©2017 Published in 5th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science 29-30 September 2017 (ISITES2017 Baku - Azerbaijan)

# Kuzey Marmara Otoyolu Projesi Kapsamında Taş Mastik Asfalt (TMA) Uygulamaları ve Performanslarının Karşılaştırılması

[1]İrfanŞanlıer and *[2]İrfan PAMUK
[1]M.Sc. Student, Department of Civil Engineering Sakarya University, Turkey
*[2]Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering Sakarya University, Turkey

## Abstract

Nowadays, the best quality coating type used in high standard roads is asphalt concrete coatings produced from bituminous hot blends. In recent years, SMA (Stone Mastic Asphalt) layer has been used as a high quality topping layer. The SMA layers which are generally obtained from blends having 70-80% coarse aggregate, 20-30% fine aggregate and a very high asphalt content of 6-8% and a gap graded (high void content between mineral aggregates) granulometry, are more resistant to permanent deformation and abrasion, more durable and more homogeneous and impermeable. Due to the use of high proportion of coarse stone aggregates in SMA mixtures, the internal friction resistances are increased and are more resistant to tire trace deformation. Higher asphalt content than conventional topping layers, thus filling voids in the mixture with binder increases the durability. However, the excess amount of binder used, necessitates the incorporation of blend-type stabilizers (such as cellulose and mineral fibers) in order to eliminate the disadvantages encountered during paving-compacting. SMA strata with both superior stability and performance characteristics are widely used in high traffic volume roads and in loading-unloading-storage areas (such as port-airport aprons). However, the costs of SMA blends are higher by 20-30% due to the higher amount of binder, the stabilizer incorporated, and the use of more durable / coarse aggregate. In this study, the application of Stone Mastic Asphalt (SMA) made between Odayeri Junction - Garipçe (Project Km: 62+000 – 87+000) under the scope of "Northern Marmara (3rd Bosphorus Bridge) Highway Project" tendered by GDH (General Directorate of Highway) has been examined.

**Key words:** Ston Mastic Asphalt, SMA, Rutting, Fatigue, Turkey

## Özet

Günümüzde yüksek standartlı yollarda kullanılan en kaliteli kaplama tipi, bitümlü sıcak karışımlardan (BSK) üretilen asfalt betonu kaplamalardır. Son yıllarda, yüksek kaliteli aşınma tabakası olarak SMA (Taş Mastik Asfalt) tabakası kullanılmaktadır. Genel olarak % 70-80 kaba agrega, % 20-30 ince agrega ve % 6-8 gibi oldukça yüksek bir asfalt muhtevasına ve kesikli bir granülometriye sahip ( agregalar arası boşluk miktarı yüksek) karışımlardan elde edilen SMA tabakaları, kalıcı deformasyonlara ve aşınmaya karşı daha dirençli, durabilitesi daha fazla ve daha homojen ve geçirimsiz olma, gibi özellikleri sebebiyle öne çıkmaktadır. SMA karışımları yüksek oranda kaba agrega kullanılması sebebiyle içsel sürtünme/kilitlenme dirençleri artmakta, tekerlek izi deformasyonlarına karşı daha dirençli olmaktadır. Geleneksel aşınma tabakalarına göre daha yüksek asfalt miktarı, dolayısıyla karışımdaki boşlukların daha çok bağlayıcı ile dolması durabiliteyi artırmaktadır. Ancak, kullanılan bağlayıcı miktarının fazlalığı, serme-sıkıştırma işlemi sırasında ortaya çıkan sakıncaları gidermek için karışıma elyaf türü stabilizör (selüloz ve mineral elyaf gibi) katılmasını gerektirmektedir. Hem stabilite hem de performans açısından daha üstün özelliklere sahip SMA tabakaları, yüksek trafik hacmine sahip yollarda, yükleme-boşaltma-depolama yapılan sahalarda (liman-havaalanı apronları gibi) yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, SMA karışımlarının bağlayıcı miktarının yüksekliği, karışıma katılan stabilizör ve daha dayanıklı/sağlam kaba agrega kullanımı sebebiyle maliyetleri % 20-30 mertebesinde daha fazladır. Bu çalışmada, KGM (Karayolları Genel Müdürlüğü) tarafından ihale edilen “Kuzey Marmara (3. Boğaz Köprüsü dahil) Otoyolu Projesi , Odayeri-Paşaköy Kesimi İşi” kapsamında Odayeri Kavşağı-Garipçe arasında (Proje Km: 62+000 – 87+000) yapılan Taş Mastik Asfalt (TMA) uygulaması incelenmiştir.

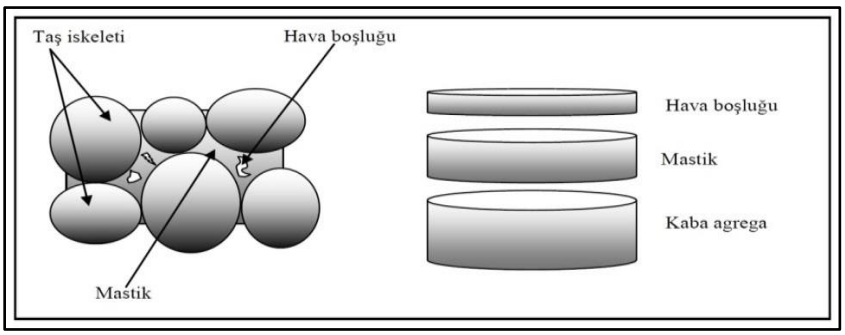
**Anahtar Kelimeler:** Taş Mastik Asfalt, TMA, Tekerlek İzi, Yorulma, Türkiye

*Corresponding author: Address: Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering Sakarya University, 54187, Sakarya TURKEY. E-mail address: ipamuk@sakarya.edu.tr, Phone: +902642955454

# 1.Giriş

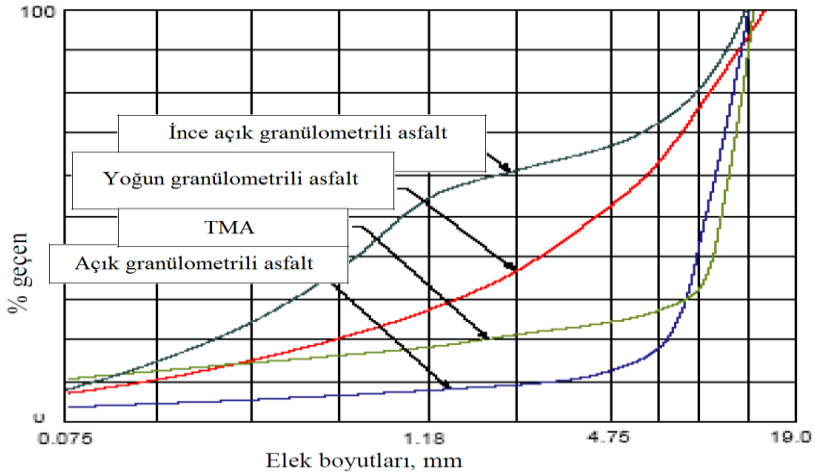
## 1.1.Taş Mastik Asfalt (TMA) Tanımı

Bir bitümlü sıcak karışım türü olarak TMA, yük aktarımını sağlayan uygun büyüklükteki kaba agregadan oluşmuş bir iskelet ile mastik harç ve hava boşluğundan meydana gelir (Şekil 1). TMA karışımının ikinci büyük bileşeni mastik kısım ise ince agrega, filler, stabilizör ve bitümlü bağlayıcıdan oluşur. Uygun özellikte ve miktarda fillerin kullanımı işlenebilirliğin; bağlayıcı kullanımı, dayanımın artmasına neden olur. İnce agreganın kullanılmasının birinci nedeni, kaba agrega daneleri arasındaki boşlukları doldurmak, ikinci nedeni ise kaba agrega danelerinin etkileşimine katkı sağlamaktır. TMA karışımlarında, geleneksel asfalt karışımlara nazaran daha yüksek oranda bitümlü bağlayıcı kullanılmasından dolayı, depolama-nakil-serme-sıkıştırma sırasında bitümün karışımdan süzülmesini engellemek amacıyla stabilizör (fiber, polimer vb.) kullanılır [1].




Şekil 1. TMA karışımının bileşenleri [1]

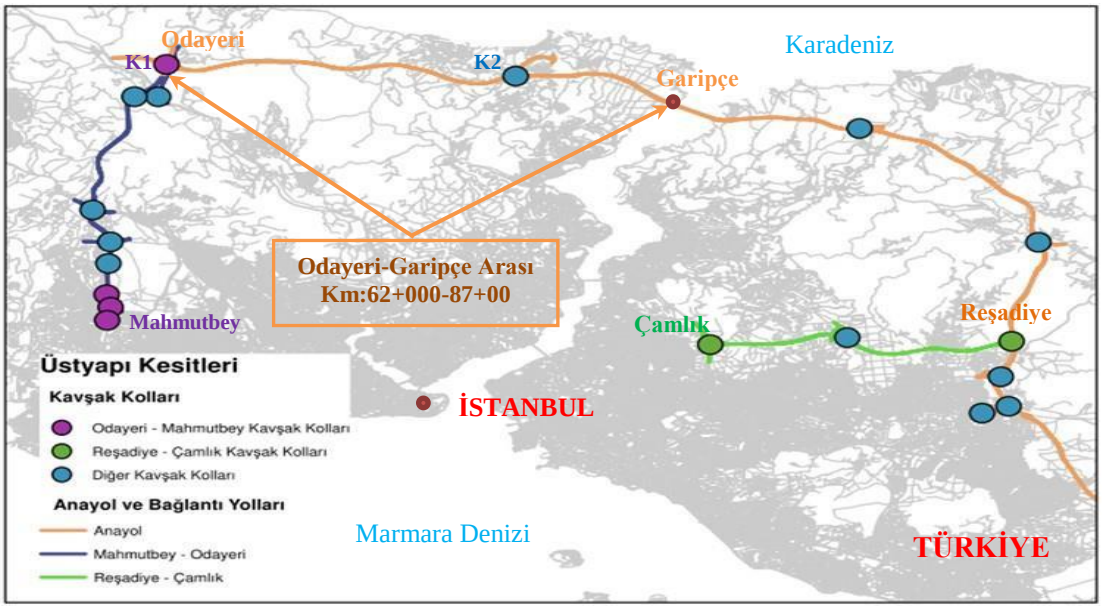
Taş Mastik Asfalt (SMA: Stone Mastic Asphalt), taş-taşa kontak ile dayanımın ve zengin bağlayıcı harcıyla da durabilitenin sağlanmasına dayalı, sağlam, stabil ve tekerlek izi oturmasına dayanıklı bir karışımdır. Asfalt karışımların tipik granülometri eğrileri ise Şekil 2'de gösterilmektedir [2].




Şekil 2. Asfalt karışımların tipik granülometri eğrileri [2]

## 1.2. İncelemesi Yapılan Yol Kesimi

Kuzey Marmara (3. Boğaz Köprüsü dahil) Otoyolu Projesi, Odayeri - Paşaköy (3. Boğaz Köprüsü dahil) Kesimi; 1973 yılında yapılan 1. Boğaz Köprüsü (15 Temmuz Şehitler Köprüsü) ile 1988 yılında hizmete açılan 2. Boğaz Köprüsü'nün (Fatih Sultan Mehmet Köprüsü) kapasitesinin üzerinde olan trafiğini rahatlatmak ve İstanbul'un ulaşım sorununu giderebilmek için Yap-İşlet-Devret modeli ile ihale edilen ve içerisinde 3. Boğaz Köprüsünü (Yavuz Sultan Selim Köprüsü) de kapsayan bir otoyol projesidir. Bu çalışma kapsamında incelemesi yapılan proje güzergahı ve çalışma konusu yol kesimi Odayeri Kavşağı - Garipçe arası (Km: 62+000 - 87+000) Şekil 3'te gösterilmiştir.




Şekil 3. İncelenen Güzergah Kesimi: Odayeri Kavşağı - Garipçe arası

## 2. Taş Mastik Asfalt Uygulaması

İnceleme yapılan kesim üzerinde bulunan Çiftalan ve Uskumruköy Taş Ocakları'na ait 6 farklı TMA aşınma tabakası Tip-1 karışım dizaynı (Katkısız, Polimer modifiye bitüm (SBS'li) ve Granüler kauçuk bitüm ile karışımın direkt plentte modifiye edilmesi) hazırlanmış ve performans deneyleri yapılmıştır.

Laboratuvar çalışmaları kapsamında, TMA karışımlarının tekerlek yükleri altında oluşan plastik yani kalıcı deformasyonlara karşı gösterdiği davranışı görebilmek için Tekerlek İzinde Oturma Tayini deneyi (TİO / Rutting), sıkıştırılmış bitümlü karışımların sudan kaynaklanan bozulmalara karşı direncinin ölçümü için İndirekt Çekme Mukavemeti (İÇM) deneyi, tekrarlı yük altında Yorulmaya Karşı Direnç Dayanımı (Fatigue) deneyleri yapılmıştır [3]. Tüm deneysel çalışmalar, Karayolları Genel Müdürlüğü, Karayolları Teknik Şartnamesi'nin [4] TMA aşınma tabakası Tip-1 (Kısım 408) ve Kauçuk Asfalt Karışımların (Kısım 418) karışım dizaynı esasına göre yapılmıştır.

## 3. Çalışmada Kullanılan Malzemeler

### 3.1. Agregalar

İncelemesi yapılan yol güzergahı üzerinde bulunan Çiftalan (Km: 68+000) Taş Ocağı'nda (ÇTO) üretilen "meta kumtaşı", Uskumruköy (Km: 77+000) Taş Ocağı'nda (UTO) üretilen "bazalt + andezit (magmatik)" diğeri ise İstanbul/Sarıyer Cendere bölgesinde Akdağlar Taş Ocağı'nda üretilen "kalker"dir. Kaba agregaya uygulanan deney sonuçları Tablo 1'de verilmiştir. İnce agregalara ise özgül ağırlık ve su absorbsiyonu (Tablo 2), fillere ise zahiri özgül ağırlık deneyleri yapılmıştır (Tablo 3).

Tablo 1. Kaba agregalara uygulanan deney sonuçları

| **Agrega Cinsi** / **Özellik** | **Çiftalan** " Meta Kumtaşı" | **Uskumruköy** "Andezit+Bazalt" Magmatik | **K.T.Ş. Sınır Değerleri** |
|---|---|---|---|
| Los Angeles Aşınma, Kaybı (%) | 13 | 15 | Maks. % 25 |
| MagSO4 ile Dayanıklılık, Kayıp (%) | 3 | 6 | Maks. % 14 |
| Yassılık İndeksi, (%) | 20,13 | 12,22 | Maks. % 25 |
| Cilalanma Değeri, (%) | 52 | 51,1 | Min. % 50 |
| Soyulma Mukavemeti, (%) | 80-85 | 85-90 | Min. % 60 |
| Kil Topak. ve Ufalanabilir Daneler, (%) | - | - | Bulunmayacak |
| Zahiri Özgül Ağırlık, (gr/cm³) | 2,767 | 2,823 | |
| Hacim Özgül Ağırlık, (gr/cm³) | 2,711 | 2,753 | |
| Su Absorbsiyonu, (%) | 0,75 | 0,90 | Maks. %2 |

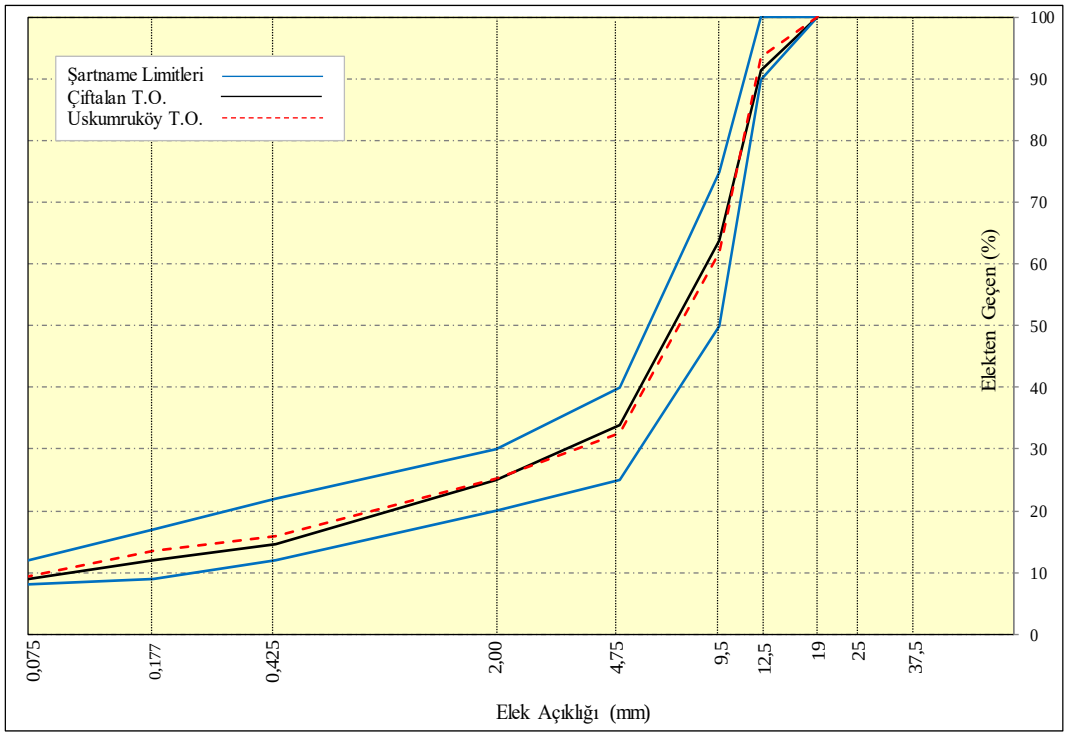
Tablo 2. İnce agregalara uygulanan deney sonuçları

| **Agrega Cinsi** / **Özellik** | **Çiftalan** "Meta Kumtaşı" | **Uskumruköy** "Andezit+Bazalt" Magmatik | **K.T.Ş. Sınır Değerleri** |
|---|---|---|---|
| Zahiri Özgül Ağırlık, (gr/cm³) | 2,774 | 2,824 | |
| Hacim Özgül Ağırlık, (gr/cm³) | 2,703 | 2,750 | |
| Su Absorbsiyonu, (%) | 0,94 | 0,95 | Maks. %2 |
| Organik Madde, (% 3 NaOH ile) | Negatif | Negatif | Negatif |
| Plastisite İndeksi, (%) | NP | NP | NP |

Tablo 3. İlave fillere (Akdağlar Taş Ocağı) uygulanan deney sonuçları

| **Agrega Cinsi** / **Özellik** | Çiftalan Taş Ocağı Dizaynı İçin | Uskumruköy Taş Ocağı Dizaynı İçin |
|---|---|---|
| Zahiri Özgül Ağırlık, (gr/cm³) | 2,791 | 2,749 |

Çiftalan ve Uskumruköy Taş Ocakları'na ait konkasör tesislerinden üretilen (3/4" - 1/2") , (1/2"-No.4) , (No.4 - 0) dane boyutlu agregalar ile Akdağlar taşocağına ait ilave filler kullanılarak üretilen aşınma tabakası TMA Tip -1 dizaynlarına ait agrega karışım oranları, granülometrileri Tablo 4 ve Tablo 5'te verilmiş, granülometri eğrileri Şekil 4'te gösterilmiştir.




Şekil 4. Agrega karışım granülometrileri ve şartname değerleri grafiği

Tablo 4. Agrega karışım oranları

| Elek Aralığı | | Karışım Oranları % | |
|---|---|---|---|
| | | **Çiftalan** "Meta Kumtaşı" | **Uskumruköy** "Andezit+Bazalt" |
| 19-12,5 mm | (3/4 "-1/2 ") | 12 | 11 |
| 12,5-4,75 mm | (1/2 "-No.4) | 55 | 58 |
| 4,75-0 mm | (No.4-0) | 28 | 23 |
| 0,075-0 mm | (No.200-0)/İlave Filler | 5 | 8 |
| | **Kaba Agrega Oranı** | 66,2 | 67,4 |
| | **İnce Agrega Oranı** | 24,8 | 23,2 |
| | **Toplam Filler** | 9 | 9,4 |
| | **Toplam Karışım** | **100** | **100** |

Tablo 5. Agrega karışım granülometrileri

| ELEK AÇIKLIĞI | | % Geçen | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | **Çiftalan** " Meta Kumtaşı" | **Uskumruköy** "Andezit+Bazalt" | K.T.Ş. TMA TİP-1 Şartname | |
| inch | mm | Dizayn | | Min. | Maks. |
| 3/4 " | 19 | 100,0 | 100,0 | 100 | 100 |
| 1/2 " | 12,5 | 91,5 | 93,5 | 90 | 100 |
| 3/8 " | 9,5 | 63,9 | 62,0 | 50 | 75 |
| No.4 | 4,75 | 33,8 | 32,6 | 25 | 40 |
| No:10 | 2 | 24,9 | 25,3 | 20 | 30 |
| No.40 | 0,425 | 14,6 | 16,0 | 12 | 22 |
| No:80 | 0,177 | 11,9 | 13,4 | 9 | 17 |
| No.200 | 0,075 | 9,0 | 9,4 | 8 | 12 |

## 3.2. Bitümlü Bağlayıcı Özellikleri

Bu çalışmada bağlayıcı olarak TÜPRAŞ Rafinerisi'nden temin edilen 50/70 penetrasyonlu bitüm kullanılmıştır. Katkısız normal bitüme uygulanan standart asfalt deneyleri sonucu elde edilen değerler Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Bitüm deneyi sonuçları

| | Çiftalan T.O. | Uskumruköy T.O. | K.T.Ş. Şartname Limitleri |
|---|---|---|---|
| Birim Hacim Ağırlık (gr/cm³) | 1,034 | 1,027 | |
| Penetrasyon, 25 ºC, 100 gr, 5 s (1/10 mm) | 58,7 | 58,7 | 50-70 |
| Yumuşama Noktası (ºC) | 48,4 | 48,4 | 46-54 |

## 3.3. Katkı Maddeleri ve Özellikleri

Kullanılan katkı maddeleri, özellikleri ve karışıma veya bağlayıcıya ilave edilen miktarlar Tablo 7'de verilmiştir. Geleneksel karışım **NB** simgesi ile ifade edilmiş, katkı miktarlarının önünde yer alan **B** harfi bitüm ağırlığına, **K** harfi ise karışım ağırlığına göre karışım içerisinde yer alan katkı miktarını göstermek için kullanılmıştır.

Tablo 7. Katkı maddeleri ve özellikleri

| Katkı Maddesi | Simge | Özellikleri | Miktarı |
|---|---|---|---|
| tecRoad | TR | Özel Kauçuk Bitüm | B % 15 |
| Kraton, D1192 | SBS | Elastomer | B % 4,5 |

*Ayrıca Taş Mastik Asfalt imalatlarında bitümün süzülmesini önlemek için elyaf (selülozik fiber) kullanılmaktadır.

### 3.4. Çalışmada Kullanılan "Aşınma Tabakası TMA Tip-1" Dizaynları

Çalışmalarda Çiftalan, Uskumruköy Taş Ocakları'ndan temin edilen ince ve kaba agregalar ile Akdağlar Taş Ocağı'ndan temin edilen ilave fillere ait agraga karışım granülometrileri kullanılarak normal (katkısız) bitümlü, modifiye bitümlü ve spesiyal kauçuk bitüm ile incelenen yol kesimlerinde bulunan aşınma tabakası için 6 farklı karışım tipine ait TMA Tip-1 dizaynları Tablo 8'de verilmiştir. Dizaynlar "Marshall Karışım Dizayn Metodu"na göre yapılmıştır.

Tablo 8. Çalışmada kullanılan "Aşınma tabakası TMA Tip-1" dizaynları

| Dizayn | | Agrega+Bağlayıcı | Wa Optimum Bitüm | | Katkı Mad. | | Elyaf | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Oran | Simge | Oran | Simge | Oran | Simge |
| 1 | Katkısız | (ÇTO+NB) | %'e 6,40 | NB | - | - | K % 0,35 | EL |
| 2 | SBS'li | (ÇTO+SBS) | %'e 6,40 | PMB | B % 4,5 | SBS | K % 0,35 | EL |
| 3 | Kauçuklu | (ÇTO+TR) | %'e 6,40 | KAK | B % 15 | TR* | - | - |
| 4 | Katkısız | (UTO+NB) | %'e 6,15 | NB | - | - | K % 0,35 | EL |
| 5 | SBS'li | (UTO+SBS) | %'e 6,15 | PMB | B % 4,5 | SBS | K % 0,35 | EL |
| 6 | Kauçuklu | (UTO+TR) | %'e 6,15 | KAK | B % 15 | TR* | - | - |

*tecRoad, bitümlü karışıma B 50/70 bitümün % 15'i ( B %15) kadar ilave edilmiş ve katılan tecRoad kadar normal bitüm miktarından düşülmüştür.

Çalışmada kullanılan simgeler ve kısaltmalar aşağıda gösterilmiştir.

(ÇTO) : Çiftalan Taş Oc. (ince ve kaba agr.) + Akdağlar Taş Oc. ilave filler / (Agregalar)
(UTO) : Uskumruköy Taş Oc. (ince ve kaba agr.)+ Akdağlar Taş Oc. ilave filler / (Agregalar)
NB : Normal,katkısız,geleneksel bitüm (B 50/70)
PMB : SBS katkılı polimer modifiye bitüm
KAK : Kauçuk katkılı asfalt karışım
SBS : Katkı, Kraton D1192
TR : Katkı, Tecroad (özel kauçuk bitüm )
(tekRoad, bitümlü karışıma direkt asfalt plentinde ilave edilir.)
EL : TMA içerisinde bağlayıcının süzülmesini önleyen selülozik fiber
%Wa : Optimum bitüm : %'e (Yüze) : Toplam agrega karışımına ilave edilen bitüm (bağlayıcı)

(ÇTO+NB) : Çiftalan Taş Ocağı ve Katkısız Bitümlü Aşınma Tabakası TMA Tip-1 Dizaynı
(ÇTO+SBS) : Çiftalan Taş Ocağı ve ModifiyeBitümlü Aşınma Tabakası TMA Tip-1 Dizaynı
(ÇTO+TR) : Çiftalan Taş Ocağı ve Spesiyal Kauçuk Bitümlü Aşınma Tabakası TMA Tip-1 Dizaynı

## 4. Çalışmada Uygulanan Deneyler

Bu çalışmada yukarıda dizaynları verilen katkılı ve geleneksel karışımların tekerlek yükleri altında oluşan plastik yani kalıcı deformasyonlara karşı gösterdiği davranışı görebilmek için Tekerlek İzinde Oturma Tayini deneyi (TİO / Rutting) , sıkıştırılmış bitümlü karışımların sudan kaynaklanan bozulmalara karşı direncinin ölçümü için İndirekt Çekme Mukavemeti (İÇM) deneyi, tekrarlı yük altında Yorulmaya Karşı Direnç Dayanımı (Fatigue) deneyleri yapılmıştır.

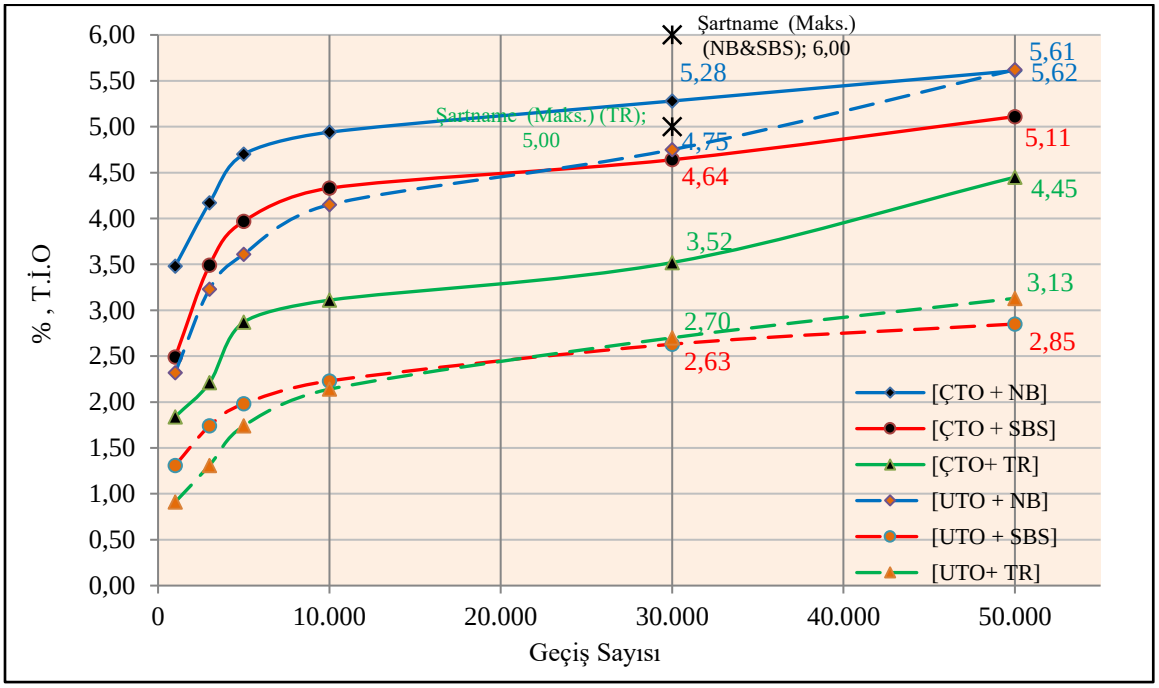
### 4.1. Tekerlek İzinde Oturma Deneyi (Rutting)

Bitümlü sıcak karışım kaplamalarda, tekerlek yükleri altında oluşan plastik yani kalıcı deformasyonlara karşı gösterdiği davranışı görebilmek için Tekerlek İzinde Oturma Tayini deneyi (TİO) yapılır. Deneyde LCPC, Fransa Yollar Laboratuvarının geliştirdiği tekerlek izi ölçüm cihazı kullanılmıştır

Üstyapı projelerinde uygulanan ve işyerinin plentinden alınan hazır TMA sıcak karışım numunelerinin üzerinde (6 farklı karışım tipi) aşınma tabakası TMA Tip-1 dizaynına ait Tekerlek İzinde Oturma (TİO) Tayini deneyleri yapılmış olup deney sonuçları özeti Tablo 9'da verilmiştir. Şekil 5'te Çiftalan Taş Ocağı (ÇTO) ve Uskumruköy Taş Ocağı (UTO) kullanılarak hazırlanan 6 farklı karışım tipine ait aşınma tabakası TMA Tip-1 dizaynı tekerlek izinde oturma %'si deney sonuçlarının birbiriyle kıyaslanması görülmektedir.

Tablo 9. "Tekerlek İzinde Oturma Yüzdesi" deney sonuçları

| TEKERLEK İZİNDE OTURMA TAYİNİ DENEYLERİ ORTALAMA SONUÇLARI (Sağ/Sol) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Karışım Dizaynları | | [ÇTO+ NB] | [ÇTO + SBS] | [ÇTO + TR] | [UTO+ NB] | [UTO + SBS] | [UTO + TR] |
| Dp - Dizayn | | 2,422 | 2,422 | 2,425 | 2,452 | 2,452 | 2,453 |
| Dp – Numune | | 2,422 | 2,374 | 2,401 | 2,452 | 2,427 | 2,428 |
| % Sıkışma | | % 100 | % 98 | % 99 | % 100 | % 99 | % 99 |
| TEKERLEK İZİNDE OTURMA (Rutting) %'Sİ | Geçiş/Devir Sayısı | | | | | | |
| | 1.000 | 3,48 | 2,49 | 1,84 | 2,32 | 1,31 | 0,91 |
| | 3.000 | 4,17 | 3,49 | 2,21 | 3,23 | 1,74 | 1,31 |
| | 5.000 | 4,70 | 3,97 | 2,87 | 3,61 | 1,98 | 1,74 |
| | 10.000 | 4,94 | 4,33 | 3,11 | 4,15 | 2,23 | 2,14 |
| | **30.000** | **5,28** | **4,64** | **3,52** | **4,75** | **2,63** | **2,70** |
| | 50.000 | 5,61 | 5,11 | 4,45 | 5,62 | 2,85 | 3,13 |
| KTŞ Kısım 408 ve Kısım 418 Şartname Değerleri (30.000 devirde, 60 ºC'de) (%, Maks.) | | **6** | **6** | **5** | **6** | **6** | **5** |




Şekil 5. "Tekerlek İzinde Oturma" deneyi sonuçlarının karşılaştırmalı grafiği

## 4.2. İndirekt Çekme Mukavemeti (İÇM) Deneyi

Bu deney, sıkıştırılmış bitümlü karışımların sudan kaynaklanan bozulmalara karşı direncinin incelenmesi amacıyla yapılır. Çiftalan Taş Ocağı (ÇTO) ve Uskumruköy Taş Ocağı (UTO) kullanılarak hazırlanan 6 farklı karışım aşınma tabakası TMA Tip-1 dizaynına ait numuneler üzerinde, koşullu ve koşulsuz şartlar altında, İndirekt Çekme Mukavemeti (İÇM) deneyi yapılmış olup sonuçlar Tablo 10'da verilmiştir. Karayolları Teknik Şartnamesi'ndeki Koşullu/Koşulsuz İÇM ve İÇM Oranı (%) sınır değerleri Tablo 11'de gösterilmiştir.

Tablo 10. "İndirekt Çekme Mukavemeti" deney sonuçları

| Karışım Dizaynları | [ÇTO+ NB] | [ÇTO + SBS] | [ÇTO + TR] | [UTO+ NB] | [UTO + SBS] | [UTO + TR] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Koşullu İÇM (kg/cm²) | 10,56 | 6,64 | 10,94 | 9,77 | 10,03 | 10,05 |
| Koşulsuz İÇM (kg/cm²) | 13,06 | 7,53 | 12,82 | 12,44 | 11,03 | 11,90 |
| İÇM Oranı, % | 80,90 | 88,20 | 85,30 | 78,50 | 90,90 | 84,50 |

Tablo 11. İÇM "KTŞ Kısım 408 ve 418" şartname değerleri

| Özellikler | Kısım 408<br>**TMA Aşınma**<br>(Normal Bitüm& Modifiye Bitümlü) | Kısım 418<br>**Kauçuk Asfalt Karışımlar** |
|---|---|---|
| Koşullu İÇM (kg/cm²) | — | Min. 5 |
| Koşulsuz İÇM (kg/cm²) | — | Min. 5 |
| İÇM Oranı, % | Min. %80 | Min. %80 |

## 4.3. Yorulma Direnci Deneyi (Fatigue)

Sıkıştırılmış sıcak karışım numunelerinin (tekrarlı) trafik yükleri altındaki davranışını ve dayanımını belirlemek aracıyla "Yorulma Direnci" deneyi yapılır.
Uskumruköy Taş Ocağı kullanılarak hazırlanan katkısız bitümlü "(UTO + NB)" ve %12 tecRoad (granüler kauçuk bitüm) katkılı "(UTO + TR)" karışım tiplerine ait aşınma tabakası TMA Tip-1 dizayn numuneleri üzerinde Yorulma Direnci deneyi yapılmış olup Tablo 12'de deney sonuçları verilmiştir. Deneylerde $150x10^{-6}$, $250x10^{-6}$, $350x10^{-6}$ birim deformasyon (strain) seviyesinde çalışılmıştır. Numunelerin rijitlik değerinin değişimi sırasındaki harcanan toplam enerji (MJ/m³) olarak verilmiştir. Deney standartta belirtilen koşullarda, iklimlendirme kabininde 20°C sıcaklıkta ve 10 Hz frekans aralığında gerçekleştirilmiştir.

Tablo 12. Yorulma Direnci deneyi sonuçları

| Karışım Dizaynı | Uygulanan Birim Deformasyon (Strain) ( $x10^{-6}$ ) | Başlangıç Rijitliği (Stiffness) (Mpa) | Deney Sonu Rijitlik (Stiffness) (Mpa) | Rijitlik %'si Değişimi | Harcanan Toplam Enerji (MJ/m³) | Deney Sonu Yük Tekrar Sayısı |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [UTO + NB] "Katkısız" | 150 | 6.930,89 | 3.463,82 | 50 | 74,00 | 562.075 |
| | 250 | 5.918,23 | 2.958,52 | 50 | 20,20 | 56.794 |
| | 350 | 6.389,25 | 3.272,06 | 50 | 8,80 | 12.768 |
| [UTO + TR] "% 12 tecRoad Katkılı" | 150 | 7.575,80 | 3.628,70 | 50 | 167,20 | 1.304.003 |
| | 250 | 6.645,70 | 3.322,10 | 50 | 26,10 | 78.432 |
| | 350 | 6.003,50 | 3.001,00 | 50 | 8,30 | 12.665 |

## 5. Sonuç

Bu çalışmada, iki farklı farklı taş ocağından (Çiftalan ve Uskumruköy) , 6 farklı TMA karışım dizaynı [katkısız bitümlü ve polimer modifiye bitümlü (SBS'li) ve granüler kauçuk bitüm ile karışımın direkt plentte modifiye edilmesi) hazırlanarak bu karışımlara performans deneyleri yapılmıştır.
Tekerlek İzinde Oturma (TİO) Tayini deneyi sonuçlarına göre; her iki taşocağından elde edilen 6 farklı TMA aşınma tabakası Tip-1 karışım tipi de Karayolları Teknik Şartnamesi'ndeki (30.000

devirde oluşacak) maksimum % 6 (kauçuk asfalt karışımlar için % 5) değerinden küçüktür. Uygulamada yapılacak TMA karışımlarında dizayn değerlerine (optimum bitüm %'si ve pratik özgül ağırlık ($D_p$) değerleri) uyulduğu sürece tekerlek izi oluşumunun küçük değerlerde kalacağı anlaşılmaktadır. Tüm karışımlar içerisinde TİO oluşumlarına karşı en iyi performansı Uskumruköy Taş Ocağı kullanılarak elde edilen "modifiye bitüm" katkılı TMA karışımı (UTO+SBS) göstermiştir ( % 2,63).

İndirekt Çekme Mukavemeti (İÇM) deney sonuçlarına göre; 6 farklı TMA karışımından yalnızca birinin İÇM Oranı [Uskumruköy Taş Ocağı'ndan elde edilen katkısız/geleneksel bitümlü TMA karışımı (UTO + NB) için % 78,50] Karayolları Teknik Şartnamesi'ndeki sınır değer olan % 80'den küçüktür. Diğer 5 farklı karışım için İÇM Oranları % 80'den büyüktür. Karışımlar içerisinde en iyi performansı Uskumruköy Taş Ocağı kullanılarak elde edilen "modifiye bitüm katkılı" TMA karışımı (UTO+SBS) göstermiştir (% 90,9). "modifiye bitüm katkılı" TMA karışımının, "granüler kauçuk katkılı" TMA karışımına oranla daha iyi performans gösterdiği görülmektedir.

Yorulma Direnci deney sonuçlarına göre; "granüler kauçuk bitümlü" TMA karışımların (UTO+TR) geleneksel/katkısız bitümlü TMA karışımlara (UTO+NB) oranla çok daha fazla sayıda tekrarlı yüke karşı koyarak iyi değerler verdiği ve çok daha fazla enerjiyi üzerinde sönümleyebildiği görülmüştür. Başka bir deyişle, "granüler kauçuk bitümlü" TMA karışımlar rijitliğinin %50'sini "katkısız/geleneksel bitümlü" TMA karışımlara göre daha büyük enerji sönümleyerek kaybetmektedirler.

Sonuç olarak; ülkemizde yük taşımacılığının yaklaşık % 90'ının karayolları üzerinde yapıldığı, ayrıca ağır taşıt trafiğinin fazla olduğu ve diğer gelişmiş ülkelerle kıyaslanmayacak kadar aşırı yüklemeler sonucu 'tekerlek izinde oturma' şeklindeki bozulma türünün yaygın olarak görüldüğü dikkate alındığında, yollarımızda oluşacak TİO şeklindeki bozulmaları geciktirecek TMA karışımların kullanımı gerekli görülmektedir.

## Kaynaklar

[1] Yardım, M.S., Arslan, F., Türkiye'de Taş Mastik Asfalt Kaplama Kullanımı ve Literatür Üzerine Bir Değerlendirme. 6. Ulusal Asfalt Sempozyumu, 27-28 Kasım 2013, Ankara.
[2] Temren, Z., Taşmastik Asfalt Dizaynı, Üretimi ve Uygulamaları, Asfalt Müteahhitleri Derneği (ASMÜD), 2009, Ankara.
[3] Kaşak, S., Taş Mastik Asfalt Karışımında Katkı Maddesi Olarak Fiber Yerine Diatomit'in Uygulanabilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007, Ankara.
[4] KGM, Karayolları Teknik Şartnamesi, Karayolları Genel Müdürlüğü, 2013, Ankara.