

Uluslararası Sürdürülebilir Mühendislik ve Teknoloji Dergisi  
International Journal of Sustainable Engineering and Technology  
ISSN: 2618-6055 / Cilt:9, Sayı:1, (2025), 150 – 158  
Araştırma Makalesi – Research Article



## BAZALT AGREGASININ TAŞ MASTİK ASFALT KARIŞIMLARDA KULLANIMI

\*Hande VAROL MOROVA<sup>1</sup> 

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

(Geliş/Received: 12.06.2025, Kabul/Accepted: 29.06.2025, Yayınlanma/Published: 30.06.2025)

### ÖZ

Günümüzde artan trafik yükleri ve çevresel etkenler, asfalt kaplamaların daha dayanıklı, uzun ömürlü ve yüksek performanslı olmasını zorunlu kılmaktadır. Bu gereksinimleri karşılamak amacıyla geliştirilen Taş Mastik Asfalt (TMA), özellikle ağır taşıt trafiğine maruz kalan yol kesimlerinde tercih edilen bir üstyapı kaplama türüdür. TMA'nın başarısı, içeriğinde kullanılan agregaya ve bağlayıcı malzemelerin kalitesi ile doğrudan ilişkilidir. Bu bağlamda, agregaya bileşenlerinin özellikleri, karışımın performans kriterlerini önemli ölçüde etkilemektedir.

Bu çalışmada, TMA kaplamalarda ince agregaya olarak kullanılan agregaya türünün karışım performansına etkisi araştırılmıştır. Çalışmada bazalt agregaya yerine daha yaygın ve ekonomik bir alternatif olan kireçtaşı, ince agregaya olarak kullanılmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında bazalt ve kireçtaşı agregalar kullanılarak TMA numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan karışımların optimum bitüm değerleri Marshall dizayn yöntemi ile belirlenmiştir. Deneysel çalışmalarda, optimum bitüm içeriklerinde hazırlanan bazalt ve kireçtaşı TMA numunelere ait boşluk oranı, agregalar arası boşluk oranı, pratik özgül ağırlık, agregalar arası bitümle dolu boşluk yüzdeleri belirlenerek dolaylı çekme mukavemeti deneyi (ITS) yapılmış ve numunelerin neme karşı hassasiyetleri (TSR) belirlenmiştir. Elde edilen bulgular, TMA karışımlarda kireçtaşının ince agregaya olarak kullanılmasının bazı yönlerden üretim kolaylığı ile ekonomik avantajlar sağlayabileceğini göstermiştir.

**Anahtar kelimeler:** Taş Mastik Asfalt, Bazalt, Kireçtaşı, Marshall Metodu, Nem Hasarı.

## USE OF BASALT AGGREGATE IN STONE MASTIC ASPHALT MIXTURES

### ABSTRACT

Today, increasing traffic loads and environmental factors require asphalt pavements to be more durable, long-lasting and high-performance. Stone Mastic Asphalt (SMA), which was developed to meet these requirements, is a type of pavement coating preferred especially in road sections exposed to heavy vehicle traffic. The success of SMA is directly related to the quality of the aggregate and binding materials used in its content. In this context, the properties of the aggregate components significantly affect the performance criteria of the mixture.

In this study, the effect of the aggregate type used as fine aggregate in SMA pavements on the mixture performance was investigated. In the study, limestone, which is a more common and economical alternative to basalt aggregate, was used as fine aggregate. In the first stage of the study, SMA samples were prepared using basalt and limestone aggregates. The optimum bitumen values of the prepared mixtures were determined by the Marshall design method. In experimental studies, the void ratio, void in mineral aggregate, bulk specific gravity, void filled with bitumen were determined for basalt and limestone SMA samples prepared with optimum bitumen content, indirect tensile strength test (ITS) was performed and the samples sensitivity to moisture (TSR) was determined. The findings obtained showed that the use of limestone as fine aggregate in SMA mixtures could provide economic advantages in some aspects due to ease of production.

**Keywords:** Stone Mastic Asphalt, Basalt, Limestone, Marshall Method, Moisture Damage.

## 1. Giriş (Introduction)

Artan trafik hacmi, asfalt kaplamalarda erken yaşlanma, deformasyon ve yapısal bozulmalar gibi ciddi performans kayıplarına yol açmaktadır. Bu sorunların önüne geçebilmek ve yol kaplamalarının hizmet ömrünü uzatmak amacıyla, bilim insanları bitümlü karışımların performans özelliklerini iyileştirmeye yönelik yenilikçi yöntemler ve malzeme yapıları geliştirmiştir. Bu doğrultuda öne çıkan uygulamalardan biri de Taş Mastik Asfalt (TMA) tasarımıdır. TMA, özellikle yüksek dayanım, uzun ömür ve deformasyona karşı direnç gerektiren yol yüzeyleri için tercih edilmektedir. TMA'nın karışım yapısı, performans özelliklerini doğrudan etkileyen özel bir oranlamaya sahiptir. Toplam agregada bileşiminin yaklaşık %70-80'i iri daneli agregalardan oluşur; bu yapı, karışım içinde dayanıklı bir taş iskeleti meydana getirir. Karışıma %6-7 oranında bağlayıcı (bitüm), %8-12 oranında mineral dolgu malzemesi ve yaklaşık %0.3-0.5 oranında stabilizasyon amacıyla elyaf (genellikle selülozik) eklenir. İri agregaların sıkı kenetlenmesi sonucu oluşan boşluklar, ince agregada, filler, polimer modifiye bitüm ve elyaftan oluşan mastik harç ile doldurularak yapının hem mekanik dayanımı hem de bağlayıcı stabilitesi artırılır [1]. Agregada derecelendirmesi, asfalt karışımının performansı üzerinde doğrudan etkili olup, yeterli düzeyde esneklik, stabilite, işlenebilirlik ve optimum hava boşluğu içeriği sağlanması açısından kritik bir rol oynar. Uygun şekilde tasarlanmış bir agregada gradasyonu, karışımın hem mekanik dayanımını artırmakta hem de uzun vadeli deformasyonlara karşı direncini güçlendirmektedir. Ayrıca, bu gradasyon, asfaltın yerinde serilmesi ve sıkıştırılması sırasında homojen bir yapı oluşmasına katkıda bulunarak, kalıcı bozulmaların önlenmesine ve servis ömrünün uzamasına yardımcı olur [2].

Türkiye'de TMA uygulamaları ilk olarak 1998 yılında başlatılmış ve 1999 yılından itibaren özellikle yoğun trafik yüklerinin etkili olduğu yol kesimlerinde aşınma tabakası olarak kullanılmaya başlanmıştır. TMA, sahip olduğu yüksek performans özellikleri nedeniyle başta otoyollar, köprü üstü geçişleri, tünel giriş-çıkışları ve ağır taşıt trafiğine maruz kalan güzergâhlar olmak üzere, dayanıklılık ve uzun ömürlü yüzey kaplamalarının gerektiği stratejik noktalarda tercih edilmiştir. Bu uygulama süreci, yalnızca yeni bir kaplama tipi olarak kalmayıp, aynı zamanda asfalt teknolojisinde yenilikçi malzeme kullanımı, üretim teknikleri ve tasarım kriterlerinin araştırıldığı önemli bir mühendislik alanı haline gelmiştir. TMA ile ilgili yapım esasları, üretim koşulları ve kalite kriterleri ise, 2013 yılında yayımlanan Karayolları Teknik Şartnamesi (KTŞ) kapsamında tanımlanmış olup, bu düzenlemeler KTŞ'nin 408. Kısmı içerisinde ayrıntılı olarak yer almaktadır [3,4].

Literatürde TMA karışımlara ilişkin yapılan çalışmalarda Wu vd., (2007), TMA karışımlarda çelik cürufunun agregada olarak kullanımına ilişkin yaptıkları çalışmada düşük sıcaklıkta çatlamaya karşı direncinde iyileşme olduğu vurgulanmıştır [5]. Şengül vd. (2013), SBS polimer modifiye TMA kaplamaların performansını araştırmış, Marshall sonuçlarına göre SBS polimer modifiyeli numunelerin kontrol karışımlara göre daha iyi sonuçlar verdiği ortaya çıkmıştır [6]. Wang vd. (2019), SBS modifiyeli TMA karışımlarda bazalt elyafın performansını araştırarak bazalt elyafın bağlayıcı deney sonuçlarına göre temel özellikleri iyileştirdiği kanıtlanmıştır [7]. Alonso-Troyano vd., (2025) atık tekstil atıklarını mekanik performans ve sürdürülebilirliklerini artırmak için TMA karışımlarda uygulanabilirliğini test etmişlerdir. Aynı zamanda bu çalışma ile yerel olarak üretilen tekstil atıklarının yeniden kullanılmasının, depolama alanında birikimin azaltılmasının ve endüstriler arasında sinerji yaratılmasının çevresel ve ekonomik avantajlarını vurgulanmıştır [8].

Bu çalışmada iki farklı TMA numune serisi hazırlanmıştır. Her iki seri için %1.6 oranında 'ELVALOY™ 5160 Copolymer' (Elvaloy RET) ve %0.2 oranında polifosforik asit (PPA) kullanılarak bitüm modifikasyonu yapılmış, karışıma ise %0.35 oranında selüloz fiber eklenmiştir. İlk TMA karışım gradasyonunda kaba agregada bazalttan, ince agregada bazalttan, filler ise kireçtaşıdan hazırlanmıştır. İkinci TMA karışımında ise ince agregada kireçtaşı ile değiştirilerek karışım hazırlanmış ve değişen agregada tipinin karışımlar üzerindeki nem hasarına karşı dirençleri incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot (Material and Method)

### 2.1. Agregada (Aggregate)

Çalışmada kullanılan kireçtaşı ve bazalt agregada Isparta Belediyesi'nden temin edilmiştir. Kullanılan kireçtaşı agregasına ait fiziksel özellikler Tablo 1'de, bazalt agregaya ait özellikler ise Tablo 2'de verilmiştir.

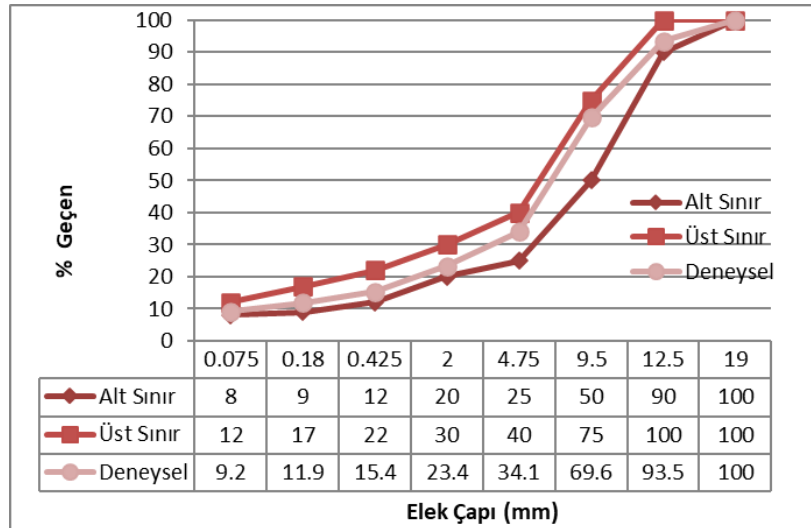
**Tablo 1.** Kireçtaşı agrega özellikleri (Properties of limestone aggregate)

| Deney                               | Değer | Standart         |
|-------------------------------------|-------|------------------|
| Özgül Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> ) |       |                  |
| İnce Agrega                         |       |                  |
| Zahiri Özgül Ağırlık                | 2.716 |                  |
| Hacim Özgül Ağırlık                 | 2.674 | ASTM C128-88 [9] |
| Su Absorpsiyonu %                   | 0.6   |                  |
| Filler                              |       |                  |
| Hacim Özgül Ağırlık                 | 2.730 | ASTM C128-88 [9] |
| Los Angeles Aşınma (%)              | 22    | ASTM C 131 [10]  |

**Tablo 2.** Bazalt agrega özellikleri (Properties of basalt aggregate)

| Agrega Deneyleri                                                           | Sonuç | Standart                                      |
|----------------------------------------------------------------------------|-------|-----------------------------------------------|
| Karışımın Efektif Özgül Ağırlığı                                           | 2.61  | ASTM D-2041 [11]                              |
| Agrega Deneyleri                                                           | Sonuç | KTŞ Değerleri [4]<br>(TMA Aşınma<br>Tabakası) |
| Parçalanma Direnci (Los Angeles Aşınma Kaybı), (% Kayıp)                   | 20    | ≤25 AASHTO T-96 [12]                          |
| Aşınma Direnci (Mikro-Deval)                                               | 9.1   | TS EN 1097-1 [13]                             |
| Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık (MgSO <sub>4</sub> , Donma Kaybı), (%) | 1.6   | ≤14 TS EN 1367-2 [14]                         |
| Yassılık İndeksi, (%)                                                      | 17    | ≤25 BS 812 [15]                               |
| Soyulma Mukavemeti, (%)                                                    | 70-75 | ≥60 TS EN12697-11 [16]                        |
| Metilen mavisi, (g/kg) (Karışımın)                                         | 1.5   | ≤1.5 TS EN 933-9 [17]                         |

Çalışmada kullanılan agrega gradasyonu Şekil 1’de, numune örnekleri Şekil 2’de gösterilmiştir.



**Şekil 1.** TMA agrega gradasyonu (Gradation of TMA aggregate)



Şekil 2. Karışım numune örnekleri (Mixture sample examples)

## 2.2. Bitüm (Bitumen)

Çalışmada Aliğa Rafinerisi'nden temin edilen 50-70 penetrasyonlu bitüm kullanılmıştır. 50-70 penetrasyonlu bitümün özellikleri Tablo 3'te, kullanılan modifiye edilmiş bitüm Şekil 3'te gösterilmiştir.

Tablo 3. 50-70 Bitümlü bağlayıcı özellikleri (Properties of 50-70 penetration bituminous binder)

| Deney                               | Değer | Standart      |
|-------------------------------------|-------|---------------|
| Penetrasyon (25°C)                  | 58    | ASTM D5 [18]  |
| Yumuşama Noktası(°C)                | 51    | ASTM D36 [19] |
| Özgül Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.037 | ASTM D70 [20] |



Şekil 3. Çalışmada kullanılan modifiye bitüm (Modified bitumen used in the study)

## 2.3. Karışım deneyleri (Mixture tests)

TMA numuneleri KTŞ'ye göre hazırlanmış, dizayn için Marshall yöntemi tercih edilmiştir [4]. 1150 gr olarak hazırlanan karışım numunelerine ağırlıkça sırasıyla %5, %5.5, %6, %6.5, %7 oranında bitüm ve %0.35 oranda selüloz fiber eklenmiş, her orandan da üçer adet numune hazırlanmıştır. Elde edilen numunelerin pratik özgül ağırlık (Dp), boşluk oranı (Vh), agregalar arası boşluk oranı (VMA), bitümle dolu boşluk miktarı (Vf) değerleri ve optimum bitüm miktarı (OBM) belirlenmiştir. Asfalt kaplamalar, hizmet süresi boyunca donma-çözülme, sıcaklık değişimleri gibi çeşitli çevresel etkilere maruz kalmaktadır. Bu etkiler, zamanla esnek kaplamaların mekanik özelliklerinde azalmaya neden olarak yapısal bozulmalara yol açabilmektedir. Dolaylı çekme mukavemeti (ITS) deneyi, silindirik asfalt

numunelerinin çekme dayanımını belirlemek amacıyla uygulanmakta olup, bu yöntemde numuneler Marshall cihazı ile dikey çap doğrultusunda yüklemeye tabi tutulmaktadır [21]. İki TMA serisi için de belirlenen OBM değerleriyle numuneler hazırlanmış ve dolaylı çekme mukavemeti deneyi (ITS) yapılarak karışımların neme karşı hassasiyetleri (TSR) belirlenmiştir.

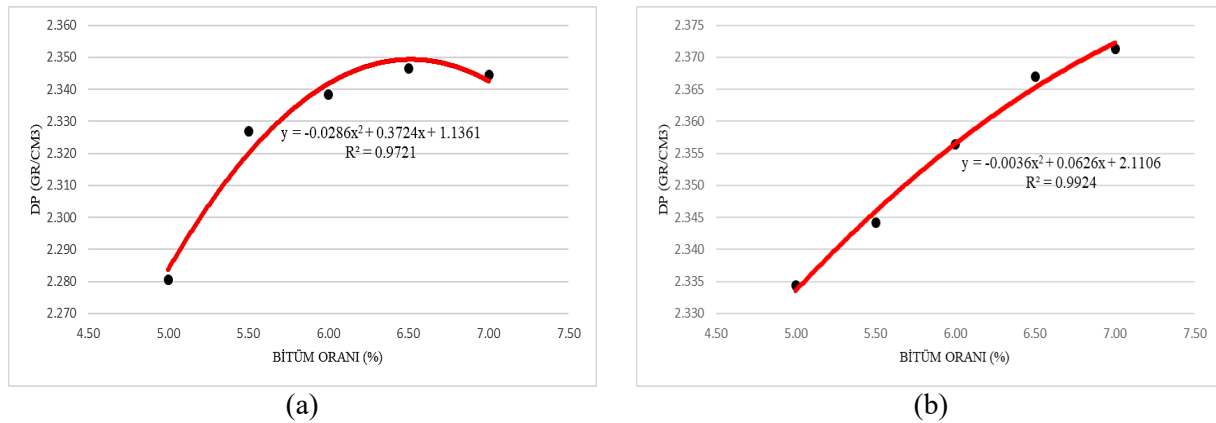
Çalışmada kullanılan serilere ait numune kodları Tablo 4’te verilmiştir.

**Tablo 4.** TMA Numune serileri ve agrega kombinasyonları (TMA sample series and aggregate combinations)

| Seri | Kaba Agrega | İnce Agrega | Filler    | Kod |
|------|-------------|-------------|-----------|-----|
| 1    | Bazalt      | Bazalt      | Kireçtaşı | BBK |
| 2    | Bazalt      | Kireçtaşı   | Kireçtaşı | BKK |

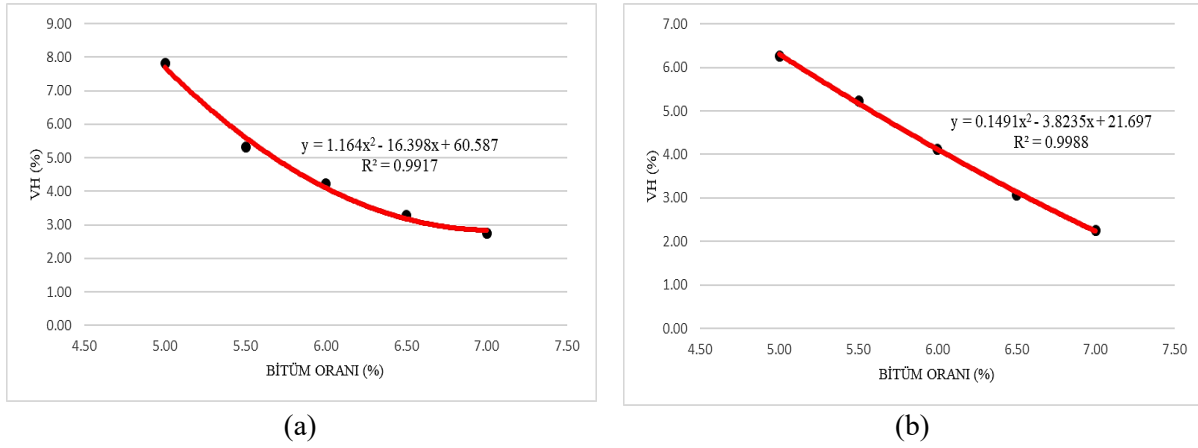
### 3. Araştırma Bulguları (Research Findings)

OBM belirlemek amacıyla yapılan Marshall Stabilité ve akma deneyi (MS) sonucunda numunelere ait  $V_h$ ,  $V_f$ , VMA ve  $D_p$  değerleri elde edilmiştir. Şekil 4’te BBK ve BKK serilerinin pratik özgül ağırlık ile bitüm oranı ilişkisi görülmektedir.



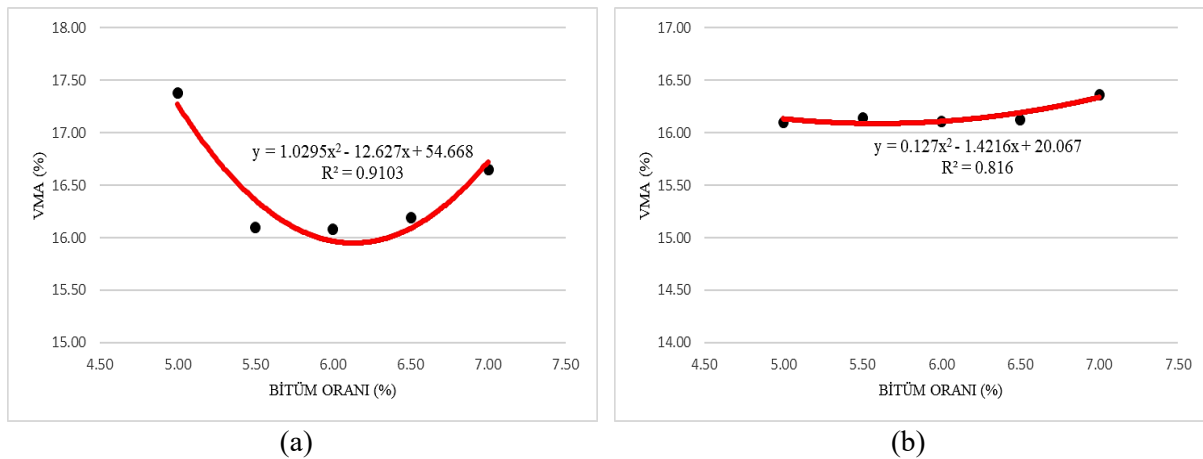
**Şekil 4.** BBK (a) ve BKK (b) serilerine ait  $D_p$  - bitüm oranı ilişkisi (Relationship between  $D_p$  and bitumen content for BBK (a) and BKK (b) series)

BBK karışımına ait Şekil 4.a’da,  $D_p$  değeri bitüm oranı arttıkça önce yükselmekte, yaklaşık %6.5 seviyesinde maksimuma ulaştıktan sonra tekrar düşüş göstermektedir. Bu durum, optimum bitüm içeriğinin aşıldığı noktadan itibaren karışıma fazla bitüm eklendiğinde yapının yoğunluğunun azaldığını, dolayısıyla fazla bağlayıcının karışımda boşlukları doldurmaktan ziyade ayrışmaya ve yapısal zayıflamaya neden olduğunu göstermektedir. BKK serisine ait Şekil 4.b’de ise bitüm oranı arttıkça  $D_p$  değerinin sürekli yükseldiği ve yukarı yönlü bir parabol oluşturduğu gözlemlenmektedir. Bu durum, artan bitüm miktarının agrega boşluklarını daha iyi doldurarak karışımın yoğunluğunu artırdığını ve daha sıkı bir yapı sağladığını göstermektedir. Genel olarak, BKK karışımı daha doğrusal ve sürekli artan bir yoğunluk eğilimi gösterirken, BBK karışımı optimumdan sonra düşen eğrisiyle bitüm doygunluk noktasını daha belirgin şekilde ortaya koymaktadır. Şekil 5’te BBK ve BKK serilerinin  $V_h$  ile bitüm oranı ilişkisi gösterilmiştir.



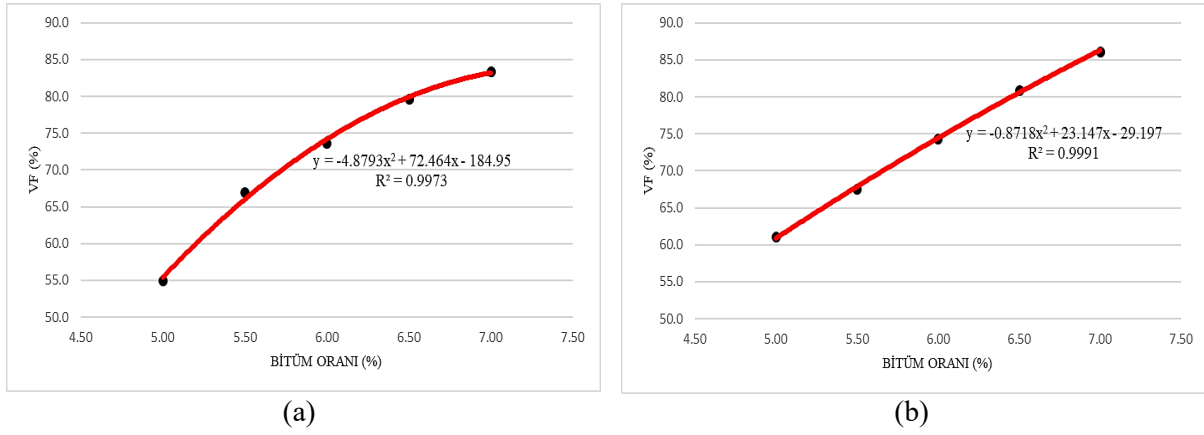
**Şekil 5.** BBK (a) ve BKK (b) serilerine ait Vh - bitüm oranı ilişkisi (Relationship between Vh and bitumen content for BBK (a) and BKK (b) series)

BBK serisine ait Şekil 5.a’da, bağlayıcı oranı arttıkça hava boşluğu değerlerinin belirgin şekilde azaldığı görülmektedir. Bu düşüş, bağlayıcının agrega iskeletindeki boşlukları etkili biçimde doldurduğunu ve karışımın daha kompakt bir yapıya kavuştuğunu göstermektedir. BKK serisinde de benzer bir eğilim izlenmektedir. Bitüm oranı arttıkça hava boşluğu oranı sistematik şekilde düşmektedir. Bu düşüş, BKK karışımında da bitümün boşlukları doldurma kapasitesinin yüksek olduğunu ve karışımın daha yoğun bir yapıya ulaştığını göstermektedir. Şekil 6’da BBK ve BKK serilerinin VMA ile bitüm oranı ilişkisi gösterilmiştir.



**Şekil 6.** BBK (a) ve BKK (b) serilerine ait VMA - bitüm oranı ilişkisi (Relationship between VMA and bitumen content for BBK (a) and BKK (b) series)

BBK serisine ait Şekil 6.a’da, bitüm oranı arttıkça VMA değerinde daha belirgin bir eğilim gözlemlenmektedir. Eğri, yaklaşık %6.3 civarında minimum VMA değerine ulaşmakta, bu da karışımın optimum bitüm içeriğine yakın bir noktada en yoğun hâlini aldığını göstermektedir. Bu durum, agregaların daha etkin biçimde bağlayıcıyla kaplandığını ve boşlukların daha iyi doldurulduğunu ifade etmektedir. BKK serisine ait Şekil 6.b’de ise VMA değerinin bitüm oranına bağlı olarak daha sınırlı ve yatay bir değişim gösterdiği görülmektedir. Eğrinin belirgin bir minimum veya maksimum nokta içermemesi, BKK karışımının agregalar arası boşluk yapısının bitüm oranındaki değişimlerden önemli ölçüde etkilenmediğini göstermektedir. Şekil 7’de BBK ve BKK serilerinin Vf ile bitüm oranı ilişkisi gösterilmiştir.



**Şekil 7.** BBK (a) ve BKK (b) serilerine ait Vf - bitüm oranı ilişkisi (Relationship between Vf and bitumen content for BBK (a) and BKK (b) series)

BBK serisine ait Şekil 7.a’da Vf değeri, bitüm oranı arttıkça düzenli bir şekilde yükselmektedir. Bu artış, artan bağlayıcının agrega iskeleti içindeki boşlukları doldurma kapasitesinin oldukça yüksek olduğunu ve bağlayıcının büyük oranda boşluklara nüfuz ettiğini göstermektedir. BKK serisinde de benzer bir artış eğilimi gözlemlenmektedir. Bu artış, bağlayıcının boşlukları yüksek oranda doldurduğunu ve karışımın yoğunlaştığını göstermektedir. Şekil 7.a’nın daha kıvrımlı olması, BBK serisinin Vf açısından bitüm oranına daha hassas tepki verdiğini göstermektedir.

Tüm bu veriler ışığında BBK serisi için OBM değeri %6.29; BKK serisi için ise OBM değeri %6.31 olarak bulunmuştur. Çalışmada OBM değerleri esas alınarak hazırlanan yeni BBK ve BKK numunelerine ITS testi uygulanmış ve suyun neden olduğu kaplama bozulmasına karşı dirençleri belirlenmiştir. ITS ve TSR değerleri Tablo 5’te verilmiştir.

**Tablo 5.** BBK ve BKK numunelerinin ITS ve TSR sonuçları (ITS and TSR results of BBK and BKK samples)

|     | Koşullandırılmış-ITS<br>(kPa) | Koşullandırılmamış-ITS<br>(kPa) | TSR  |
|-----|-------------------------------|---------------------------------|------|
| BBK | 869.8                         | 959                             | 0.91 |
| BKK | 813.9                         | 914.5                           | 0.89 |

Yapılan dolaylı çekme dayanımı (ITS) ve çekme dayanımı oranı (TSR) testleri, BBK ve BKK karışımlarının nem hasarına karşı gösterdiği direnci ortaya koymaktadır. BBK karışımı, koşullandırılmamış (kuru) durumda 959 kPa, koşullandırılmış (ıslak) durumda ise 869.8 kPa dayanım göstermiştir. Buna karşılık BKK karışımının kuru ve ıslak koşullardaki ITS değerleri sırasıyla 914.5 kPa ve 813.9 kPa olarak ölçülmüştür. Her iki karışım da nem etkisiyle bir miktar dayanım kaybı yaşanmakla birlikte, TMA karışımları için KTŞ’de belirtilen minimum TSR sınırı olan 0.80 değerinin aşıldığı görülmektedir [4]. TSR değeri BBK için 0.91, BKK için ise 0.89’dur. Bu sonuçlara göre, BBK karışımı hem kuru hem de ıslak koşullarda daha yüksek mukavemet sergilemiş ve suya maruz kaldığında daha az performans kaybı yaşamıştır. Dolayısıyla, her iki karışım da teknik açıdan yeterli dayanımı sağlamakla birlikte, BBK karışımı nem hasarına karşı daha güvenilir ve dayanıklı bir yapı sunmaktadır.

#### 4. Tartışma ve Sonuç (Discussion and Conclusion)

Bu çalışmada, TMA karışımlarda kullanılan ince agrega türünün karışım performansına etkisi değerlendirilmiş ve bu kapsamda BBK serisinde bazalt, BKK serisinde ise kireçtaşı ince agrega olarak kullanılmıştır. KTŞ’ye göre TMA karışımlarda OBM’nin en az %5.8 olması istenmektedir [4]. Bu bağlamda hem BBK hem de BKK serisi numunelere ait OBM değerleri şartname sınırını sağlamaktadır. KTŞ’ye göre TMA kaplamalarda VMA değerinin en az %16 olması istenmektedir [4]. BBK ve BKK serilerine ait VMA değerleri incelendiğinde her iki serinin de şartname değerlerini sağladığı görülmüştür. Bununla birlikte, karışımlar arasındaki performans farkı özellikle ITS ve TSR değerlerinde belirginleşmiştir.

BBK karışımı hem kuru hem de ıslak numunelerde BKK'ye göre daha yüksek ITS değerleri vermiş ve 0.91'lik TSR değeri ile bitüm-agrega bağının nem etkisi altında daha kararlı olduğunu ortaya koymuştur. Buna karşın BKK karışımı 0.89 TSR değeri ile minimum şartname sınırı olan 0.80'in üzerinde kalsa da suya karşı dayanım açısından bazalt agregası kullanılan karışımdan daha fazla performans kaybı göstermiştir.

Sonuç olarak, TMA karışımlarda agrega türü performans üzerinde doğrudan etkili olmakta, bazalt kullanılan BBK serisi, kireçtaşı içeren BKK serisine kıyasla nem hasarına karşı daha dayanıklı bir yapı sunmaktadır.

## 5. Kaynaklar (References)

- [1] S.S.M. Naser, M. Seyed, S. Al-Busaltan, Enhancing Stone Mastic Asphalt through the integration of waste paper and Cement Kiln Dust, *J. Civ. Hydraul. Eng.* 1 (1) (2023) 23–37.
- [2] A.M. Babalghaith, S. Koting, N.H.R. Sulong, M.Z.H. Khan, A. Milad, N.I.M. Yusoff, A.H.B.N. Mohamed, A systematic review of the utilization of waste materials as aggregate replacement in stone matrix asphalt mixes, *Environ. Sci. Pollut. Res.* 29 (24) (2022) 35557–35582.
- [3] M. Aslan, Mastik Asfalt Üretiminde Pomza, Perlit ve Ahlat Taşı Agregasının Kullanılabilirliği, Master's Thesis, Bitlis Eren Univ. and Dicle Univ. Inst. of Science, Bitlis, 2018.
- [4] Karayolları Genel Müdürlüğü, Karayolu Teknik Şartnamesi (KTŞ), Ankara, 2013.
- [5] S. Wu, Y. Xue, Q. Ye, Y. Chen, Utilization of steel slag as aggregates for stone mastic asphalt (SMA) mixtures, *Build. Environ.* 42 (7) (2007) 2580–2585.
- [6] C.E. Şengül, S. Oruç, E. İskender, A. Aksoy, Evaluation of SBS modified stone mastic asphalt pavement performance, *Constr. Build. Mater.* 41 (2013) 777–783.
- [7] W. Wang, Y. Cheng, P. Zhou, G. Tan, H. Wang, H. Liu, Performance evaluation of styrene-butadiene-styrene-modified stone mastic asphalt with basalt fiber using different compaction methods, *Polymers* 11 (6) (2019) 1006.
- [8] C. Alonso-Troyano, D. Llopis-Castelló, B. Olaso-Cerveró, Incorporating recycled textile fibers into stone mastic asphalt, *Buildings* 15 (8) (2025) 1310.
- [9] ASTM C 128-88, Test Method for Specific Gravity and Adsorption of Fine Aggregate, Annual Book of ASTM Standards, USA, 1992.
- [10] ASTM C 131-96, Standard Test Method for Resistance to Abrasion of Small Size Coarse Aggregate by Use of the Los Angeles Machine, Annual Book of ASTM Standards, USA, 1996.
- [11] ASTM D2041–03, Standard Test Method for Theoretical Maximum Specific Gravity and Density of Bituminous Paving Mixtures, Annu. Book ASTM Stand. 4.03 (2003) 166–169.
- [12] AASHTO T 96, Standard Method of Test for Resistance to Degradation of Small-size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine, American Association of State Highway and Transportation Officials, 2002.
- [13] Türk Standartları Enstitüsü, TS EN 1097-1. Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler – Bölüm 1: Aşınma direncinin tayini (microDeval), Ankara, Türkiye, 2011.
- [14] Türk Standartları Enstitüsü, TS EN 1367-2. Agregaların termal ve bozunma özellikleri için deneyler – Bölüm 2: Magnezyum sülfat deneyi, Ankara, Türkiye, 2010.
- [15] BS 812, Methods for Determination of Physical Properties, British Standards Institution, UK, 1975.
- [16] Türk Standartları Enstitüsü, TS EN 12697-11. Bitümlü karışımlar – Deney metotları – Bölüm 11: Agreg ve bitüm arasındaki bağlanmanın tayini, Ankara, Türkiye, 2012.
- [17] Türk Standartları Enstitüsü, TS EN 933-9. Agregaların geometrik özellikleri için deneyler – Bölüm 9: İnce tanelerin tayini – Metilen mavisi deneyi, Ankara, Türkiye, 2001.

- [18] ASTM D5, Standard Test Method for Penetration of Bituminous Materials, Annual Book of ASTM Standards, USA, 1992.
- [19] ASTM D36, Standard Test Method for Softening Point of Bitumen (Ring-and-Ball Apparatus), Annual Book of ASTM Standards, USA, 1992.
- [20] ASTM D70, Standard Test Method for Density of Semi-Solid Bituminous Materials (Pycnometer Method), Annual Book of ASTM Standards, USA, 1992.
- [21] S.E. Zoorob, L.B. Suparna, Laboratory design and investigation of the properties of continuously graded asphaltic concrete containing recycled plastics aggregate replacement (Plastiphalt), Cem. Concr. Compos. 22 (4) (2000) 233–242.