışımlar içerisinde en yüksek pratik özgül ağırlık değeri %5.5 bitüm içeren numunelerde tespit edilmiştir. Pratik özgül ağırlık değerinin bitüm oranına göre değişimi Şekil 4'te verilmiştir.



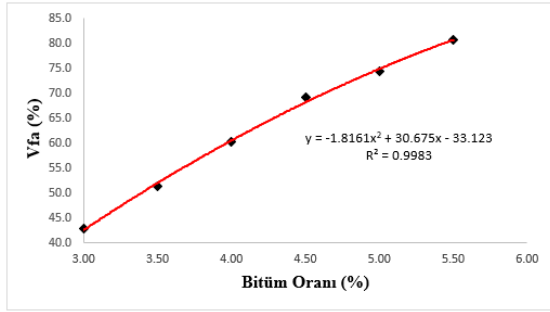
Şekil 4. Dp- Bitüm oranı (%) grafiği

BSK'lar için Vfa oranı önemli bir özelliktir. Binder dizaynında bu özellik için KTŞ'de aralık olarak %60-75 değerleri verilmiştir. BSK kaplamalarda diğer bir önemli özellik de Vh değeridir. KTŞ'de boşluk değeri için %4-6 sınırları verilmiştir. Verilen aralıkta kalmak oluşabilecek bir kuma bozulması durumunu önlemek için önemlidir. Şartnamede bir üst sınır belirlenmesinin sebebi bitümlü sıcak karışımların yeterli stabilitesinin oluşması, alt katmanlara su geçirimsizliğinin ve bitüm oksidasyonunun düşürülmesidir [31].

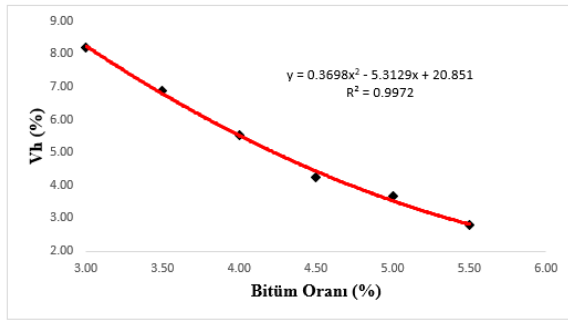
İçerdiği bitüm oranlarına göre Vfa oranı grafiği Şekil 5'te verilmiştir. Vh ve bitüm oranı grafiği Şekil 6'da verilmiştir. Gerçekleştirilen deney sonuçlarına göre hazırlanan Vfa oranı ve Vh grafiğine göre;

- Karışımda bulunan bitüm miktarı arttıkça Vfa oranının doğrusal bir şekilde arttığı görülmüştür.
- KTŞ sınır değerleri olan %60-75 Vfa oranlarını %4.0 ve %4.5 bitüm içeren numuneler sağlamıştır.

- KTŞ sınır değerleri olan %4-6 Vh oranlarını %4.00 ve %4.5 bitüm içeren numuneler sağlamıştır.
- Vfa artıkça boşluk oranı düşmüştür.



Şekil 5. Vfa - Bitüm oranı (%) grafiği

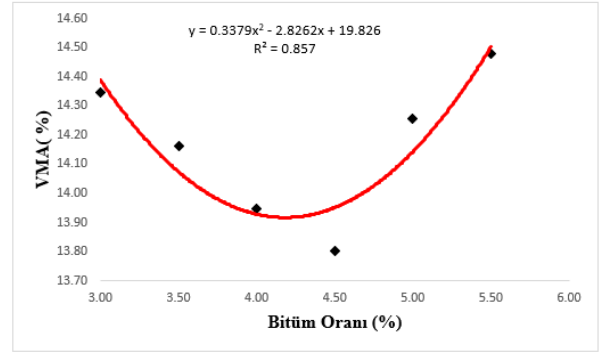


Şekil 6. Vh - Bitüm oranı (%) grafiği

VMA değeri sıkıştırılmış kaplama karışımları içerisindeki bitümlü dolu boşluklar da dâhil olmak üzere agrega danecikleri arasındaki hava boşluklarıdır. Mineral agregalar arasındaki boşluk, karışımdaki bitüm ve hava boşluğu için gerekli olan hacme tekabül eden kullanılabilir hacmi temsil eder. Dolayısıyla mineral agregalar arasındaki boşluk arttıkça agregalar üzerindeki bitüm film kalınlığının artacağı ve karışımın durabilitesinin yükseleceği söylenebilir [31].

KTŞ'de binder dizaynı VMA değerleri için sınırlar 13-15'dir. Bu değerlerin dışına çıkılırsa sıcak havalarda bitüm boşluklara akar, eğer yeterli VMA olmaz ise kasma meydana gelir. Bitüm oranı (%) ve VMA arasında ki ilişki Şekil 7'deki grafikte verilmiştir. Deney sonucunda tespit edilen verilere göre;

- Karışım içerisinde bulunan bitüm miktarı arttıkça, agregalar arasındaki boşluk miktarının %4.5 bitüm içeren numuneye kadar kararlı bir şekilde azaldığı tespit edilmiştir.
- %4.5'dan sonra agregalar arası boşluk oranı kararlı bir şekilde artış göstermiştir.
- En düşük değer %4.5 bitüm oranına sahip numunelerde tespit edilmiştir.
- Numunelerin tamamı KTŞ'de verilen (%13-15) sınır değerlerini sağlamıştır.



Şekil 7. VMA - Bitüm oranı (%) grafiği

Agrega granülometrisi sabit tutularak %3, 3.5, 4, 4.5, 5, 5.5 değerlerinde bitüm içeriği kullanılarak asfalt beton numuneler hazırlanmıştır. Optimum bitüm içeriğini belirlemek amacıyla stabilite, akma, Dp, Vh, Vfa ve VMA grafikleri çizilmiştir. Maksimum Dp'ye karşılık gelen bitüm yüzdesi (%5.40), Vh yüzdesi şartname sınırlarının ortalaması olan %5'e karşılık gelen bitüm yüzdesi (%4.20), Vfa %67.5'a denk gelen bitüm yüzdesi (%4.45) ve maksimum stabiliteyi veren bitüm yüzdesi (%4.70) değerlerinin ortalaması alınarak optimum bitüm yüzdesi Tablo 5'te verilen formül ile %4.68 olarak hesaplanmıştır. Çalışmanın sonraki aşamalarında bu değer esas alınmıştır. Kireçtaşı filler içeren numunelere ait deney sonuçları Tablo 6'da verilmiştir. Ayrıca asfalt betonu binder tabakası dizayn kriterleri Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 5. Optimum bitüm oranının belirlenmesi (Binder Tabakası)

	İstenilen	Oran (%)
Pratik Özgül Ağırlık (Dp), (gr/cm <sup>3</sup> )	Maksimum	5.40
Marshall Stabilitesi, (kg)	Maksimum	4.70
Boşluk (Vh), (%)	4-6 (5)	4.20
Asfaltla Dolu Boşluk Yüzdesi (Vfa), (%)	60-75 (67.5)	4.45
Optimum Bitüm İçeriği (Dp, MS, Vh ve Vfa ortalaması)		4.68 (%)

Tablo 6. Kireçtaşı filler içeren numunelere ait Marshall stabilite ve akma deneyi sonuçları

	Dizayn	Şartname [21]
Optimum Bitüm	4.68	3.5-6.5
Pratik Özgül Ağırlık (Dp), (gr/cm <sup>3</sup> )	2.41	-
Marshall Stabilitesi, (kg)	1190	min. 750
Boşluk (Vh), (%)	4.82	4-6
Akma	3.65	2-4
Asfaltla Dolu Boşluk Yüzdesi (Vfa), (%)	65.3	60-75
V.M.A (%)	13.9	13-15

Tablo 7. Asfalt betonu dizayn kriterleri [21]

Özellikler	Binder		Deney Standardı
	min.	maks.	
Briket Yapımında Uygulanacak Darbe Sayısı	75		TS EN 12697-30 [32]
Marshall Stabilitesi, kg	750	-	TS EN 12697-34 [33]
Boşluk, %	4	6	TS EN 12697-8 [34]
Asfaltla Dolu Boşluk, %	60	75	TS EN 12697-8
Agregalar Arası Boşluk, %	13	15	TS EN 12697-8
Akma, mm	2	4	TS EN 12697-34
Filler/Bitüm Oranı	-	1.4	
Bitüm (ağırlıça, 100'e)	3.5	6.5	TS EN 12697-1 [35]
Sıkıştırılmış Bitümlü Karışımların Sudan Kaynaklanan Bozulmalara Karşı Direnci, İndirekt Çekme Mukavemeti (İÇM) Oranı, min.%	80		AASHTO T283 [36]
Tekerlek İzinde Oturma (30.000 devirde, 60 °C'de), maks. %	-		TS EN 12697-22 [37]
Not: Tabaklar arası yapışma dayanımı TS EN 12697-48'e göre yapılabilecektir.			

#### 4.2. Diatomitin tozunun filler olarak kullanıldığı numunelere ait Marshall stabilite deney sonuçları

Çalışmada filler olarak kireçtaşının kullanıldığı, %3, 3.5, 4, 4.5, 5, 5.5 oranlarında bitüm oranına sahip numuneler dökülerek optimum miktarı %4.68 olarak belirlenmiştir. Belirlenen %4.68 optimum bitüm içeriğine göre aynı gradasyonda kireçtaşı filler yerine diatomit ikameli numuneler hazırlanmıştır. Kireçtaşı fillere kütlece toplam filler miktarının yüzdesi olarak %0, 25, 50, 75, 100 oranlarında diatomit ikame

edilerek Marshall briketleri hazırlanmıştır. Diatomit ikameli asfalt beton numuneler Marshall stabilite ve akma testine tabi tutularak diatomit filler malzemesinin stabilite, akma, boşluk (Vh), asfaltla dolu boşluk miktarı (Vfa), pratik özgül ağırlık (Dp) ve agregalar arası boşluk miktarı (VMA) üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Diatomit ikame oranına bağlı olarak asfalt betonunun mühendislik özelliklerindeki değişimler diatomit (%) fillere göre stabilite değişim grafiği Şekil 9, akma değişim grafiği Şekil 10, Dp değişim grafiği Şekil 11, VMA değişim grafiği Şekil 12, Vh değişim grafiği Şekil 13 ve Vfa değişim grafiği Şekil 14'te verilmiştir.

Karşılaştırmanın daha iyi yapılabilmesi için optimum bitüm oranının belirlendiği gradasyon ve optimum bitüm miktarı kullanılarak kireçtaşı filler ile diatomit filler belirli oranlarda (Tablo 8) yer değiştirilerek numuneler hazırlanmıştır.

Tablo 8. Mineral filler olarak diatomit yer alan numunelerde diatomit - kireçtaşı oranları

Adet	Kireçtaşı Filler (%)	Numune İçerisindeki Ağırlığı (gr)	Diatomit	Numune İçerisindeki Ağırlığı (gr)
3	0	-	100	52.9
3	25	13.225	75	36.675
3	50	26.45	50	26.45
3	75	39.675	25	13.225
3	100 (Şahit Numune)	52.9	0	-

Numuneler Marshall metoduna göre hazırlanmıştır. İlk numune dökümü olan %100 diatomit filler içeren numuneye ait gradasyon hazırlanarak etüve yerleştirilmiştir. Bir gün sonra optimum bitüm miktarı ve gradasyonu hazır olan agregaya yığını karıştırılmaya başlandığında uygun sıcaklık altında olmasına rağmen diatomitin karışım içerisindeki bitümü tamamen absorbe ettiği, agregaların yüzeyinin bitümlü kaplanmasını engellediği görülmüştür. Karışımın rengi kahverengi olmuştur (Şekil 8). Normal sürelerin çok üstünde (ortalama 25-35 dk) karıştırma işlemi ve kalıba şişlenerek yerleştirilip tokmaklama işlemi yapılmıştır. Numune bir gün kalıpta beklemesi için oda sıcaklığına bırakılmıştır. Bir gün sonra numune kalıptan çıkartılırken yoğun bir şekilde segregasyon görülmüştür.





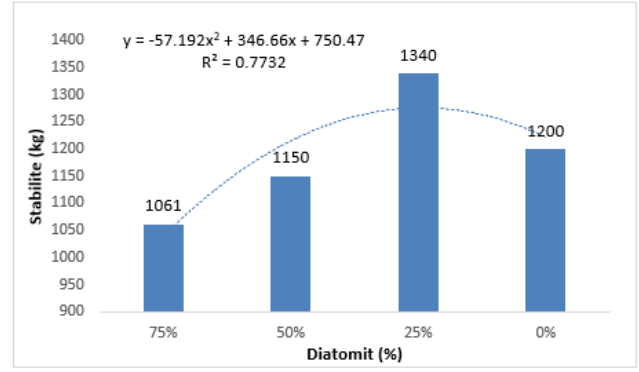
Şekil 8. Diatomit filler oranı %100 olan numunenin sıkıştırma işlemi ve sonrası

%100 diatomit ikameli numunelerde diatomitin agregaların yüzeyini kaplayarak numunede bağlayıcılığı etkilediği tecrübe edildikten sonra hazırlanan numunelerde agregalar ayrı bir kapta, numune oranına göre diatomit başka bir kapta hazırlanmıştır. Deney sonuna kadar bitüm ve agregaların karışımı önce karıştırılmıştır. Bitüm iri agregaların yüzeylerini tamamen kapladıktan sonra karışıma diatomit eklenerek karıştırma işlemine devam edilmiştir. Karışım içerisinde diatomitten gelen beyaz renk kalmayana kadar karıştırma işlemine devam edilmiştir.

Diatomit ikameli asfalt beton numunelere ait diatomit (%) fillere göre stabilite, akma, Dp, Vfa yüzdesi, Vh, VMA yüzdesi grafikleri sırasıyla Şekil 9, 10, 11, 12, 13 ve 14'te verilmiştir.

KTŞ'de binder dizaynında stabilite değeri için min.750 kg değeri verilmiştir. Deney sonuçlarına göre numunelerin ihtiva ettikleri diatomit oranlarına karşılık gelen stabilite değerleri Şekil 9'da verilmiştir. Deney sonucunda tespit edilen verilere göre;

- Numunelerin tamamı KTŞ alt sınırı olan 750 kg'yi sağlamıştır.
- En yüksek stabilite değeri %25 diatomit içeren numunelerde 1340 kg olarak tespit edilmiştir.
- Diatomit oranı %25'i geçtiğinde stabilize değerlerinde düşüş tespit edilmiştir. Yüksek diatomit oranlarında stabilitenin düşmesinin sebebi diatomitin bitümü absorbe etmesi olarak düşünülmektedir.
- %25 diatomite sahip numunelerin stabilite değeri, şahit (kontrol) numunelerinin stabilite değerinden yüksek olduğu tespit edilmiştir.

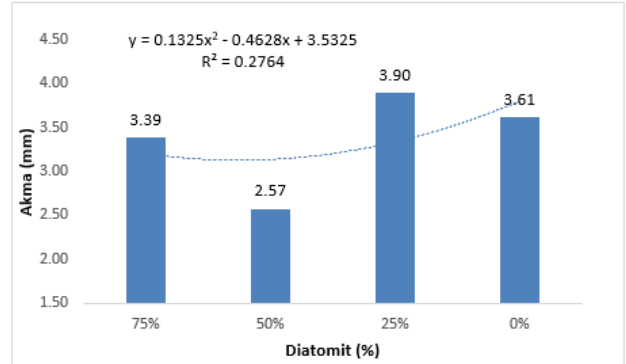


Şekil 9. Diatomit filler oranına göre stabilite değeri değişim grafiği

KTŞ'ye göre binder dizaynında akma değeri 2-4 mm aralığında olmalıdır. Diatomit oranlarına göre karşılık gelen ortalama akma değerleri Şekil 10'da verilmiştir.

Deney sonuçlarına göre hazırlanan grafiğe göre;

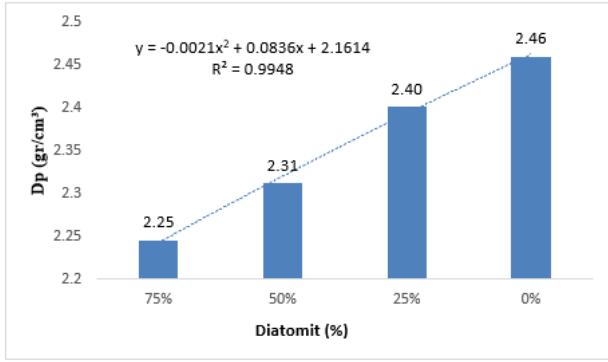
- Numune içerisinde kullanılan diatomit oranlarını arttıkça akma değerinde düşüş tespit edilmiştir.
- %25 diatomit oranına sahip numunelerde en yüksek değeri olan 3.90 mm akma değeri elde edilmiştir. Şartnamenin üst sınırı olan 4 değerini aşmamıştır.
- %25 diatomit filler oranına sahip numunelerde, kireçtaşı filler kullanılan numunelere göre daha yüksek akma değeri tespit edilmiştir.



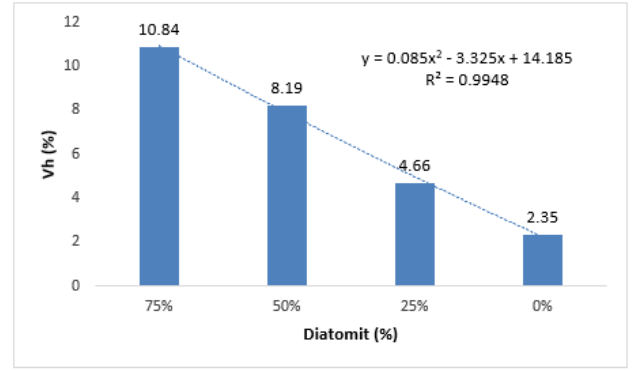
Şekil 10. Diatomit filler oranına göre akma değeri değişim grafiği

Karışımında bulunan diatomit miktarı arttıkça Dp'nin kararlı bir şekilde azaldığı tespit edilmiştir. Deneyde %25, %50 ve %75 oranlarında diatomit içeren numuneler hazırlanmış ve sırasıyla pratik özgül ağırlık değerleri 2.40, 2.31, 2.25 gr/cm<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir. Diatomit ikameli karışımlar içerisinde en yüksek pratik özgül ağırlık değeri %25 diatomit içeren numunelerde tespit edilmiştir. Diatomit oranına göre pratik özgül ağırlık değişimi Şekil 11'de verilmiştir.





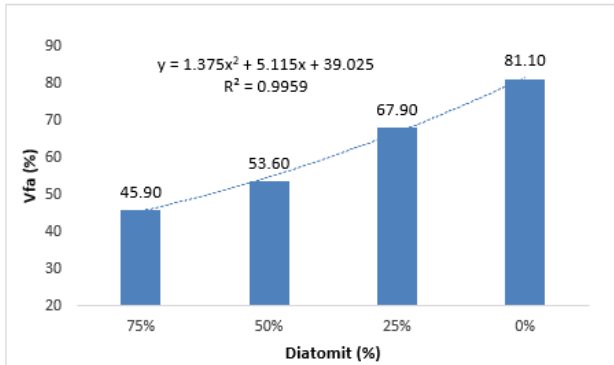
Şekil 11. Diatomit filler oranına göre DP değeri değişim grafiği



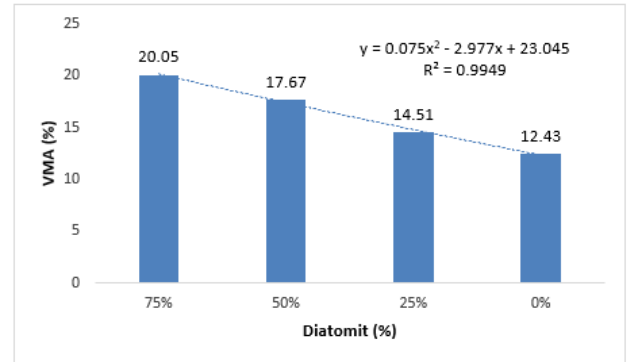
Şekil 13. Diatomit filler oranına göre Vh değeri değişim grafiği

İçerdiği diatomit oranlarına göre asfaltla dolu boşluk oranı grafiği Şekil 12’de verilmiştir. Boşluk ve diatomit oranına ait değerler Şekil 13’te verilmiştir. Gerçekleştirilen deney sonuçlarına göre hazırlanan asfaltla dolu boşluk oranı grafiğine göre;

- Numunelerin sahip oldukları diatomit oranı arttıkça asfaltla dolu boşluk oranı azalmaktadır.
- Diatomitin karışım içerisindeki bitümü absorbe ettiği tespit edilmiştir.
- Diatomit oranları yüksek olan %50 ve %75 numuneler ise sırasıyla şartnamenin alt sınırının %10 ila %20 altında kalmıştır.
- KTŞ’de verilen Vh sınırlarını (2-4mm) sadece %25 diatomit ikameli numuneler sağlamıştır.



Şekil 12. Diatomit filler oranına göre Vfa değeri değişim grafiği



Şekil 14. Diatomit filler oranına göre VMA değeri değişim grafiği

## 5. Sonuçlar

Bu çalışmada diatomitin bitümlü sıcak karışımlarda (BSK) filler malzeme olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla Marshall metodu ile kireçtaşı agrega ve kireçtaşı filler kullanılarak %3, 3.5, 4, 4.5, 5, 5.5 bitüm oranına sahip numunelere ait stabilite, akma, pratik özgül ağırlık (Dp), asfaltla dolu boşluk miktarı (Vfa), boşluk (Vh) ve agregalar arası boşluk miktarı (VMA) değerleri tespit edilmiş ve grafikleri çizilmiştir.

Çizilen bu grafiklerden optimum bitüm miktarı %4.68 olarak hesaplanmıştır. Belirlenen optimum bitüm içeriği ve optimum bitüm oranının belirlendiği gradasyon kullanılarak %0, 25, 50, 75 oranlarında diatomit filler ikameli asfalt beton numuneler hazırlanmıştır. Diatomit ikameli numuneler Marshall BSK tasarım testine tabi tutularak sonuçlar değerlendirilmiştir.

Gerçekleştirilen deneyler neticesinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

- %4.68 olarak bulunan optimum bitüm yüzdesinin KTŞ'ye uygun olduğu görülmüştür.
- Asfalt beton numunelerin üretiminde kullanılan agrega, filler ve bitümün şartnameye uygun olduğu belirlenmiştir.
- Belirlenen Filler/Bitüm oranının şartname sınırları içinde kaldığı görülmüştür.
- Stabilite, sadece %25 diatomit ikameli numunelerde artış göstermiştir. Sadece kireçtaşı filler ile hazırlanan şahit numuneye (0% diatomit filler) ait stabilite değerinin 1200 kg, %25 diatomit ikameli numunenin stabilite değerinin 1340 kg, %50 diatomit ikameli numunenin stabilite değerinin 1150 kg, %75 diatomit ikameli numunenin stabilite değerinin 1061 kg olduğu görülmektedir. Fillerin tamamının diatomit filler olduğu brikete ait stabilite değeri hazırlanan briketlerde yoğun segregasyon olması nedeniyle deney yapılamadığından değerler belirlenememiştir. Stabilite, kireçtaşı filler ile üretilen şahit numuneye (%0 diatomit) göre %25, %50 ve %75 diatomit ikame oranlarında %25 diatomit ikameli numunelerde %11.67 artış, %50 ve %75 diatomit ikameli numunelerde sırasıyla %4.17 ve %11.58 oranlarında düşüş görülmüştür. Bu sonuçlar diatomit filler ikameli asfalt betonlarda Marshall stabilitesinin sadece %25 diatomit ikameli numunelerde arttığını göstermiştir.
- Çalışmada şahit numune (%0 diatomit) ve %25, 50, 75 oranlarında diatomit ikameli BSK numunelerde akma değerlerinin KTŞ'nin standartlarına (2-4mm) uygun olduğu görülmüştür.
- Pratik özgül ağırlık değeri diatomit filler miktarının artmasıyla diatomit ikameli tüm numunelerde düşmüştür. Diatomit ikameli numuneler arasında en yüksek pratik özgül

ağırlık değerine stabilitenin en yüksek değeri aldığı %25 diatomit ikameli numunede ulaşılmıştır.

- VMA ve bitüm oranı grafiği incelendiğinde %25, 50, 75 diatomit ikameli briketlerde VMA değerinin şahit numuneye göre arttığı görülmektedir. Grafiğe bakıldığında diatomit ikameli numunelerin %14 değerinin üstünde kaldığı görülmektedir. Numunelere ait VMA sırasıyla %14.51, 17.67, 20.05 değerlerini almıştır. KTŞ'ye göre VMA değerinin %14'ten büyük olması istenmektedir. Özellikle sıcaklığın etkisiyle diatomit ikameli asfalt beton numunelerde agregalar arasında yeterli boşluk olmaması nedeniyle asfalt beton kaplamada kusma meydana gelebileceği düşünülmektedir.
- KTŞ'ye göre binder tabakası Marshall tasarım kriterlerinde izin verilen boşluk sınır değerleri %4-6'dır. Boşluk ve diatomit ilişkisini gösteren grafiğe bakıldığında %25, %50 ve %75 diatomit ikameli briketlerde boşluk oranları sırasıyla %4.66, 8.19, 10.84 değerlerini almıştır. Değerler incelendiğinde diatomit ikameli tüm briketler içerisinde sadece %25 diatomit ikameli numunelerin şartname değerlerini sağladığı görülmektedir.
- Organik kökenli mineral olan diatomitin en önemli özelliği gözenekli yapısıdır. Bu yapı yüksek oranlarda porozite sağlar. Sıvı emme kapasitesi fazladır. İşlenmiş haldeki diatomit kendi ağırlığının 3-4 katı, kalsinasyondan sonra kendi ağırlığının 5-10 katı kadar sıvı emebilir. Diatomit kendine has özellikleri sebebiyle yüksek oranda (%50, 75, 100) diatomit içeren numunelerde diatomit eklendiği anda bitüm ile yoğun bir tepkimeye girerek agregaların yüzeyinin bitüm ile kaplanmasına engel olduğu tespit edilmiştir.
- Karışımların tamamında bitüm ve kireç taşı agregalar tam olarak üniform bir görüntüye sahip olduktan sonra (agregaların yüzeyi asfaltla kaplandıktan sonra) diatomit ilave edilmiştir. Karışımın siyah olan renginin (bitümden kaynaklı), diatomit karışıma eklendikten kısa bir süre sonra kahverengiye döndüğü gözlemlenmiştir.
- Yüksek diatomit oranlarına sahip (%50, 75, 100) numuneler hazırlanırken karıştırma işlemine diatomit ilave edildikten sonra bağlayıcılık gözlemlenmemiştir. Karışım halihazırda içerisinde bitüm yokmuş gibi bir

hale gelmiştir. Bu duruma rağmen sıkıştırma işlemi ile birlikte %100 diatomit oranına sahip numuneler haricinde diğer numuneler düzgün bir görüntüye ve deneye tabi tutulabilecek hale gelmişlerdir.

- Yüksek diatomit oranına sahip numunelerde (%50, 75, 100) agrega ve bitüm arasında yeterli aderans sağlanamadığı gözlemlenmiştir.
- %25 diatomit oranına sahip numunelerde karıştırma işlemi esnasında yüksek diatomit oranlarına sahip numunelerle benzer durumlar daha düşük oranda seyretmiştir ve sıkıştırma işlemi başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir.
- Deney neticesinde bir tane %25 olmak üzere, %75 ve %50 diatomit oranına sahip numunelerde parçalanma görülmüştür. %100 diatomit oranına sahip numunelerin tamamı yoğun segregasyon nedeniyle deneye tabi tutulamamıştır.
- KTŞ akma sınırları (2-4mm) göz önüne alındığında en yüksek stabilite değerine (1340 kg) sahip olan %25 diatomit ikameli numunelerde 3.9 mm akma değeri tespit edilmiştir.
- %25 diatomit oranına sahip numunelerin KTŞ sınırlarını sağlaması, en yüksek stabilite değerini vermesi ve yüksek diatomit oranlarına sahip numunelerde (%50 ve %75) değerlerin düşmesi nedeni ile daha sonra yapılacak çalışmalarda %0 ve %25 aralığında diatomit ikame edilerek araştırma yapılabileceği düşünülmektedir.
- Diatomitin bitümü absorbe etmesi sebebiyle daha fazla bitüme ihtiyaç olduğu düşünülmektedir. İlerde yapılacak çalışmalarda farklı bitüm oranlarına sahip diatomit ikameli numuneler hazırlanarak diatomitin karışıma etkilerinin araştırılabileceği düşünülmektedir.
- Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen değerlere göre hazırlanan grafikler incelendiğinde %25 diatomit ikameli filler malzemesinin KTŞ binder dizayn kriterlerinin tamamını sağladığı belirlenmiştir. Bu sebeple esnek kaplamalarda kireçtaşı filler ile birlikte diatomitin esnek üst yapı performansını artırmak için kullanılabileceği düşünülmektedir.

## Kaynaklar

- [1] Morova N, Terzi S. Kolemanit atıkların sıcak karışım asfalt betonda agrega olarak değerlendirilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19(2), 8-15, 2015.
- [2] Ahmedzade P, Yılmaz M. Effect of polyester resin additive on the properties of asphalt binders and mixtures. *Construction and building materials*, 22(4), 481-486, 2008.
- [3] Saltan M, Öksüz B, Uz VE. Use of glass waste as mineral filler in hot mix asphalt. *Science and Engineering of Composite Materials*, 22(3), 271-277. 10.1515/secm-2013-0135, 2015.
- [4] Özbey G, Atamer N. Kizelgur (Diatomit) Hakkında Bazı Bilgiler. [https://www.maden.org.tr/resimler/ekler/aeae10ea1c6433c\\_ek.pdf](https://www.maden.org.tr/resimler/ekler/aeae10ea1c6433c_ek.pdf) (Erişim tarihi: 05.07.2022)
- [5] Sargın Ş, Saltan M, Morova N, Serin S, Terzi S. Evaluation of rice husk ash as filler in hot mix asphalt concrete. *Construction and Building Materials*, 48, 390-397, 2013.
- [6] Ahmedzade P, Alataş T, Geçkil T. Asfalt betonunda siyah karbonun filler olarak kullanımı. *Teknik Dergi*, 19(94), 4493-4507, 2008.
- [7] Canpolat M, Beycioğlu A, Morova N, Çetin S, Çetin HM, Gündoğan H. Atık Olivin Mineralinin Asfalt Betonunda Filler Olarak Kullanımı. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 10(2), 555-566, 2022.
- [8] Selman GŞ. *Bor atıklarının asfalt kaplamalarda mineral filler olarak kullanılabilirliği*. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, Türkiye, 2015.
- [9] Terzi S, Büyükdoğaç EM. Evaluation Of Zeolite And Pumice Waste As Mineral Aggregate And Filler For Producing Lightweight Asphalt Concrete Mixtures. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6(1), 118-123, 2018.
- [10] Üstümkol FN, Turabi A. (2010). Endüstriyel atık filler malzemelerin kullanılabilirliğinin araştırılması. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 12(1), 3-18, 2010.
- [11] Beycioğlu A, Kaya O, Yıldırım ZB, Bağrıaçık B, Dobiszewska M, Morova N, Çetin S. Use of GRP pipe waste powder as a filler replacement in hot-mix asphalt. *Materials*, 13(20), 4630, 2020.
- [12] Morova N, Terzi S. Laboratory investigation of usability of slate waste powder as filler in hot mix Asphalt concrete. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 8(3), 1-18, 2016.
- [13] Tığdemir M, Tımorı MI. Asfalt beton kaplamalarında Tunçbilek uçucu külünün filler olarak kullanılmasının araştırılması. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 10(1), 126-141, 2022.

- [14] Terzi S, Kardeşahin, M. Mermer toz atıklarının asfalt betonu karışımında filler malzemesi olarak kullanımı. *Teknik Dergi*, 14(2), 2903-2922, 2003.
- [15] Elmacı A. *Asfalt Betonunda Granit Arıtma Çamurunun Filler Malzemesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, Türkiye, 2011.
- [16] Çubuk MK. *Katkı Maddesi Olarak Diatomitin, Bitümlü Sıcak Karışımlarda Davranışları Üzerindeki Etkileri*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 1998.
- [17] ASTM International. Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate, ASTM C127-15 West Conshohocken, PA, 2015. www.astm.org
- [18] ASTM International. Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate, ASTM C 128. West Conshohocken, PA, 2001 www.astm.org
- [19] British Standard Institution. BS 812: Part 2: Methods for determination of physical properties, 1975.
- [20] Türk Standartları Enstitüsü. Bitümlü maddelerde özgül ağırlık tayini (hidrometre, piknometre ve su içinde tartma metotları ile), TS 1087. Ankara, Türkiye, 1972.
- [21] Karayolları Genel Müdürlüğü. Karayolu Teknik Şartnamesi. Ankara, Türkiye, 2013
- [22] Türk Standartları Enstitüsü. Bitüm ve Bitümlü Bağlayıcılar – İğne Batma Derinliği Tayini, TS EN 1426. Ankara, Türkiye, 2015.
- [23] Türk Standartları Enstitüsü. Bitüm ve Bitümlü Bağlayıcılar – Yumuşama Noktası Tayini – Halka ve Bilye Yöntemi, TS EN 1427. Ankara, Türkiye, 2015.
- [24] ASTM International. Standard Test Method for Theoretical Maximum Specific Gravity and Density of Bituminous Paving Mixtures, ASTM D 2041. Annual Book of ASTM Standards USA, 2004.
- [25] Türk Standartları Enstitüsü. Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler - Bölüm 8: Taş parlatma değerinin tayini, TS EN 1097-8. Ankara, Türkiye, 2004.
- [26] Türk Standartları Enstitüsü. Agregaların termal ve bozunma özellikleri için deneyler bölüm 2: Magnezyum sülfat deneyi, TS EN 1367-2. Ankara, Türkiye, 1999.
- [27] Türk Standartları Enstitüsü. Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler, bölüm 1: Aşınmaya karşı direncin tayini (Mikro-Deval), TS EN 1097-1. Ankara, Türkiye, 2002.
- [28] Türk Standartları Enstitüsü. Tests for geometrical properties of aggregates-Part 10: Assessment of fines; Grading of fillers (air jet sieving), TS EN 933-10. Ankara, Türkiye, 2015.
- [29] Yıldız K. *Marshall Dizayn Metodu ile Optimum Bitüm Muhtevasının Belirlenmesinde Deney Parametrelerinin Sonuca Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2003.
- [30] İstanbul Büyükşehir Belediyesi. İsfalt, Shell Bitüm El Kitabı, İSFALT Bilimsel Yayın No:3, ISBN: 975-8183-02-8, İstanbul, Türkiye, 2004
- [31] Gürer C. *Atık Mermer Parçalarının Yol Kaplamasında Değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, Türkiye, 2005.
- [32] Türk Standartları Enstitüsü. Bitümlü karışımlar, sıcak asfalt karışımları için deney yöntemleri, bölüm 30: darbeli sıkıştırıcı ile numune hazırlanması, TS EN 12697-30. Ankara, Türkiye, 2012.
- [33] Türk Standartları Enstitüsü. Bitümlü karışımlar sıcak asfalt karışımları için deney yöntemleri, bölüm 34: Marshall deneyi, TS EN 12697-34. Ankara, Türkiye, 2012.
- [34] Türk Standartları Enstitüsü. Bitümlü karışımlar, sıcak asfalt karışımları için deney yöntemleri, bölüm 8: bitümlü numunelerin boşluk özelliklerinin tayini, TS EN 12697-8. Ankara, Türkiye, 2005.
- [35] Türk Standartları Enstitüsü. Bitümlü karışımlar sıcak asfalt karışımları için deney yöntemleri bölüm 1: Çözünür bağlayıcı muhtevası tayini, TS EN 12697-1. Ankara, Türkiye, 2003.
- [36] American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). Standard Method of Test for Resistance of Compacted Asphalt Mixtures to Moisture-Induced Damage, AASHTO T283. ABD 2022
- [37] Türk Standartları Enstitüsü. Bitümlü karışımlar, deney metotları, sıcak karışımli asfalt için, bölüm 22: Tekerleğin iz bırakması, TS EN 12697-22. Ankara, Türkiye, 2004.
- [38] ASTM International. Standard Test Method for Resistance to External Loads on Metal Reflective Pipe Insulation, ASTM C854. 1990
- [39] Öksüz B. *Asfalt Betonuna Kaplamalarda Volkanik Cüruf ve Cam Atıklarının Filler Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye, 2011.
- [40] Türk Standartları Enstitüsü. Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler – Bölüm 2: Parçalanma Direnci Tayini İçin Yöntemler, TS EN 1097-2. Ankara, Türkiye, 2010.
- [41] Türk Standartları Enstitüsü. Bitümlü karışımlar-Deney metotları-Sıcak karışımli asfalt içi-Bölüm 11: Agregası ve bitüm arasındaki bağlanmanın tayini, TS EN 12697-11. Ankara, Türkiye, s. 28, 2012.
- [42] Türk Standartları Enstitüsü. Bitüm ve Bitümlü Bağlayıcılar-Yoğunluk ve Özgül Kütle Tayini-Kapiler Kapaklı Piknometre Deneyi, TS EN 15326 + A1. Ankara, Türkiye, 2010.

- [43] Türk Standartları Enstitüsü. Petrol ve İlgili Ürünler – Parlama Yanma Noktasının Tayini, Cleveland Açık Kap Yöntemi, TS EN ISO 2592. Ankara, Türkiye, 2017.
- [44] Alman Standartlar Enstitüsü. Bituminous mixtures, test methods, Part 48: Interlayer Bonding, DIN EN 12697-48. Almanya, 2022.