

Araştırma Makalesi

ÇELİK TABLİYELİ KÖPRÜ ÜSTÜ FARKLI KARIŞIM TİPLERİNİN PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ*

Çağlar EREN¹

Halit ÖZEN²

Mustafa ILICALI³

¹Istanbul Ticaret Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi Anabilim Dalı, Küçükalyalı, İstanbul, Türkiye, caglarxeren@gmail.com, orcid.org/0000-0003-4429-391X

²Yıldız Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Davutpaşa, İstanbul, Türkiye, ozen@yildiz.edu.tr, orcid.org/0000-0003-4031-7283

³Istanbul Ticaret Üniversitesi, İşletme Fakültesi, Uluslararası Lojistik ve Taşımacılık Bölümü, Sütlüce, İstanbul, Türkiye, milicali@ticaret.edu.tr, orcid.org/0000-0001-6453-7753

Öz

Ülkemiz dalgalı ve dağlık topografik bir yapıya sahip olmasından dolayı; vadi kesimlerinde iki yükselti arası ve su geçişlerinde ulaşımın sağlanması için viyadük ve köprüler gibi yapılar önemli role sahiptir. Karayolu projelerinde amaç; yüksek maliyetli sanat yapılarının özellikle çelik köprülerin hizmet ömrünün verimli olması, kaplama tabakasında oluşacak kalıcı ve elastik deformasyonlara karşı en uygun kaplama tipinin seçilmesi ile sürüş kalitesinin ve trafik güvenliğinin en üst seviyede tutulmasıdır.

Çelik köprülerde, trafik yüklerinin aşındırıcı etkileri ve tabliyedeki korozyona karşı korumak üzere genellikle mastik asfalt (harç) tipi kaplama tabakası kullanılmaktadır. Bu çalışmada; çelik köprülerde kullanılan üstyapı tiplerinin performanslarının değerlendirilmesi amacıyla; mastik asfalt kaplamalı, mastik asfalt üzeri taş mastik asfalt kaplamalı ve mastik asfalt üzeri modifiye bitümlü aşınma tabakası kaplamalı 3 farklı üstyapı tipinin performansları ölçülmüştür. Çelik tabliyeli köprü üstyapılarında kullanılan karışımlar, taş mastik ve modifiye aşınma tipi karışımlar için Marshall yöntemi ve mastik asfalt için ise ZTV Asphalt StB 07 yöntemi ile hazırlanmış ve karışımlara tekerlek izinde oturma ve yorulma deneyleri yapılarak performansları karşılaştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Köprü kaplamaları, mastik asfalt, taş mastik asfalt, tekerlek izi, yorulma.

Research Article

EVALUATION OF DIFFERENT TYPE OF PAVEMENT PERFORMANCE FOR STEEL BRIDGE DECK

Abstract

Our country has a rolling and mountainous terrain as topographically. The construction of viaduct and bridges play a significant role with regards to transportation for the route passing through two ridges and sea passages. The main purpose of road and bridge construction projects are to maximize the life expectancy of these high-cost structures and to ensure that the most suitable materials with high resistance against permanent deformations are chosen to improve quality of riding comfort and safety.

Steel deck bridge, the mastic asphalt (mortar) type coating layer is used to protect the bridge deck against corrosion by both the corrosive effects of the traffic loads and the corrosion. In this study, the design of the mastic asphalt, stone mastic asphalt and modified bituminous asphalt mixture types used as coating layer in steel bridges. This asphalt mixture were prepared by Marshall and ZTV Asphalt methods and the performances of different bituminous binder types were evaluated by using the wheel traction and fatigue tests.

Keywords: Bridge coatings, mastic asphalt, stone mastic asphalt, rutting, fatigue.

* Bu çalışma, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde yapılan "Çelik Köprü Üstü Kaplama Tabakası Uygulamaları" başlıklı yüksek lisans tezinden hazırlanmıştır.

Received / Geliş tarihi: 08.05.2019

Accepted / Kabul tarihi: 17.05.2019

Corresponding Author/ Sorumlu Yazar :

caglarxeren@gmail.com

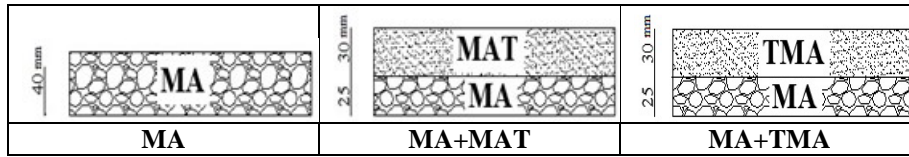
1. GİRİŞ

Ulaşım, günümüzde toplum yaşantısında insanları doğrudan veya dolaylı olarak etkileyen en önemli unsurdur. Bu nedenle ulaştırma hizmetlerinin kamu yararı açısından güvenli, hızlı, konforlu ve ekonomik olması gerekmektedir.

Ulaştırma sistemleri içerisinde karayolu ulaştırması erişilebilirliğinin yüksek olması nedeniyle ulaşım ağının önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Özellikle karayolu ulaşım ağından şişe boynu olarak tanımlanan kesimler genellikle, büyük vadi, su ve köprü gibi boğaz geçişlerinde inşa edilmelerinden dolayı, ulaşım ağında trafik tıkanıklıklarının en fazla yaşandığı kesimleri oluşturmaktadır. Bu sebeple, uygun kaplama tipi ile yapılmayan çelik köprü kaplamalarının yapım ve bakım maliyetlerinin yüksek olması yanında, bakım faaliyetleri sırasında meydana gelen kapasite azalmasından dolayı ilave trafik tıkanıklıkları da oluşmaktadır. Trafik tıkanıklıklarından dolayı da zaman kaybı, yakıt tüketimi ve çevresel etkilerde artışlar oluşmaktadır. Bu olumsuzlukların en aza indirilmesi için çelik köprü kaplama tabakası uygulamalarında bakım çalışmalarını minimuma indirgeyen ve hizmet ömrünü arttıran kaplama tabakalarının araştırılması büyük önem taşımaktadır.

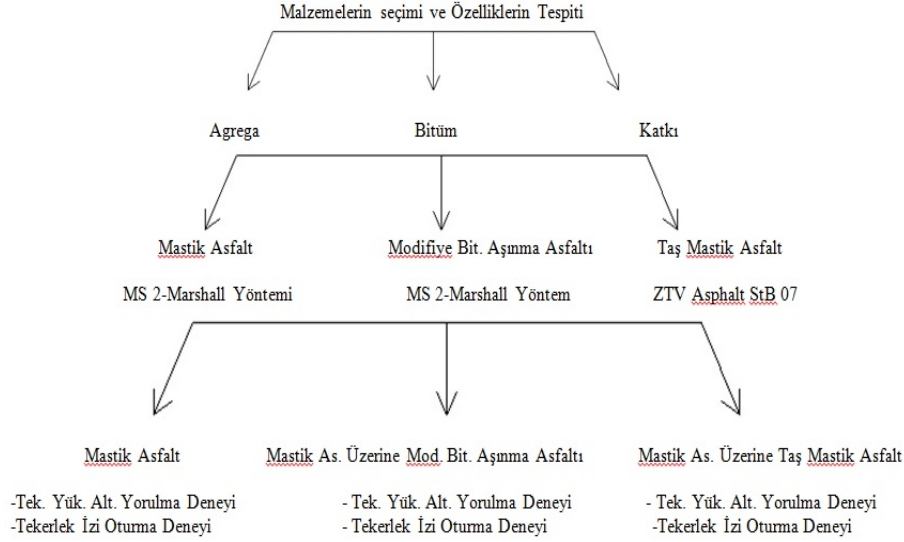
Çelik tabliyeli köprülerde, gerek trafik yüklerinin aşındırıcı etkileri gerekse köprü tabliyesini korozyona karşı korumak üzere genellikle mastik asfalt (MA-harç) tipi kaplama tabakası kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra çelik köprü tabliye üzeri üstyapı tabakası; sadece taş mastik asfalt (TMA), modifiye bağlayıcılı aşınma (MAT) gibi farklı tipte karışıma sahip tabakalar ile de inşa edilmektedir.

Bu çalışmada; çelik tabliyeli köprülerde kullanılan üstyapı tiplerinin performanslarının değerlendirilmesi amacıyla Şekil 1'de verilen mastik asfalt kaplamalı (MA), mastik asfalt üzeri modifiye bitümlü aşınma tabakası kaplamalı (MA+MAT) ve mastik asfalt üzeri taş mastik asfalt kaplamalı (MA+TMA) 3 farklı üstyapı tipinin performansları ölçülmüştür.



Şekil 1. Çelik Köprü Tabliyesi BSK Kaplama Çeşitleri

Çalışmada izlenen yönteme ait akış şeması Şekil 2Şekil 2'de verilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere, çalışma kapsamında; öncelikli olarak malzeme seçimi, karışım tasarımı ve karışım performanslarının ölçülmesi amacıyla tekerlek izinde oturma ve tekrarlı yükler altında yorulma deneyleri uygulanmıştır.



Şekil 2. Çalışmanın Aşamaları

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Çelik köprü tabliyeleri için kaplama saha testlerine ilk olarak 1949 yılında İngiltere’de Yol Araştırma Laboratuvarı tarafından başlanılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda 1½"lik mastik asfaltın ağır şartlarda 5 yıl iyi performans sergilediği tespit edilmiştir. Bu tarihten sonra ortotropik köprüler üzerinde asfalt karışımlarla elde edilen deneyimler 2. Dünya savaşı sonrasında başta Almanya olmak üzere, Hollanda ve Fransa’da geliştirilmiştir (Medani, 2001). Çelik köprü tabliyelerinin ana bileşenlerinden birisi de üstyapı kaplaması olup, iyi tasarlanmış bir üstyapı kaplamasının çelik köprünün hizmet ömrünün uzatılmasında çok önemli bir rolü vardır. (Cheng vd., 2019)

Jacobs (1995), Hollanda devlet yollarında yapmış olduğu deneylerle çelik köprü üzerindeki gerilmelerin normal yollara göre yaklaşık 8 kat daha fazla olduğunu gözlemlemiştir. Bundan dolayı da köprü üstü kaplama tabakası olarak geleneksel asfaltların diğer MA, TMA ve modifiye bağlayıcı kaplamalara nazaran hizmet ömrünün daha kısa olması sebebiyle farklı kaplamaların kullanılmasının gerekliliğini ortaya koymuştur.

Medani (2001, 2006), yapmış olduğu çalışmalarda geleneksel esnek yol üst yapısı ile çelik köprü kaplamaları arasındaki temel farklılıklardan bahsederek, asfalt malzemesinin çelik köprülerde daha farklı davranış gösterdiği, bunun sonucunda lineer olmayan bir malzeme modelinin gerekliliğinden söz etmektedir.

Pokorski vd. (2015), çalışmasında köprü tabliyelerinde kullanılan bitümlü sıcak asfalt karışımların (BSK) farklı sıcaklıklarda ve frekanslarda sertliklerini laboratuvar deneyleri ile inceleyerek karşılaştırmışlardır. Yüksek sıcaklıklarda karışımların sertliklerinin kaplamanın yorulması için bir avantaj oluşturduğu, ancak düşük sıcaklıklarda ise sertliğin yüksek olmasının dezavantaja dönüştüğünden bahsetmişlerdir. Yüksek oranda kum içerikli MA-SMA tipi karışımların ise asfaltın yapısının köprü tabliyeleri için uygun ürün olduğunu açıklamaktadırlar.

Wang vd. (2019), çelik tabliyeli köprülerin SPS (Sandwich Plate System) ve RPC (Reactive Powder Concrete) ile güçlendirilmesine yönelik bir araştırma yapmışlardır. Araştırma sonucuna göre, RPC ve SPS çözümlerinde sırasıyla boyuna doğrultudaki ortalama gerilmelerde %52 ve % 81'lik bir azalmanın olduğunu gözlemlemişlerdir.

Ye vd. (2019), çelik köprü tabliyelerinde kullanılan mastik asfaltın düşük sıcaklık performanslarını incelemiş ve bir değerlendirme indeksi geliştirmişlerdir. Mastik içerisindeki doğal göl asfaltı miktarının artmasının düşük sıcaklık performansını azalttığı, ince agregaya gradasyonunun kaba agregaya gradasyonuna göre daha iyi performans gösterdiği sonucuna varmışlardır.

EAPA (2016) tarafından yayınlanan “Köprü Tabliyelerinde Asfalt Kaplamalar Durum Tespit Dokümanın’ da çelik ve beton köprü tabliyelerinde kullanılan bitümlü sıcak karışım tabakalarına yer verilmiş, her iki köprü tipinin de yapısal farklılıklarından bahsedilmiştir. Aynı dokümanda, köprü üzerinde aşınma asfaltı, taş mastik asfalt, mastik asfalt gibi asfalt kaplama tiplerinin bulunduğu bahsedilmektedir.

3. ÇALIŞMADA KULLANILAN MALZEMELER VE ÖZELLİKLERİ

Çalışma kapsamında malzeme olarak bitüm, agregaya, modifiye bitüm kullanılmış ve bu malzemelere ilişkin bilgiler aşağıda verilmiştir. MA ve TMA karışımlarında kaba agregaya olarak bazalt, ince agregaya olarak ise kalker kullanılmıştır. MAT karışımları ise kalker kullanılarak hazırlanmıştır. Çalışmada kullanılan bazalt ve kalker malzemesi üzerine Karayolları Teknik Şartnamesi (KTŞ) Aşınma Tip 2 ve TMA kriterleri esas alınarak yapılan deneylerin sonucu ve şartname sınır değerleri Tablo 1’ de verilmiştir.

Tablo 1. Agregâ Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Deney Adı	Deney Sonucu		KTŞ 2013 Şartname Limitleri		Deney Yöntemi
	Bazalt	Kalker	TMA	AŞINMA	
Kaba Agregâ Özellikleri					
Parçalanma Direnci (Los Angeles), % Kayıp	15	21	≤ 25	≤ 27	TS EN 1097-2
Hava Tesirlerine Karşı dayanıklılık (MgSO4 ile kayıp), %	1,0	2,0	≤ 14	≤ 16	TS EN 1367-2
Cıalanma Değeri, %	53,4	48	≥ 50	≥ 50	TS EN 1097-8
Yassılık İndeksi, %	13,0	18,0	≤ 20	≤ 20	TS EN 933
Soyulma Mukavemeti, % Bitümle kaplanmış yüzey	80	60	≥ 60	≥ 60	TS EN 12697-11
Kaba Agregalarda Tane Yoğunluğu, (Hacim özgül ağırlığı-kuru), g/cm ³	2,646	2,710	-	-	TS EN 1097-6
Su Emme, % (Absorbsiyon)	0,35	0,43	≤ 2	≤ 2	TS EN 1097-6
Kil Topakları ve Ufalanabilir Daneler, %	-	-	bulunmayacak		ASTM C 142
İnce Agregâ Özellikleri					
İnce Agregalarda Tane Yoğunluğu, (Hacim özgül ağırlığı-kuru), g/cm ³	-	2,699	-	-	TS EN 1097-6
Metilen Mavisi, g/kg (İnce agreganın 0/2 mm kısmına)	-	1,25	≤ 1,5	≤ 1,5	TS EN 933-9
İnce Agregalarda Su Emme, %	-	0,77	≤ 2	≤ 2	TS EN 1097-6
Plastisite İndeksi, %	-	NP	NP	NP	TS EN 1900-1
Filler Tane Yoğunluğu Tayini, g/cm ³	-	2,701	-	-	TS EN 1097-7

Karışımlarda temel bağlayıcı olarak TÜPRAŞ A.Ş. İzmit Rafinerisi'nden temin edilen 50/70 penetrasyonlu bitüm, modifiye edici katkı olarak ise Trinidad ve SBS (KRATON D 0243) kullanılmıştır.

MA karışımında bağlayıcı olarak %50 oranında B 50/70 bitüm ve % 50 oranında TNAC bitüm içeren bağlayıcı, MAT ve TMA karışımlarında % 5 SBS ile modifiye edilmiş bağlayıcı kullanılmıştır. B 50/70 bitüm özellikleri Tablo 2, MA karışımlarında kullanılan bağlayıcı özellikleri Tablo 3, MAT ve TMA karışımlarında kullanılan bağlayıcı özellikleri Tablo 4' de verilmiştir.

Tablo 2. B 50/70 Bitüm Özellikleri

Deney Adı	Birimi	Değeri	KTŞ 2013	Deney Yöntemi
Penetrasyon 25 °C, 100 gr, 5 sn	0,1 mm	60	50-70	TS EN 1426
Yumuşama Noktası	°C	67	≥ 65	TS EN 1427
Özgül Ağırlık	gr/cm ³	1,014	1,0-1,1	TS EN 15326

Tablo 3. %50 B 50/70 ve % 50 TNAC İçeren Bağlayıcı Özellikleri

Deney Adı	Birimi	Değeri	Deney Yöntemi
Penetrasyon 25 °C, 100 gr, 5 sn	0,1 mm	16,1	TS EN 1426
Yumuşama Noktası	°C	67,0	TS EN 1427

Yapılan deneyler sonucunda modifiye edilmiş bitümün, KTŞ-2013 PMB 76-16 şartname sınırları içerisinde girdiği görülmektedir.

Tablo 4. % 5 SBS İçeren Bağlayıcı Özellikleri

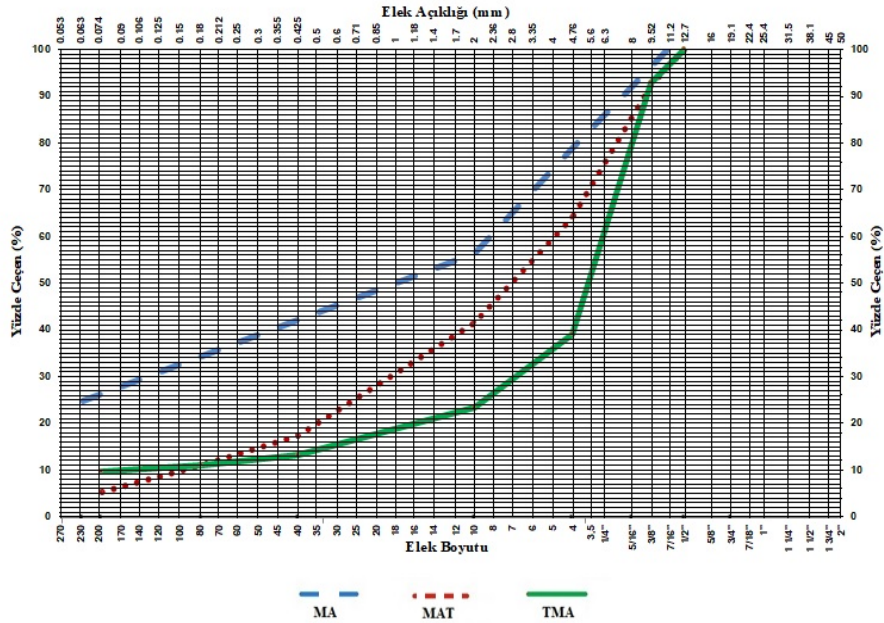
Deney Adı	Birimi	Değeri	KTŞ 2013 PMB 76-16	Deney Yöntemi
Penetrasyon (25 °C, 100 gr, 5 sn)	0,1 mm	44,5	25-55	TS EN 1426
Yumuşama Noktası	°C	82,5	≥ 65	TS EN 1427
Özgül Ağırlık	gr/ cm ³	1,013	1,0-1,1	TS EN 15326
Parlama Noktası	°C	320	≥ 220	TS EN ISO 2592
Elastik Geri Dönme, 25 °C	%	92,5	≥ 60	TS EN 13398
Dinamik Kesme Reometresi-(DSR)(G/sinδ>1kPa)	°C	76	≥ 76	TS EN 14770
RTFOT-Etüvde Hareket Halinde İnce Film Deneyi				
Kütle Kaybı	%	0,1	≤ 0,8	TS EN 12607-1
Yumuşama Noktasındaki Artma	°C	3,8	≤ 8	TS EN 1427
Kalıcı Penetrasyon	%	69	≥ 45	TS EN 1426
Dinamik Kesme Reometresi-(DSR) (G/sinδ>2,2 kPa)	°C	76	≥ 76	TS EN 14770
RTFOT+PAV ile Yaşlandırılmış Modifiye Bitüme Yapılan Deneyler				
DSR(G/sinδ<5000kPa)	°C	25	≤ 34	TS EN 14770
Kiriş Eğme Remetresi (BBR) (S≤300MPa, m≥0,300) Eğilme-Sünme Sertliği	°C	-6	≤ -6	TS EN 14771
Force Düktilite	j/ cm ²	4,8547		TS EN 13589
Force Düktilite Oranı	-	1,97		TS EN 13589

MAT ve TMA kaplama tabakası için KTŞ Aşınma Tip-2, MA için ise Almanya' ya ait ZTV Asphalt StB 07 karışım dizaynı gradasyonu kullanılmıştır. MAT, TMA ve MA agrega karışım gradasyonları Tablo 5 ve Şekil 3' de gösterilmiş olup, sınır değerler içinde kalmaktadır.

Tablo 5. Agrega Gradasyonları

Elek Boyutu		Aşınma Tip 2 Dizayn	KTŞ 2013 Aşınma Tip 2 Şartnamesi		TMA Tip 2 Dizayn	KTŞ 2013 TMA Tip 2 Şartnamesi	
inc	mm						
1/2 "	12,7	100,0	100		100,0	100	
3/8 "	9,5	92,3	80	100	93,0	90	100
No 4	4,75	64,1	55	72	39,3	25	45
No 10	2,0	41,8	36	53	23,7	20	30
No 40	0,425	17,5	16	28	13,5	12	22
No 80	0,180	11,2	8	16	11,3	9	17
No 200	0,075	5,5	4	8	10,0	8	12

Elek Boyutu mm	Mastik 8 Dizayn	ZTV Asphalt StB 07 Şartname	
11	100	100	
8	92	90	100
5	78,8	75	90
2	56,4	50	60
0,063	24,9	22	30



Şekil 3. Karışımların Gradasyon Eğrileri

4. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Hazırlanan karışımların performanslarını karşılaştırmak amacıyla tekrarlı yükler altında yorulma deneyi ve tekerlek izinde oturma deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerden elde edilen bulgular ve deneylerin değerlendirilmesi aşağıda verilmiştir.

4.1. Karışım Dizaynı

Seçilen agrega gradasyonları esas alınarak Asphalt Institute MS-2 Marshall metoduna göre MAT ve TMA karışım dizaynları, ZTV Asphalt StB 07 şartnamesi esas alınarak MA karışım dizaynı hazırlanmıştır. Her bir karışım için hazırlanan dizayn değerleri Tablo 6 ve Tablo 7' de verilmiştir.

Tablo 6. MA Karışım Dizayn Değerleri

	Birim	Deney Sonucu	ZTV Asphalt StB 07 Şartname MA 8	Deney Yöntemi
Bitüm %' si (ağırlıkça, 100' e)	%	8,70 ± 0,5	min 7	TS EN 12697-1
Küp Numunelerin 40 °C' de Mastik Penetrasyon derinliği - 30 dakikada batma (mm) - 60 dakikada batma (mm)	mm	1,70 1,83	1-3 mm	TS EN 12697-20
Mastik penetrasyon artışı - 30 dakika sonraki artış	mm	0,13	≤ 0,4	TS EN 12697-20

Tablo 7. MAT ve TMA Karışım Dizayn Değerleri

ÖZELLİK	MAT		TMA		Deney Yöntemi
	Dizayn	KTŞ 2013	Dizayn	KTŞ 2013	
Briket yapımında uygulanacak darbe sayısı	75	75	50	50	TS EN 12697-30
Bitüm %' si (ağırlıkça, 100' e)	4,90±0,2	4,0-7,0	6,65 ± 0,2	≥ 6,5	TS EN 12697-1
Pratik Özgül Ağırlık, gr/cm ³	2,421	-	2,354	-	TS EN 12697-6
Marshall Stabilitesi, kg	1410	≥ 900	-	-	TS EN 12697-34
Boşluk, %	4	3- 5	3,0	2-4	TS EN 12697-8
Asfaltta Dolu Boşluk (VFA), %	72	65-75	-	-	TS EN 12697-8
Agregalar Arası Boşluk (VMA), %	14,52	14-16	17,2	≥ 17	TS EN 12697-8
Akma, mm	2,95	2-4	-	-	TS EN 12697-34
Filler/Bitüm Oranı	1,12	≤ 1,5	-	-	
Tekerlek İzinde Oturma (HWT 20.000 geçiş 5 cm kalınlık, 60° C) maks. mm)	4,0	≤ 4,5	2,5	≤ 3,5	TS EN 12697-22
Elyaf Miktarı, %	-	-	0,3	0,3-1,0	
İndirekt Çekme Mukavemeti Oranı (İÇM), %	84,9	≥ 80	93,1	≥ 80	AASHTO T 283
Schellenberg Bitüm Süzülme, %	-	-	0,11	≤ 0,3	TS EN 12697-18

4.2. Tekrarlı Yükler Altında Yorulma Deneyi

Yorulma deneyi “TS EN 12697- 24” standardına göre yapılmıştır. Bu deney sayesinde belirlenen sabit tekrarlı yükler altında kaplama tabakasının göstermiş olduğu davranış incelenmektedir.

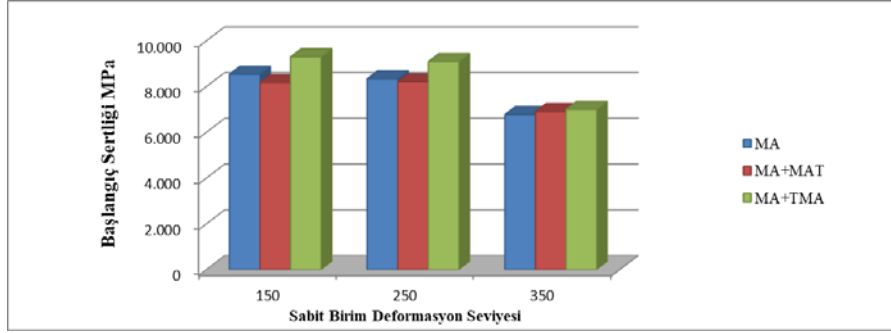
Yorulma deneyi sabit 10 Hz frekansta, sabit 150, 200 ve 350 birim deformasyon (strain) seviyelerinde yapılmış ve numunenin deney başlangıcındaki ölçülen rijitlik değerinin yarı değerine düştüğü anda deney sonlandırılmıştır.

MA için 20 adet 410x50x40 (mm) (L x d x h), çift tabakalı kaplama çeşitleri için 40 adet 410x50x55 (mm) boyutlarında olmak üzere toplam 60 adet yorulma deneyi numunesi hazırlanmıştır. Şekil 4’ de deney sonucunda oluşan çatlak gelişimini göstermek amacıyla örnek olmak üzere MA+TMA tipi üstyapı kesiti için hazırlanan numunenin röntgen cihazında çekilmiş görüntüsü verilmiştir.

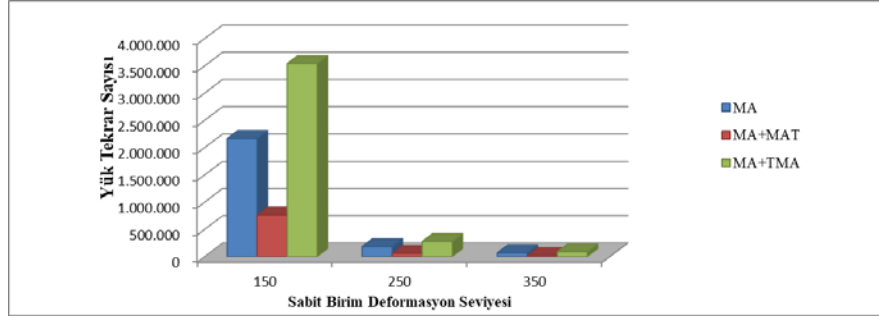


Şekil 4. MA+TMA Numunesinin Çatlak Görüntüsü

Şekil 5’ de numunelerin başlangıç sertlik değerleri ve Şekil 6’ da ise sertlik değerlerinin %50 azalmasına sebep olan yük tekrar sayıları grafikler üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 5. Numunelerin Birim Deformasyonlarda Başlangıç Sertlikleri

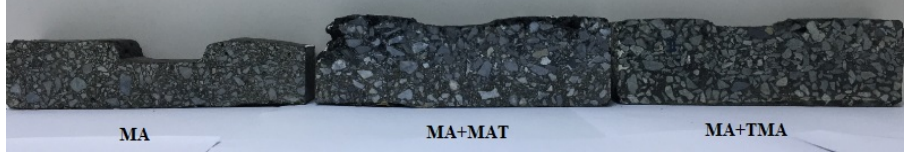


Şekil 6. Numunelerin Birim Deformasyondaki Yük Tekrar Sayıları

Yapılan deneyler sonucunda, sertlik modülünün yarısı kadar azaldığı yük tekrar sayıları sabit 250 birim deformasyonda MA için 186.421, MA+MAT için 59.955, MA+TMA için 278.718 değerleri elde edilmiştir.

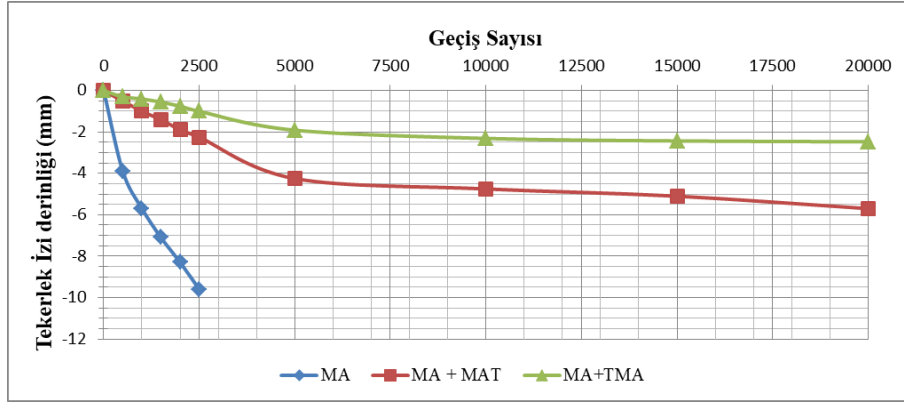
4.3. Tekerlek İzinde Oturma Deneyi

Tekerlik izi deneyi, bitümlü sıcak kaplamaların tekerlek yükleri altında kalıcı deformasyonlara karşı gösterdiği dayanımı ölçmek için uygulanmaktadır. TS EN 12697-22 standardında tanımlanan bu deney laboratuvar ve sahada alınan numuneler üzerinde uygulanabilmektedir. Tekerlek izi deneyi; Hamburg tekerlek izi cihazı kullanılarak, 60 °C' de ve 70 kN sabit yükte uygulanmıştır. Deney sonucunda oluşan tekerlek izi derinliği bitümlü sıcak karışımların deformasyon oluşumuna karşı dayanımını göstermektedir. Her bir farklı üstyapı tipi için tekerlek izinde oturma deneyi sonu numune kesitleri Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 7. Karışım Numunelerinin Deney Sonu Görüntüsü

Tek tabaka MA 2500 tekerlek geçişinde sonlandırılırken, MA+TMA ve MA+MAT olarak çift tabaka halinde hazırlanan numuneler 20.000 tekerlek geçişinden sonra sonlandırılmıştır. Geçiş sayısı ve tekerlek izi derinliği arası ilişki Şekil 8’ de çizilmiştir.



Şekil 8. Tekerlek İzinde Oturma Değerleri

Her bir karışım deney sonu tekerlek izi derinliği Şekil 9’ da gösterildiği gibi ölçülerek deformasyonlar hesaplanmıştır. Tablo 8’ de deney sonu tekerlek izi derinlikleri ve hesaplanan deformasyonlar yer almaktadır.



Şekil 9. Karışımların Kesit Ölçümleri

Tablo 8. Karışımların Deformasyon Miktarları

		Numune Kalınlığı (mm) L	Orta Ölçüm (mm)	Çökme Miktarı (mm) ΔL	Ortalama Çökme Miktarı (mm)	Deformasyon (ΔL/L) (%)	Ortalama Deformasyon (ΔL/L) (%)	(ΔL/L) (%)
MA	SOL	41,19	30,88	10,31	10,34	25,03	25,09	23,66
		41,20	30,89	10,31		25,02		
		41,35	30,88	10,47		25,32		
		41,21	30,91	10,30		24,99		
	SAĞ	40,03	31,18	8,85	8,93	22,11	22,23	
		40,43	31,43	9,00		22,26		
		40,04	31,08	8,96		22,38		
		40,31	31,38	8,93		22,15		
MA + MAT	SOL	59,94	53,72	6,22	6,43	10,38	10,78	9,48
		58,62	52,16	6,46		11,02		
		60,30	53,68	6,62		10,98		
		60,08	53,63	6,45		10,74		
	SAĞ	60,85	55,88	4,97	4,92	8,17	8,18	
		60,69	55,59	5,10		8,40		
		59,04	54,04	5,00		8,47		
		60,00	55,39	4,61		7,68		
MA + TMA	SOL	57,38	54,95	2,43	2,59	4,23	4,49	4,21
		57,94	55,24	2,70		4,66		
		58,03	55,15	2,88		4,96		
		57,55	55,19	2,36		4,10		
	SAĞ	57,32	55,21	2,11	2,25	3,68	3,92	
		57,49	55,13	2,36		4,11		
		57,57	55,32	2,25		3,91		
		57,53	55,25	2,28		3,96		

5. SONUÇ

Yapılan çalışmalarda varılan sonuçlar aşağıda açıklanmıştır.

Karışımların tekrarlı yükler altında yorulma deneyi sonuçlarına göre MA+TMA karışım numunelerinin başlangıç sertliği 9.000 MPa, MA+MAT başlangıç sertliği 8.000 MPa, MA başlangıç sertliği 8.500 MPa mertebelerinde bulunmuştur. Her birim deformasyonda karışımların başlangıç sertlik değerinin % 50 azalmasına sebep olan yük tekrar sayısı MA+TMA' nın daha fazladır (Şekil 5).

Tekerlek izinde oturma deneyinde tek tabaka mastik asfaltın diğer karışımlara göre daha düşük sayıda geçiş sayısında bile en fazla deformasyona uğramaktadır. Deformasyon değerlerine bakıldığında MA+TMA' nın, MA' ya göre 5,6 kat, MA+MAT' ya göre 2,2 kat daha iyi performans gösterdiği tespit edilmiştir (Tablo 8).

Geçiş sayılarındaki tekerlek izi derinliklerine bakıldığında MA+MAT' nin % 75' i, MA+TMA' nın % 77' si ilk 5000 devirde, MA için ise %60'ı ilk 1000 devirde oluşmuştur.

Yapılan deneylerle özellikle çelik köprü tabliyelerinde MA' nın elastik davranması ve su yalıtım sistemine katkısı ile TMA' nın kalıcı deformasyona direnci birleştiğinde kaplamadan beklenen yüksek performans ve hizmet ömrünün karşılanacağı anlaşılmaktadır.

Sonuç olarak, gerek yorulma ve gerekse tekerlek izi oluşumu açısından en avantajlı üstyapı tipinin MA+TMA olduğu görülmektedir. MA+MAT kaplama tipinin tekerlek izi oluşumu açısından performansı yüksek iken yorulma açısından dezavantajlı olduğu sonucu elde edilmektedir. Tek başına MA tipi kaplamaların uygulanmasının özellikle ağır taşıt trafiğinin yoğun olduğu durumlarda tekerlek izi oluşumu açısından kullanımının uygun olmadığı sonucuna varılmıştır.

KAYNAKÇA

Cheng, H., Liu L., Sun L., (2019), "Determination of Layer Modulus Master Curve for Steel Deck Pavement using Field-Measured Strain Data" Transportation Research Record 2019, 2673 (2), 617-627.

European Asphalt Pavement Association, (2013), Köprü Tabliyelerinde Asfalt Kaplamalar, EAPA Durum Tespit Dökümanı, Çev. Temren Z., 36, Brüksel.

Jacobs, M.M.J., (1995), Crack Growth in Asphaltic Mixes. Delft University of Technology, PhD Thesis, Netherlands.

Medani, T.O., (2001), Towards a New Design Philosophy for Asphalt Surfacing On Orthotropic Steel Decks, Report: 7-01-127-2, 65s.

Medani, T.O., (2006), Design Principles of Surfacing on Orthotropic Steel Bridge Decks, 300s.

Pokorski, P., Sarnowski, M., Radziszewski, P., (2015), " Rheological Propertise of Asphalt Mixtures for Bridge Pavements", Procedia Engineering, 111, 637-644

TS EN 12697-22, Bitümlü karışımlar- Sıcak asfalt karışımlar- Deney yöntemleri- Bölüm 22: Tekerlek izi, 2008.

TS EN 12697-24, Bitümlü karışımlar- Sıcak asfalt karışımlar- Deney yöntemleri- Bölüm 24: Yorulma direnci, 2018.

TS EN 13108-6, Bitümlü karışımlar- Malzeme özellikleri- Bölüm 6: Mastik asfalt, 2016.

Wang, S., Ke, Z., Zhang, Y., (2019), “Long-Term In Situ Performance Investigation of Orthotropic Steel Bridge Deck Strengthened by SPS and RPC Solutions” J. Bridge Eng. 2019, 24 (6).

Ye, H., Wang, X., Fang, N., Su, Z., (2019), “Low-Temperature Performance and Evaluation Index of Gussasphalt for Steel Bridge Decks” Hindawi Advances in Materials Science and Engineering, 2019(9), 1-11

ZTV Asphalt-StB 07, Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphalt, 2007.