



## ETİCOL-43 BOR MİNERALİNİN ASFALT BETONDA FİLLER OLARAK KULLANIMI

Hande Varol Morova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta

### Makale Bilgisi

Geliş tarihi: 15.12.2022  
Kabul Tarihi: 29.12.2022  
Yayın tarihi: 30.12.2022

### ÖZET

Karayolu üstyapısının hizmet ömrü trafik hacmi, iklim koşulları ve malzeme özellikleri gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak azalabilmektedir. Bitümlü sıcak karışımların (BSK) hem yüksek maliyetli olması hem de kaplamanın ağır dingil yükleri altında uzun yıllar dayanım gösterebilmesi için BSK'da farklı özelliklere sahip malzemelerin kullanımı üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmada, ülkemizde yaygın olarak bulunan bor mineralinin BSK'da filler malzemesi olarak kullanılabilirliği incelenmiştir. Bu amaçla %3.5, %4, %4.5, %5, %5.5 ve %6 oranlarında kireçtaşı agregası ile karışımlar hazırlanmış ve optimum bitüm miktarı (OBM) %4.87 olarak bulunmuştur. Kireçtaşı agregası için belirlenmiş OBM esas alınarak bor fillerin taş tozu ile yer değiştirilmesiyle oluşan yeni BSK numuneleri hazırlanmıştır. Çalışmanın devamında Marshall stabilite ve akma deneyi ile bor minerali filler malzemesiyle hazırlanmış asfalt betonun performans özellikleri değerlendirilmiştir. Bor ikameli numunelerin pratik özgül ağırlık ( $D_p$ ), boşluk oranı ( $V_h$ ), agregalar arası boşluk oranı (VMA), bitümlü dolu boşluk miktarı ( $V_f$ ), Marshall Stabilite (MS) ve akma değeri şartname sınır değerleriyle karşılaştırılarak borun BSK'da filler malzemesi olarak kullanılabilirliği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler;

Bitümlü sıcak karışım, Bor minerali, Marshall stabilitesi

## USAGE OF ETİCOL-43 BORON MINERALS AS FILLER IN ASPHALT CONCRETE

### Article Info

Received: 15.12.2022  
Accepted: 29.12.2022  
Published: 30.12.2022

### ABSTRACT

The service life of the highway pavement may be reduced depending on various factors such as traffic volume, climatic conditions and material properties. Studies are carried out on the use of materials with different properties in HMA, in order to ensure that the hot bituminous mixes (HMA) are both high cost and the coating can withstand heavy axle loads for many years. In this study, the usability of boron mineral, which is common in our country, as filler material in HMA was investigated. For this purpose, mixtures of %3.5, %4, %4.5, %5, %5.5 and %6 limestone aggregates were prepared and the optimum bitumen amount (OBA) was found to be %4.87. Based on the OBA determined for limestone, new HMA samples were prepared by replacing the boron fillers with stone dust. In the continuation of the study, the performance properties of asphalt concrete, the filler material of which is boron mineral, were evaluated by Marshall stability and flow test. By comparing the practical specific gravity ( $D_p$ ), void volume values ( $V_h$ ), voids in mineral aggregate (VMA), voids filled with bitumen ( $V_f$ ), Marshall Stability (MS) and flow value of boron-replaced samples with the specification limit values, it was concluded that boron can be used as a filler material in HMA.

Keywords;

Hot mix asphalt, Boron mineral, Marshall stability

## 1. Giriş

Dünyada yaygın olarak kullanılan kaplama türü esnek kaplamalardır. Kaplamanın başlıca görevleri, altyapıyı korumak, taşıtlara düzgün bir yuvarlanma yüzeyi sağlamak ve trafik yüklerinden oluşan gerilmeleri kontrollü bir şekilde taban zeminine iletmektir. Bitümlü sıcak karışımlar (BSK) agrega ve asfalt çimentosunun birleşiminden meydana gelmektedir. Kaba agrega, ince agrega ve mineral filler hacmin yaklaşık olarak %90'ını oluşturmaktadır (Ahmedzade ve Şengöz, 2009).

Filler malzemesinin, asfalt karışımlarda ince agrega oranını arttırarak boşlukları doldurmak ve asfalt betonunun dayanımını arttırmak gibi önemli görevleri vardır. BSK'da fillerin oynadığı rolün önemini ilk farkedenden Clifford Richardson, filler ve toz terimlerini kullanmıştır (Tunncliffe, 1962). BSK'da filler malzeme olarak genellikle kırmataş tozu kullanılmaktadır.

Esnek kaplamalarda zaman geçtikçe artan trafik hacmi ve dingil yükleriyle beraber çeşitli bozulmalar meydana gelmekte bu da yolun konfor düzeyini ve hizmet ömrünü düşürmektedir. Bu durum da BSK'da kullanılan malzeme özelliklerinin artırılması gerektiğini ortaya koymaktadır (Acar ve Tapkın, 1998). Bu amaçla çevre dostu ve yenilikçi malzemelerin geliştirilmesi için çok sayıda çalışma yapılmaktadır (Islam, 2021).

Zhang vd. (2020), karışımda kireçtaşı tozu alternatifi olarak kırmızı çamurdan türetilen dolgu agregasının kullanımını araştırmıştır. Çalışma sonucunda filler malzeme olarak kırmızı çamur kullanımının, modifikasyon ajanı olarak bir miktar beyaz çamur eklenerek uygulanabilir olduğu belirtilmiştir.

Du vd. (2020), çalışmasında mikro boyuttaki camın filler olarak kullanılabilirliğine bakmıştır. Karışımın ısıl direncini arttırmak ve kaplamanın maruz kaldığı güneş radyasyonu ısısını düşürmek amacıyla yapılan çalışmada, mikro boyutta cam kullanımının kaplamayı soğutmuş olmasına rağmen asfalt karışımın deformasyon direncini azaltabileceği sonucuna varılmıştır.

Wang vd. (2021), çalışmasında BSK'da meydana gelen yaşlanmayı geciktirmeyi ve kaplamanın performansını iyileştirmeyi amaçlamıştır. Bu doğrultuda karışımda dolgu malzemesi olarak uçucu kül, diatomit ve kırmızı çamur kullanmıştır. İnce katı atıkların eklenmesinin modifiye asfaltın yorulma

özelliğinde azalmaya sebep olup olmayacağı hala belirsizliğini korumaktadır.

Woszuk vd. (2019), BSK'da filler malzeme olarak iki farklı türde uçucu kül kullanmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen karışımların dona karşı direnç gösterdiği ve her iki türdeki uçucu külün de filler malzemeye alternatif olabileceği belirtilmiştir.

Bor, yerkabuğunda yaygın olarak bulunan 51. elementtir. Bor ve bor ürünleri günümüze kadar çeşitli alanlarda kullanılmıştır. Bugün bor özellikle cam ve fiberglas, nükleer güç, tarım sektörlerinde kullanılırken aynı zamanda yangın ve yalıtım malzemeleri, deterjan üretiminde, tıp alanında da kullanılmaktadır (Selman, 2013). Bor minerali üzerine yapılan çalışmalardan birkaçı aşağıda verilmiştir.

Gürer ve Selma (2016), çalışmalarında bor atıkları filler malzeme olarak kullanmış ve sonucunda elde edilen yeni karışımların yol üst yapısında şartnameler dahilinde kullanılabilirliğini belirtmişlerdir.

Kütük-Sert ve Kütük (2013), tarafından yapılan çalışmada BSK'da filler malzeme olarak atık borun kullanılabilirliği incelenmiştir. Çalışma sonucunda atık borun asfalt kaplamalarda kireçtaşına alternatif filler malzeme olarak kullanılabilirliği belirtilmiştir.

Zhang vd. (2016), çalışmasında Çin'de oluşan bor atıkların değerlendirilmesi amacıyla yol altyapısında kullanımını araştırmış ve bor atıkların altyapıda direkt olarak kullanılabilirliği sonucuna varılmıştır.

Keskin ve Karacasu (2018), atık boru %5, %10, %15 oranlarında kullanarak elde edilen asfalt beton numunelerinin performanslarını test etmiştir. Deney sonuçları, borun BSK'da kullanımının gerekli şartnamelere göre uygun olduğunu göstermiştir.

Bu çalışmada, kireçtaşı filler yerine Eticol-43 (E-43) bor minerali kullanılarak üretilen BSK'nın aşınma tabakasındaki performans özellikleri incelenmiştir. Karışım gradasyonundaki filler malzeme oranı tamamen E-43 olacak şekilde değişiklik yapılmış ve karışımlar oluşturulmuştur. Elde edilen numunelerin pratik özgül ağırlık ( $D_p$ ), boşluk oranı ( $V_h$ ), agregalar arası boşluk oranı ( $VMA$ ), bitümlü dolu boşluk miktarı ( $V_f$ ), Marshall Stabilitesi ( $MS$ ) ve akma değerleri tespit edilmiş, Karayolları Teknik Şartnamesi'nde ( $KTS$ ) yer alan sınır değerlerle karşılaştırılmıştır ( $KTS$ , 2013).

## 2. Materyal – Metot

### 2.1. Agrega

Çalışmada kullanılan agrega Göltaş Taş Ocağı'ndan temin edilmiştir. Agrega olarak kalker kırmataş kullanılmıştır. Kullanılan kireçtaşı agregasına ait fiziksel özellikler Tablo 1'de verilmiştir.

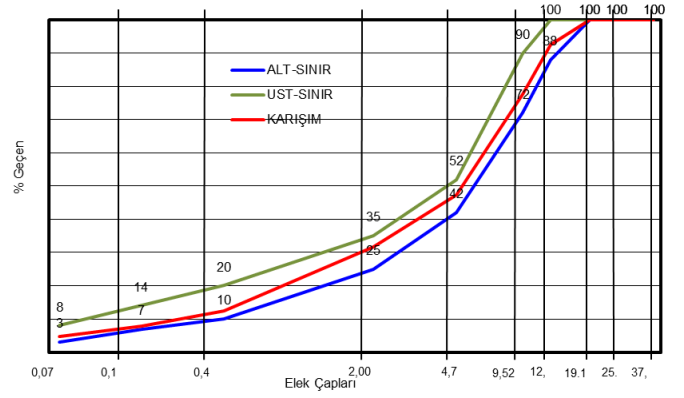
**Tablo 1.** Agrega özellikleri

Deney	Değer	Standart
Özgül Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )		
Kaba Agrega		
Zahiri Özgül Ağırlık	2.714	
Hacim Özgül Ağırlık	2.686	ASTM C127-88
Su Absorpsiyonu %	0.4	
İnce Agrega		
Zahiri Özgül Ağırlık	2.716	
Hacim Özgül Ağırlık	2.674	ASTM C128-88
Su Absorpsiyonu %	0.6	
Filler		
Hacim Özgül Ağırlık	2.729	ASTM C128-88
Los Angeles Aşınma(%)	22	ASTM C 131

Çalışmada kullanılan gradasyon KTŞ aşınma tabakasına uygun olarak Tablo 2'de, gradasyon eğrisi Şekil 1'de verilmiştir (KTŞ, 2013).

**Tablo 2.** Çalışmada kullanılan agrega gradasyonu

Elek Açıklığı		Dizayn	Kalan
(mm)	(inch)	Gradasyon	(%)
37.5	1 1/2"	100.0	0.0
25.4	1"	100.0	0.0
19.1	3/4"	100.0	0.0
12.7	1/2"	92.5	7.5
9.52	3/8"	77.7	14.8
4.76	No.4	47.4	30.3
2.00	No.10	31.6	15.8
0.42	No.40	12.3	19.3
0.177	No.80	7.9	4.4
0.075	No.200	4.8	3.1
0.000	No.∞	0.0	4.8
		Toplam	100.0



**Şekil 1.** Gradasyon eğrisi

### 2.2. Bitüm

Çalışmada Aliğa Rafinerisi'nden temin edilen 50-70 penetrasyonlu bitüm kullanılmıştır. B 50-70 penetrasyonlu bitümün özellikleri Tablo 3'te gösterilmiştir.

**Tablo 3.** B 50-70 bitümlü bağlayıcı özellikleri

Deney	Değer	Standart
Penetrasyon (25°C)	58	ASTM D5
Yumuşama Noktası(°C)	51	ASTM D36
Özgül Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	1.037	ASTM D70

### 2.3. Eticol-43

Eti Maden İşletmeleri'nden temin edilen Eticol-43 bor minerali filler malzeme olarak gradasyondaki filler oranında kireçtaşı yerine kullanılmıştır. Kullanılan E-43 bor mineralinin fiziksel özellikleri Tablo 4'te verilmiştir.

**Tablo 4.** Eticol-43 fiziksel özellikleri (Eti Maden, 2020)

Özellik	Değer
Dökme (yığın) yoğunluğu	0.971 g/cm <sup>3</sup>
Yoğunluk	2.50 g/cm <sup>3</sup>
Molekül ağırlığı	411.08 g/mol
Isı kapasitesi	15.4 J/g°C
Isıl iletkenlik	0.526 W/mK
Özgül yüzey alanı	3.30 m <sup>2</sup> /g
Yüzey gerilimi	64.78 mN/m
Renk ölçüm testi	(Ağ. %1.0 sulu çözelti) 88.53 (ortalama L değeri)

### 2.4. Karışım Deneyleri

BSK numuneleri KTŞ'ye göre hazırlanmıştır (KTŞ, 2013). Numuneler hazırlanırken BSK'ların dizayn için Marshall sıcak karışım dizayn yöntemi tercih

edilmiştir. Marshall yönteminde standart bir tokmakla belirli bir sayıda darbe uygulanarak sıkıştırma yapılmaktadır. Marshall metodu, dünyada ve ülkemizde bitümlü sıcak karışım dizayn yöntemi olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Marshall metodu BSK'ların laboratuvar ortamında tasarımının yanında uygulamalardaki kontrolleri için de kullanılmaktadır (Önal ve Karaca, 1990). Marshall metodunda işlem sırası şu şekildedir;

- Kaba ve ince agregaya ile fillerin granülometrisinin belirlenmesi,
- Agregaların ve asfalt çimentosunun özgül ağırlıklarının belirlenmesi,
- Agregaya ve asfalt çimentosu (bitüm) miktarının hesaplanması,
- Marshall numunelerinin imal edilmesi, boşluk ve yoğunluk analizi hesaplarının yapılması,
- Marshall stabilite ve akma değerlerinin tespit edilmesi,
- Optimum bitüm içeriğinin (miktarının) bulunması.

Agrega karışımı içerisinde özgül ağırlıkları birbirinden farklı olan kaba, ince agregaya ve mineral filler malzemesi olduğu için, karışımdaki toplam agreganın hacim özgül ağırlığı ( $G_{sb}$ ) veya zahiri özgül ağırlığı ( $G_{sa}$ ) Eşitlik 1 ve Eşitlik 2 ile hesaplanmıştır.

$$G_{sb} = \frac{\%K + \%İ + \%F}{\frac{\%K}{G_{kh}} + \frac{\%İ}{G_{ih}} + \frac{\%F}{G_{fz}}} \quad (1)$$

$$G_{sa} = \frac{\%K + \%İ + \%F}{\frac{\%K}{G_{kz}} + \frac{\%İ}{G_{iz}} + \frac{\%F}{G_{fz}}} \quad (2)$$

Burada:

$G_{sb}$ : Agregaya karışımının hacim özgül ağırlığı

$G_{sa}$ : Agregaya karışımının zahiri özgül ağırlığı

$\%K$ : Kaba agreganın ağırlıkça yüzdesi

$\%İ$ : İnce agreganın ağırlıkça yüzdesi

$\%F$ : Fillerin ağırlıkça yüzdesi

$G_{kh}$ ,  $G_{ih}$ : Agregaların hacim özgül ağırlıkları

$G_{kz}$ ,  $G_{iz}$ ,  $G_{fz}$ : Agregaların zahiri özgül ağırlıkları

Agreganın efektif özgül ağırlığı Eşitlik 3'le hesaplanmıştır.

Hesapla bulunan efektif özgül ağırlık;

$$G_{ef} = \left( \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2} \right) \quad (3)$$

Burada;

$G_{sb}$ : Agregaya karışımının hacim özgül ağırlığı

$G_{sa}$ : Agregaya karışımının zahiri özgül ağırlığı

$D_t$ : Karışımın maksimum teorik özgül ağırlığı

$W_a$ : Agreganın yüzdesi olarak bitüm miktarı

$G_b$ : Bitüm özgül ağırlığı

VMA, sıkıştırılmış asfalt beton numunelerde agregalar arası boşluk yüzdesi olarak tanımlanır ve yüzde olarak belirlenir. VMA efektif bitüm miktarı ve hava boşluğunu içermektedir. VMA sıkıştırılmış sıcak karışımın hacminin yüzdesi olarak ifade edilir ve agregaya hacim özgül ağırlık değerine göre hesaplanmaktadır. VMA değerinin bulunmasında Eşitlik 4 kullanılmıştır.

$$VMA = \left( 100 - \frac{D_p}{G_{sb}} \right) \left( \frac{100}{100 + W_a} \right) \times 100 \quad (4)$$

VMA: Agregalar arası boşluk yüzdesi

$D_p$ : Sıkıştırılmış karışımın hacim özgül ağırlığı ( $\text{kN/cm}^3$ )

$G_{sb}$ : Bitümün hacim özgül ağırlığı ( $\text{kN/cm}^3$ )

$W_a$ : Agregaya ağırlığının yüzdesi olarak bitüm ağırlığı (gr)

Hava Boşluğu ( $V_h$ ), sıkıştırılan kaplamanın içindeki hava boşluğu yani bitümle kaplanmış agregaya daneleri arasındaki küçük hava boşluklarıdır. Asfaltla dolu boşluk ( $V_f$ ) ise bitümle dolu boşlukların yüzdesidir. Aşağıdaki verilen Eşitlik 5 ve Eşitlik 6 yardımıyla toplam hacmin yüzdesi olarak sıkıştırılmış numunedeki  $V_h$  ve  $V_f$  değerleri hesaplanmıştır.

$$V_h = \left( \frac{D_t - D_p}{D_t} \right) \times 100 \quad (5)$$

Burada:

$V_h$ : Toplam hacmin yüzdesi olarak sıkıştırılmış karışımdaki hava boşluğu (%)

$D_p$ : Sıkıştırılmış karışımın (briketin) hacim özgül ağırlığı ( $\text{kN/cm}^3$ )

$D_t$ : Kaplama karışımın maksimum özgül ağırlığı ( $\text{kN/cm}^3$ )

$$V_f = \left( \frac{VMA - V_h}{VMA} \right) \times 100 \quad (6)$$

Burada:

$V_f$ : Asfaltla dolu boşluk (%)

VMA: Agregalar arası boşluk yüzdesi (%)

$V_h$ : Toplam hacmin yüzdesi olarak sıkıştırılmış karışımdaki hava boşluğu (%)

Çalışmada 1150 gr olarak hazırlanan agrega numunelerine ağırlıkça sırasıyla %3, %3.5, %4, %4.5, %5 ve %5.5 oranlarında bitüm eklenmiş, her orandan da üç adet numune hazırlanmıştır. Elde edilen numunelerin MS, akma değeri, Vh, Vf, VMA, Dp değerleri ve bunlara bağlı olarak optimum bitüm miktarı (OBM) belirlenmiştir. Çalışmanın devamında OBM esas alınarak karışım gradasyonunda %4.8 olarak belirtilen kireçtaşı filler malzemesi E-43 ile yer değiştirilmiş ve üç adet yeni BSK numunesi oluşturulmuştur. Yeni numunelerin Marshall Stabilite (MS) ve akma değerleri ölçülmüş ve şartname sınır değerleri ile karşılaştırılıp uygunluğu kontrol edilmiştir.

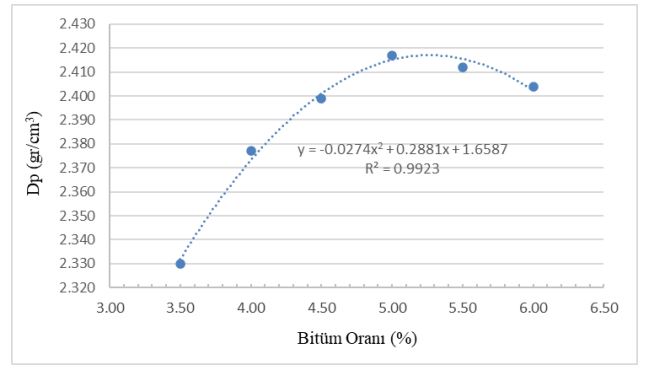
### 3. Araştırma Bulguları

Marshall tasarımı yoğunluk, boşluk ve stabilite analizlerinde kullanılmak üzere gerekli formüller yardımıyla hesaplanan sayısal veriler Tablo 5'te verilmiştir.

**Tablo 5.** Marshall tasarımı için hesaplanan veriler

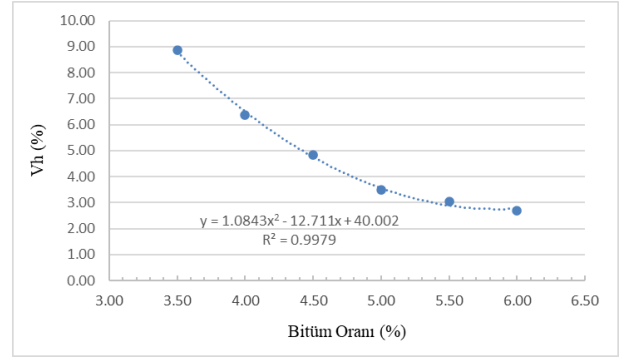
Kaba agrega yüzdesi, %K	%52.6
İnce agrega yüzdesi, %İ	%42.6
Filler yüzdesi, %F	%4.8
Agrega karışımının hacim özgül ağırlığı, $G_{sb}$	2.678 g/cm <sup>3</sup>
Agrega karışımının zahiri özgül ağırlığı, $G_{sa}$	2.714 g/cm <sup>3</sup>
Agrega karışımının efektif özgül ağırlığı, $G_{ef}$	2.696 g/cm <sup>3</sup>
Filleri E-43 ile yer değiştirilen agrega karışımının hacim özgül ağırlığı	2.666 g/cm <sup>3</sup>
Filleri E-43 ile yer değiştirilen agrega karışımının zahiri özgül ağırlığı	2.702 g/cm <sup>3</sup>
Filleri E-43 ile yer değiştirilen agrega karışımının efektif özgül ağırlığı	2.684 g/cm <sup>3</sup>

OBM belirlemek amacıyla yapılan MS deneyi sonucunda numunelere ait Vh, Vf, VMA, Dp, MS ve akma değerleri elde edilmiştir. Şekil 2'de pratik özgül ağırlık ile bitüm oranı ilişkisi gösterilmiştir.



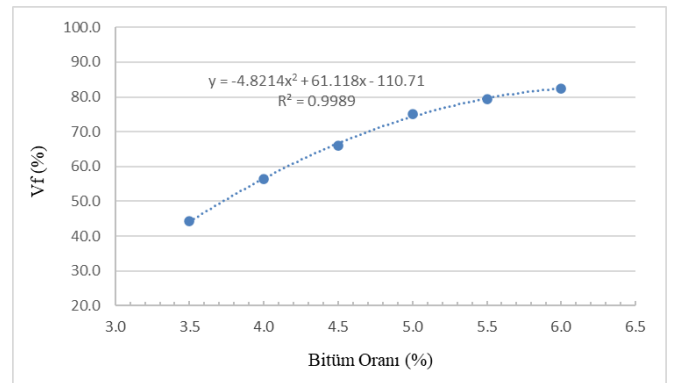
**Şekil 2.** Dp ve bitüm (%) ilişkisi

Şekil 2'ye baktığımızda, bitüm oranının artmasıyla hava boşluklarının yerini bitümün almasından dolayı Dp değerinde de belirli bir noktaya kadar artış gözlemlenmektedir. OBM tespiti için gerekli olan, Dp-bitüm oranı eğrisindeki en yüksek Dp değerine karşılık gelen bitüm oranı %5.27 olarak bulunmuştur. Şekil 3'te boşluk oranı ile bitüm oranı arasındaki ilişki verilmiştir.



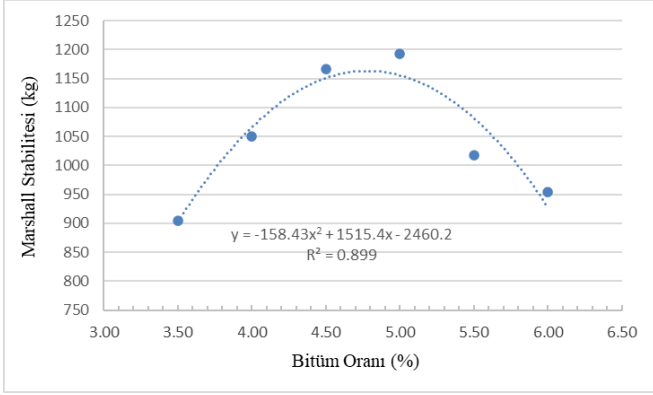
**Şekil 3.** Vh ve bitüm (%) ilişkisi

Şekil 3'te bitüm miktarı arttıkça Vh değerinde bir azalma görülmektedir. KTS' de aşınma tabakası için Vh en az %3 en fazla %5 olması istenmektedir (KTS, 2013). Grafikten iki değer ortalaması %4'e karşılık gelen bitüm oranı %4.78 olarak bulunmuştur. Şekil 4'te bitümle dolu boşluk oranı ile bitüm oranı arasındaki ilişki gösterilmiştir.



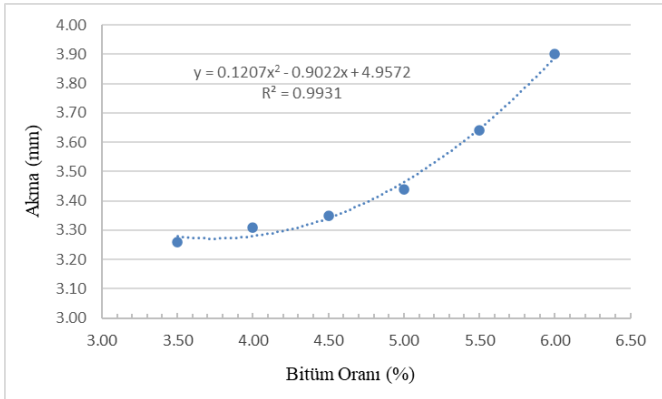
**Şekil 4.** Vf ve bitüm (%) ilişkisi

KTŞ aşınma tabakası dizayn kriterlerinde Vf minimum %65 maksimum %75 olacak şekilde belirtilmiştir (KTŞ, 2013). Şekil 4'e baktığımızda bu iki değer ortalaması %70'e karşılık gelen bitüm oranı %4.70 olarak bulunmuştur. Şekil 5'te MS ile bitüm oranı arasındaki ilişki verilmiştir.



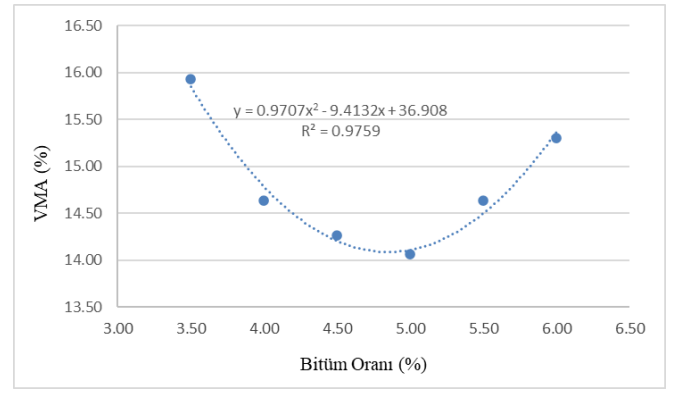
Şekil 5. MS ve bitüm (%) ilişkisi

Şekil 5'te gösterilen MS-bitüm oranı grafiğinde OBM'nin tespiti için gerekli, en yüksek stabiliteyi veren bitüm oranı %4.75 olarak bulunmuştur. Elde edilen bu dört değer ortalaması alındığında OBM %4.87 olarak bulunmuştur.



Şekil 6. Akma ve bitüm (%) ilişkisi

Şekil 6'ya bakıldığında bitüm oranı arttıkça akmanın da artış gösterdiği görülmektedir. KTŞ'ye göre asfalt beton kaplamalarda akma sınır değerleri 2-4 mm olarak verilmiştir (KTŞ, 2013). Grafik incelendiğinde tüm numunelerin akma değerlerinin şartnameye uygun olduğu görülmektedir.



Şekil 7. VMA ve bitüm (%) ilişkisi

KTŞ'ye göre VMA değerinin %14 ile %16 arasında olması istenmektedir (KTŞ, 2013). Özellikle sıcaklığın yüksek olduğu zamanlarda agregalar arasında yeterli boşluk olmaması durumunda asfalt beton kaplamalarda kusma meydana gelmektedir. Şekil 7'de VMA değerleri incelendiğinde en yüksek değer %16'nın altında, minimum VMA değerinin ise %14'ün üzerinde olduğu görülmektedir.

Tablo 6'da OBM'ye karşılık gelen Dp, Vh, Vf, VMA, MS ve akma değerleri ile şartname limitleri verilmiştir.

Tablo 6. OBM'ye göre dizayn verileri

Değişken	Şartname Aralığı	OBM Değerleri
Pratik Özgül Ağırlık-Dp (gr/cm <sup>3</sup> )	-	2.411
Boşluk Oranı-Vh (%)	3-5	3.9
Agregalar Arası Boşluk Oranı-VMA (%)	14-16	14.15
Bitümle Dolu Boşluk Oranı-Vf (%)	65-75	72.3
Marshall Stabilitesi-MS (kg)	900-	1140
Akma (mm)	2-4	2.1

Kireçtaşı için belirlenmiş OBM esas alınarak %4.8 oranındaki E-43 filler ile taş tozu filler malzemesi yer değiştirilmiş ve yeni BSK numuneleri elde edilmiştir. Ardından bu yeni numuneler MS deneyine tabi tutulmuştur. Tablo 7'de %4.8 E-43 filler ile oluşturulan BSK'ların Dp, Vh, Vf, VMA, MS ve akma değerleri ile şartname limitleri verilmiştir.

**Tablo 7.** %4.8 E-43 içeren BSK değerleri ve şartname limitleri

Değişken	Aşınma		%4.8 E-43 Filler İçeren BSK Değerleri
	Min.	Max.	
Pratik Özgül Ağırlık-Dp (gr/cm <sup>3</sup> )	-	-	2.509
Boşluk Oranı-Vh (%)	3	5	4.97
Agregalar Arası Boşluk Oranı-VMA (%)	14	16	15.98
Bitümle Dolu Boşluk Oranı-Vf (%)	65	75	65.5
Marshall Stabilitesi-MS (kg)	900	-	905
Akma (mm)	2	4	2.56

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Günümüzde farklı türde malzemelerin BSK'da filler olarak kullanımı ile ilgili çalışmalar yapılmaya devam etmektedir. Bu sayede üstyapının hizmet ömrü artırılmaya çalışılmakta, temini kolay malzemelerin kullanımı ile de ekonomik açıdan büyük kolaylık sağlanmaktadır. Çalışmada E-43 bor mineralinin BSK'da kullanılabilirliği araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- E-43 içeren numunelerin Dp değeri 2.509 gr/cm<sup>3</sup> ile istenen seviyede çıkmıştır.
- Vh şartname maksimum değeri %5 iken E-43 içeren karışımda %4.97, VMA şartnamede üst sınır %16 iken E-43 içeren karışımda %15.98 olarak bulunmuştur.
- MS, şartname alt sınırı olan 900 kg'ı sağlayarak 905 kg olarak bulunmuştur.
- Vf %65.5, akma değeri ise 2.56 ile şartname sınırları içerisinde kalmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre E-43 bor mineralinin şartname sınır değerleri içerisinde kaldığı, BSK'da test edilen oranda kullanılabilceği ortaya çıkmaktadır.

Farklı oranlarda E-43 kullanılarak oluşturulacak numunelerin MS ve indirekt çekme mukavemeti testleri ile daha sağlıklı sonuçlar ortaya çıkacaktır.

#### 5. Kaynaklar

Acar, S.O., Tapkın, S., Portland Çimentosu Kullanılarak Hazırlanan Marshall Numunelerinin Özelliklerinin İncelenmesi,

Asfalt'98, 2.Ulusal Asfalt Sempozyumu, 95-104, Ankara, 1998.

ASTM C 127-88. 1992. Test Method for Specific Gravity and Adsorption of Coarse Aggregate. USA: Annual Book of ASTM Standards.

ASTM C 128-88. 1992. Test Method for Specific Gravity and Adsorption of Fine Aggregate. USA: Annual Book of ASTM Standards.

ASTM C 131-96. 1996. Standard Test Method for Resistance to Abrasion of Small Size Coarse Aggregate by Use of The Los Angeles Machine. Annual Book of ASTM Standards.

ASTM D5. 1992. Standard Test Method for Penetration of Bituminous Materials. Annual Book of ASTM Standards USA.

ASTM D36. 1992. Standard Test Method for Softening Point of Bitumen (Ring-and-Ball Apparatus), Annual Book of ASTM Standards USA.

ASTM D70. 1992. Standard Test Method for Density of Semi-Solid Bituminous Materials (Pycnometer Method). Annual Book of ASTM Standards USA.

Ahmedzade, P., & Sengoz, B. (2009). Evaluation of steel slag coarse aggregate in hot mix asphalt concrete. Journal of hazardous materials, 165(1-3), 300-305.

Du, Y., Dai, M., Deng, H., Deng, D., Wei, T., & Kong, L. (2020). Laboratory investigation on thermal and road performances of asphalt mixture containing glass microsphere. Construction and Building Materials, 264, 120710.

Eti Maden, (2020). Etilcol-43 Malzeme Özellikleri. <https://www.etimaden.gov.tr/storage/pages/July2020/TR-eticol-43.pdf>. (Erişim tarihi: 15.11.2022)

Gürer, C. & Selman, G. Ş. (2016). Investigation of properties of asphalt concrete containing boron waste as mineral filler. Materials Science, 22(1):118–125.

Islam, S. S., Ransinchung, G. D., & Choudhary, J. (2021). Analyzing the effect of waste jarosite

- as an alternative filler on the engineering properties of asphalt mixes. *Construction and Building Materials*, 270, 121466.
- Karayolları Genel Müdürlüğü. 2013. *Karayolları Teknik Şartnamesi*. Ankara.
- Keskin, M., & Karacasu, M. (2018). Atık Bor İçeren Asfalt Betonlarının Performanslarının Değerlendirilmesi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 30(2), 185-192.
- Kütük-Sert, T., & Kütük, S. (2013). Physical and Marshall properties of borogypsum used as filler aggregate in asphalt concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 25(2), 266-273.
- Önal, M.A. & Karaca, S. (1990), *Asfalt Betonu ve Diğer Karışım Tipleri İçin Karışım Dizayn Metotları*, Karayolları Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- Selman, G.S. (2013). *Bor Atıklarının İnşaat Sektöründe Kullanımı*. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Semineri, Afyonkarahisar.
- Tunncliffe, D.G., A Review of Mineral Fillers. *Proc. Association of asphalt paving technologists*, 34, 214-236, 1962.
- Wang, H., Li, H., Zhang, H., Zhang, X., Guo, B., Yu, B., Liu, L. & Tian, Y. (2021). Experimental study on the aging behavior of modified asphalt with different types of fine solid wastes under different aging conditions. *Construction and Building Materials*, 291, 123308.
- Wozuk, A., Bandura, L., & Franus, W. (2019). Fly ash as low cost and environmentally friendly filler and its effect on the properties of mix asphalt. *Journal of Cleaner Production*, 235, 493-502.
- Zhang, Y., Guo, Q., Li, L., Jiang, P., Jiao, Y., & Cheng, Y. (2016). Reuse of boron waste as an additive in road base material. *Materials*, 9(6), 416.
- Zhang, J., Li, P., Liang, M., Jiang, H., Yao, Z., Zhang, X., & Yu, S. (2020). Utilization of red mud as an alternative mineral filler in asphalt mastics to replace natural limestone powder. *Construction and Building Materials*, 237, 117821.