



**T.C. İSTANBUL TİCARET  
ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇELİK KÖPRÜ ÜSTÜ KAPLAMA TABAKASI  
UYGULAMALARI**

**Çağlar EREN**

**Danışman  
Prof. Dr. Mustafa ILICALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
KENTSEL SİSTEMLER VE ULAŞTIRMA YÖNETİMİ ANABİLİM DALI  
İSTANBUL - 2019**

## KABUL VE ONAY SAYFASI

**Çağlar EREN** tarafından hazırlanan "**Çelik Köprü Üstü Kaplama Tabakası Uygulamaları** " adlı tez çalışması 24/06/2019 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde başarı ile savunularak, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** **Prof. Dr. Mustafa ILICALI**  
İstanbul Ticaret Üniversitesi



**Jüri Üyesi** **Prof. Dr. Tuncer TOPRAK**  
İstanbul Ticaret Üniversitesi



**Jüri Üyesi** **Doç. Dr. Halit ÖZEN**  
Yıldız Teknik Üniversitesi



**Onay Tarihi :** **09/07/2019**



**Prof. Dr. Necip ŞİMŞEK**  
**Enstitü Müdürü**

## AKADEMİK VE ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversitede veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

24.06.2019

  
**Çağlar EREN**

# İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
İÇİNDEKİLER .....	i
ÖZET .....	iii
ABSTRACT .....	iv
TEŞEKKÜR .....	v
ŞEKİLLER .....	vi
ÇİZELGELER .....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	ix
1. GİRİŞ .....	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ .....	4
3. KARAYOLU YAPISI .....	6
3.1. Karayolu Altyapısı .....	6
3.2. Karayolu Üstyapısı .....	7
3.2.1. Aşınma tabakası .....	8
3.2.2. Binder tabakası .....	8
3.2.3. Bitümlü temel tabakası .....	9
3.2.4. Temel tabakası .....	9
3.2.5. Alttemel tabakası .....	10
3.3. Karayolu Üstyapı Malzeme Özellikleri .....	10
3.3.1. Agregası .....	10
3.3.2. Bağlayıcılar .....	13
3.4. Yol Yapısında Meydana Gelen Bozulma Türleri .....	14
3.4.1. Deformasyonlar .....	15
3.4.2. Ayrışmalar .....	20
3.4.3. Çatlaklar .....	20
3.5. Köprü Kaplamalarında Meydana Gelen Bozulma Türleri .....	25
4. KÖPRÜLER VE KAPLAMA TABAKALARI .....	27
4.1. Köprülerin Sınıflandırılması .....	27
4.2. Ortotropik Tabliyeli Çelik Köprüler .....	31
4.3. Çelik Köprü Tabliye Kaplamaları .....	32
4.3.1. Astarlama tabakası .....	33
4.3.2. Su yalıtım sistemi .....	34
4.3.3. Bitümlü sıcak karışım tabakası .....	35
4.4. Çelik Köprü Üstü Kaplamalarda Kullanılan Bitümlü Sıcak Karışımlar .....	36
4.4.1. Mastik asfalt (MA) .....	36
4.4.2. Taş mastik asfalt (TMA) .....	40
4.4.3. Modifiye bitümlü aşınma asfaltı (MAT) .....	41
5. ÇALIŞMADA İZLENEN YÖNTEM VE KULLANILAN MALZEMELER .....	43
5.1. Deneysel Çalışma Yöntemi .....	43
5.2. Malzemeler .....	43
5.2.1. Agregası .....	43
5.2.2. Bitümlü bağlayıcılar .....	45
5.2.3. Karışım dizaynları .....	46
6. ÇELİK KÖPRÜ ÜSTÜ KAPLAMALARINA UYGULANAN DENEYLER .....	56
6.1. Tekrarlı Yükler Altında Yorulma Deneyi .....	57
6.1.1. Tekrarlı yükler altında yorulma deneyi yapılışı .....	57
6.1.2. Tekrarlı yükler altında yorulma deneyi sonuçları .....	59

6.2. Tekelek İzi Oturma Deneyi .....	64
6.2.1. Tekerlek izi oturma deneyi yapılışı .....	65
6.2.2. Tekerlek izi oturma deneyi sonuçları .....	66
7. İSTANBUL FSM KÖPRÜSÜ ÖRNEĞİ MALİYET ANALİZİ .....	69
7.1. Maliyet Hesabı .....	69
7.2. Maliyetlerin Karşılaştırılması .....	73
7.2.1. Yapım maliyeti .....	73
7.2.2. İşletme maliyeti .....	74
8. SONUÇ VE ÖNERİLER .....	82
KAYNAKLAR .....	85
ÖZGEÇMİŞ .....	88



# ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

## ÇELİK KÖPRÜ ÜSTÜ KAPLAMA TABAKALARI UYGULAMALARI

Çağlar EREN

İstanbul Ticaret Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mustafa ILICALI

2019, 88 sayfa

Ülkelerin ve o ülkeyi oluşturan insanların sosyal, ekonomik ve kültürel yapılarında ulaşım kavramı önemli bir yere sahiptir. Ulaşım farklı şekillerde yapılsa da ülkemizde ve dünyada ulaşım hacminin büyük bir kısmında karayolları tercih edilmektedir. Karayolu projelerinde amaç; yüksek maliyetli sanat yapılarının özellikle çelik asma köprülerin hesaplanan hizmet ömrünün verimli olması, kaplamalarda oluşacak gerek kalıcı gerekse elastik deformasyonlara karşı en uygun ürünün seçilerek sürüş kalitesini ve trafik güvenliğini en üst seviyede tutulmasıdır.

Çelik asma köprülerde, gerek trafik yüklerinin aşındırıcı etkileri gerekse köprü tabliyesini korozyona karşı korumak üzere genellikle mastik asfalt (harç tipi) kaplama tabakası kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra çelik köprü tabliyeleri üzeri üstyapı tabakası, mastik asfalt üzerine farklı tipte kaplama tabakaları ile de inşa edilmektedir. Bu tezde; üstyapı tiplerinin performanslarının değerlendirilmesi amacıyla; mastik asfalt kaplamalı, mastik asfalt üzeri taş mastik asfalt kaplamalı ve mastik asfalt üzeri modifiye bitümlü aşınma asfaltı kaplamalı 3 farklı üstyapı tipinin performansları ölçülmüştür. Her bir karışım için maliyet analizi yapılmıştır. Fatih Sultan Mehmet (FSM) köprüsü üstyapı kaplaması seçeneklerinin ilk yapım ve işletme maliyetleri hesaplanmış, en uygun bitümlü sıcak karışım tavsiyede bulunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** FSM, köprü kaplamaları, maliyet analizi, mastik asfalt, modifiye asfalt, taş mastik asfalt, tekerlek izi, yorulma.

# **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

## **ASPHALT PAVEMENT APPLICATIONS OF STEEL BRIDGE DECK**

**Çağlar EREN**

**İstanbul Commerce University  
Graduate School of Applied and Natural Sciences  
Department of Urban Systems and Transportation Assessment**

**Supervisor: Prof. Dr. Mustafa ILICALI**

**2019, 88 pages**

Transportation has an important place in the social, economic and cultural structures of the countries and their citizens. Although there are different modes of transportation, road transportation is the most preferred mode in transportation systems in our country and the world. The main purpose of road and bridge construction projects are to maximize the life expectancy of these high-cost structures especially steel bridge and to ensure that the most suitable materials with high resistance against both permanent and elastic deformations are chosen to improve quality of riding comfort and safety.

In steel bridges, generally, the mastic asphalt (mortar) is used to protect the bridge deck against corrosion by both the abrasive effects of the traffic loads. In addition, the steel bridge decks is constructed with different types of coating layers on the mastic asphalt. In this thesis, fatigue and rutting tests were performed on mastic asphalt, mastic asphalt on the stone mastic asphalt and mastic asphalt on modified bitumen asphalt mixtures. The initial and operating costs of each mixture were calculated Fatih Sultan Mehmet Bridge (FSM) bridge and the most suitable bituminous hot mixture was recommended.

**Keywords:** FSM, bridge coatings, cost analysis, mastic asphalt, modified asphalt, stone mastic asphalt, rutting, fatigue.

## TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Prof. Dr. Mustafa ILICALI' ya teşekkürlerimi sunarım.

Araştırmanın yürütülmesinde maddi ve manevi yardımlarını gördüğüm Süleyman GİRİT, Fatma Hilal NACAR ve Hasan Tahsin BELLİCİ olmak üzere tüm laboratuvar çalışanlarına, tezimin her aşamasındaki desteklerinden dolayı İSFALT A.Ş. ailesine teşekkür ederim.

Hayatım boyunca bana değer katan, bana destek olan, beni yalnız bırakmayan tüm insanlara ve aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Çağlar EREN  
İSTANBUL, 2019



## ŞEKİLLER

	<b>Sayfa</b>
Şekil 1.1. Çelik köprü tabliyesi üstyapı kaplama tipleri .....	2
Şekil 3.1. Tipik bir yol kesiti ve esnek üst yapısı.....	6
Şekil 3.2. Rijit üstyapı kesiti .....	7
Şekil 3.3. Esnek üstyapı kesiti .....	8
Şekil 3.4. Asfalt tabakaları .....	9
Şekil 3.5. Bitümün farklı sıcaklıklardaki davranışı.....	14
Şekil 3.6. Tekerlek izi oluşumu.....	16
Şekil 3.7. Yapısal tekerlek izi .....	17
Şekil 3.8. Akma tekerlek izi .....	17
Şekil 3.9. Yüzeysel tekerlek izi.....	18
Şekil 3.10. Ondülasyon bozulması .....	19
Şekil 3.11. Çökme bozulması .....	19
Şekil 3.12. Timsah sırtı çatlak görüntüsü.....	21
Şekil 3.13. Büzülme çatlak görüntüsü.....	22
Şekil 3.14. Kenar çatlak görüntüsü .....	22
Şekil 3.15. Derz çatlak görüntüsü .....	23
Şekil 3.16. Kayma çatlak görüntüsü .....	24
Şekil 3.17. Yansıma çatlak görüntüsü.....	24
Şekil 3.18. Köprü kaplamalarında meydana gelen bozulma örnekleri .....	26
Şekil 4.1. Kemer Köprüler .....	28
Şekil 4.2. Kafes sistemli köprüler.....	29
Şekil 4.3. Asma köprüler .....	30
Şekil 4.4. Eğik gergili köprüler .....	30
Şekil 4.5. Ortotropik çelik köprü tabliyelerinin iki temel türü.....	31
Şekil 4.6. Ortotropik köprü kesiti gerilmelerin olduğu yerler .....	32
Şekil 4.7. MA finişeri.....	37
Şekil 4.8. MA el işçiliği.....	38
Şekil 4.9. Özel ısıtıcı MA taşıyıcısı .....	38
Şekil 4.10. Cipping uygulaması ve sıkıştırılması.....	38
Şekil 4.11. Trinidad göl asfaltı (TNAC) .....	39
Şekil 4.12. Selülozik elyaf katkı maddesi .....	40
Şekil 5.1. Çalışmanın aşamaları .....	47
Şekil 5.2. MAT karışım gradasyon grafiği .....	48
Şekil 5.3. Hazırlanan Marshall kontrol briketleri.....	49
Şekil 5.4. Marshall test cihazı.....	49
Şekil 5.5. TMA karışım gradasyon grafiği .....	51
Şekil 5.6. MA karışım gradasyon grafiği .....	53
Şekil 5.7. Karışımların gradasyon eğrileri .....	55
Şekil 6.1. Performans deneyleri yapılan üstyapı karışım tipleri .....	56
Şekil 6.2. Tekrarlı yükler altında yorulma deneyi numuneleri.....	57
Şekil 6.3. Karışım numuneleri hazırlanması ve 4 nokta yorulma deney aleti .....	58
Şekil 6.4. 4 nokta yorulma deneyi çalışma prensibi.....	58
Şekil 6.5. Numunelerin birim deformasyonlarda başlangıç sertlikleri .....	60
Şekil 6.6. Numunelerin birim deformasyondaki yük tekrar sayıları .....	60
Şekil 6.7. Karışımların sertliklerinin yarı değerine ulaştıkları tekrar sayısı grafiği ....	61
Şekil 6.8. 150 mstr' de gerilme değişim grafiği .....	61

Şekil 6.9. 250 mstr' de gerilme değişim grafiği .....	62
Şekil 6.10. 350 mstr' de gerilme değişim grafiği .....	62
Şekil 6.11. MA+TMA numunelerinde oluşan kılcal çatlaklar görüntüleri .....	63
Şekil 6.12. Hamburg tekerlek izi deney aleti .....	64
Şekil 6.13. Karışım numunelerinin tekerlek izi oturma deneyi hazırlık süreci .....	65
Şekil 6.14. Karışımların tekerlek izi değeri .....	66
Şekil 6.15. Karışım numunelerinin deney sonu görüntüsü .....	66
Şekil 6.16. Karışımların kesit lmleri .....	67
Şekil 7.1. Yol styapısı performans eğrisi .....	75
Şekil 7.2. FSM köprüsü tekerlek izi derinlik lm .....	77



## ÇİZELGELER

	<b>Sayfa</b>
Çizelge 3.1. Agregalara yapılan deneyler .....	12
Çizelge 3.2. Bitüm penetrasyon sınıfları .....	13
Çizelge 3.3. Bitümlü bağlayıcılara yapılan deneyler .....	14
Çizelge 4.1. MA uygulama kalınlıkları .....	37
Çizelge 4.2. Trinidad göl asfaltı özellikleri .....	39
Çizelge 4.3. Bağlayıcılarda kullanılan modifiye katkıları .....	42
Çizelge 5.1. Agregaların fiziksel ve mekanik özellikleri .....	44
Çizelge 5.2. B 50/70 bitüm özellikleri .....	45
Çizelge 5.3. %50 B 50/70 ve % 50 TNAC içeren bağlayıcı özellikleri .....	45
Çizelge 5.4. % 5 SBS içeren bağlayıcı özellikleri .....	46
Çizelge 5.5. MAT agrega kullanım oranı ve karışım gradasyonu .....	47
Çizelge 5.6. MAT dizayn değerleri .....	48
Çizelge 5.7. MAT kontrol briketleri değerleri .....	50
Çizelge 5.8. TMA agrega kullanım oranı ve karışım gradasyonu .....	50
Çizelge 5.9. TMA dizayn değerleri .....	51
Çizelge 5.10. TMA kontrol briketleri değerleri .....	52
Çizelge 5.11. MA agrega kullanım oranı ve karışım gradasyonu .....	53
Çizelge 5.12. MA dizayn değerleri .....	54
Çizelge 5.13. MA kontrol briketleri penetrasyon değerleri .....	54
Çizelge 6.1. Deneyler için hazırlanan üstyapı karışım tiplerinin ağırlıkları .....	56
Çizelge 6.2. Tekrarlı yükler altında yorulma deneyi sonuçları .....	59
Çizelge 6.3. Karışımların deformasyon miktarı .....	68
Çizelge 7.1. 01.03.2019 tarihli kur fiyatları .....	69
Çizelge 7.2. MAT maliyet analizi .....	70
Çizelge 7.3. TMA maliyet analizi .....	71
Çizelge 7.4. MA maliyet analizi .....	72
Çizelge 7.5. Çelik köprü üstyapı tabakaları m <sup>2</sup> maliyetleri .....	74
Çizelge 7.6. FSM köprüsü üstyapı kaplama maliyetleri .....	74
Çizelge 7.7. 2012-2019 FSM köprüsünden geçen araç ve eşdeğer standart dingil geçiş sayısı .....	76
Çizelge 7.8. Üstyapı kaplama deformasyon miktarları ve kaplama ömürleri .....	78
Çizelge 7.9. 1 m <sup>2</sup> tek kat micro-surfacing maliyeti .....	79
Çizelge 7.10. FSM köprüsü mikro-surfacing uygulama maliyeti .....	80
Çizelge 7.11. 50 yıllık FSM köprüsü üstyapı kaplaması imalat ve bakım çizelgesi ..	80
Çizelge 7.12. 50 yıllık FSM köprüsü üstyapı kaplaması toplam maliyetler .....	81

## SİMGELER VE KISALTMALAR

h	Bitümlü kaplama kalınlığı
km	Kilometre
kN	Kilonewton
m	Metre
m <sup>2</sup>	Metrekare
mm	Milimetre
Mpa	Megapascal
°C	Santigrat derece
TL	Türk Lirası
Δh	Tabaka kalınlığındaki azalma

B	Bitüm
BS	British standart
BSK	Bitümlü sıcak karışım
EAPA	European asphalt pavent
EN	European norm
FSM	Fatih Sultan Mehmet Köprüsü
İSFALT A.Ş.	İstanbul Asfalt Fabrikaları Anonim Şirketi
KGM	Karayolları Genel Müdürlüğü
KTŞ	Karayolları Teknik Şartnamesi
MA	Mastik asfalt
MAT	Modifiye bitümlü aşınma asfaltı
PEN.	Penetrasyon
PMB	Polimer modifiye bitüm
SBS	Stiren-Butodien-Stiren polimer
TCMB	Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası
TMA	Taş mastik asfalt
TNAC	Trinidad göl asfaltı
TÜPRAŞ	Türkiye Petrol Rafinerileri Anonim Şirketi

# 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 sistemlerine bakıldığında karayolu ulaşımı, deniz ve havayolu taşımacılığına nazaran daha çok bölgeye ulaşım sağlaması ve ilk yatırım maliyeti diğer sistemlere göre daha düşük olması sebebiyle ilk akla gelen yöntemdir. Ancak yapımı ve kullanımı ekonomik olsa da, standartlara ve projelerine uygun yapılmayan yol kaplamaları ile kurumlar arası koordinasyon eksikliğinden dolayı yol kaplamasına verilen hasarların bakım çalışmaları sırasında oluşan trafik tıkanıklığı zaman kaybı, yakıt tüketimi ve çevresel etkiler başta olmak üzere yüksek maliyetlere sebep olmaktadır.




Ülkemiz dalgalı ve dağlık topoğrafik bir yapıya sahip olmasından dolayı; vadi kesimlerinde iki yükselti arası ve su geçişlerinde ulaşımın sağlanması için köprü ve viyadükler gibi sanat yapıları önemli bir role sahiptir. Yol güzergahında bulunan engebeleri aşmak ve zamandan tasarruf etmek için alternatifsiz bir seçenek olan köprü ve viyadükler, trafik hacmindeki artış ile beraber dingil yüklerinin artması ve iklim koşullarının olumsuz etkileri karayolu ulaştırma sisteminde kaplamanın deforme olmasına en müsait yapılar olarak karşımıza çıkmaktadır. Bundan dolayı uygun kaplama tipi ile yapılmayan sanat yapıları kaplamalarının yapım ve bakım maliyetlerinin yanında, yapım ve bakım sırasında oluşan kapasite azalmasından dolayı ilave trafik tıkanlıkları da oluşmaktadır. Bu tıkanlıklardan dolayı zaman kaybı, yakıt tüketimi ve çevresel etkilerde artışlar görülmektedir. Bu olumsuzlukların en aza indirgenmesi için özellikle çelik asma köprü kaplama tabakası uygulamalarında bakım çalışmalarını minimuma indirgeyen ve hizmet ömrünü arttıran kaplama tabakalarının araştırılması bu tez çalışmasının amacını oluşturmaktadır.

Türkiye’ de ve ülkemiz dışında yapılan örnek çalışmalarda trafiğin maliyetinin en önemli bileşenin % 90 ile seyahat zamanı olduğu, bunu % 5 ile bakım, % 3 ile

yakıt ve % 2 ile diğer (lastik aşınma, yağ, hava kirliliği) giderlerin oluşturduğu görülmüştür. Ülkemizin metropol şehri ve bir o kadarda trafik sorununu barındıran İstanbul için yapılan çalışmada zaman değeri 3,57 \$/saat/kişi olduğu ortaya konulmuştur (Öztürk, 2005).

Üstyapının hizmet ömrünü arttırmak için tabaka kalınlıklarının artırılması veya kullanılacak hammadde özelliklerinin iyileştirilmesi ve performans artırıcı katkıları ilave edilmesi gerekmektedir. Köprü gibi yapılarda ilk seçenek olan tabaka kalınlıklarını artırılması yapının statğine ilave sabit yük getireceğinden tercih edilmemektedir. İkinci seçenek olan performans artırıcı katkıları ve dayanımı yüksek agregalar kullanılarak uzun ömürlü, dayanıklı kaplamalar tercih edilmesi daha uygundur.

Çalışma kapsamında birinci aşamada çelik asma köprülerde, gerek trafik yüklerinin aşındırıcı etkisine gerekse köprü tabliyesini korozyona karşı etkili mastik asfalt (MA), dayanımları yüksek kabul edilen taş mastik asfalt (TMA) ve modifiye bitümlü aşınma asfaltı (MAT) için Marshall kontrol briketleri hazırlanarak testler yapılmıştır. Çıkan sonuçlar neticesinde Şekil 1.1’de gösterilen tek tabaka MA, çift tabaka MA üzerine MAT ve MA üzerine TMA kaplamalı 3 farklı üstyapı tipine tekrarlı yükler altında yorulmaya ile tekerlek izi oturma deneyleri uygulanarak performansları ölçülmüş, her bir kaplamanın maliyet analizi yapılmıştır.

		
MA	MA+MAT	MA+TMA

Şekil 1.1. Çelik köprü tabliyesi üstyapı kaplama tipleri

İkinci aşamada tek tabaka MA uygulanan FSM köprüsü üstyapı tabakasında yapılan tekerlek izi derinliği ölçümleri ile laboratuvar şartlarında ele edilen performans sonuçları karşılaştırılarak, 3 farklı üstyapı tabakası için hizmet ömrü belirlenmiştir. Bu tabakalar için FSM köprüsü ilk yapım ve işletme maliyetleri hesaplanarak, hem performans hem de maliyet açısından en uygun üstyapı kaplama tipi tavsiye

edilmiştir. Tez çalışmasının birinci bölümünde çalışmanın amacı ve yöntemi anlatılmış, diğer bölümlerde neler bulunduğu ifade edilmiştir.

İkinci bölümde çelik köprü ve kaplamaları üzerine yapılan araştırmalar sonucunda elde edilen bilgilerin sunulduğu literatür taraması verilmiştir.

Üçüncü bölümde, karayolu altyapısı ve üstyapısından bahsedilmiş, esnek üstyapıyı oluşturan tabakalar ile bu tabakalarda kullanılan malzemeler anlatılmıştır. Ayrıca karayolu esnek üstyapısında meydana gelen bozulma türleri açıklanmıştır.

Dördüncü bölümde köprü tanımı yapıp, sınıflarından bahsedilmiştir. Bunun yanında kaplamadan önce yapılan yalıtım tabakaları ele alınmış ve tabliye kaplamalarında kullanılan bitümlü sıcak karışımlar belirtilmiştir.

Beşinci bölümde belirlenen bitümlü sıcak karışımlara uygulanacak deneylerde izlenecek yöntem ve kullanılan agrega, bitüm ve katkıların fiziksel özellikleri tespit edilerek, deneylerde kullanılacak karışımların dizayn kriterleri belirlenmiştir.

Altıncı bölümde köprü üstyapı kaplamalarında ilk deformasyon olan tekerlek izi ve yorulma çatlaklarının belirlemek amacıyla yapılan deneylerden bahsedilmiştir. Tekrarlı yükler altında yorulma deneyi ve tekerlek izi oturma deney süreci anlatılarak, uygulanan deneylerin sonuçları verilmiştir.

Yedinci bölümde karışımlarının maliyet analizleri yapılarak, FSM köprüsü üstyapı kaplamasındaki tekerlek izi derinliği ölçümü ile laboratuvarında elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çıkan sonuçlar neticesinde üstyapı kaplamalarının hizmet ömrü belirlenmiştir. 3 farklı kaplama için FSM köprüsü ilk yapım ve işletme maliyetleri hesaplanmıştır.

Sonuç bölümünde ise yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar ve temel tespitler ifade edilerek hem performans hem de maliyet açısından en uygun üstyapı tipi tavsiye edilmiştir.

## 2. LİTERATÜR ÖZETİ

Ülkemizin iki kıtayı birbirine bağlaması ve engebeli bir topoğrafyaya sahip olması ile yol taşımacılığında % 88,9, yük taşımacılığında ise % 90 oranında karayollarının tercih edilmesi sebebiyle çelik köprülerin bitümlü sıcak kaplama tasarımları önem arz etmektedir.

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 şartlarında 5 yıl iyi performans sergilediği tespit edilmiştir. Bu tarihten sonra ortotropik köprüler üzerinde asfalt karışımlarla elde edinilen deneyimler 2. Dünya savaşı sonrasında başta Almanya olmak üzere, Hollanda ve Fransa’da geliştirilmiştir (Medani, 2001).

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 olmasından dolayı farklı kaplamaların kullanılması 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.

Monfred vd. (2003), köprü tabliyelerinde kullanılan su yalıtım membranları ile mastik asfaltın uyumluluğunu araştırmışlardır. Mastik asfaltta oluşacak termal çatlaklardan bahsetmişlerdir.

Wang vd. (2005), Jiangyin köprü kaplamasında incelemeler yapmışlardır. Yüksek sıcaklık, mastik asfaltın yetersiz yapışması, aşırı yüklü taşıtlar ve düşük seyahat hızı



köprülerde tercih edilen kaplama olan mastik asfalt bozulmalarında en önemli etken olduğu ortaya koymuşlardır.

Pokorski vd. (2015), çalışmasında köprü tabliyelerinde kullanılan bitümlü sıcak karışımların (BSK) farklı sıcaklıklarda ve farklı frekanslarda sertliklerini laboratuvar deneyleri ile inceleyerek karşılaştırması yapmışlardır. Yüksek sıcaklıkta karışımların sertlikleri kaplamanın yorulması bir avantaj oluştururken, düşük sıcaklıkta ise sertliğin dezavantaja dönüştüğünden bahsetmişlerdir. Yüksek oranda kum içerikli SMA-MA asfaltın yapısının köprü tabliyeleri için uygun ürün olduğunu açıklamaktadırlar.

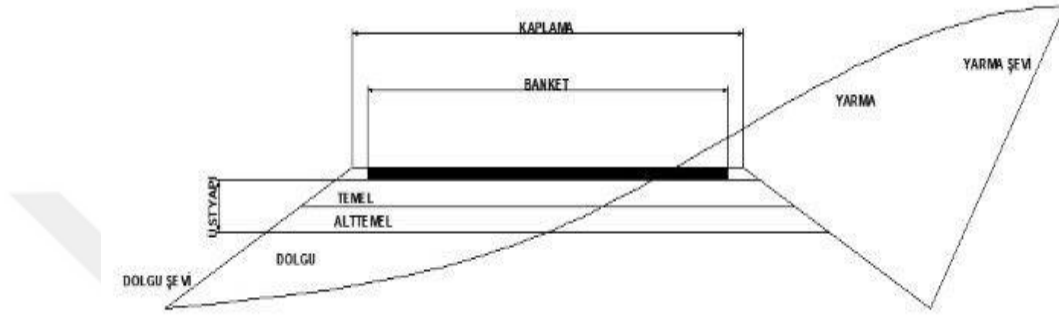
EAPA (2016) tarafından yayınlanan “Köprü tabliyelerinde asfalt kaplamalar durum tespit dokümanı’nda çelik ve beton köprü tabliyelerinde kullanılan bitümlü sıcak karışım tabakalarına yer verilmiş, her iki köprü tipinin de yapısal farklılıklarından bahsedilmiştir. Aynı dokümanda, köprü üzerinde aşınma asfaltı, taş mastik asfalt, mastik asfalt gibi asfalt kaplama tiplerinin bulunduğundan bahsedilmektedir.

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 doğrultuda ki 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 artması düşük sıcakta performansını azalttığını, ince agrega gradasyonunun kaba agrega gradasyonuna göre daha iyi performans gösterdiği sonucuna varmışlardır.

### 3. KARAYOLU YAPISI

Karayolu yapısı, ‘önceden belirlenen geometrik standartlara bağlı olarak saptanmış olan güzergah boyunca doğal zeminin istenen yükseltilere getirilmesi ve üzerinde motorlu taşıtların hız, güvenlik ve konfor koşulları altında hareketlerinin sağlanabilmesi için inşa edilen yapılardır’ şeklinde tanımlanmaktadır (Özen, 2004).



Şekil 3.1. Tipik bir yol kesiti ve esnek üst yapısı

#### 3.1. Karayolu Altyapısı

Yapımı tamamlanmış bir karayolunda tesviye yüzeyi ile doğal zemin çizgisi arasına altyapı denir. Altyapı dolgu kesimlerinde dışarıdan getirilen dolgu malzemesi, yarma kesimlerinde ise doğal zemindir. Ayrıca menfez, viyadük, istinat duvarı gibi sanat yapıları da altyapıya dahildir.

Karayolu altyapısının görevleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- İstenen kotta düzgün yüzey sağlamak,
- Üst yapıdan gelen yükleri daha geniş alana yaymak,
- Az da olsa yolu dış etkenlerden korumak.

Bu görevleri altyapının yerine getirebilmesi için trafik yükleri, don ve su etkilerine karşı dayanıklı malzemedен oluşturulmalıdır (Özen, 2004).

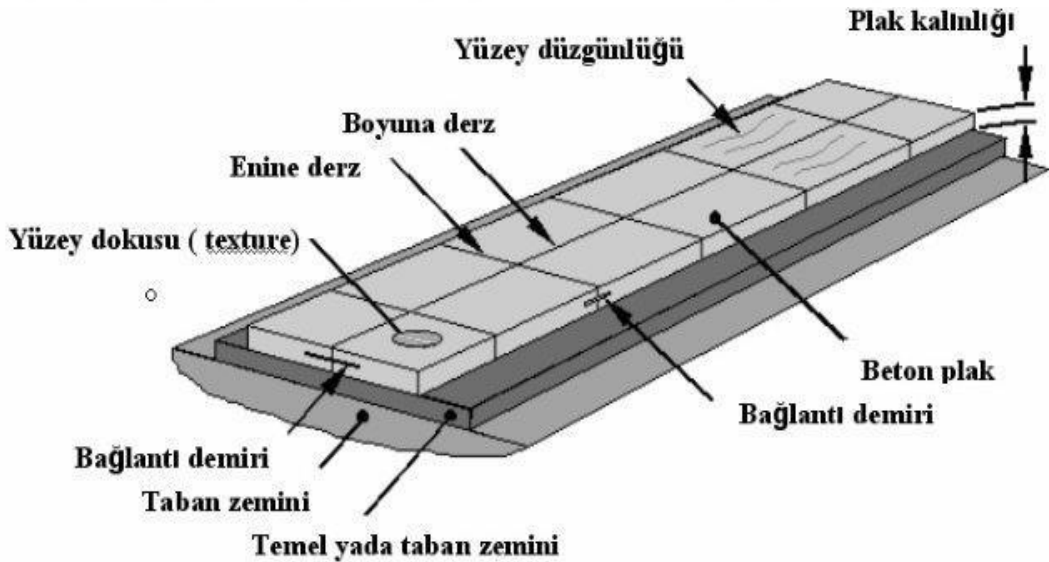
### 3.2. Karayolu Üstyapısı

Yol üstyapısı, trafik yüklerini taban zemine aktaran ve tabakalar halinde inşa edilen yapıdır.

Üstyapı, taşıtların düzgün bir yuvarlama düzeyi sağlamak, karayolu üstyapısına gelen trafik yüklerini altyapının taşıyabileceği değerlere indirmek, altyapıyı dış etkilerden korumak amacıyla altyapının üzerine inşa edilen ve kaplama, temel ve alttemel tabakalarından oluşan tabakalı yol yapısına denir (Umar ve Ağar, 1985).

Karayolu üstyapısı rijit ve esnek olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Malzemeleri birbirine bağlayan malzeme çimento ise rijit, bitüm ise esnek üstyapı olarak adlandırılmaktadır.

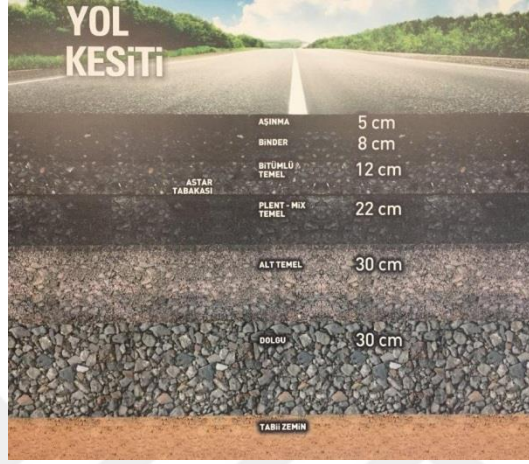
Şekil 3.2’de gösterilen rijit üstyapılar, taban zemini üzerine inşa edilen beton plaklardan oluşmaktadır. Beton plaklar enine ve boyuna derzlerle birbirinden ayrılmaktadır.



Şekil 3.2. Rijit üstyapı kesiti (TMMOB, 2003)

Rijit üstyapıları, esnek üstyapıdan ayıran en önemli özellik üzerine gelen trafik yüklerini sönmüleyerek taşıyabilmesidir.

Asfalt kaplama tabakalarıyla oluşturulan üstyapıya esnek üstyapı denir. Şekil 3.3’de gösterilen esnek üstyapı, tesviye yüzeyiyle sıkı bir temas sağlayan ve trafik yüklerini, kaplama, temel ve alttemel tabakaları yoluyla taban zeminine dağıtan bir üstyapı şekli olup, stabilitesi, adezyon, tane sürtünmesi ve kohezyon gibi kullanılan agrega ve bitümlü bağlayıcının özelliklerine bağlıdır (İlıcılı vd., 2001).



Şekil 3.3. Esnek üstyapı kesiti

### 3.2.1. Aşınma tabakası

Üstyapının en üst tabakası olan aşınma tabakası genellikle 5 cm kalınlığında uygulanmaktadır. Bu tabakanın görevi, gelen yükleri dağıtarak alt tabakalara iletmektir.

Ağır trafikli devlet yollarında, otoyollarda ve köprülerde aşınma tabakasında yüksek mukavemetli, kayma direnci yüksek olan taş mastik asfalt gibi bitümlü sıcak karışımlar kullanılmaktadır (Hacıoğlu, 2013).

### 3.2.2. Binder tabakası

Binder tabakası, yoğun gradasyonlu geleneksel tip asfalt olup, bitümlü temel tabakası ile aşınma tabakası arasındaki ara tabakadır. Üzerine gelen trafik yüklerinin bitümlü temel tabakasına yayarak iletilmesini sağlar. Binder tabakası trafiğe bağlı olarak genellikle 6-8 cm kalınlığında uygulanmaktadır (Hacıoğlu, 2013).

### 3.2.3. Bitümlü temel tabakası

Trafiğe bağlı olarak genellikle 8-15 cm kalınlıklarında uygulanan bitümlü temel tabakası, genellikle bağlayıcısız plent-miks üzerine uygulanan yoğun gradasyonlu bir asfalt tabakasıdır. Bitümlü temel tabakasını oluşturulan tanelerin maksimum boyutu 1½" (37,5mm)'dir.

Bu tabakada iri tanelerin kullanılmasından dolayı boşluklu bir yapı oluşur; bu boşluk sayesinde tabandan gelen kuvvetler bir üst tabakaya ulaşmaz. Şekil 3.4'de asfalt tabakalarının gösterimi bulunmaktadır (Hacıoğlu, 2013).



Şekil 3.4. Asfalt tabakaları (Hacıoğlu, 2013)

### 3.2.4. Temel tabakası

Temel tabakası, üstyapıyı oluşturan tabakalardan biri olup, kaplama tabakası ve alt temel tabakası arasında yer alan, granülometrisi, fiziki özellikleri bakımından alttemel tabakasına göre daha iyi olan doğal kum, doğal çakıl veya kırma taş ile az miktarda bağlayıcı ince malzemeden oluşan tabakadır. Kaplama tabakasından gelen trafik yüklerini, alttemel tabakalarına ve taban zeminine kabul edilebilir basınç gerilmesi seviyesine düşürerek ulaştırmakta ve yola belirli bir esneklik sağlayarak kırılmasını önlemektedir. Yol gövdesinde özel önemi olan bu tabakanın başlıca görevi, kaplamaya gelen trafik yükünü, alttemel tabakasıyla birlikte taban üzerine yayarak, trafiğin darbe etkisini azaltmaktır (Umar ve Ağar,1991).

### **3.2.5. Alttemel tabakası**

Tesviye yüzeyi üzerine serilen ve taban yüzeyi ile temel tabakası arasında yer alan genellikle belli bir granülometrisi olan ve incesi az, kum, çakıl, yüksek fırın cürufu gibi daneli granüler malzemelerden oluşan tabakadır. Kaplama ve temel tabakasından gelen trafik yükü etkilerini taban zemini üzerine yayılmasında temel tabakasına yardımcı eleman olarak yer almakta ayrıca su ve don tesirine karşı tampon bölge vazifesi görmektedir (Umar ve Ağar,1991).

### **3.3. Karayolu Üstyapı Malzeme Özellikleri**

Esnek karayolu üstyapısında ana taşıyıcı olarak agregalar ve bunların birbirine bağlantısını sağlamak üzere hidrokarbon içerikli bitümlü bağlayıcılar kullanılmaktadır.

#### **3.3.1. Agregalar**

Agregalar yol yapımında kullanılan ana hammaddelerdir. Granüler temel ve alttemel tabakalarının tamamını, sıcak asfalt karışımların ağırlıkça %90-95'ini ve hacimce %80-85'ini oluşturmaktadır. Agregaların hem kaplamanın stabilitesine olan büyük katkısı, hem de fazla miktarda kullanılmasından dolayı önemi çok büyüktür. Agregaların mineralojik, boyut, gradasyon, biçim ve yüzey dokusu, parazite, yüzey alanı gibi özellikleri asfalt kaplamaların her bir tabakası için ayrı ayrı önem kazanmaktadır (Tunç, 2004).

Agregalar doğal ve yapay agregalar olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır.

- **Doğal agregalar**

Doğal olarak oluşmuş kayalardan fiziksel yollarla doğrudan doğruya elde edilen kırma taş, çakıl ve kum malzemeleridir. Doğal agregalar oluştukları doğal kayalar itibariyle sınıflandırılırlar (Önalp, 1983).

Doğal kayalar orjinlerine göre mağmatik, tortul ve metamorfik kayalar olmak üzere  grupta toplanır (Ilıcalı vd., 2001).

- Mağmatik kayalar

Yer kabuğunun derinliklerinde bulunan mağmanın soğuyarak katılaşması ile oluşan ve kristal bünyelidir (Umar ve Ağar, 1991).

- Tortul kayalar

Mevcut her türlü kayanın dağılması, aşınması ve dağılan parçaların veya eriyiklerin nakledilmesi, deniz veya gl gibi sedimantasyon havzalarında tortulaşması (kmesi) ve daha sonra bunların katılaşması sonucu oluşan taşlara denir (Umar ve Ağar, 1991).

- Metamorfik kayalar

Mağmatik ya da tortul kayaların yüksek ısı, yüksek basınç, su buharı ve çeşitli bileşimdeki gazların etkisi ya da mekanik olarak şekil değiştirmesi ile değişik bir yapı, doku ve mineralojik bileşim kazanması sonucunda oluşan kayalardır (Umar ve Ağar, 1991).

- **Yapay agregalar**

Endüstriyel işlemler sonucu elde edilen yapay agregalar  gruba ayrılır.

- Cüruflar

Demir filizinin endüstride indirgenmesi sırasında atık madde olarak elde edilen cüruf, kalsiyum, alüminyum ve magnezyumun çeşitli kompleks karışımıdır. Yol inşaatında kullanılan cüruflar çoğunlukla yüksek fırın cruflarıdır (Umar ve Ağar, 1991).

- Klinker

Fırınlardan bir artığı olup küllerinin eriyerek topraklar halinde gelmesinden oluşur. Klinker çok değişebilen bir malzemedir. Bu nedenle de yalnız bu iş için hazırlanmış şartnamelere uygun klinker asfalt kaplama yapımında kullanılabilirler (Umar ve Ağar, 1991).

- Çimento

Çimento ilave edildiği bitümlü karışımda yalnızca filler olarak görev görür, bağlayıcı özelliğinden yararlanılmaz. Çimento, standart granülometrik bileşimi, saflığı ve bitümlü bağlayıcılarla herhangi bir reaksiyona girmemesi nedeniyle filler olarak kullanılmaya çok uygundur (Umar ve Ağar, 1991).

Esnek yol kaplamalarında kullanılacak agreganın kökeni ne olursa olsun, her kaplama türü için şartnamelerde verilen fiziksel özellikleri sağlaması gerekir. Kaba ve ince agregalara yapılan deneyler Çizelge 3.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Agregalara yapılan deneyler

<b>Deneyler</b>	<b>Deney Yöntemi</b>
<b>Kaba Agregada Deneyleri</b>	
Elek Analizi	TS EN 933-1
Yassılık İndeksi	TS EN 933-3
Cilalanma Deneyi	TS EN 1097-8
Parçalanma Direnci (Los Angeles)	TS EN 1097-2
Su Emme	TS EN 1097-6
Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık	TS EN 1367-2
Soyulma Mukavemeti	TS EN 12697-11
<b>İnce Agregada Deneyleri</b>	
Plastisite İndeksi	TS 1900-1
Organik Madde	TS EN 1744-1
Su Emme	TS EN 1097-6
Metilen Mavisini	TS EN 933-9



### 3.3.2. Bağlayıcılar

Bitüm, petrolün damıtımı esnasında ortaya çıkan, rengi koyu kahve ile siyah arasında, yüksek viskoz, hidrokarbon bir atıktır. Bu damıtım, doğada asfalt göllerinde kendiliğinden oluşmakta veya petrol rafinelerinde yapılmaktadır. Bitüm, yüksek oranda ağır hidrokarbonlardan oluşan katı, yarı katı ya da viskoz bağlayıcılara verilen genel isimdir. Bitümün en geniş kullanım alanı yollardır. Sıcak karışımlarda bitüm, su geçirmez, termoplastik ve viskoelastik bir bağlayıcı olarak çalışmaktadır. Isıtıldığında yumuşayarak akışkan hale gelir ve bu bitümlü sıcak karışım üretimi esnasında agreganın kaplanmasını sağlar; soğuduğunda ise sertleşerek parçacıkları bir arada tutar. Agregata tanecikleri arasındaki aderans onu iyi bir bağlayıcı yapmaktadır. Birçok asit, alkali ve tuzdan da etkilenmemektedir. Bu da iyi üretilmiş bitümlü sıcak karışımın kesinlikle geçirimsiz ve pek çok kimyasala dayanıklı olduğunu göstermektedir. Bitüm sıcak karışımların ağırlıkça %3-8'ini oluşturmaktadır. Buda sıcak karışımların miktarına ve tiplerine bağlı olarak toplam maliyetin %25-30'una denk gelmektedir (Ayçiçek, 2011).

Türkiye'de halen kullanılan bitüm sınıflandırma sisteminde, bitümün penetrasyon değeri esas alınmaktadır. Penetrasyon deneyi bütün sınıflar için 25 C'de yapılmaktadır. Çizelge 3.2'de bitüm penetrasyon sınıfları verilmiştir.

Çizelge 3.2. Bitüm penetrasyon sınıfları

B 40/60	B 50/70	B 70/100	B 100/150	B 160/220
---------	---------	----------	-----------	-----------

Bitüm sınıfları penetrasyon değerine göre aynı olsa da farklı sıcaklıklardaki davranışları farklı olmaktadır. Kullanılan geleneksel yöntemde, bitümler sıcaklık şartlarına bağlı olarak farklı davranışlar gösterebilmektedir. Bitümün davranışı, maruz kaldığı sıcaklık, yük ve yükleme hızına göre değişiklik göstermektedir. Yavaş yüklemenin (yavaş hareket eden veya duran trafik yükleri) yapacağı etkiyi yüksek sıcaklıklardaki davranışla, hızlı yüklemeyi ise düşük sıcaklıklardaki davranışla temsil etmek mümkündür. Şekil 3.5'de görüldüğü gibi bitümdeki 60°C'de 1 saatlik akış miktarı ile 25°C'de ki 10 saatlik akış miktarı birbirine eşittir (Dinç, 1999; 2000).



Şekil 3.5. Bitümün farklı sıcaklıklardaki davranışı (Hacıoğlu, 2013)

Esnek yol kaplamalarında kullanılacak bitümlü bağlayıcılar için şartnamelerde verilen özellikleri sağlaması gerekir. Bitümlü bağlayıcılara yapılan deneyler Çizelge 3.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. Bitümlü bağlayıcılara yapılan deneyler

Deneyler	Deney Yöntemi
Penetrasyon	TS EN 1426
Yumuşama Noktası	TS EN 1427
Frass Kırılma Noktası	TS EN 12593
Yaşlanmaya Karşı Dayanım	TS EN 12607-02
Parlama Noktası	TS EN ISO 2592
Çözünürlük	TS EN 12592
Parafin Mumu İçeriği	TS EN 12606-1

### 3.4. Yol Yapısında Meydana Gelen Bozulma Türleri

Çok iyi yapılan bir yol dahi çevre koşulları nedeniyle belirli bir süre içerisinde bozulmaya başlar. Bir yolun servis ömrünü uzatmanın ya da ekonomik ömrü içerisinde ondan en iyi şekilde yararlanmanın en iyi yolu gerekli kontrolleri yaparak zamanında bakımları gerçekleştirmektir. Kaplama yaşını göz önünde bulundurmadan uygun ve doğru bir bakım, etkin çalışan drenaj sistemi yolun ömrünü uzatma da önemli bir rol oynar. Esnek kaplamalarda oluşan bozulma türleri 3 ana grupta toplanabilir (Ilıcalı vd., 2001).

### 3.4.1. Deformasyonlar

Deformasyonlar, yapılan asfalt imalatından sonra görülen yapısal bozukluklardır. Bunlar kalıcı şekil değiştirmeler olup yol eksenine boyunca ve belirli bölgelerde yolun tüm kesitinde veya belirli kesitlerinde bölgesel şekilde görülebilmektedir. Özellikle kışın sürüş konforu ve emniyeti açısından sakıncaları olan bu kusurların hizmet seviyesi düşük olduğundan dolayı tamir, onarım veya takviye tabakası yapılması gerekir.

Deformasyonların ana sebebi düşük stabiliteli bitümlü karışımların imalatından; kaplama tabakalarının yetersiz sıkıştırılması, tabakalardaki aşırı filler ve bitüm kullanımı, tabaka kalınlığının yetersiz oluşu gibi faktörlerdir. Deformasyonları da kendi içinde gruplandırdığımızda;

- a. Tekerlek izi
- b. Ondülasyon
- c. Çökme
- d. Kabarma diyebiliriz.

#### a. Tekerlek izi

Malzemenin yer değiştirerek, tekerleğin geçtiği yerlerde kanal açması olayıdır ve kaplamanın kalıcı deformasyonu ile karakterize edilir. Genellikle sıcak mevsimlerde, asfaltın sıcak olduğu zamanlarda ortaya çıkar. Temel veya alttemel konsolidasyonu ve ağır trafik etkisi tekerlek izi oluşumuna etki eder. Ticari taşıt sayısındaki artış, bunların dingil sistemlerinin değişmesi, dingil ağırlıklarının ve lastik içi basınçlarının artması, üstyapı tabakalarının yetersiz sıkışması, banketin stabil olmayıp yeterli yanıl desteği sağlamaması, asfalt kaplama karışımında ince malzemenin fazla oluşu da bu deformasyona yol açar (Umar ve Ağar, 1991).

Yolun enine düzgünlüğünün bozulmasına neden olan tekerlek izi oluşumu, konfor ve güvenlik açısından büyük bir sorun oluşturmaktadır. Şerit değiştirme sırasında araç kontrolü zorlaşmakta, yağışlı havalarda tekerlek izi oluşmuş kısımlarda su birikmekte ve buzlanmaya veya tekerleğin su filmi üzerinde kaymasına yol açmakta,

dolayısıyla fren mesafesi uzamaktadır. Şekil 3.6'da asfalt kaplamada tekerlek izi oluşumu gösterilmiştir (Cornell,1995).



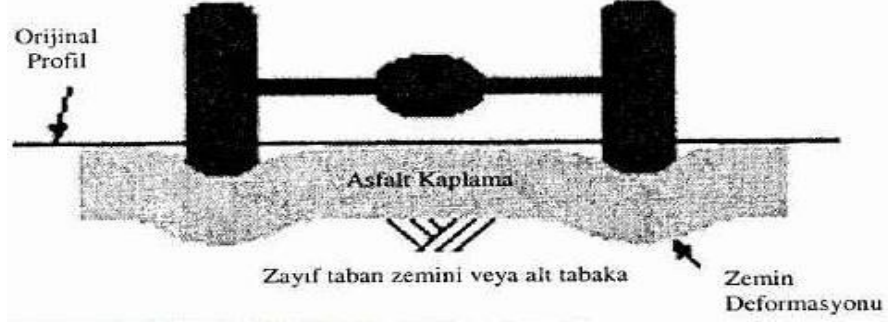
Şekil 3.6. Tekerlek izi oluşumu (Cornell, 1995)

Tekerlek izi kendi içlerinde yapısal tekerlek izi, akma tekerlek izi ve yüzeysel tekerlek izi gibi farklılıklar göstermektedir.

- **Yapısal tekerlek izi**

Asfalt kaplamanın altındaki (taban zemini dahil) bir veya daha fazla tabakanın kendi içlerindeki deformasyonların sonucudur. Bunun nedeni, yükten dolayı oluşan gerilmelerin malzeme dayanımlarını aşmasıdır. Bu durumda tekerlek izinin etrafında kabarmalar oluşmaz.

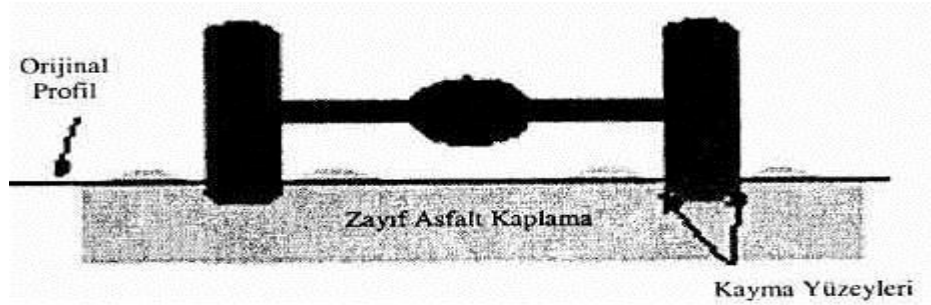
Bu tip tekerlek izi oluşumu genellikle gerçekteki trafik koşullarına uygun tasarlanmamış üstyapıda görülür. Aynı zamanda uygun olmayan (düşük kaliteli) malzemenin kullanılmasından, malzemenin iyi sıkıştırılmamasından, kötü drenajdan, donma ve çözülme etkilerine karşı önlem alınmamasından da kaynaklanabilir. Şekil 3.7'de yapısal tekerlek izi oluşumu gösterilmiştir (Cornell, 1995).



Şekil 3.7. Yapısal tekerlek izi (Hacıoğlu, 2013)

- **Akma tekerlek izi**

Asfalt kaplamanın kendi içlerindeki deformasyon sonucudur. Bunun nedeni, yükten dolayı oluşan gerilmelerin asfalt karışımının stabilitesini aşmasıdır. Tekerlek izi etrafında kabarmalar oluşur. Akma tekerlek izi, en çok çıkış eğimli kesimlerde, kavşak yaklaşımlarında ve kurplarda yani ağır taşıtların hızlarını azalttığı kesimlerde ve lastik ile kaplama arasındaki temas alanında ortaya çıkan teğetsel gerilmelerin yüksek olduğu kesimlerde oluşur. Şekil 3.8’de akma tipi tekerlek izi oluşumu gösterilmiştir (Cornell, 1995).

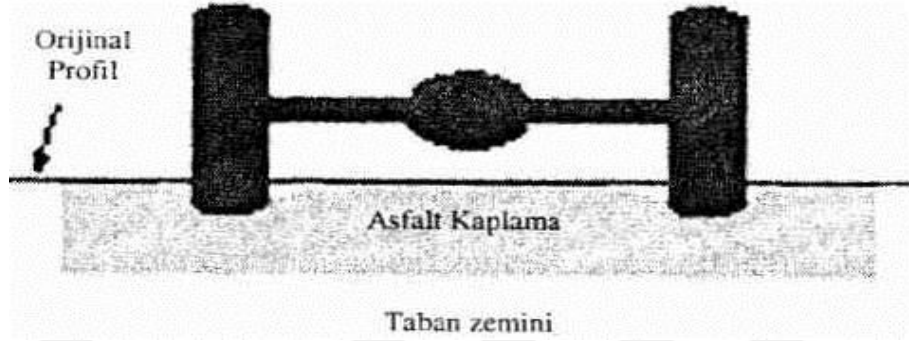


Şekil 3.8. Akma tekerlek izi (Hacıoğlu, 2013)

- **Yüzeysel tekerlek izi**

Kışın çivili tekerleklerin kullanılmasından dolayı asfalt kaplamanın yüzeyinde oluşur. Özellikle çivili lastiklerin kullanıldığı kuzeydeki ülkelerde görülmektedir. Hasar görüldükten sonra bu lastiklerin kullanılması sınırlandırılmış veya yasaklanmıştır. Bu tip tekerlek izinde göz önüne alınacak parametre agrega sertliğidir. Asfalt kaplamanın yapımı sırasında yetersiz sıkıştırmadan dolayı oluşur.

Yetersiz yoğunluğa sahip bir karışım özellikle sıcak havalarda, duran veya yavaş hareket eden trafiğin mevcut olduğu kavşaklarda trafik etkisiyle oturmaya meyillidir. Tekerlek izi kenarlarında kabarma oluşmaz. Şekil 3.9’da yüzeysel tekerlek izi oluşumu gösterilmiştir (Cornell, 1995).



Şekil 3.9. Yüzeysel tekerlek izi (Hacıoğlu, 2013)

#### **b. Ondülasyon**

Bu tür bozulmalar özellikle sıcak havalarda tekerlerin de mekanik etkisi ile ötelenerek yol eksenine dik ya da paralel olarak yüzey bozulmalarıdır. Yol yüzeyinde ondülasyon, tepecik, çukurlaşma ve düzensizlikler görülür. Bu sapsmalar sürüş konforu ve sürüş güvenliğinde düşmelere neden olur.

Bunlara sebep olarak; asfalt karışım stabilizesinin yetersizliği, karışımın serilmesi sırasındaki serme ve sıkıştırma hataları, kavşak, trafik ışıkları ve duraklarda duruş ve kalkış şeklindeki trafik etkisi, üstyapı tabakaları arasındaki bağlantının yetersizliği, yoğunlaşma tabakasının gereğinden fazla veya az yüzeye yansması, temel tabakasındaki stabilite bozukluğunun yüzeye yansması, ağır trafik altında suya doygun granüler tabakaların varlığı gibi etkenler sayılabilir. Şekil 3.10’da ondülasyon bozulması oluşumu gösterilmiştir (Arık, 1998).



Şekil 3.10. Ondülasyon bozulması (The Constructor, 2019)

### c. Çökme

Çatlakları içeren ya da içermeyen ve asıl kaplama sathına göre düşükte kalmış küçük çukurlardır. Derinlikleri 2,5 cm ya da daha fazla olabilmekte ve yağmurlardan sonra içlerinde su birikmektedir. Zamanında gerekli bakım çalışmaları yapılmaz ise çökmeler zamanla genişleyerek, yolun hizmet süresini erken tamamlamasına neden olurlar.

Çökme oluşuna sebep olarak; temel ve alttemel yetersiz olarak sıkıştırılması, kaplama yapım sırasında yetersiz olarak belirli bir bölgede sıkıştırılması, yetersiz drenaj nedeni ile suyun temel altında birikmesi, temel ve alttemel malzemelerin kille karışması, kaplamanın taşıyabileceğinden daha ağır trafik yükü ile karşılaşması gibi etkenler sayılabilir. Şekil 3.11’de çökme bozulması oluşumu gösterilmiştir (İlçalı vd., 2001).



Şekil 3.11. Çökme bozulması ( İlçalı vd., 2001)

#### **d. Kabarma**

Kaplamanın tabii zemin ve üstyapının bir kısmının şişmesi sonucunda yukarı yönde yer değiştirmesinden kaynaklanmaktadır.

Kabarmaların oluşuna sebep olarak; asfalt karışımının stabilitesi yetersizliği, karışımın serilmesi sırasındaki serim ve sıkıştırma hataları, tabakalar arası yapıştırma tabakasının hatalı uygulanması, köprü tabliyesi de su geçirimsizliği için kalın membran kullanılması ve ağır trafik altında suya doygun granüler tabakaların varlığı gibi etkenler sayılabilir.

#### **3.4.2. Ayrışmalar**

Bu tip bozulmalar, asfalt tabakasının trafik etkisi ile parçalar halinde kopma ve parçalanma şeklinde görülür. En üst tabakadaki agrega danelerinin koparak ayrılmasından kaynaklanır.

Bu bozulmalara sebep olarak; sıcak karışımın üretim hataları, düşük kaliteli ham madde kullanımı, sıcak karışımın serilmesi sırasındaki segregasyon, yetersiz ve yüksek penetrasyon asfalt gibi etkenler sayılabilir. Bu tip bozulmalarda ilk safhada önlemler alınmadığı takdirde, üzerinde işleyen trafik etkisi ile alan genişleyerek kaplamanın tamamının ayrışmasına sebebiyet verebilir. Bu da sürüş emniyeti için önemli tehlikeler arz eder.

#### **3.4.3. Çatlaklar**

Dingil yükünün kaplama tabakasında meydana getirdiği gerilmeler, kaplama malzemesinin mukavemetini aştığı zaman çatlamlar oluşur. Ayrıca dingil yüklerinden ve bunların fazla tekrarından oluşurlar.

Araçların ani hızlanma ya da yavaşlamalarıyla ortaya çıkan yatay kuvvetler de neden olabilmektedir. Bu etkilerin dışında birtakım dış etkenler kendi başlarına ya da trafik etkisiyle birlikte çatlaklara neden olabilirler.



Trafik etkeni ve hacim değişiklikleri dışında fazla miktarda yük tekrarı, kaplama tabakasının kalınlığının yetersizliği, yetersiz drenaj, satıh ve banketlerdeki nem farklılıkları, yanal desteklerin yetersizliği, araçların ani hızlanma ya da yavaşlamalarından oluşan yatay kuvvetlerde çatlak oluşumuna sebep olmaktadır. Karışımların serilmesi sırasında finişerlerin sık sık durması ve kaplama yapımında ek yerlerinin dikkatsiz yapılması gibi etkenler sayılabilir (Ilıcalı vd., 2001).

Çatlamalar timsah sırtı çatlaklar, büzülme çatlakları, kenar çatlakları, derz çatlakları, kayma çatlakları ve yansıma çatlakları olmak üzere altı grupta incelenir.

- **Timsah sırtı çatlaklar**

Bu tip çatlaklar, küçük blok dizisi oluşturan birbirine bağlı timsah sırtı veya kümes teli görünümünde çatlaklar oluşturmaktadır. Şekil 3.12’de bir örneği gösterilmiştir. Bunlar genellikle yapısal olarak yetersiz bozuk bir granüler temel ya da zayıf bir tabii zemin ile ilintilidir. Bu tip çatlak oluşmuş alanların yama tamiri veya yenileme metoduyla onarılması tavsiye edilir (Hacıoğlu, 2013).



Şekil 3.12. Timsah sırtı çatlağı görüntüsü

- **Büzülme çatlağı**

Bu tip çatlaklar, genellikle keskin köşeler ya da açılar içeren geniş blok serileri oluşturan birbirine bağlı çatlaklardan oluşmaktadır. Şekil 3.13’de bir örneği gösterilmiştir. Büzülme çatlaklarının asfalt karışımının hacimdeki bir değişmeden mi yoksa temel veya tabii zeminin hacimdeki değişikliklerinden mi kaynaklandığını

belirlemek oldukça zordur. Sıklıkla bu tür çatlaklar düşük penetrasyonlu bitüm içeren ince agregalı asfalt karışımlarının hacmindeki değişimlerden kaynaklanmaktadır (Hacıoğlu, 2013).



Şekil 3.13. Büzülme çatlağı görüntüsü

- **Kenar çatlakları**

Kenar çatlakları asfalt kaplama kenarı yakınındaki boyuna çatlaklar olup, bankete doğru dallanan enine çatlakları da içerebilmektedir. Şekil 3.14’de bir örneği gösterilmiştir. Kenar çatlakları genellikle asfalt kaplaması için bir yanal veya banket desteğinin bulunmamasından kaynaklanmaktadır. Diğer sebepler arasında çatlak alanının altındaki temel malzemesinin oturması veya çökmesi de sayılabilir. Bu olumsuzluk kötü drenaj don kabarması veya çevredeki zeminin kuruması sonucu büzülmeden ortaya çıkmaktadır (Hacıoğlu, 2013).



Şekil 3.14. Kenar çatlağı görüntüsü (Cornell, 2008)

- **Derz çatlakları**

İki tip derz çatlağı bulunmaktadır. Bunlardan birincisi kenar-derz çatlağı olup, kaplama ve banket arasında meydana gelmektedir. Diğeri ise birbirine bitişik iki şeridin arasında ortaya çıkan şerit-derz çatlağıdır. Şekil 3.15’de bir örneğı gösterilmiştir.

Bunlara sebep olarak; asfalt kaplamada çok düşük sıcaklıklarda meydana gelen büzülme, tabandaki su içeriğı değışikliğı, alt tabakalarda daha önceden oluşan çatlakların yüzeye yansması, üst yapının taşıma gücünün yetersiz oluşu ve bunun trafik yükü ile birleşmesi sonucu oluşan çatlaklar gibi etkenler sayılabilir.



Şekil 3.15. Derz çatlağı görüntüsü

- **Kayma çatlakları**

Bu tip çatlaklar, trafik tarafından oluşturulan yatay kuvvetlerden kaynaklanan hilal şekilli çatlaklar olup, yüzey tabakası ile altındaki tabaka arasında zayıf bağdan dolayı ortaya çıkmaktadır. Bağ eksikliğı toz, kir, yağ ve yapışma tabakası bulunmamasıyla ilişkili olabilmektedir. Şekil 3.16’da bir örneğı gösterilmiştir (Hacıoğlu, 2013).



Şekil 3.16. Kayma çatlağı görüntüsü

- **Yansıma çatlakları**

Yansıma çatlakları, asfalt takviye tabakalarında ortaya çıkmaktadır. Bu çatlaklar alttaki kaplama yapısındaki çatlak oluşumunu yansıtmaktadır. Bu tür çatlaklara genellikle portland çimentosu betonu kaplamalar ve çimento ile stabilize edilmiş temeller üzerine serilen takviye tabakalarında rastlanmaktadır. Şekil 3.17’de bir örneği gösterilmiştir.

Altyapıdaki çatlakların zamanla üst tabakada oluşmasından ötürü alttaki tabakanın çatlakları, üst tabakaya yansımış olmaktadır. Alt tabakadaki çatlak nedenleri; düşük ısılar, günlük ısı değişimleri, trafik yükleri olarak ele alınır (Bağdatlı, 2010).



Şekil 3.17. Yansıma çatlağı görüntüsü

### 3.5. Köprü Kaplamalarında Meydana Gelen Bozulma Türleri

Köprü kaplamaları, yapının ömrü boyunca üzerinden geçen trafiğe rağmen büyük deformasyonlara ve yorulma çatlaklarına maruz kalmadan hizmet ömrünü tamamlaması gerekmektedir. Ancak çelik köprü üzerindeki gerilmelerin normal yollara göre 8 kat daha fazla olduğu düşünüldüğünde bu yapılar için farklı mühendislik çözümleri bulunması zorunlu hale gelmektedir. Şekil 3.18'de köprü kaplamalarında meydana gelen bozulmalara örnek gösterilmiştir.

Çelik köprüler beton köprülere oranla daha esnek olduğundan çelik köprülerde uygulanan asfalt kaplamalarında çatlamlar oluşmadan büyük deformasyonlara karşı dayanıklı olması gerekmektedir. Ancak bu gereklilik, iyi bir aşınma tabakasının gerektirdiği yüksek rijitlikle çelişmektedir. Yüksek rijitlikte tekerlek izinde iyi performans gösteren kaplama, yorulma çatlağında ise kötü sonuçlar vermektedir. Bu sebepten ötürü çelik köprülerin kaplama dizaynında yorulma çatlağı ile tekerlek izine karşı direnç arasında optimum dengenin sağlanması gerekmektedir.

Köprü kaplamalarında görülen bozulmaların başında yüksek ve tekrarlanan yüklerden dolayı kalıcı deformasyonlardan olan tekerlek izi gelmektedir. Bunun yanında kaplama malzemelerinin yorulması, trafik, çevre ve uygulamanın kötü yapılması ile birlikte tekrarlı gerilmeler (kesme ve çekme) sonucu yorulma çatlakları meydana gelmektedir. Birbirini takip eden bu bozulmalar sonucunda asfalt kaplamalarda sökülme (yüzeyden agrega tanelerinin ayrışması) ve çukurların oluşması ile yol güvenliği azalmaktadır.

Köprü tabliyesi ile asfalt tabakası arasındaki bağlantını zayıflaması da kaplamanın bozulmasına sebep olmaktadır. Bağlantıların zayıflamasında asıl neden, araçların hızlanması ve frenlemesi esnasında yüksek kesme kuvvetinin meydana gelmesi, köprü tabliye eğiminin artmasından oluşan kesme kuvvetleri, hızlı köprü seyreden trafiğin köprüde oluşturduğu titreşim ile köprü tabliyelerine yapılan su yalıtım sistemlerinin uygulama hataları gelmektedir. Bunun yanı sıra nemli yüzey üzerine yapılan yalıtım sistemleri asfalt yüzeyinde kabarmalara sebep olmaktadır. Bu yüzden işlem yapılan yüzeyin kuru olmasına dikkat edilmesi gerekmektedir.





Şekil 3.18. Köprü kaplamalarında meydana gelen bozulma örnekleri

## 4. KÖPRÜLER VE KAPLAMA TABAKALARI

Köprüler; akarsu, yol, demiryolu vb. engelleri geçmek için yapılan üzerine dolgu gelmeyen ve mesnet arasındaki açıklığı 10 m'den fazla olan, uzun süre dayanması amaçlanan sanat yapılarıdır.

### 4.1. Köprülerin Sınıflandırılması

Ulaştırma sistemlerinde devamlılığın sağlanabilmesi için köprüler;

- Kullanım amaçlarına
- Köprü açıklıklarına
- Köprü imalatında kullanılan malzeme cinsine
- Köprü ana taşıyıcı sistemine
- Hareket edebilme durumuna göre olmak üzere 5 ana başlıkta sınıflandırılmaktadır (Kırçıl, 2015).

#### 4.1.1. Köprü kullanım amaçlarına göre sınıflandırılması

Köprüler kullanım amaçlarına göre;

- Karayolu köprüleri
- Demiryolu köprüleri
- Yaya yolu köprüleri
- Diğer amaçlar için kullanılan köprüler (petrol boru hattı, su isale hattı vb. gibi) olmak üzere 4 grupta sınıflandırılmaktadır (Kırçıl, 2015).

#### 4.1.2. Köprü açıklıklarına göre sınıflandırılması

Köprüler ayakları arasındaki mesafelere göre;

- Kısa açıklıklı köprüler :  $10\text{ m} < L < 40\text{ m}$  arasında olan köprülerdir.
- Orta açıklıklı köprüler :  $40\text{ m} < L < 125\text{ m}$  arasında olan köprülerdir.
- Uzun açıklıklı köprüler:  $L > 125\text{ m}$ 'den büyük olan köprülerdir (Kırçıl, 2015).

#### 4.1.3. Köprü imalatında kullanılan malzeme cinsine göre sınıflandırılması

Köprü inşasında kullanılan malzemeye göre ;

- Çelik köprüler
- Betonarme ve öngermeli köprüler
- Kompozit köprüler
- Ahşap köprüler olmak üzere 4 grupta sınıflandırılmaktadır (Kırçıl, 2015).

#### 4.1.4. Köprü taşıyıcı sistemine göre sınıflandırılması

Köprüleri ana taşıyıcı sistemlerine göre 4 bölümde sınıflandırabiliriz.

- a) Kemer köprüler
- b) Kirişli ve Kafes sistemli köprüler
- c) Asma köprüler
- d) Eğik gergili köprüler (Kırçıl, 2015)

##### a. Kemer köprüler

Kemer Köprüler; basınç etkisinde bulunan, hareketli yükler dışında eğilmeye çalışma gibi bir durumun bulunmadığı köprü çeşididir. Bu köprülerde tüm kemer basınç altındadır. Bu basınç mesnetlere aktarılmakta ve zemin gerilmesi tarafından karşılanmaktadır. Şekil 4.1’de bir örneği gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Kemer Köprüler (Arıoğlu, 2011)



## **b. Kiriş ve Kafes sistemli köprüler**

Bir veya birden fazla kiriş sisteminden oluşan köprü çeşitleridir. Aynı yük ve açıklığa sahip kemerli köprülere nazaran çok daha büyük iç kuvvetler oluşmaktadır. Bu kuvvetlerin sebebi kirişlerin eğilmeye çalışmasından kaynaklanmaktadır. Bu kirişlerde kesitin üst kısmında basınç gerilmeleri, alt kısmında ise çekme gerilmeleri oluşmaktadır. Kirişlerde genellikle öngermeli beton veya çelik kullanılmaktadır. Şekil 4.2’de bir örneği gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Kafes sistemli köprüler (Arıoğlu, 2011)

## **c. Asma köprüler**

Çelik veya betonarme olarak tasarlanan bu kulelerin görevi ana kabloyu taşımaktır. Ana taşıyıcı sistemi oluşturulan bu kablolar her zaman çekme kuvveti altında olduğunda burkulma yapamayacağı için rijitliği önemli değildir. Sadece çekme kuvvetini karşılayacak kesitte olması yeterlidir. Kuleler ise tamamen basınç kuvveti altında olacağından rijitliği önemlidir. Bu tür köprüler ile büyük açıklıklar geçilebilmektedir. Şekil 4.3’de bir örneği gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Asma köprüler (Arıoğlu, 2011)

#### **d. Eğik gergili köprüler**

Kablo gergili köprüler konsol köprüler ile bağlantılıdır. Kablolar çekme gerilmelerine, yol tabliyesi ise basınç gerilmelerine maruz kalmaktadır. Konsol köprüler ile Kablo gergili köprüler arasındaki en büyük fark tabliyelerinin asılı olarak durmasından kaynaklanmaktadır. Gergi kabloları yüksek mukavemetli çelikten yapılmaktadır. Kuleler ise genellikle betonarmeden yapılmaktadır. Şekil 4.4’de bir örneği gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Eğik gergili köprüler (Arıoğlu, 2011)

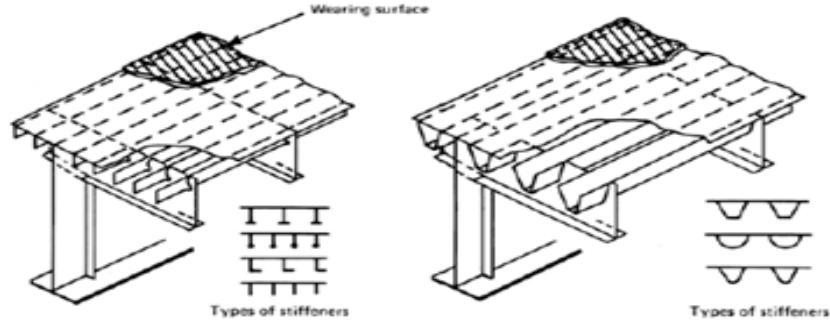
#### 4.1.5. Hareket edebilme durumuna göre sınıflandırılması

Köprü tabliyelerinin hareketli olması durumunda

- Yatay hareketli
- Düşey hareketli olmak üzere 2 sınıfta gruplandırılmaktadır (Kırçıl, 2015).

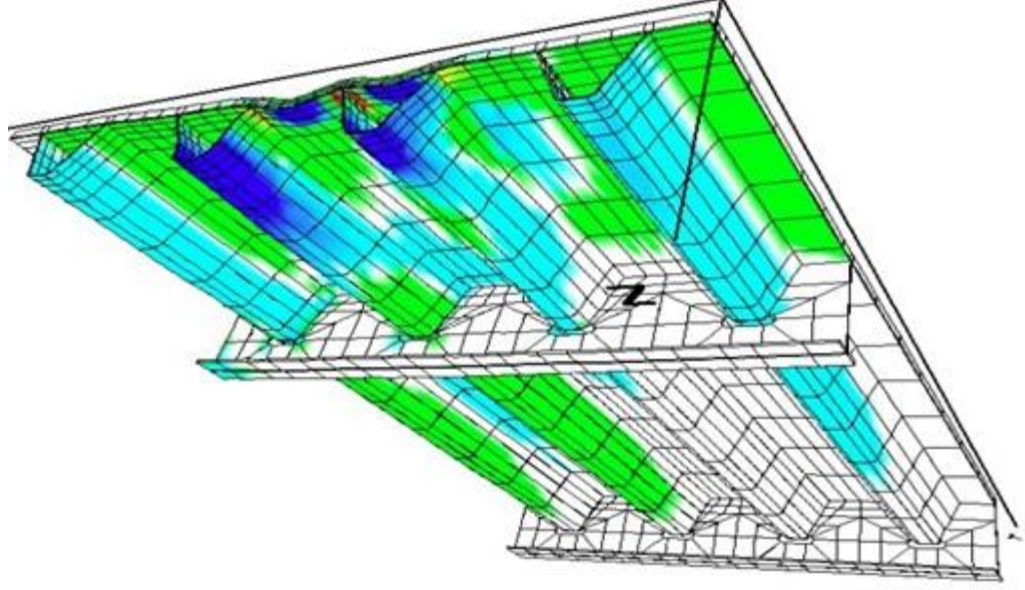
#### 4.2. Ortotropik Tabliyeli Çelik Köprüler

Ortotropik tabliye enine “çapraz kiriş” ve boyuna uzanmasından takviyelerle birlikte birbirine dik iki istikamette desteklenmiş bir plakadır. Bu plaka iki yönde birbirinden farklı elastik özellikler göstermektedir. Şekil 4.5’de iki temel tipi gösterilmiştir.



Şekil.4.5. Ortotropik çelik köprü tabliyelerinin iki temel türü (Medani, 2001)

Ortotropik tabliye 1930’lardaki “ızgara tabliye tabanının gelişmiş halidir. Bu sistemin gelişmesi 2.Dünya savaşından sonra Almanya’da uzun ömürlü köprülerin inşa edilmesi ihtiyacından kaynaklanmaktadır. Bu türde ilk köprü 1950 yılında Mannheim’de Necker nehri üzerinde açılan Kurfplaiz köprüsü, ilk asma köprü ise 1951 yılında tamamlanan Ren Nehrinin üzerinde bulunan Cologne-Muelheim köprüsüdür. Kuzey Amerika’daki ilk büyük ortotropik yapı 1964 yılında açılan Vancouver’deki Port Mann Köprüsü, İngiltere’de 1964 yılında Forth Road Köprüsü olmuştur (Medani, 2001).



Şekil 4.6. Ortotropik köprü kesiti gerilmelerin oluştuğu yerler (Medani, 2001)

### 4.3. Çelik Köprü Tabliye Kaplamaları

Köprüler belli bir engeli aşmak için yapılan, uzun süre dayanması amaçlanan yapılardır. Zor ve yıpratıcı koşullara maruz kaldıkları için oldukça güçlü ve korozyona karşı dayanıklı kaplamalarla kaplanması gerekir. Köprülerde üstyapı kaplama malzemeleri ve kaplama tabakaları kullanımının esas nedeni, köprü tabliyesini dış etkenlerden (tuz vb.) korumak ve durabilitesini arttırmaktır.

Köprü tabliyelerinde üstyapı birçok gerekleri karşılamak zorundadır. Bunlar; kalıcı deformasyona direnç, kaymağa karşı direnç, düzgünlük, sertlik ve yaşlanmaya karşı direnç gibi faktörlerdir. Bunun yanında değişken hava şartları altında yapı ömrünü uzatmak ve trafik yükü altında olan mesnet yapısını korumak en önemli görevlerinden sadece biridir. Üstyapı, trafik yüklerini emerek yükleri yapı mesnetlerine aktarmalı, düzgünlüğü sağlamalı, deformasyona karşı dirençli olmalı ve özellikle yağışlı havalarda kaymayan yüzey koşulları oluşturmalıdır. Ayrıca kışın kullanılan buz çözücü solüsyon ve tuzları içeren yüzey sularının girişini engellemelidir.

Her köprü tabliyelerindeki üstyapılarda istenilen gereklilikler farklı olmaktadır. Bu gereklilikler genellikle karşılanmamakta veya bir malzemeyle kısmen karşılanmaktadır. Tabliye yüzeyi üzerindeki istenilen fonksiyonları karşılamak için

çok tabakalı bir sistem oluşturulmaktadır. Sistemin en önemli parçası asfalt kaplaması olmasına rağmen astar, üstyapı membranı ve şilteleri de yapıştırma tabakaları tamamlayıcı bileşenleridir (EAPA, 2016).

Çelik köprü üstyapı sistemi 3 tabakaya ayrılır. Bunlar;

- Astarlama/Yapıştırma
- Su yalıtımı tabakası
- Bitümlü sıcak karışım

Köprü tabliyeleri üzerinde farklı uygulama teknikleri ve malzemeler kullanılmasına rağmen genellikle köprü tabliyesinin üzerinde inşaat, tabliye yüzeyinin teşkili ile başlar, yalıtım, yapıştırma ve koruyucu tabaka ile devam eder ve yüzey tabakası olan bitümlü sıcak karışım (BSK) ile tamamlanır.

#### **4.3.1. Astarlama tabakası**

Tabliye üzerine serilen üstyapı tabakaları beton veya çeliğe doğrudan yapışmadığından ve suyu sızdırabildiklerinden köprü tabliyesi ile BSK arasına bir astar/yapıştırma tabakası gerekmektedir.

Uygulanan bu astar tabakası beton köprülerde yüzeyde bulunan boşlukları doldurarak daha sonra oluşacak çöküntüleri engellemektedir. Çelik köprülerde ise; korozyona karşı koruma sağlamakta, kesmek kuvvetine karşı direnç sağlamakta ve çelik yüzey ile yalıtım malzemesi arasında güçlü bir aderans sağlamaktadır.

Astar malzemesi olarak en çok bitümlü emülsiyon, epoksi reçine ve poliüreten gibi bitüm içerikli malzemeler kullanılmaktadır.

### 4.3.2. Su yalıtım sistemi

Su yalıtım sistemi, yalıtım ve koruyucu tabakası olmak üzere iki kısımdan oluşur.

#### a) Su yalıtım tabakası

Köprülerin hizmet ömrünü tamamlamasında su yalıtım tabakası çok önemlidir. Özellikle köprülerde uygulanan su yalıtım tabakası, suyun veya buzlanmayı engelleyici çözeltilerin tabliye yapısına girişini engellemekte, korozyon ve donma-çözülmeden doğacak hasarlarının oluşmamasını sağlamaktadır. Kaplama yüzeyinin tamamen kaplanması ve su geçirmez olması için çift tabaka sisteminin uygulanması gerekmektedir.

Köprü kaplamaları yalıtım malzemeleri 3 gruba ayrılmaktadır.

- **Şilte sistemi**

Bu sistemde genellikle yalıtım malzemeleri olarak, polimer modifiye bitüm (PMB) ve elastomer esaslı malzemeler içeren membran hazır şilteler kullanılmaktadır. Uygulamasında bir bütünlük sağlamak için bu şilteler bir yapıştırıcı ile tabliye yüzeyine yapıştırılmaktadır. Genellikle beton köprülerde tercih edilmektedir.

- **Sıvı uygulanan ( püskürtülen) malzemeler**

Bu tür malzemelerde genel olarak, akrilik, poliüretan ve bitümlü malzemeler kullanılmaktadır. Ancak bu malzemelerin üstyapı kaplaması ile sıvı yalıtım malzemesi arasındaki düşük adezyonu, üstyapı kaplamasında erken deformasyona neden olmaktadır.

- **Mastik tabakası**

Mastik asfalt özelliğine sahip ancak içeriğinde agrega olmayan, 8-10 mm uygulayarak elde edilen bir karışımdır. Özellikle rijit olmayan süreli dinamik yüklere maruz kalan çelik köprülerde hareketi sönmölemek amaçlı tercih edilmektedir.

## **b) Koruyucu tabaka**

Köprülerde koruyucu tabaka genellikle mastik asfalt ile oluşturulmaktadır. Bu tabaka geçirimsiz olduğundan dolayı aynı zamanda yalıtım tabakası olarak da görev yapmaktadır. Yalıtımı yapılmış beton tabliye üzerinde koruyucu tabaka olarak geleneksel kaplama tabakaları tercih edilse de özellikle çelik köprülerde tabliyeyi korozyondan korumak, gerek kalıcı gerekse elastik deformasyonlara karşı mastik asfalt tercih edilmektedir.

Bu nedenle koruyucu tabakaların yağa, suya, minerallere karşı dayanıklı ve hava şartlarına karşı daha az hassas olması gerekmektedir.

### **4.3.3. Bitümlü sıcak karışım tabakası**

Kalıcı deformasyonları önlemek ve trafik güvenliğini sağlamak için üstyapı tabakasının iyi kayma direncine, düzgün bir yol eksenine ve düşük gürültü seviyesine sahip olması gerekmektedir. Üstyapı tabakasının en önemli özelliklerinden durabilitenin sağlanması için tabliyeye uygulanan bitümlü sıcak karışım tabakası;

- Bozulmalara ve yorulmalara karşı dirençli,
- Su, yağ ve minerallere karşı dirençli,
- Hava şartlarına karşı dayanıklı,
- Kalıcı deformasyonlara karşı dirençli,
- Yüksek stabiliteye sahip,
- Trafik yüklerine alt zemine yayabilen özelliklere sahip olmalıdır.

Köprü tabliyelerinde bitümlü sıcak karışım tabakası olarak bu tezinde ana konusu olan yoğun gradasyona sahip MAT, kesik gradasyona sahip TMA ve geçirimsiz MA kullanılmaktadır.

#### **4.4. Çelik Köprü Üstü Kaplamalarda Kullanılan Bitümlü Sıcak Karışımlar**

Karayolu sisteminde coğrafi engellerden vadi, boğaz vb. iki yükselti arasına inşa edilen köprü uygulamaları coğrafi koşullara doğrudan bağlı kalmaksızın belli bir mesafeyi kısaltmanın en etkili yoludur. Ulaştırma sisteminde üstyapı kaplamalarında bozulmaya en müsait yapılar köprülerdir. Köprülerde en sık rastlanan deformasyon tekerlek izi oluşumudur.

Köprü tabliyesi üzerine uygulanacak üstyapı karışımlarının minimum boşluklu, çok esnek ve aynı zamanda deformasyonlara karşı dirençli olması gerekmektedir. Köprülere uygulanan BSK tabakalarından istenen en önemli özellik en az statik yüke göre tasarlanan karışım kalınlığına karşılık en fazla performans sağlamaktır. Bu sebepten dolayı yapılan karışımlarda dayanım arttırmak için volkanik kayalar ve esneklik için yüksek oranda polimer modifiye içeren bitümler tercih edilmektedir.

##### **4.4.1. Mastik asfalt (MA)**

Mastik asfaltın yollarda kullanımı ilk olarak bundan 100 yıl önce Almanya'da gusasfalt olarak başlamıştır. Özellikle köprüler olmak üzere beton ve çelik yüzeyler üzerine uygulanan esnek, boşluksuz asfalt tabakasıdır. Dolayısıyla su geçirmez özelliği sahiptir, böylelikle köprü tabliyesini her türlü elverişsiz şartlarından korumaktadır.

MA karışımında bitüm, mineral filler (kalsit), mikronize kum, ince agrega ve mağmatik kaba agrega kullanılmaktadır. Karışım, maksimum dane çapı 12,5 mm olan volkanik kaba agrega, yüksek oranda filler, mikronize kum ve bitüm ilave edilerek hazırlanmaktadır. Bitümün modifiye olmasının yanında karışımın daha işlenebilir olması için Trinidad göl asfaltı (TNAC) ilave edilmektedir. MA uygulama kalınlıkları Çizelge 4.1'de verilmiştir.



Çizelge 4.1. MA uygulama kalınlıkları

Uygulama Yeri	MA Uygulama Kalınlıkları (mm)
Yaya Yolu	20-30
Otopark	25-35
Taşıt Yolunda	30-50
Ağır Yük Altındaki Taşıt Yolunda	40-50

Hazırlanan karışımın köprü yüzeyine serilmesi 230-250°C’lerde yapılabilmesi için karışım üretildikten sonra Şekil 4.9’da gösterilen ısıtılabilir kukırlarda (cooker) taşınması gerekmektedir. Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de gösterilen geniş alanların serimi özel finişerler ile yapılırken ve finişerin çalışamayacağı alanlar tahta mala yardımı ile el işçiliği yapılmaktadır.

MA karışımları pürüzsüz yüzeye sahiptir. Bu sebepten dolayı karışımlar sıcak ve işlenebilir halde iken yüzeyinde kayma direnci oluşturmak için 14 mm veya 20 mm’lik daha önceden bitümlle kaplanmış kırmataş agreganın (chipping) uygulanması gerekmektedir. Ağırlıkça %1,5-2,5 oranında bitümlle kaplanmış temiz kırmataş agrega, 10-15 kg/m<sup>2</sup> oranında homojen olacak şekilde yüzeye serpilerek el silindiri yardımı ile mastik asfalta bir miktar gömülmesi sağlanmaktadır. Şekil 4.10’de bir örneği gösterilmiştir.



Şekil 4.7. MA finişeri



Şekil 4.8. MA el işçiliği



Şekil 4.9. Özel ısıtıcılı MA taşıyıcısı (cooker)



Şekil 4.10. Cipping uygulaması ve sıkıştırılması

## Trinidad göl asfaltı (TNAC)

Trinidad gölü asfaltı dünyanın önde gelen tabii asfalt kaynağıdır. Batı Hint adalarından Trinidad’ da ki meşhur göl, asfaltın temin edildiği yerdir. Trinidad Venezüella ana karası yakınında 1700 milkarelik bir adadır. Yüzyıldan fazla süredir bilinen dünyanın en büyük tabii asfalt deposu olan Pitch gölü, Punta la Brea şehri yakınında adanın güney kıyısındaır.

MA katkı maddesi olarak kullanılan Trinidad gölü asfaltı avantajları ve fiziksel özellikleri Çizelge 4.2’de verilmiştir.

- Deformasyona karşı dirençlidir,
- Kayma direnci yükseltmektedir,
- Kaplamanın ömrünü arttırmaktadır,
- İşlenebilirliği arttırmaktadır,
- Agregalarla daha iyi adezyon sağlamaktadır.

Çizelge 4.2. Trinidad göl asfaltı özellikleri

Yumuşama Noktası (°C)	93-99
Kül (Mineral Madde) (%)	35-39
Penetasyon (25 °C’ de 100gr,5sn)	0-4
Çözülebilir Bitüm (trikloretilen) (%)	52-54
Özgül Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	1,39-1,44



Şekil 4.11. Trindad göl asfaltı (TNAC)



#### 4.4.2. Taş mastik asfalt (TMA)

TMA 40 yıl önce Almanya'da geliştirilmiştir. İlk olarak araçlarda kullanılan çivili lastikler sebebiyle meydana gelen aşınmaları önlemek amacıyla kullanılmıştır. Daha sonraları yüksek dingil yükleri, trafik hacmindeki artış ve en önemlisi tekerlek izi oluşumunu önlemek için TMA kullanımını artmıştır.

TMA karışımında yüksek oranda bağlayıcı, mineral filler, magmatik kaba agrega, az miktarda ince agrega ve selülozik elyaf katkısı kullanılmaktadır.

TMA üretim sıcaklığı geleneksel asfalta göre 10-15°C daha fazladır. Serme işleminde ise karışım 145°C'ye düşmeden silindiraja başlanmalı, 115°C'ye düşmeden önce tamamlanmalıdır. Sıkıştırılma esnasında vibrasyonsuz silindiraj yapılmalıdır.

#### Selülozik Elyaf Katkısı

Almanya'da üretilen, Avrupa ülkeleri ve Amerika'da yaygın olarak kullanılan selülozik elyaf, yüksek bağlayıcı içeren karışımları, taşıma ve serme işlemleri sırasında bağlayıcı malzemenin akıp gitmesini veya üstyapı yüzeyinde oluşacak bitüm kusmalarını engellemek için kullanılan bir malzemedir. Şekil 4.12'de bir örneği gösterilen selülozik elyaf katkısı karışım ağırlığının %0,03-1,0 arasında kullanılır.



Şekil 4.12. Selülozik elyaf katkı maddesi

#### **4.4.3. Modifiye bitümlü aşınma asfaltı (MAT)**

Beton köprülerde koruyucu tabaka olarak MAT karışımı da tercih edilmektedir. Geleneksel karışımlardan farkı bağlayıcının çeşitli katkıları ilave edilerek performansının artırılmış olmasıdır.

MAT'nin üretilmesi ve serilmesi geleneksel asfalt gibidir. Ancak bağlayıcıya ilave edilen katkılardan dolayı karışımın soğuma süresi kısalmaktadır. Bu yüzden özellikle sıkıştırılma işleminde çabuk olmak gerekmektedir.

Polimer modifiye bitümlerde (PMB) en sık kullanılan katkı maddesi olan Styrene-Bütadiene-Styrene (SBS) özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

#### **Polimer modifiye bitüm (PMB)**

SBS, elastomerik Styrene-Bütadiene-Styrene blok kopolimerdir. SBS ile bitümün karışımı bir çözülme olayı olup, kimyasal bir reaksiyon değildir. SBS bitüme katıldığında, hacmi 3-5 kat artar ve ağ yapısı oluşturur. Böylece çok geniş bir sıcaklık aralığında viskoelastik bir yapı oluşur. Karışımın yüksek sıcaklıklarda kıvamı artarken, düşük sıcaklıklarda kırılabilirliği azalır (Kara vd., 2009).

PMB üretiminde en fazla kullanılan katkı SBS' dir. SBS' in üstyapı karışımlarına sağladığı avantajlar aşağıda belirtilmiştir. PMB üretimde kullanılan katkılar Çizelge 4.3'de verilmiştir.

- Elastomerik ağ yapısının oluşturduğu viskoelastik yapı ile kalıcı deformasyon direncinde artış, tekerlek izinde oturmaya karşı direnç sağlamaktadır.
- Kritik çatlama sıcaklığını düşürerek düşük sıcaklıklarda çatlama karşı direnç sağlamaktadır.
- Artan sağlamlık ile mekanik ve temel yorulmaya karşı direnç sağlanır.
- Yaşlanma etkilerine ve yaşlanma çatlaklarının oluşuna karşı direnç sağlamaktadır (Özay, 2011).

Çizelge 4.3. Bağlayıcılarda kullanılan modifiye katkıları

<b>Elastomerik Termoplastik Polimerler</b>	
Styrene-Butadiene-Styrene kopolimer	SBS
Styrene-İsoprane-Styrene kopolimer	SS
Styrene-Butadiene	SB
Styrene-Butadiene-Random kopolimer	SBR
<b>Plastomerik Termoplastik Polimerler</b>	
Ethylene-Vinyl-Acetate kopolimer	EVA
Ethylene-Methyl-Acrylate kopolimer	EMA
Ethylene-Butyl-Acrylate kopolimer	EBA
<b>Latex</b>	
Polychloroprene	
SBR	
Natural rubber	

## 5. ÇALIŞMADA İZLENEN YÖNTEM VE KULLANILAN MALZEMELER

Bu bölümde, deneysel çalışma yöntemi belirlenerek, çalışmada kullanılacak ham maddelerin şartnameye uygunluğu kontrol edilip, karışımların dizayn raporlarının tespiti, karışımların hazırlanması ve deney yöntemleri hakkında bilgiler verilmiştir.

### 5.1. Deneysel Çalışma Yöntemi

Çalışma kapsamında karışımlarda kullanılacak agrega ve bitümlere ait özelliklerin şartnamelere uygunluğu kontrol edilmiştir. İSFALT A.Ş. dizayn raporlarına uygun şekilde her bir karışımdan 6'şar adet Marshall kontrol briketleri hazırlanmıştır. Bu briketlerin karışım yoğunlukları bulunularak deneylerde kullanılacak dizaynların uygunluk kontrolü yapılmıştır.

### 5.2. Malzemeler

Karışımlarda bazalt ve kalker olmak üzere iki farklı agrega, bağlayıcı olarak B 50/70 bitüm ve %5 SBS' ile modifiye edilmiş bağlayıcı ile karışımların performansını arttırıcı katkıları kullanılmıştır.

#### 5.2.1. Agrega

Bitümlü sıcak karışımlarda kullanılan agregaların gradasyonu, fiziksel ve mekanik özellikleri kaplamanın performansını doğrudan etkilemektedir. Volkanik kökenli agregaların diğer agregalara göre daha sert ve aşınmaya karşı daha dirençli olmaları sebebiyle yoğun trafik yüküne sahip yollarda kaba agrega olarak kullanılması tercih edilmektedir. Bu sebepten MA ve TMA karışımlarında kaba agrega bazalt, ince agrega olarak ise kalker kullanılmıştır. MAT karışımları kalker kullanılarak hazırlanmıştır.

Bazalt agregası Tekirdağ ili Çorlu ilçesinde bulunan Çalışkan Madencilğe ait ocaktan, kalker agregası Cebeci bölgesinde bulunan Erler Taşocağından temin edilmiştir.

Çalışmada kullanılan agregaların Karayolları Teknik Şartnamesi (KTŞ) Aşınma ve TMA şartname kriterleri esas alınarak yapılan deneylerin sonucu ve şartname sınır değerleri Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Agregaların fiziksel ve mekanik özellikleri

Deney Adı	Deney Sonucu		KTŞ 2013 Şartname Limitleri		Deney Yöntemi
	Bazalt	Kalker	TMA	AŞINMA	
<b>Kaba Agrega Özellikleri</b>					
Parçalanma Direnci (Los Angeles), % Kayıp	15	21	≤ 25	≤ 27	TS EN 1097-2
Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık (MgSO <sub>4</sub> ile Kayıp), %	1,0	2,0	≤ 14	≤ 16	TS EN 1367-2
Cıllanma Değeri, %	53,4	48	≥ 50	≥ 50	TS EN 1097-8
Yassılık İndeksi, %	13,0	18,0	≤ 20	≤ 20	TS EN 933
Soyulma Mukavemeti, (Bitümlü Kaplanmış Yüzey), %	80	60	≥ 60	≥ 60	TS EN 12697-11
Kaba Agregalarda Tane Yoğunluğu, (Hacim Özgül Ağırlığı-Kuru), g/cm <sup>3</sup>	2,646	2,710	-	-	TS EN 1097-6
Su Emme, (Absorbsiyon), %	0,35	0,43	≤ 2	≤ 2	TS EN 1097-6
Kil toprakları ve Ufalanabilir Daneler, %	-	-	bulunmayacak		ASTM C 142
<b>İnce Agrega Özellikleri</b>					
İnce Agregalarda Tane Yoğunluğu, (Hacim Özgül Ağırlığı-Kuru), g/cm <sup>3</sup>	-	2,699	-	-	TS EN 1097-6
Metilen Mavisi, (İnce Agreganın 0/2 mm kıs.), g/kg	-	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 <sup>3</sup>	-	2,701	-	-	TS EN 1097-7

Yapılan deneyler sonucunda karışımlarda kullanılacak agregaların fiziksel ve mekanik özellikleri bakımından KTŞ şartlarının sağlandığı gözlemlenmiştir.



### 5.2.2. Bitümlü bağlayıcılar

Bu çalışmada temel bağlayıcı olarak TÜPRAŞ A.Ş. İzmit rafinerinden temin edilen 50/70 penetrasyonlu bitüm, modifiye edici katkı olarak TNAC ve SBS (KRATON D 0243) kullanılmıştır.

MAT ve TMA karışımlarında kullanılan %5 SBS ile modifiye edilmiş bağlayıcı, MA karışımında ise %50 oranında B 50/70 bitüm ve %50 oranında TNAC bitüm içeren bağlayıcı kullanılmıştır. B 50/70 bitüm özellikleri Çizelge 5.2’de, MA karışımlarında kullanılan bağlayıcı özellikleri Çizelge 5.3’de, MAT ve TMA karışımlarında kullanılan bağlayıcı özellikleri Çizelge 5.4’de verilmiştir.

Çizelge 5.2. 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 <sup>3</sup>	1,014	1,0-1,1	TS EN 15326

Çizelge 5.3. %50 B 50/70 ve % 50 TNAC içeren 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 karışımlarda kullanılacak bağlayıcıların KTŞ 2013 şartname sınırları içerisinde kaldığı görülmektedir.

Çizelge 5.4. % 5 SBS içeren bağlayıcı özellikleri

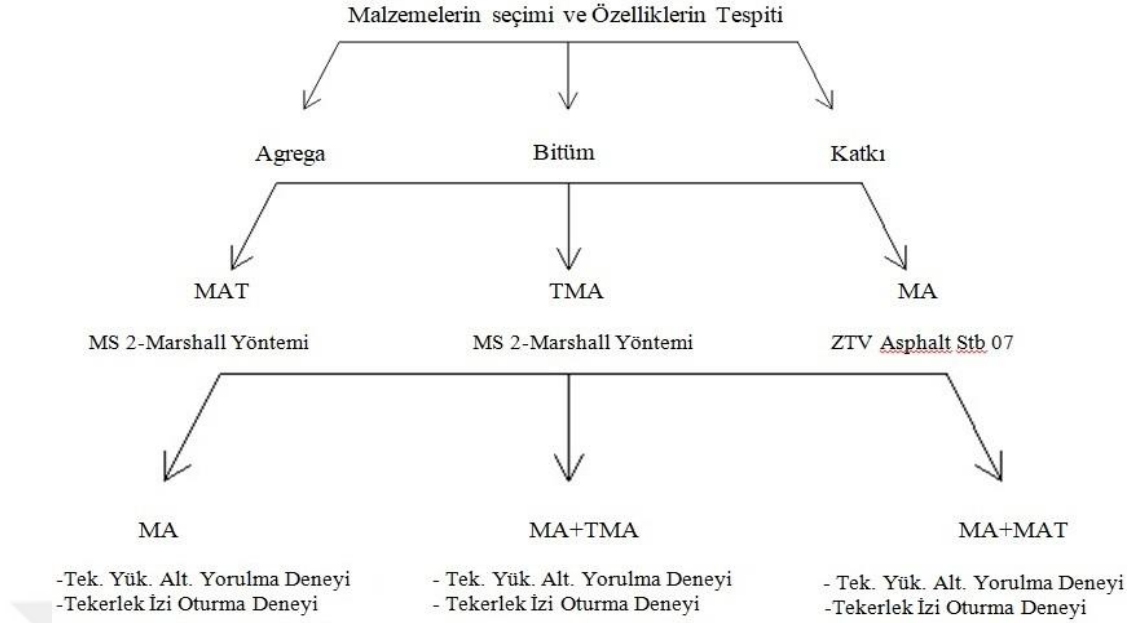
Deney Adı	Birimi	Değeri	KTŞ 2013 PMB 76-16	Deney Yöntemi
Penetrasyon (25°C, 100 gr, 5 sn)	0,1 mm	44,5	25-55	TS EN 1426
Yumuşama Noktası	°C	82,5	≥ 65	TS EN 1427
Özgül Ağırlık	gr/cm <sup>3</sup>	1,013	1,0-1,1	TS EN 15326
Parlama Noktası	°C	320	≥ 220	TS EN ISO 2592
Elastik Geri Dönme, 25°C	%	92,5	≥ 60	TS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

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

### 5.2.3. Karışım dizaynları

MAT ve TMA karışımı için 2013 KTŞ Tip 2 asfaltı şartname limitlerine uyulurken, MA ile ilgili ülkemizde bir şartname bulunmadığından dolayı bu karışımda Almanya'ya ait ZTV Asphalt-STB 07 karışım şartname limitlerine uyulmuştur.

Çalışmada izlenen yöntemle ait akış şeması Şekil 5.1'de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere, çalışma kapsamında öncelikli olarak malzeme seçimi, karışım tasarımına ait kontrol briketleri ve karışım performanslarının ölçülmesi amacıyla tekrarlı yükler altında yorulma ve tekerlek izinde oturma deneyleri uygulanmıştır.



Şekil 5.1. Çalışmanın aşamaları

### 5.1.3.1. MAT karışım dizaynı

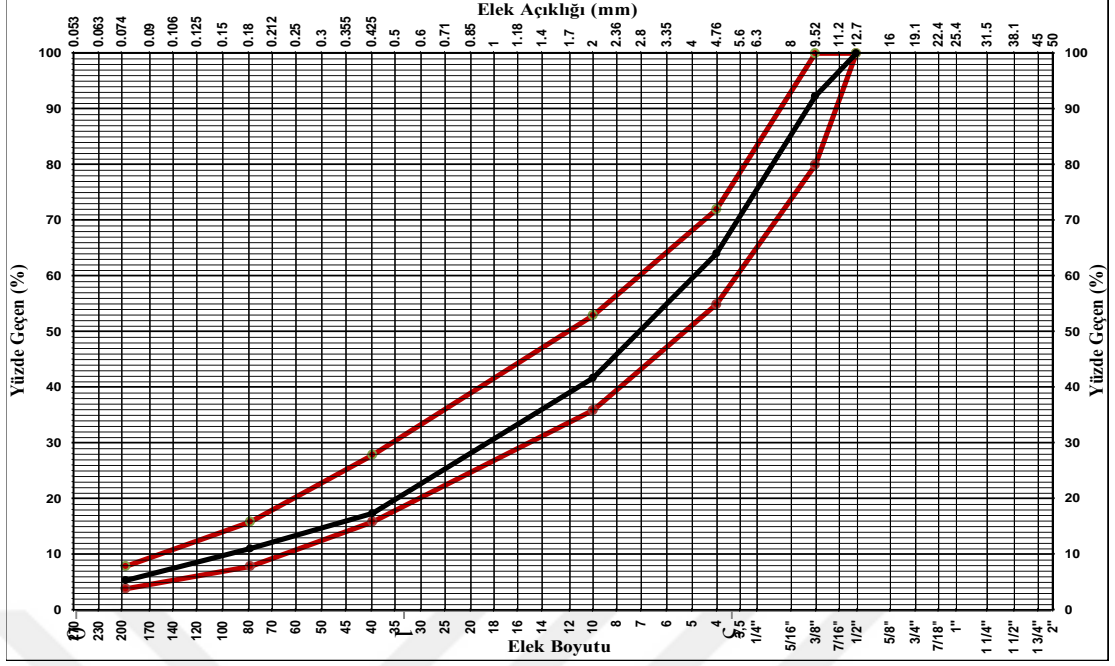
MAT dizaynında, Cebeci bölgesine ait kalker agregası ve bağlayıcı olarak PMB 76-16 kullanılmıştır.

Agregalara yapılan elek analizleri sonucunda KTŞ şartnamesine uygun şekilde hazırlanan agreganın kullanım oranları Çizelge 5.5’de verilmiştir.

Çizelge 5.5. MAT agreganın kullanım oranı ve karışım gradasyonu

Kullanım Oranı		40%	60%	Karışım Gradasyonu	KTŞ 2013 Aşınma Tip 2 Şartname Limitleri	
Elek Açıklığı (İnç)	(mm)	5-12 mm Kalker	0-5 mm Kalker			
1/2 "	12,5	100,0		100,0	100,0	
3/8 "	9,5	80,7	100,0	92,3	80	100
No 4	4,75	11,7	99,1	64,1	55	72
No 10	2,00	1,4	68,7	41,8	36	53
No 40	0,425	1,1	28,4	17,5	16	28
No 80	0,180	1,1	17,9	11,2	8	16
No 200	0,075	1,1	8,5	5,5	4	8

Karışımın KTŞ Aşınma Tip 2 sınırları içerisinde kaldığı görülmektedir. Şekil 5.2’de karışım gradasyon grafiği gösterilmiştir.



Şekil 5.2. MAT karışım gradasyon grafiği

MS-2 Marshall metodu kullanılarak 2x75 darbeyle 145°C’de hazırlanan numunelerle yapılan MAT Tip 2 dizaynı sonucu Çizelge 5.6’de verilmiştir.

Çizelge 5.6. MAT dizayn değerleri

	Deney Sonucu	KTŞ 2013 Şartname Limitleri	Deney Yöntemi
Briket Yapımında Uyg. Darbe Sayısı	75	75	TS EN 12697-30
Bitüm % ' si (ağırlıkça, 100'e)	4,90±0,2	4,0-7,0	TS EN 12697-1
Pratik Özgül Ağırlık, gr/cm <sup>3</sup>	2,421	-	TS EN 12697-6
Marshall Stabilitesi, kg	1410	≥ 900	TS EN 12697-34
Boşluk, %	4	3- 5	TS EN 12697-8
Asfaltta Dolu Boşluk, %	72	65-75	TS EN 12697-8
Agregalar Arası Boşluk (VMA), %	14,52	14-16	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 20000 geçiş 5cm kalınlık, 60°C) mm	4	≤ 4,5	TS EN 12697-22
İndirekt Çekme Mukavemeti Oranı (İÇM),%	84,9	≥ 80	AASHTO T 283

Asphalt Institute MS-2 Marshall metoduna göre hazırlanan MAT Tip 2 dizaynı sonucunda, optimum bitüm; kuru agregaya göre ağırlıkça %4,90±0,2 (1000 gr kuru agrega+49 gr %5 SBS içeren modifiye bağlayıcı) olarak belirlenmiştir.

MAT dizayn değerlerine uygun şekilde Marshall kontrol briketleri hazırlanmıştır. şekil 5.3'de bir rneği gösterilen MAT kontrol briketlerinin havadaki, sudaki ve doygun yüzey kuru ağırlıkları ölçülmüştür. Elde edilen değerlerden faydalanılarak hacim ve özgül ağırlıkları bulunmuştur. Her bir numunenin yoğunluğu ile ortalama yoğunluk arasındaki farkın 0,015'den büyük olmamasına dikkat edilmiştir. Bu numuneler şekil 5.4'de gösterilen Marshall test cihazına tabii tutularak stabilite (kN) ve akma (mm) değerleri elde edilmiştir. MAT kontrol briketleri sonuçları izelge 5.7'de verilmiştir.



şekil 5.3. Hazırlanan Marshall kontrol briketleri



şekil 5.4. Marshall test cihazı

Çizelge 5.7. MAT kontrol briketleri değerleri

Briket No	Bitüm %	Bitüm Miktarı	Yükseklik	Havadaki Ağırlık (A)	Havadaki Ağırlık (gr) Doy.Yüzey (B)	Sudaki Ağırlık (gr) (C)	Hacmi ( V ) (B-C)	Pratik Özgül Ağırlık ( Dp ) A/(B-C)	Akma	Tahsis Edilmiş Stabilité
1	4,90	56,4	63,0	1199,9	1201,0	703,5	497,5	<b>2,412</b>	2,61	1353
2	4,90	56,4	63,1	1201,0	1201,8	705,0	496,8	<b>2,417</b>	2,74	1345
3	4,90	56,4	63,3	1203,2	1204,3	706,8	497,5	<b>2,418</b>	3,26	1371
4	4,90	56,4	62,6	1208,9	1209,8	710,2	499,6	<b>2,420</b>	3,04	1344
5	4,90	56,4	62,7	1207,4	1209,9	710,0	499,9	<b>2,415</b>	3,40	1353
6	4,90	56,4	61,9	1208,3	1209,6	710,6	499,0	<b>2,421</b>	3,50	1334

Yapılan kontrol sonucunda pratik özgül ağırlık ortalaması ile her bir briketin özgül ağırlığı ile arasındaki fark 0,015' den fazla değer olmadığı için karışımlarda Çizelge 5.5'de verilen dizayn gradasyon ve Çizelge 5.6'da verilen bağlayıcı oranı kullanılmıştır.

#### 5.1.3.2. TMA karışım dizaynı

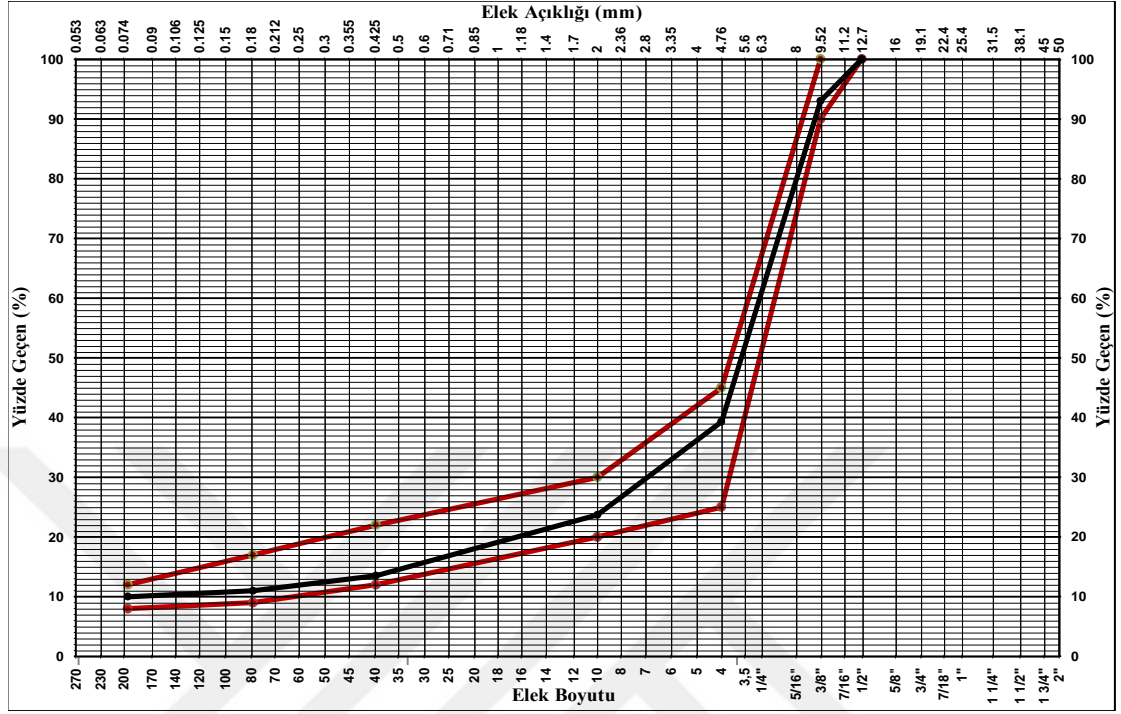
TMA dizaynında, ince agrega Cebeci bölgesine ait kalker, kaba agrega Çorlu bölgesinden bazalt, selülozik elyaf (fiber) ve bağlayıcı olarak PMB 76-16 kullanılmıştır.

Agregalara yapılan elek analizleri sonucunda KTŞ şartnamesine uygun şekilde hazırlanan agrega kullanım oranları ve karışım gradasyonu Çizelge 5.8'de verilmiştir.

Çizelge 5.8. TMA agrega kullanım oranı ve karışım gradasyon

Kullanım Oranı		62%	32%	6%	Karışım Gradasyonu	KTŞ 2013 TMA Tip 2 Şartname Limitleri	
Elek Açıklığı (İnce)	(mm)	5-12 mm Bazalt	0-5 mm Kalker	Kalsit			
1/2 "	12,5	100,0			100,0	100,0	
3/8 "	9,5	87,7	100,0		93,0	90	100
No 4	4,75	4,7	94,9		39,3	25	45
No 10	2,00	1	53,5		23,7	20	30
No 40	0,425	0,8	21,8		13,5	12	22
No 80	0,180	0,8	14,9		11,3	9	17
No 200	0,075	0,7	11,1	100,0	10,0	8	12

KTŞ TMA Tip 2 sınırları içerisinde kaldığı görülmektedir. Şekil 5.5’de karışım gradasyon grafiği gösterilmiştir.



Şekil 5.5. TMA karışım gradasyon grafiği

MS-2 Marshall metodu kullanılarak 2x50 darbeyle 155-160°C’de hazırlanan numunelerle yapılan TMA Tip 2 dizaynı sonucu Çizelge 5.9’da verilmiştir.

Çizelge 5.9. TMA dizayn değerleri

	Deney Sonucu	KTŞ 2013 Şartname Limitleri	Deney Yöntemi
Briket Yapımında Uygulanacak Darbe Sayısı	50	50	TS EN 12697-30
Bitüm %'si (ağırlıkça, 100'e)	6,65 ± 0,2	≥ 6,5	TS EN 12697-1
Hava Boşlukları, %	3,0	2-4	TS EN 12697-8
Agregalar Arası Boşluk (VMA), %	17,2	≥ 17	TS EN 12697-8
Pratik Özgül Ağırlık, gr/cm <sup>3</sup>	2,354	-	TS EN 12697-6
İndirekt Çekme Mukavemeti Oranı (İÇM),%	93,1	≥ 80	AASHTO T 283
Tekerlek İzinde Oturma (HWT 20000 geçiş 5cm kalınlık, 60°C) mm	2,5	≤ 3,5	TS EN 12697-22
Elyaf Miktarı, %	0,3	0,3-1	
Schellenberg Bitüm Süzülme, %	0,11	≤ 0,3	TS EN 12697-18

Asphalt Institute MS-2 Marshall metoduna göre hazırlanan TMA Tip 2 dizaynı sonucunda, optimum bitüm; kuru agregaya göre ağırlıkça %6,65±0,2 (1000 gr kuru agregaya+66,5gr %5 SBS içeren modifiye bağlayıcı) olarak belirlenmiştir. Karışım deneylerinde bu değerlere göre numuneler hazırlanmıştır.

TMA için hazırlanan Marshall kontrol briketleri sonuçları Çizelge 5.10'da verilmiştir.

Çizelge 5.10. TMA kontrol briketleri değerleri

Briket No	Bitüm %	Bitüm Miktarı	Yükseklik	Havadaki Ağırlık (A)	Havadaki Ağırlık (gr) Doy.Yüzey (B)	Sudaki Ağırlık (gr) (C)	Hacmi (V) (B-C)	Pratik Özgül Ağırlık (Dp) A/(B-C)	Akma	Tahsis Edilmiş Stabilité
1	6,65	76,5	66,2	1210,5	1213,6	701,2	512,4	2,362	4,21	892
2	6,65	76,5	66,4	1215,2	1216,1	698,6	517,5	2,348	4,23	960
3	6,65	76,5	67,3	1219,8	1220,9	701,3	520,1	2,348	5,16	971
4	6,65	76,5	65,3	1211,5	1212,8	699,9	512,9	2,362	4,96	959
5	6,65	76,5	66,3	1223,4	1224,2	703,8	520,4	2,351	5,55	859
6	6,65	76,5	66	1221,8	1222,1	702,8	519,3	2,353	4,05	903

Yapılan kontrol sonucunda pratik özgül ağırlık ortalaması ile her bir briketin özgül ağırlığı ile arasındaki fark 0,015'den fazla değer olmadığı için karışımlarda Çizelge 5.8'de verilen dizayn gradasyon ve Çizelge 5.9'da verilen bağlayıcı oranı kullanılmıştır.

### 5.1.3.3. MA karışım dizaynı

MA dizaynında, ince agregaya Cebeci bölgesine ait kalker, kaba agregaya Çorlu bölgesinden bazalt, mikronize, filler olarak kalsit ve bağlayıcı olarak %50 oranında B 50/70 bitüm ve %50 oranında TNAC kullanılmıştır.

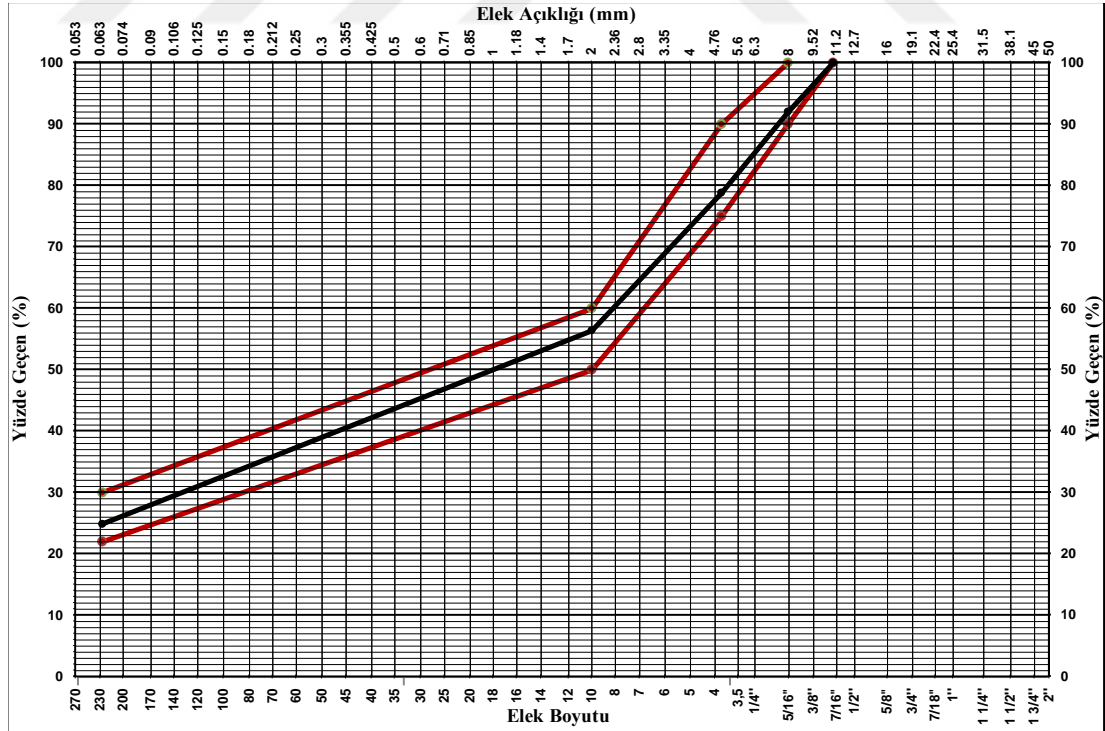
Agregalara yapılan elek analizleri sonucunda ZTV Asphalt StB 07 şartnamesine uygun şekilde hazırlanan agregaya kullanım oranları ve karışım gradasyonu Çizelge 5.11'de verilmiştir.



Çizelge 5.11. MA agrega kullanım oranı ve karışım gradasyonu

Kullanım Oranı	23%	52%	10%	15%	Karışım Gradasyonu	Almanya TL Asphalt STB 07 Şartname Limitleri	
Elek açıklığı	5-10 mm Bazalt	0-5 mm Kalker	0-2 mm Mikronize	Kalsit			
11,0	100,0				100,0	100,0	
8,0	65				92,0	90	100
5,0	9	100			78,8	75	90
2,00	0,8	60	100		56,4	50	60
0,063	0,6	15,2	19,0	100	24,9	22	30

ZTV Asphalt STB 07 Şartname Limitlerine göre yapılan karışım gradasyonunda %23'ü 11-5 mm elek arasından, %52'si 5,0-0,063 mm elek arasından, %10 oranında mikronize katkı ve %15'i 0,063 mm elek altından kullanıldığında şartname sınırları içerisinde kaldığı görülmektedir. Şekil 5.6'da karışım gradasyon grafiği gösterilmiştir.



Şekil 5.6. MA karışım gradasyon grafiği

220 °C' de hazırlanan numunelerle MA 8 dizaynı sonucu Çizelge 5.12'de verilmiştir.

Çizelge 5.12. MA dizayn değerleri

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

%50 oranında B 50/70 bitüm ve %50 oranında TNAC ile hazırlanan MA 8 dizaynı sonucunda optimum bitüm; kuru agregaya göre ağırlıkça %8,70±0,5 ( 1000 gr kuru agregaya+87 gr bağlayıcı) olarak belirlenmiştir.

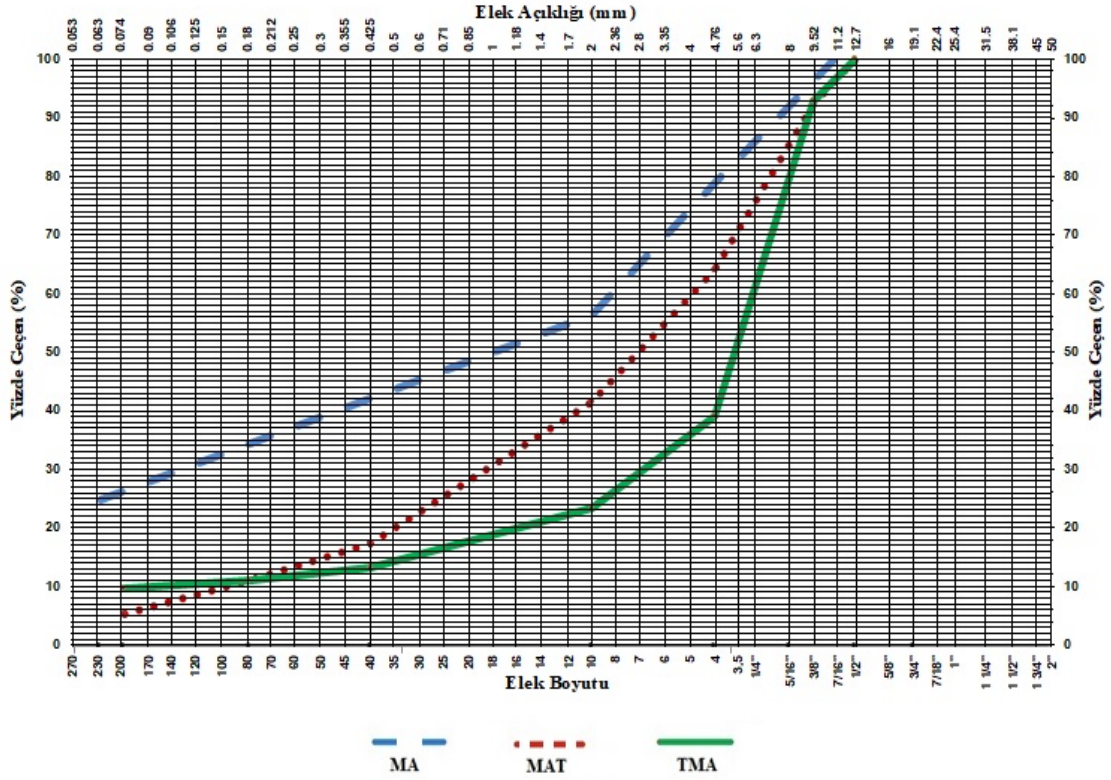
MA için hazırlanan kontrol briketleri penetrasyon sonuçları Çizelge 5.13'de verilmiştir.

Çizelge 5.13. MA kontrol briketleri penetrasyon değerleri

Batma Derinliği (TS EN 12697-20) (40 °C) (mm)						Batmadaki Artış (mm)	Bitüm Miktarı %
30 dk		30 dk Ort. (1-3)	60 dk		60 dk Ort.	30 dk'dan sonra (max. 0,4)	
1,63	1,65	<b>1,64</b>	1,68	1,81	1,75	<b>0,11</b>	8,7
1,75	1,81	<b>1,78</b>	1,92	1,87	1,90	<b>0,12</b>	8,7
1,64	1,78	<b>1,71</b>	1,75	1,96	1,86	<b>0,15</b>	8,7
1,58	1,64	<b>1,61</b>	1,75	1,78	1,77	<b>0,16</b>	8,7
1,67	1,86	<b>1,77</b>	1,86	1,96	1,91	<b>0,15</b>	8,7
1,86	1,75	<b>1,81</b>	1,93	1,97	1,95	<b>0,15</b>	8,7
	<b>Ort :</b>	<b>1,72</b>			1,85	<b>0,14</b>	<b>8,70</b>

Yapılan kontrol sonucunda 30 dk. batma ortalaması ve 3 dk.'dan sonra batmadaki artış miktarı TL Asphalt StB 07 Şartname MA 8 şartnamesini sağladığı için karışımlarda Çizelge 5.12'de verilen dizayn oranları kullanılmıştır.

Performans deneylerinde kullanılacak üstyapı karışımlarının hangisinin daha kaba gradasyona sahip olduğunu görmek amacı ile agrega gradasyon eğrileri Şekil 5.7’de birlikte verilmiştir.

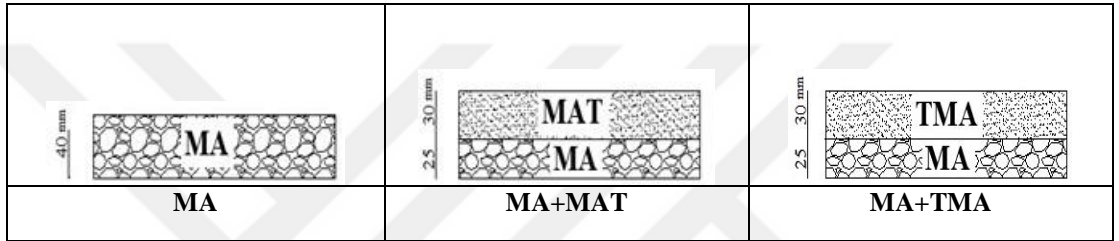


Şekil 5.7. Karışımların gradasyon eğrileri

4,76 mm elek açıklığından MA karışımının %79’u, MAT karışımının %64’ü ve TMA karışımının %39’unun geçtiği görülmektedir. Kesikli gradasyona sahip olan TMA karışımı en kaba karışımdır. Bu karışımı sırası ile MAT ve MA karışımı izlemektedir.

## 6. ÇELİK KÖPRÜ ÜSTÜ KAPLAMALARINA UYGULANAN DENEYLER

Çelik tabliyeli köprü üzerindeki üstyapı kaplamalarının tekrarlı yükler altında tekerlek izi oluştuğu, trafik yüklerinden dolayı oluşan gerilmeler neticesinde kaplamaların yorulduğu ve çatlakların oluştuğu görülmektedir. Bu nedenle Şekil 6.1’de gösterilen karışım tiplerinde hazırlanan üstyapı karışımlarının performanslarını karşılaştırmak için tekrarlı yükler altında yorulma ve tekerlek izi oturma deneyleri yapılmıştır.



Şekil 6.1. Performans deneyleri yapılan üstyapı karışım tipleri

Şekil 6.1’de belirtilen üstyapı kaplamalarına uygulanacak performans deneyleri için laboratuvar şartlarında MA, MA+MAT ve MA+TMA karışımlarından 6’şar adet kalıp üretilmiştir. Üretilen bu kalıpların ölçüleri ve karışımların ağırlıkları Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Deneyler için hazırlanan üstyapı karışım tiplerinin ağırlıkları

Üstyapı Karışım Tipleri	Kalıp Ölçüleri			Pratik Özgül ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	Karışım Ağırlıkları (gr)
	En (mm)	Boy (mm)	Yük. (mm)		
MA	260	410	40	2,365	10.084,36
MA + MAT	260	410	25	2,365	6.302,73
	260	410	30	2,421	7.742,36
MA + TMA	260	410	25	2,365	6.302,73
	260	410	30	2,354	7.528,09

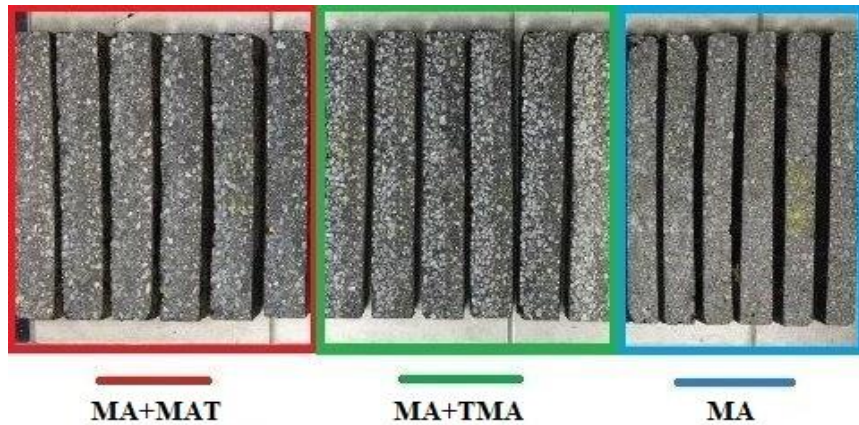
## 6.1. Tekrarlı Yükler Altında Yorulma Deneyi

Üstyapı karışımlarında “yorulma bozulması” terimi genellikle taşıt yüklerinin tekrarlı geçişi sebebiyle oluşan gerilmeler neticesinde kaplamada oluşan bozulmalar için kullanılır. Üstyapı kaplamalarının yapısal davranışını öngörmek, veri elde edebilmek ve karışımların özelliklerine göre deney verilerini değerlendirebilmek amacı ile tekrarlı yükler altında yorulma deneyi yapılmaktadır.

Yorulma deneyi “TS EN 12697-24: Bitümlü karışımlar- Sıcak asfalt karışımlar- Deney yöntemleri- Bölüm 24: Yorulma direnci” standardına göre yapılmaktadır. Bu deney sayesinde belirlenen sabit tekrarlı yükler ile numunenin sertlik dayanımındaki değişimi, harcanan toplam enerji miktarı ve uygulanan tekrarlı yük sayısı gibi kaplamanın hizmet ömrü açısından fikir verecek veriler elde edilmektedir.

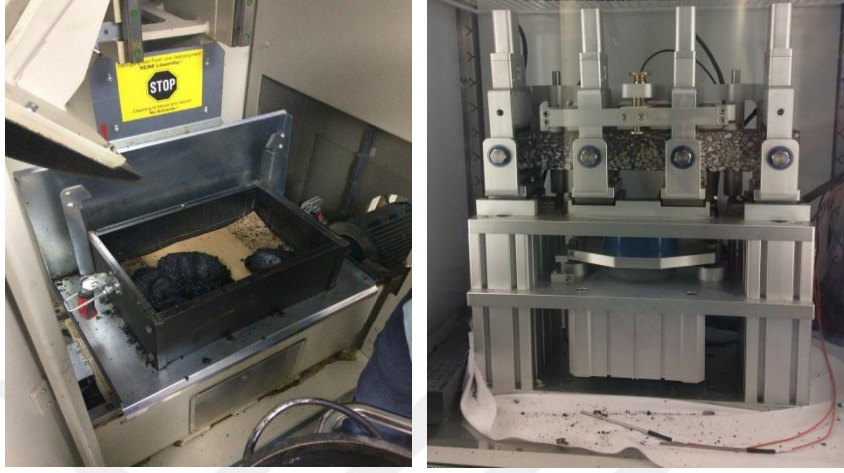
### 6.1.1. Tekrarlı yükler altında yorulma deneyi yapılışı

Çizelge 6.1’de Marshall dizaynı sonucu bulunan pratik özgül ağırlık değerleri ile 3 farklı üstyapı tipinin karışım ağırlıkları belirtilmiştir. Her bir karışım tipinden 5 adet numune tekrarlı yükler altında yorulma deneyi için hazırlanmıştır. Hazırlanan deney numuneleri oda sıcaklığında bekletildikten bir gün sonra kalıptan çıkarılarak Şekil 6.2’de gösterilen tek tabakalı mastik asfalt için 410x50x40 (mm) (Lxdxh), çift tabakalı MA+MAT ve MA+TMA için 410x50x55 (mm) boyutlarında numuneler hazırlanmıştır.



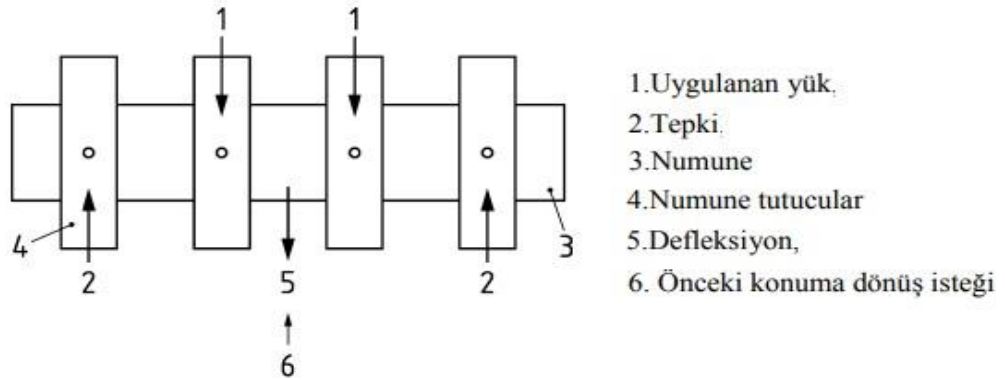
Şekil 6.2. Tekrarlı yükler altında yorulma deneyi numuneleri

Deney numuneleri Şekil 6.3’de gösterilen 4 nokta yorulma deney aletine yerleştirilmeden önce TS EN 12697-24 standartlarında belirtildiği gibi minimum 1 saat 20°C’de şartlandırılmıştır.



Şekil 6.3. Karışım numuneleri hazırlanması ve 4 nokta yorulma deney aleti

Deney aletinin çalışma yöntemi; yorulma yüklemesi altında iç ve dış mengenerin simetrik şekilde yerleştirildiği dikdörtgen şekilli numuneler periyodik olarak dört noktalı bir eğmeye tabii tutulur. Eğmeyi gerçekleştirmek için dış mengenerler sabit kalacak şekilde iç mengenerlere dikey yönde kiriş eksenine dik olacak şekilde yük uygulanır. Şekil 6.4’de 4 nokta yorulma deneyi çalışma prensibi verilmiştir.



Şekil 6.4. 4 nokta yorulma deneyi çalışma prensibi

Deneyin başlaması için numune boyutları, kuru ağırlığı, uygulayacağımız yükün saniyedeki tekrar sayısı (hz) ve deney süresince sabit olarak numunede istenen deformasyon değeri tanımlanıp deney başlatılmaktadır. Deney başlangıcında cihaz

numunenin başlangıç rijitlik (stiffness) değeri ölçülüp kaydetmektedir. Belirli sayı uygulandıktan sonra rijitlik değeri tekrar hesaplanmaktadır. Bu işlem numunenin deney başlangıcındaki ölçülen rijitlik değerinin yarı değerine düştüğü anda deney sonlanmaktadır. Eğer rijitlik değeri 2.000.000 tekrarlı yükte yarısı değerine düşmez ise operatör tarafından deney sonlandırılmaktadır.

Hesaplarda kullanılan genel prensip deformasyonu sabit tutabilmek için numuneye uygulanan yükün oluşturduğu gerilimin belirlenen straine oranı numunenin rijitliğini vermektedir.

$$\text{Numune rijitliği (Mpa)} = \text{gerilim} / \text{strain}$$

Stress, Mpa biriminde, strain ise birimsizdir. Genel olarak rijitlik, ısı azaldıkça, karışım yoğunluğu arttıkça ve bitümlü bağlayıcının penetrasyonu azaldıkça artmaktadır.

### 6.1.2. Tekrarlı yükler altında yorulma deneyi sonuçları

Yorulma deneyi sabit 10 Hz frekansta, sabit 150, 200 ve 350 birim deformasyon (strain) seviyelerinde yapılmış ve numunenin deney başlangıcındaki ölçülen sertlik değerinin yarı değerine düştüğü anda deney sonlandırılmıştır. Çıkan sonuçlar Çizelge 6.2'de verilmiştir.

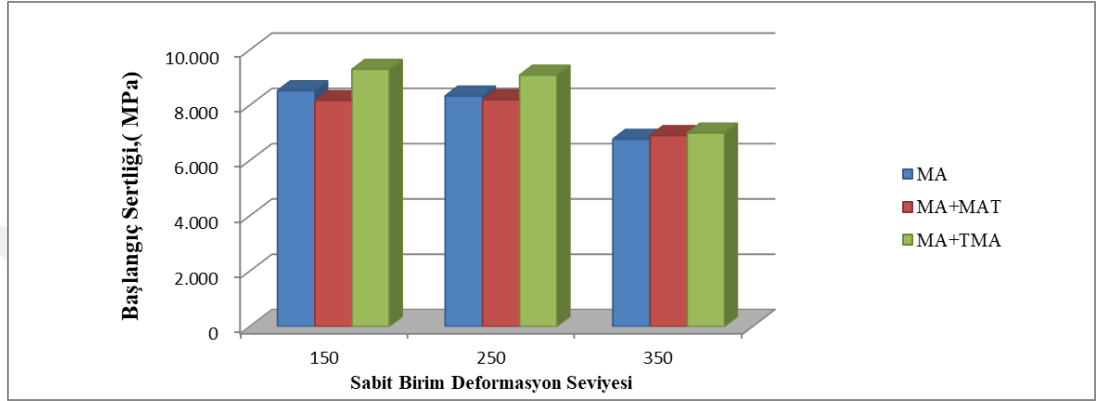
Çizelge 6.2. Tekrarlı yükler altında yorulma deneyi sonuçları

	Birim Def.	Frekans Hz	Sıcaklık °C	Başlangıç Stiffness Mpa	Deney Sonu Stiffness Mpa	Stifness Değ. %	Harcanan Toplam Enerji MJ/m <sup>3</sup>	Yük Tekrar Sayısı
MA	150	10	20	8534	4267	50,0	374,75	2.165.928
	250	10	20	8339	4169	50,0	84,89	186.421
	350	10	20	6776	3385	50,0	71,17	69.079
MA + MAT	150	10	20	8175	4086	50,0	122,10	767.335
	250	10	20	8207	4103	50,0	25,90	59.955
	350	10	20	6904	3438	50,0	13,00	21.251
MA + TMA	150	10	20	9301	4649	50,0	615,20	3.542.403
	250	10	20	9094	4546	50,0	142,25	278.718
	350	10	20	7001	3497	50,0	76,90	89.064

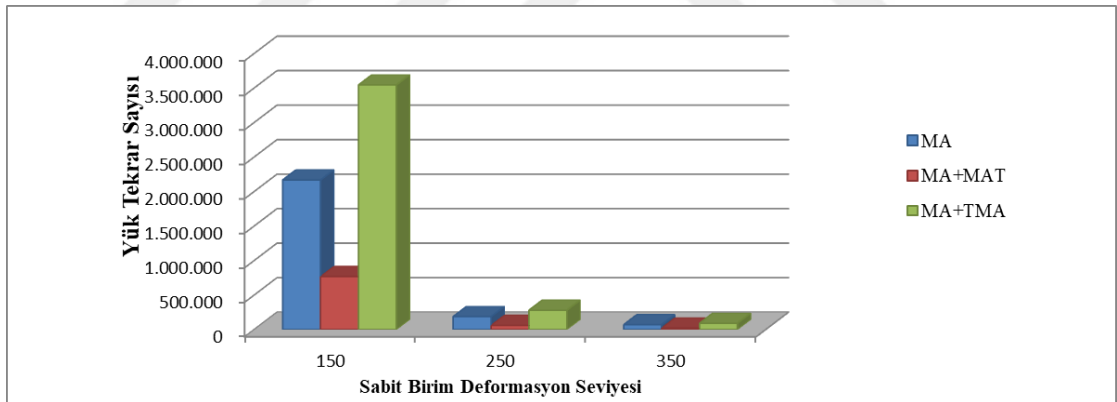


MA+TMA karışım numunelerinin her birim deformasyon grubunda daha fazla yük tekrar sayısına ulaşmış ve daha fazla enerji sönmülediği görülmüştür.

Şekil 6.5’de numunelerin başlangıç sertlik değerleri ve Şekil 6.6’da ise sertlik değerlerinin yarı değerine düşmesine sebep olan yük tekrar sayıları grafikler üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 6.5. Numunelerin birim deformasyonlarda başlangıç sertlikleri



Şekil 6.6. Numunelerin birim deformasyondaki yük tekrar sayıları

Yapılan deneyler sonucunda, sertlik modülünün yarısına kadar azaldığı yük tekrar sayıları sabit 150 birim deformasyonda MA için 2.165.928, MA+MAT için 767.335, MA+TMA için 3.542.403 yük tekrar sayısına ulaştığı görülmüştür.

Şekil 6.7’de üstyapı karışımlarının birim deformasyondaki sertlikleri değerlerinin %50 azalmasına sebep olan tekrar yük sayıları grafik üzerinde gösterilmiştir.



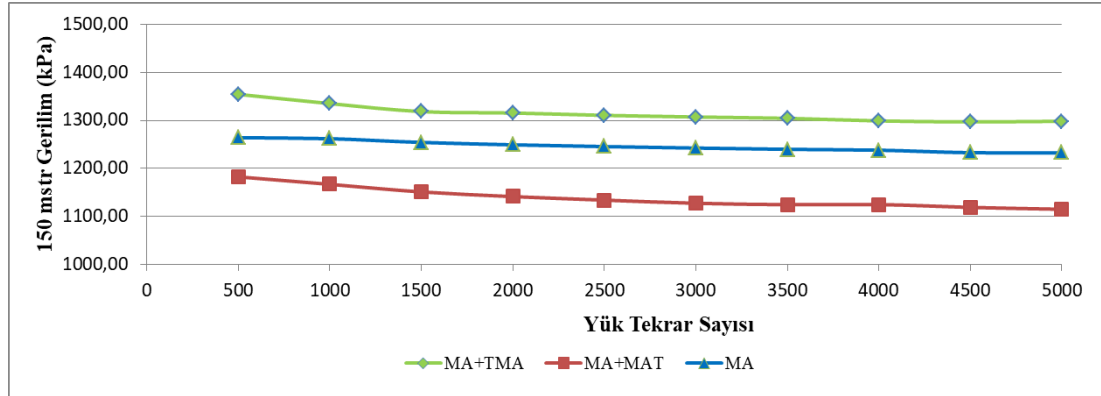
### Sabit Birim Deformasyon Seviyeleri



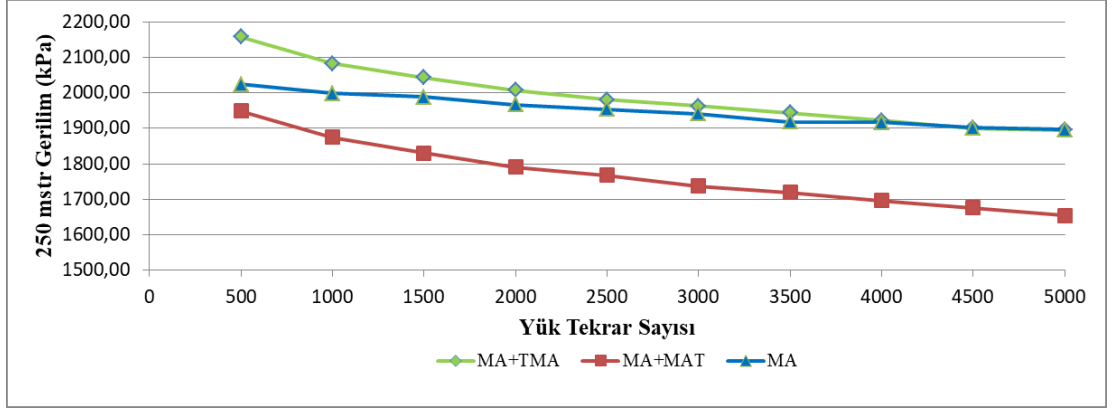
Şekil 6.7. Karışımların sertliklerinin yarı değerine ulaştıkları tekrar sayısı grafiği

Sabit 150 birim deformasyonda 5000 MPa sertlikte MA+TMA karışımı 3.100.000, MA karışımı 1.700.000, MA+MAT karışımı 600.000 yük tekrar sayısına ulaştığı görülmüştür.

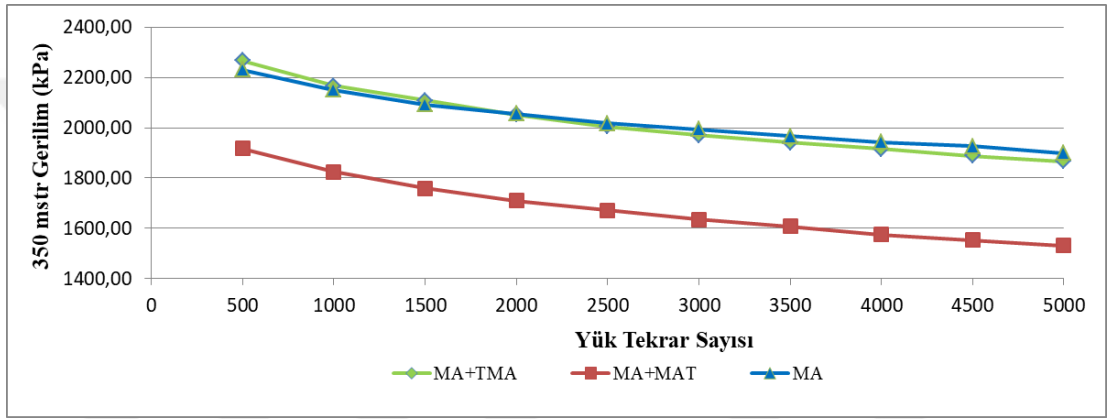
Sabit deformasyonları yakalamak için deney numunelerine uygulanan kuvvetten dolayı oluşan gerilmelerin değişim grafikleri 150 sabit deformasyon için Şekil 6.8’de, 250 sabit deformasyon için Şekil 6.9’da ve 350 sabit deformasyon için Şekil 6.10’da gösterilmiştir.



Şekil 6.8. 150 mstr’ de gerilme değişim grafiği



Şekil 6.9. 250 mstr' de gerilme değişim grafiği



Şekil 6.10. 350 mstr' de gerilme değişim grafiği

Karışımların yorulma davranışlarını analiz etmek için sabit birim deformasyon değerlerinde aynı yük tekrar sayılarındaki gerilme değişimi grafikleri çizilmiştir. MA+TMA ve MA+MAT grafiklerinin eğimlerinde değişkenlikler olduğu, MA grafiğinin ise daha sabit eğimli olduğu gözlemlenmektedir. Bu durumun MA' nın boşluksuz bir yapıya sahip olmasından kaynaklandığı söylenebilir.

Yapılan deneyler sonucunda numunelerde çatlak gelişimini göstermek amacı ile General Electric marka, Proteus XR/A model röntgen cihazında görüntüleme yapılmıştır. Yapılan işlemler sonucunda Şekil 6.11'de gösterilen özellikle numunenin orta kısmında kılcal çatlaklar gözlemlenmiştir.



Şekil 6.11. MA+TMA numunelerinde oluşan kılcal çatlaklar görüntüleri

## 6.2. Tekelek İzi Oturma Deneyi

Tekerlik izi oturma deneyi, bitümlü sıcak kaplamaların tekerlek yükleri altında kalıcı deformasyonlara karşı gösterdiği dayanımı ölçmek için yapılan deneydir.

“TS EN 12697-22; Bitümlü karışımlar- Sıcak asfalt karışımlar- Deney yöntemleri- Bölüm 22: Tekerlek izi” standardında tanımlanan bu deney laboratuvar ve sahada alınan numuneler üzerine sabit sıcaklıkta ve sabit yükteki tekerleğin tekrarlı geçişler yapmasıyla gerçekleştirilmektedir. Deney sonucunda oluşan tekerlek izi derinliği bitümlü sıcak karışımların deformasyon oluşumuna karşı dayanımını göstermektedir.

Tekerlek izi performansını laboratuvar koşullarında değerlendirmek için farklı özelliklere sahip aletler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerinden her biri farklı bir sistemde çalıştığından sonuçlarda farklılıklar olabilmektedir. Bu çalışmada Şekil 6.12’de gösterilen Hamburg tekerlek izi aleti kullanılmıştır.



Şekil 6.12. Hamburg tekerlek izi deney aleti

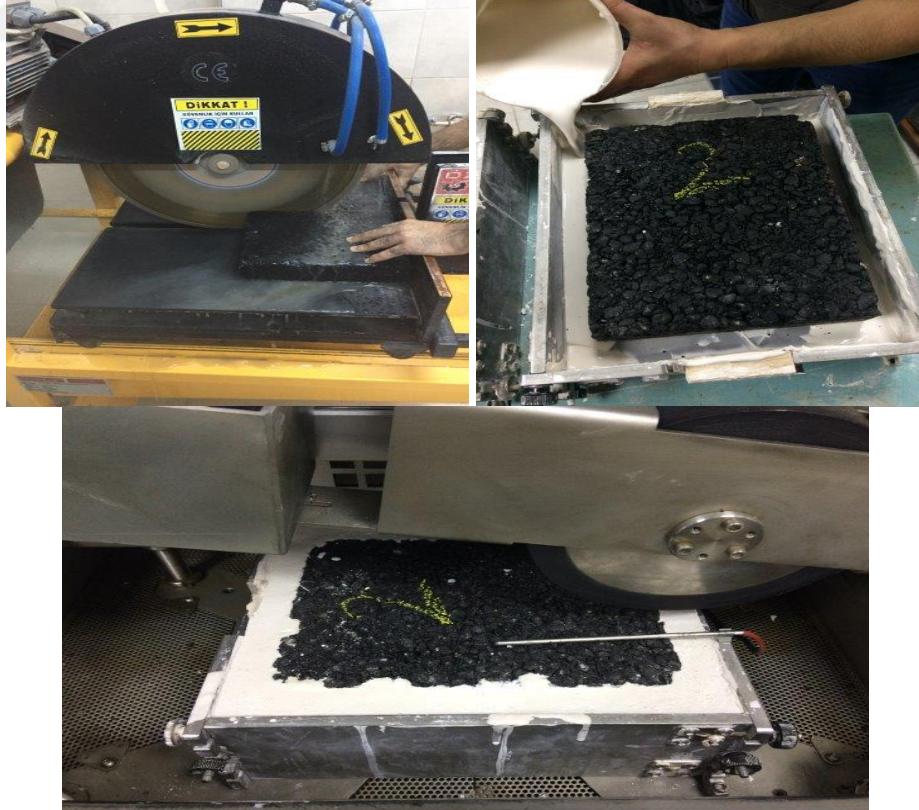


### 6.2.1. Tekerlek izi oturma deneyi yapılışı

Çizelge 6.1’de Marshall dizaynı sonucu bulunan pratik özgül ağırlık değerleri ile 3 farklı üstyapı tipinin karışım ağırlıkları belirtilmiştir. Her bir karışım tipinden 1 adet numune tekerlek izi oturma deneyi için hazırlanmıştır. Hazırlanan deney numuneleri oda sıcaklığında bekletildikten bir gün sonra kalıptan çıkarılarak iki eşit parçaya bölünmüştür. Numunelerin kalınlık ortalaması ölçümleri yapılarak Şekil 6.13’de gösterilen hazırlık süreci yaşanmıştır.

Deney numuneleri Hamburg tekerlek izi oturma deneyine başlamadan önce TS EN 12697-22 standartlarında belirtildiği gibi minimum 4 saat 60°C’de şartlandırılmıştır.

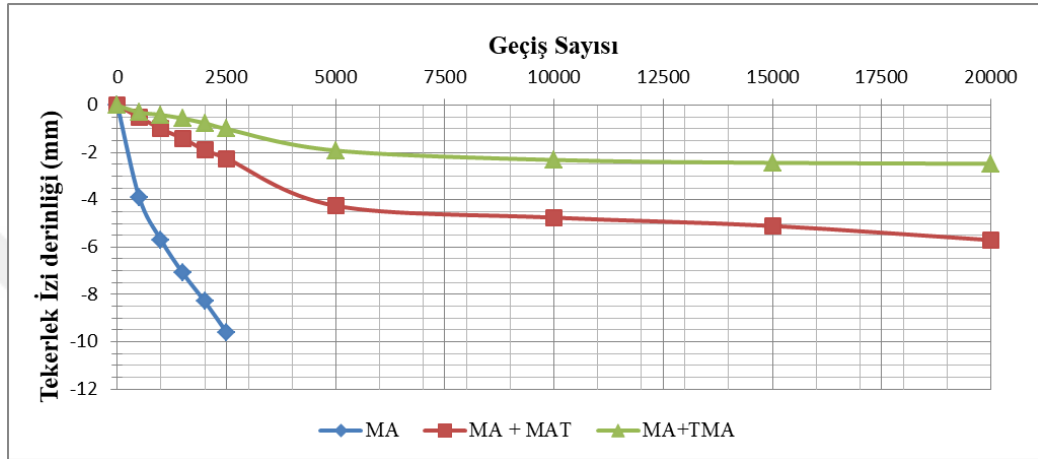
Deney aletinin çalışma yöntemi; dış çapı 200 mm, genişliği 50 mm olan kauçuk tekerleğin deney numunesi üzerinde tekrarlı geçişler yaparak tekerlek izi derinliği ölçümü yapılmaktadır. Dakikada 26,5 devir yaparak, karışımlar üzerine 70 kg-f/mm<sup>2</sup> sabit yük uygulanmıştır.



Şekil 6.13. Karışım numunelerinin tekerlek izi oturma deneyi hazırlık süreci

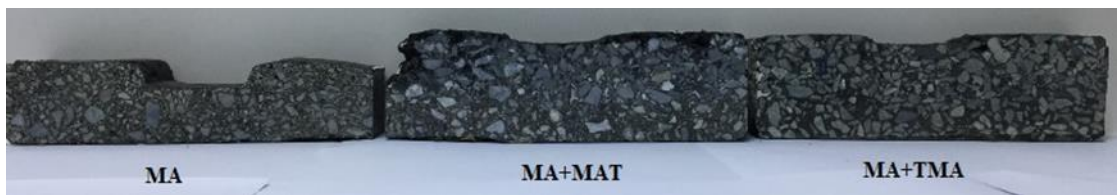
## 6.2.2. Tekerlek izi oturma deneyi sonuçları

Deney sırasında cihaz tarafından sürekli olarak sağ ve sol taraftaki numunelerden tekerlek izi ölçümü yapılmıştır. Bu ölçüm değerleri bilgisayardaki yazılım ekranındaki grafikten takip edilmiştir. Karışımlara ait geçiş sayılarındaki tekerlek izi derinliği grafiği Şekil 6.14'de gösterilmiştir.



Şekil 6.14. Karışımların tekerlek izi değeri (mm)

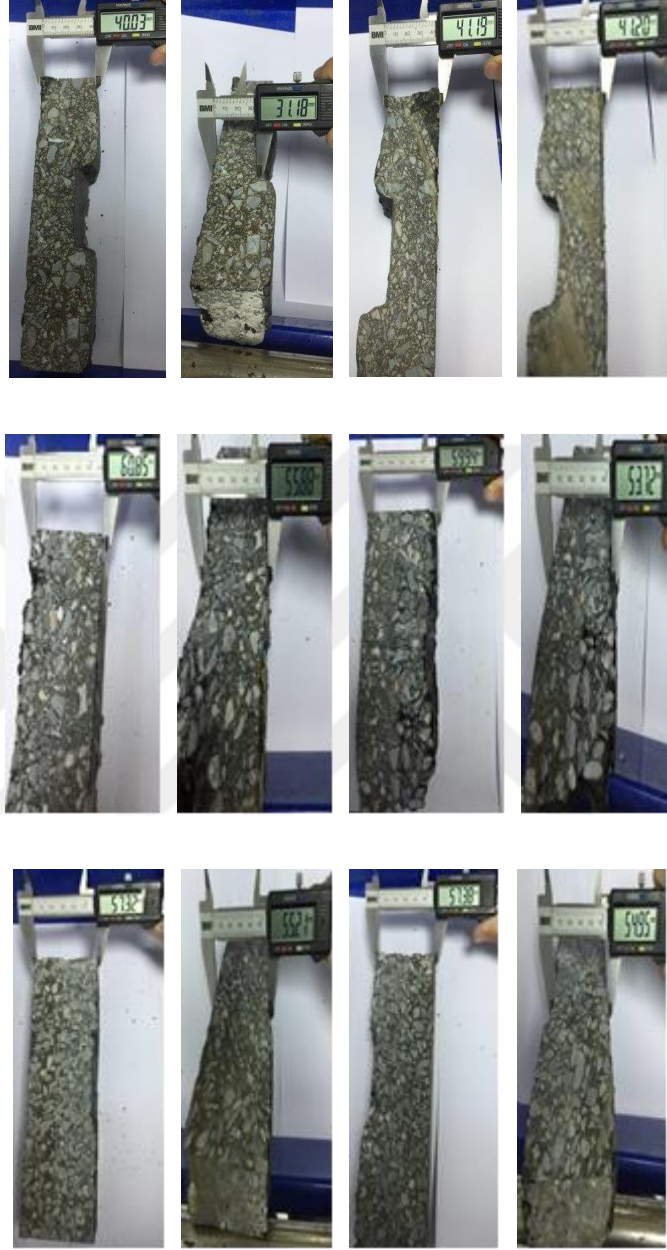
MA karışımı 2500 tekerlek geçişinde sonlandırılırken, MA+TMA ve MA+MAT karışımları 20.000 tekerlek geçişinde sonlandırılmıştır. Deney sonuçlarına bakıldığında MA+TMA karışımlarında 2,5 mm, MA+MAT karışımında 5,7 mm ve MA karışımında 9,6 mm tekerlek izi oluştuğu görülmüştür.



Şekil 6.15. Karışım numunelerinin deney sonu görüntüsü

Şekil 6.15'de gösterilen kesitlerde en fazla deformasyonun MA'da olduğu gözükmemektedir. Ancak bu üstyapı tiplerinin kalınlıkları farklı olduğundan bir kıyaslama yapılabilmesi için deformasyon miktarlarına bakılması gerekmektedir. Deformasyonu; numunede oluşan tekerlek izi derinliğinin, numune kalınlığına oranı olarak tanımlayabiliriz.

Karışımlarda oluşan deformasyon miktarı Şekil 6.16’da gösterildiği gibi ölçülerek hesaplanmıştır. Yapılan bu ölçümlerin ortalaması Çizelge 6.3’de verilmiştir.



Şekil 6.16. Karışımların kesit ölçümleri

Çizelge 6.3. Karışımların deformasyon miktarı

		Numune Kalınlığı (mm) L	Orta Ölçüm (mm)	Çökme Miktarı (mm) $\Delta L$	Ortalama Çökme Miktarı (mm)	Deformasyon ( $\Delta L/L$ ) (%)	Ortalama Deformasyon ( $\Delta L/L$ ) (%)	
MA	SOL NUM.	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 NUM.	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 NUM.	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 NUM.	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 NUM.	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 NUM.	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		

Tekerlek izi oturma deneyinde MA karışım numunesi üzerinde diğer karışımlara göre daha düşük geçiş olmasına rağmen en fazla deformasyona uğrayan kaplama olduğu görülmüştür. Ortalama deformasyon değerlerine bakıldığında ise MA+TMA karışımı, MA karışımına göre 5,6 kat, MA+MAT karışımına göre 2,2 kat daha iyi performans gösterdiği tespit edilmiştir.



## 7. İSTANBUL FSM KÖPRÜSÜ ÖRNEĞİ MALİYET ANALİZİ

Bu bölümde, üstyapı karışımlarının tek tek maliyet analizleri yapılarak, 50 yıllık bir dönem için FSM köprüsü üstyapı kaplamasını yapım ve bakım maliyetleri hesaplanmıştır.

### 7.1. Maliyet Hesabı

Üstyapı karışım malzeme temini, karışımların hazırlanması, nakli ve serilmesine kadar geçen sürece ilişkin maliyetler hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalarda Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM)' nün her yıl güncelleyip yayınladığı “2019 yılı Yol, Köprü, Tüneli Bitümlü Kaplamalar Bakım ve Trafik İşlerine Ait Birim Fiyat Listesi”den yararlanılmıştır. Karışımlarda kullanılan katkı maddeleri ve KGM birim fiyat listesinde olmayan pozların maliyetleri ilgili tedarikçilerden temin edilmiştir.

#### Kullanılan veriler

Petrol fiyatları günlük olarak değişkenlik gösterdiğinden bitüm fiyatları da petrol fiyatlarına paralel olarak değişmektedir. Hesaplamalarda, TÜPRAŞ A.Ş. İzmit Rafineri 2019 tarihli 01.03.2019 çıkışlı B 50/70 penetrasyonlu bitüm fiyatı kullanılmıştır. Çizelge 7.1’de bitüm, dolar ve Euro değerleri verilmiştir. (TCMB; TÜPRAŞ, 2019)

Çizelge 7.1. 01.03.2019 tarihli kur fiyatları

	<b>01.03.2019</b>
<b>Bitüm</b>	2.275,00 TL
<b>Dolar</b>	5,3618 TL
<b>Euro</b>	6,0963 TL

Yapılan maliyet analizlerinde Çizelge 7.2’de MAT, Çizelge 7.3’de TMA, Çizelge 7.4’de MA için hammadde temini, karışımın üretilmesi ve serilmesi ton başına birim maliyeti hesaplanmıştır.

Çizelge 7.2. MAT maliyet analizi

POZ NO	TANIM	BR	MİKTAR	BİRİM FİYAT ( TL/TON )	TUTAR ( TL )
KGM/4105/B	OCAK TAŞINDAN KONKASÖRLE KIRILMIŞ VE ELENMİŞ 12.5 MM (1/2") VE 9,5 MM (3/8") LİK AGREGA HAZIRLANMASI	TON	0,3813	29,06	11,08
KGM/4107	OCAK TAŞINDAN KIRILMIŞ VE ELENMİŞ 4,75 MM (NO.4) VE DAHA KÜÇÜK AGREGA HAZIRLANMASI	TON	0,5719	30,76	17,59
KGM/4358	KATI BİTÜMLÜ MALZEMENİN SARNIÇ VEYA TANKLARDA EMİŞ DERESESİNE KADAR ISITILMASI	TON	0,0468	50,48	2,36
KGM/4365	SARNIÇLI VAGON,TANKER, KAMYON VE ROLEY TANK GİBİ KAPLARLA TAŞINAN BİTÜMLÜ MALZEMENİN DEPOLANMASI	TON	0,0468	3,74	0,18
KGM/4366	BİTÜMLÜ MALZEMENİN ASFALT POMPASI İLE BİR KAPTAN DİĞER BİR KABA AKTARILMASI	TON	0,0468	1,84	0,09
KGM/4440	BÜYÜK PLENT ÜNİTESİ İLE KARIŞIM.HAZ.,ELEKT.FİNİŞER.SERME-SIKIŞ.	TON	1,000	50,59	50,59
KGM 4436/2	BÜYÜK PLENT ÜNİ.POLİMER MODİFİYE BİTÜM KULLAN. "ASFALT BET.KAPL." VE "BİTÜM.SICAK TEMEL" HAZIRL. İÇİN GEREKLİ İLAVE İŞLER	TON	1,000	6,94	6,94
KGM 4300/PMB	ÖZEL PLENTTE POLİMER MODİFİYE BİTÜM (PMB) HAZIRLANMASI	TON	0,0468	166,11	7,77
KGM 4269	MALZEMENİN KANTAR İLE TARTILMASI	TON	1,000	0,06	0,06
KGM/4378	BETON VE HER NEVİ ASFALT MAKİNA İLE SÜPÜRÜLMESİ	DA	0,001	24,69	0,02
BİTÜM	50/70 PENETRASYONLU BİTÜM	TON	0,0468	2.275,00	106,47
SBS (NAKLİYEDAHİL)	SBS BEDELİ (NAKLİYE DAHİL)	TON	0,00234	12.053,65	28,21
AGREGA NAK.	AGREGA NAKLİ 25 KM	TON	0,9532	11,34	10,81
BİTÜM NAK.	BİTÜM NAKLİ 100 KM	TON	0,0468	33,00	1,54
KARIŞIMIN NAK.	KARIŞIMIN NAKLİ 50 KM	TON	1,000	18,56	18,56
				<b>TOPLAM:</b>	<b>262,27</b>

Çizelge 7.3. TMA maliyet analizi

POZ NO	TANIM	BR	MİKTAR	BİRİM FİYAT (TL/TON)	TUTAR (TL)
KGM/4105/S-B	SERT TAŞTAN KONKASÖRLE KIRILMIŞ VE ELENMİŞ 12.5 MM (1/2") VE 9,5 MM (3/8") LİK AGREGA HAZIRLANMASI	TON	0,5814	30,05	17,47
KGM/4107	OCAK TAŞINDAN KIRILMIŞ VE ELENMİŞ 4,75 MM (NO.4) VE DAHA KÜÇÜK AGREGA HAZIRLANMASI	TON	0,3000	30,76	9,23
KGM/4270	MİNERAL FİLLER HAZIRLANMASI	TON	0,0563	50,00	2,82
KGM/4358	KATI BİTÜMLÜ MALZEMENİN SARNIÇ VEYA TANKLARDAN EMİŞ DERESESİNE KADAR ISITILMASI	TON	0,0623	50,48	3,14
KGM/4365	SARNIÇLI VAGON,TANKER, KAMYON VE ROLYER TANK GİBİ KAPLARLA TAŞINAN BİTÜMLÜ MALZEMENİN DEPOLANMASI	TON	0,0623	3,74	0,23
KGM/4366	BİTÜMLÜ MALZEMENİN ASFALT POMPASI İLE BİR KAPTAN DIĞER BİR KABA AKTARILMASI	TON	0,0623	1,84	0,11
KGM/4440/S	BÜYÜK PLENT ÜNİTESİ İLE "TAŞ MASTİK ASFALT (TMA)" KARIŞIMI HAZIRLAMA, SERME VE SIKIŞTIRMA	TON	1,000	50,59	50,59
KGM 4436/2	BÜYÜK PLENT ÜNİ.POLİMER MODİFİYE BİTÜM KULLAN. "ASFALT BET.KAPL." VE "BİTÜM.SICAK TEMEL" HAZIRL. İÇİN GEREKLİ İLAVE İŞLER	TON	1,000	6,94	6,94
KGM 4300/PMB	ÖZEL PLENTTE POLİMER MODİFİYE BİTÜM (PMB) HAZIRLANMASI	TON	0,0623	166,11	10,35
KGM 4269	MALZEMENİN KANTAR İLE TARTILMASI	TON	1,000	0,06	0,06
KGM/4378	BETON VE HER NEVİ ASFALT MAKİNA İLE SÜPÜRÜLMESİ	DA	0,01	24,69	0,25
BİTÜM	50/70 PENETRASYONLU BİTÜM	TON	0,0623	2.275,00	141,73
SBS (NAKLIYE DAHİL)	SBS BEDELİ (NAKLIYE DAHİL)	TON	0,003115	12.053,65	37,55
FİBER (NAKLIYEDAHL)	FİBER BEDELİ (NAKLIYE DAHİL)	TON	0,003	2.500,00	7,50
KABA AGREGA NAK.	KABA AGREGA NAKLİ 100 KM	TON	0,5814	33,00	19,19
İNCE AGREGA NAK.	İNCE AGREGA NAKLİ 25 KM	TON	0,3000	11,34	3,40
MİNERAL FİLLER NAK.	MİNERAL FİLLER NAKLİ 50 KM	TON	0,0563	18,56	1,04
BİTÜM NAK.	BİTÜM NAKLİ 100 KM	TON	0,0623	33,00	2,06
KARIŞIMIN NAK	KARIŞIMIN NAKLİ 50 KM	TON	1,000	18,56	18,56
				<b>TOPLAM:</b>	<b>332,22</b>

Çizelge 7.4. MA maliyet analizi

POZ NO	TANIM	BR	MİKTAR	BİRİM FİYAT (TL/TON)	TUTAR (TL)
KGM/4105/S-B	SERT TAŞTAN KONKASÖRLE KIRILMIŞ VE ELENMİŞ 12.5 MM (1/2") VE 9,5 MM (3/8") LİK AGREGA HAZIRLANMASI	TON	0,2116	35,05	7,42
KGM/4107	OCAK TAŞINDAN KIRILMIŞ VE ELENMİŞ 4,75 MM (NO.4) VE DAHA KÜÇÜK AGREGA HAZIRLANMASI	TON	0,4784	30,76	14,72
	TRİNİDAT HAZIRLANMASI	TON	0,040	50,00	2,00
	MİKRONİZE HAZIRLANMASI	TON	0,092	50,00	4,60
KGM/4270	MİNERAL FİLLER HAZIRLANMASI	TON	0,138	50,00	6,90
KGM/4358	KATI BİTÜMLÜ MALZEMENİN SARNIÇ VEYA TANKLARDA EMİŞ DERESESİNE KADAR ISITILMASI	TON	0,040	50,48	2,02
KGM/4365	SARNIÇLI VAGON, TANKER, KAMYON VE ROLY TANK GİBİ KAPLARLA TAŞINAN BİTÜMLÜ MALZEMENİN DEPOLANMASI	TON	0,040	3,74	0,15
KGM/4366	BİTÜMLÜ MALZEMENİN ASFALT POMPASI İLE BİR KAPTAN DIĞER BİR KABA AKTARILMASI	TON	0,040	1,84	0,07
KGM/4436/S	BÜYÜK PLENT İLE MASTİK ASFALT KARIŞIMI HAZIRLANMASI	TON	1,000	40,01	40,01
KGM 4436/2	BÜYÜK PLENT ÜNİ.POLİMER MODİFİYE BİTÜM KULLAN. "ASFALT BET.KAPL." VE "BİTÜM.SICAK TEMEL" HAZIRL. İÇİN GEREKLİ İLAVE İŞLER	TON	1,000	6,94	6,94
KGM/4378	BETON VE HER NEVİ ASFALT MAKİNA İLE SÜPÜRÜLMESİ	DA	0,01	24,69	0,25
KGM/4398	DİSTRİBÜTÖR MAKİNASI İLE YAPIŞTIRICI BİTÜMLÜ MALZEMESİNİN PÜSKÜRTÜLMESİ (BORU İLE)	DA	0,02	56,41	1,13
KGM 4269	MALZEMENİN KANTAR İLE TARTILMASI	TON	1,000	0,06	0,06
KARIŞIMIN SERİLMESİ	KARIŞIMIN MASTİK FİNİŞERİ İLE SERİLMESİ	TON	1,000	100,00	100,00
KARIŞIMIN NAK.	KARIŞIMIN NAKLİYESİ VE 1950C-2300C ÖZEL ISITMAQLI (CUCIR) KAZANDA SICAK MUHAFAZA EDİLMESİ	TON	1,000	300,00	300,00
CHİPPİNG	YÜZEY PRÜZLENDİRMESİ	M2	0,1575	185,50	29,22
BİTÜM	50/70 PENETRASYONLU BİTÜM	TON	0,040	2.275,00	103,96
TRİNİDAT ASFALT (NAKLİYE DAHİL)	TRİNİDAT BEDELİ(NAKLİYE DAHİL)	TON	0,040	8.586,34	343,45
SBS (NAKLİYE DAHİL)	SBS BEDELİ (NAKLİYE DAHİL)	TON	0,002	12.053,65	24,11
MİKRONİZE (NAKLİYE DAHİL)	MİKRONİZE NAKLİ 50 KM	TON	0,092	110,00	10,12
KABA AGREGA NAK.	KABA AGREGA NAKLİ 100 KM	TON	0,2116	33,00	6,98
İNCE AGREGA NAK.	İNCE AGREGA NAKLİ 25 KM	TON	0,4784	11,34	5,43
MİNERAL FİLLER NAK.	MİNERAL FİLLER NAKLİ 50 KM	TON	0,138	18,56	2,56
BİTÜM NAK.	BİTÜM NAKLİ 100 KM	TON	0,040	33,00	1,32
				<b>TOPLAM:</b>	<b>1000,45</b>

Maliyet analizi yapılan karışımlarda kullanılan katkılar için piyasa araştırılması yapılmış ve uygunluğu onaylanan üretici firmalardan nakliye dahil fiyatlar alınmıştır.

İstanbul ili sınırları içerisinde 2019 yılı itibari ile karışımların maliyet analizinde agreganın 25 km uzaklıkta, bitümün 100 km mesafedeki İzmit TÜPRAŞ A.Ş.'den ve uygulama yapılacak yolun üretim yapılacak yere 50 km uzaklıkta olduğu varsayılmıştır.

Bu varsayımlar sonucunda nakliyeler için KGM/ 06.006/K “Kazıdan başka inşaat malzemesinin taşınması (ton) ( 10.000 km’ den fazla)” pozunu kullanılmıştır.

## **7.2. Maliyetlerin Karşılaştırılması**

Bu çalışmanın bir diğer bölümü de üstyapı kaplama maliyetlerinin karşılaştırılmasıdır. Çelik tabliyeli köprülerin üstyapı kaplaması için tercih edilen karışımların ilk yapım maliyeti ve işletme maliyetlerinin karşılaştırılması için İstanbul ilinde bulunan FSM köprüsü seçilmiştir.

1988 yılında İstanbul ilinde yapımı tamamlanmış olan FSM köprüsünde her bir yönde 4 şerit bulunmaktadır. Toplam uzunluğu 1.510 m, genişliği 39,40 m olup, taşıt yolu genişliği 30,80 m’ dir.

### **7.2.1. Yapım maliyeti**

Şekil 6.1’de gösterilen 3 farklı üstyapı karışım tipi ve kalınlıklarının m<sup>2</sup> maliyetleri Çizelge 7.5’de, FSM köprüsünün tamamı için yapım maliyetleri ise Çizelge 7.6’da hesaplanarak verilmiştir.

Çizelge 7.5. Çelik köprü üstyapı tabakaları m<sup>2</sup> maliyetleri

Asfalt Tabakaları	Alan (m <sup>2</sup> )	Kalınlık (mm)	Özgül Ağ. (gr/cm <sup>3</sup> )	Miktar (ton/m <sup>2</sup> )	Birim Maliyet (TL/ton)	Maliyet (TL/m <sup>2</sup> )	Toplam Maliyet (TL/m <sup>2</sup> )
MA	1	40	2,365	0,0946	1000,45	94,64	94,64
MA + MAT	1	25	2,365	0,0591	971,23	57,40	76,44
		30	2,421	0,0726	262,27	19,04	
MA + TMA	1	25	2,365	0,0591	971,23	57,40	80,85
		30	2,354	0,0706	332,22	23,45	

Çizelge 7.6. FSM köprüsü üstyapı kaplama maliyetleri

Asfalt Tabakaları	Alan (m <sup>2</sup> )	Toplam Tutar (TL/m <sup>2</sup> )	Maliyet (TL)
MA	46.508	94,64	4.401.517,12
MA + MAT	46.508	76,44	3.555.071,52
MA +TMA	46.508	80,85	3.760.171,80

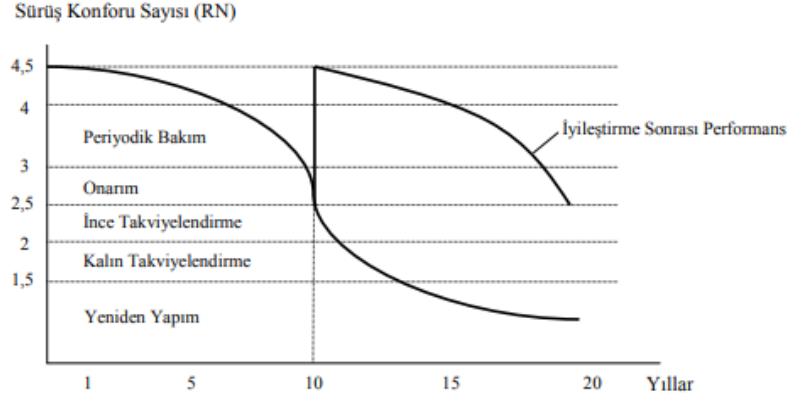
Hesaplamalar sonucunda FSM köprüsü üstyapı kaplamasının tamamı için en uygun kaplamanın MA+MAT olduğu görülmüştür. MA+MAT karışımına göre MA+TMA karışım maliyetinin %6, MA karışım maliyetinin de %23 daha fazla olduğu hesaplanmıştır.

### 7.2.2. İşletme maliyeti

Yol kaplamalarındaki işletme maliyetleri yolun cinsi, yoldan geçen taşıt sayısı ve mevsimsel hava şartlarına göre farklılıklar göstermektedir. Bu sebeple yolun işletme maliyeti birçok nedene bağlıdır. Dolayısıyla bir yol için kesin ve her zaman ön görülen bir bakım ve işletme maliyetinden söz etmek pek mümkün değildir.

Geleneksel karışımlarla yapılmış yollarda ortalama 20 yıllık bir hizmet ömrü beklense de, sanat yapılarında bu süre 50 yıldır. BSK bakım maliyetleri yolun servis ömrü ile orantılı olarak artış göstermektedir. BSK yollarda görülen deformasyonlar ilk 10 yılda küçük onarımlar ile bakımlar yapılsa da 10.yıldan sonra kaplamanın kayma direnci azaldığı için kaplamanın yenilenmesi veya yüzey kaplaması

gerekmektedir. 20.yılın sonunda ise esnek üst yapıly yol hizmet ömrünü tamamladığı için kaplama tabakasının yenilenmesi gerekmektedir. Zamanında yapılan yol üstyapısının performans eğrisi Şekil 7.1’de gösterilmiştir.



Şekil 7.1. Yol üstyapısı performans eğrisi (Temren, 2010)

Yol üstyapısı kaplama performansı, doğru bir bakım sistemi ve zamanlaması ile üst düzeyde tutulabilmektedir. Aynı zamanda bu durum işletme maliyetleri açısından da önemlidir. Bir yolun bakımı ne kadar gecikirse, kaplama onarım maliyeti de o kadar yüksek olacaktır. Tam tersine kaplamaya yapılan erken bakımda gereksiz maliyet olacaktır. Bu nedenle minimum bakım maliyeti ve maksimum performansı, optimum zamana bağlıdır. Esnek yol üstyapıları için uygulanan çeşitli bakım yöntemlerinin optimum zamanlarına ait bir yaklaşım aşağıda yer almaktadır.

- Karartma tabakası için 1-3 yıl
- Çatlak bakımı için 2-4 yıl
- Sathi kaplamalar için 5-7 yıl
- Harç tipi kaplamalar için 5-7 yıl
- İnce örtücü tabaka için 5-10 yıl öngörülmektedir (Hicks vd., 2000).

#### 7.2.2.1. Arazi ve laboratuvardaki performans uyumunun değerlendirilmesi

Bu bölümde, FSM köprüsünde ölçülen tekerlek izi oturma sonuçları ile laboratuvarda yapılan tekerlek izi oturma deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Bunun için ilk olarak 2012-2019 yılları arasında FSM köprüsünden geçen araç sayısı, eşdeğer standart dingil tekrar sayısına dönüştürülüp ölçülen deformasyon ile laboratuvarda yapılan

deneylerdeki geçiş sayıları sonucunda oluşan deformasyon ilişkilendirilerek, diğer üstyapı kaplama tiplerinin performans ömrü için tahminde bulunulmuştur. Buradaki performans ömrü tahmini sadece kaplamanın tekerlek izi yönünden bozulduğu kabulüne dayanmaktadır.

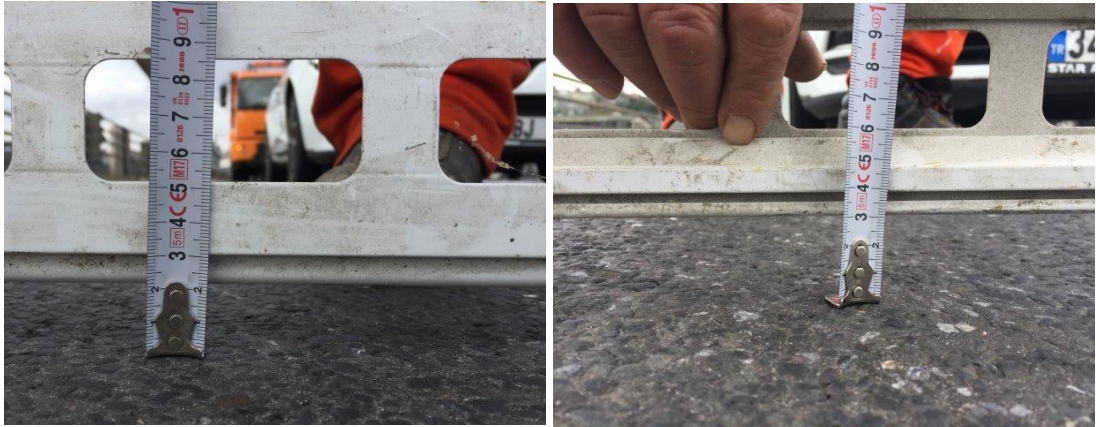
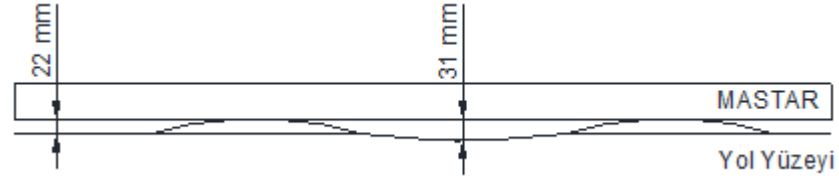
FSM köprüsünde 2012 yılı Haziran ayında başlanan asfalt yenime çalışmaları aynı yılın Eylül ayında sona ermiş ve köprünün tamamı trafiğe açılmıştır. Yenilenen köprü üstyapı kaplamasında tek tabaka 40 mm kalınlığında MA uygulaması yapılmıştır. 2012 yılı Eylül ayından 2019 yılı Mart ayına kadar Karayolları Genel Müdürlüğün 'den tek yön için sınıflarına göre araç geçiş sayıları ve sağ şeritteki toplam eşdeğer standart dingil hesabı Çizelge 7.7'de verilmiştir.

Çizelge 7.7. 2012-2019 FSM köprüsünden geçen araç ve eşdeğer standart dingil geçiş sayısı

YILLAR	YOGT				
	ARAÇ SINIFLARI				
	1.SINIF	2.SINIF	3.SINIF	4.SINIF	5.SINIF
2012	927.488	1.947.124	451.155	582.019	9.009
2013	32.593.918	5.612.648	1.164.987	1.695.153	31.957
2014	32.319.373	6.181.776	1.197.415	1.867.051	51.667
2015	31.709.381	5.784.983	1.032.020	1.766.154	19.373
2016	29.753.490	4.859.095	616.601	1.124.493	10.374
2017	28.194.945	3.505.963	55.844	31.198	983
2018	33.360.428	3.026.162	31.281	10.264	812
2019	7.145.929	747.353	7.779	3.151	205
<b>Toplam Trafik</b>	196.004.951	31.665.103	4.557.082	7.079.482	124.380
<b>Eşdeğerlik Faktörleri</b>	0,0006	0,60	3,20	2,90	4,10
<b>Toplam Eşdeğer Standart Dingil Geçiş Sayısı</b>	117.603	18.999.062	14.582.662	20.530.499	509.956
	54.739.781				
<b>Hesap Şeridindeki Toplam Eşdeğer Standart Dingil Geçiş Sayısı</b>	49.265.803				
<b>(Şerit Dağ.Faktörü:0,80)</b>					



2019 yılı Mart ayında FSM köprüsü Avrupa- Anadolu geçiş yönünde sağ şerit güvenli bir şekilde trafiğe kapatılarak ölçümler yapılmıştır. Yapılan bu ölçümler Şekil 7.2’de gösterilmiştir.



Şekil 7.2. FSM köprüsü tekerlek izi derinlik ölçümü

Üstyapı kaplamasının yapıldığı tarih ile ölçümün yapıldığı tarih arasındaki geçen trafik, eşdeğer standart dingil geçiş sayısına dönüştürülmüştür. Şerit dağıtım hesap şeridindeki toplam eşdeğer standart dingil geçiş sayısı bulunmuştur.

Üstyapı kaplamanın performanslarının karşılaştırılmasında deney sonuçları ve arazi ölçümlerinden yola çıkılarak, aynı miktarda tekerlek izine neden olan, arazideki

eşdeğer standart dingil geçiş sayısı ile laboratuvar deneylerindeki geçiş sayısı ilişkilendirilmesi gerekmektedir.

Köprünün sağ şeridinde farklı km'ler de master yardımı ile yapılan derinlik ölçümlerin de tekerleğin basmadığı kısım ile tekerlek izinin en fazla olan kısımdaki fark ortalama 9 mm olduğu görülmüştür. 49.265.803 eşdeğer standart dingil geçiş sayısına karşılık oluşan tekerlek izi deformasyon miktarı % 22,5'dir. Bu değer laboratuvarda yapılan testlerde 2.250 geçiş sayısına tekabül etmektedir. KGM bu kaplamanın 2019 yılı programında yenileneceğini belirtmiştir ve bu şartlarda MA karışımının ömrü 7 yıl kabul edilmiştir.

Laboratuvarda yapılan tekerlek izi deneylerinde elde edilen deformasyon sonuçları ve üstyapı kaplama ömürleri Çizelge 7.8'de verilmiştir.

Çizelge 7.8. Üstyapı kaplama deformasyon miktarları ve kaplama ömürleri

<b>Asfalt Tabakaları</b>	<b>Geçiş Sayısı</b>	<b>Deformasyon miktarı (%)</b>	<b>Kaplama Ömrü</b>
MA	2.500	23,66	7 yıl
MA + MAT	20.000	9,48	18 yıl
MA + TMA	20.000	4,21	40 yıl

MA karışımının ömrü 7 yıl kabul edildiğinde, tekerlek izi oturma deneyi sonucunda oluşan deformasyon miktarları oranlandığında MA+MAT karışımının ömrü 18 yıl, MA+TMA karışımının ömrü 40 yıl olacağı öngörülmüştür.

Ancak uzun süre trafik yükü altındaki kaplamaların yüzey doku derinliğinde problemler oluşacaktır. Bunun için yüzeyi cilalanmış yolların kazılarak baştan sıcak karışım yapılması yerine daha hızlı bir yöntem olan mikro yüzey uygulamalarından mikro-surfacing uygulaması tercih edilebilir.

Tek kat bir mikro-surfacing m<sup>2</sup> maliyet analizi Çizelge 7.9'da verilmiştir.

Çizelge 7.9. 1 m<sup>2</sup> tek kat micro-surfacing maliyeti

POZ NO	TANIM	BİRİM	MİKTAR ( 1/m <sup>2</sup> )	BİRİM FİYAT (TL)	TUTAR (TL/m <sup>2</sup> )
04.611/1A	KATYONİK BİTÜM EMÜLSİYONU (CSS-1)	KG	2	1,88	3,76
04.008/2A	PORTLAND ÇİMENTOSU	TON	0,0018	227,00	0,41
	KATKI MALZEMESİ	KG	0,1	5,00	0,50
04.031	SU	M <sup>3</sup>	0,0009	6,84	0,006
KGM/4107	OCAK TAŞINDAN KIRILMIŞ VE ELENMİŞ 4,75 MM (NO.4) VE DAHA KÜÇÜK AGREGA HAZIRLANMASI	TON	0,0059	30,76	0,18
KGM/03.554/1	1 SA SÜPRÜGE MAKİNASININ ÜCRETİ	SA	0,0120	277,19	3,33
KGM/03.545/3	1 SA LASTİK TEKERLEKLİ SİLİNDİR ÜCRETİ	SA	0,0050	121,48	0,61
	1 SA BÜYÜK KARIŞTIRMA MAKİNASI ÜCRETİ	SA	0,0150	87,77	1,32
KGM/1922	1 SA PLENT MİKS KARIŞIMLAR İÇİN BÜYÜK FİNİŞER ÜCRETİ	SA	0,0150	174,92	2,62
KGM/190	1 SA DİSTRİBÜTÖR MAKİNASININ ÜCRETİ	SA	0,0700	155,61	10,89
KGM/4358	KATI BİTÜMLÜ MALZEMENİN SARNIÇ VEYA TANKLARDA EMİŞ DERESESİNE KADAR ISITILMASI	TON	0,002	50,48	0,10
KGM/4365	SARNIÇLI VAGON,TANKER, KAMYON VE ROLEY TANK GİBİ KAPLARLA TAŞINAN BİTÜMLÜ MALZEMENİN DEPOLANMASI	TON	0,002	3,74	0,007
KGM/4366	BİTÜMLÜ MALZEMENİN ASFALT POMPASI İLE BİR KAPTAN DİĞER BİR KABA AKTARILMASI	TON	0,004	1,84	0,01
KGM 4269	MALZEMENİN KANTAR İLE TARTILMASI	TON	1,000	0,06	0,06
KGM/03.534	1 SA MOTOR TULUMBA ÜCRETİ (20 Ps'lik)	SA	0,04	30,17	1,21
KGM/1911/1	1 GÜNLÜK SU TANKININ ÜCRETİ (40 M <sup>3</sup> )	GÜN	0,001	13,68	0,014
KGM/1911	1 GÜNLÜK BİTÜM TANKININ ÜCRETİ (40 TONLUK)	GÜN	0,0022	19,95	0,04
03.521/1(Y)	1 SA LASTİK TEKERLEKLİ YÜKLEYİCİ ÜCRETİ	SA	0,004	110,92	0,44
01.409	FORMEN	SA	0,03	23,10	0,69
ÇİMENTO NAKLİ	ÇİMENTO NAKLİ 25 KM	TON	0,0018	11,34	0,02
İNCE AGR. NAK.	İNCE AGREGA NAKLİ 25 KM	TON	0,0059	11,34	0,07
BİTÜM NAKLİYESİ	BİTÜM NAKLİ 100 KM	TON	0,002	33,00	0,07
				<b>TOPLAM:</b>	<b>26,35</b>

1 m<sup>2</sup>' lik alanın tek kat micro-surfacing kaplamasının hammadde temini, karışımın yapılması, uygulama yerine nakli ve uygulaması maliyeti 26,35 TL olarak hesaplanmıştır. FSM köprüsü üstyapı kaplama yüzeyinin maliyeti Çizelge 7.10'da verilmiştir.

Çizelge 7.10. FSM köprüsü mikro-surfacing uygulama maliyeti

Uygulama	Alan (m <sup>2</sup> )	Tutar (TL/m <sup>2</sup> )	Maliyet (TL)
Mikro-surfacing kaplaması	46.508	26,35	1.225.485,80

Köprü üstyapı kaplaması için 50 yıllık süreçteki asfalt maliyetleri hesaplanarak en uygun asfalt kaplama tabakası belirlenmiştir.

Ortalama bir mikro-surfacing kaplama uygulamasının ömrü 8 yıl kabul edilmektedir. 50 yıl boyunca FSM köprüsünün üstyapı kaplamasının imalat ve bakım çizelgesi Çizelge 7.11’de verilmiştir.

Çizelge 7.11. 50 yıllık FSM köprüsü üstyapı kaplaması imalat ve bakım çizelgesi

Asfalt Tabakaları		10. Yıl		20. Yıl		30. Yıl		40. Yıl		50.Yıl	
MA	İmalat	1. İmalat	2. İmalat	3. İmalat	4. İmalat	5. İmalat	6. İmalat	7. İmalat	8. İmalat		
	Bakım										
MA+MAT	İmalat	1. İmalat		2. İmalat		3. İmalat		4. İmalat			
	Bakım		1. Bakım		2. Bakım		3. Bakım				
MA+TMA	İmalat	1. İmalat						2. İmalat			
	Bakım		1. Bakım	2. Bakım	3. uygulama	4. Bakım				5. Bakım	

50 yıllık FSM köprüsü üstyapı imalat ve bakım çizelgesinde tek tabaka MA karışımının’ nın 8 defa yenilenmesi, MA+MAT karışımının 4 defa yenilenmesi, 3 defa bakım uygulamasının yapılması ve MA+TMA karışımının 2 defa yenilenmesi, 5 defa da bakım uygulamasının yapılması öngörülmektedir. Bu bakım çalışmalarının maliyetleri Çizelge 7.12’de verilmiştir.

Çizelge 7.12. 50 yıllık FSM köprüsü üstyapı kaplaması toplam maliyetler

	<b>İmalat Maliyeti (TL)</b>	<b>İmalat</b>	<b>Bakım Maliyeti (TL)</b>	<b>Bakım</b>	<b>Toplam Maliyet (TL)</b>
<b>MA</b>	4.401.517,12	8	1.225.485,80	-	<b>35.212.136,96</b>
<b>MA + MAT</b>	3.555.071,52	4		3	<b>17.896.743,78</b>
<b>MA + TMA</b>	3.760.171,80	2		5	<b>13.647.772,60</b>

50 yıllık FSM köprüsü üstyapı kaplaması imalat ve bakım maliyetlerine bakıldığında MA+TMA karışımının uygun olduğu görülmektedir. Bu karışımı sırası ile MA+MAT karışımı ve son olarak MA karışımı izlemektedir.

## 8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Gerek ülkemizde gerek dünyanın çoğu yerinde ulaşım sistemlerinde en çok tercih edilen karayolu ulaşımıdır. Bu durum karayolu esnek üstyapısının diğer yollar arasında daha çabuk ve ağır deformasyonlara sebep olma gibi sorunları da beraberinde getirmektedir.

Bu tez çalışmasında özellikle çelik köprü üstyapı kaplamalarındaki deformasyonu minimuma indirgenmesini sağlayacak kaplama tiplerinin performans ve maliyet karşılaştırılması yapılmıştır.

İlk olarak, çelik köprü üstyapı kaplamalarında tercih edilen MA karışımı, MAT karışımı ve TMA karışımı laboratuvar koşullarında incelenip değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçların KTS sınırları içerisinde kaldığı görülmüştür.

Sonrasında MA karışımı, MA+MAT karışımı ve MA+TMA karışımı hazırlanarak tekerlek izi oturma dayanımları ve tekrarlı yük altında yorulmaya karşı mukavemetleri karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmada aşağıdaki deneysel sonuçlar elde edilmiştir;

- 1- Tekerlek izi oturma deneyi sonuçlarına göre; MA+TMA ve MA+MAT karışımları 20.000 geçişteki, MA karışımı ise 2500 geçişteki deformasyon miktarları (%) sırası ile 4,21, 9,48 ve 23,66 olarak bulunmuştur. MA+TMA karışımının tekerlek izinde oturmaya karşı en dayanıklı karışım olduğu görülmüştür.

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

- 2- MA+TMA karışım numunelerinin başlangıç sertliği 9.000 MPa, MA+MAT karışımlarının başlangıç sertliği 8.000 MPa, MA karışımlarının başlangıç sertliği 8.500 MPa mertebelerinde bulunmuştur.
- 3- 2019 yılı Karayolları Genel Müdürlüğü birim fiyatlarına göre hazırlanan maliyet analizlerinde MA karışım maliyeti 94,64 TL/m<sup>2</sup>, MA+MAT karışım maliyeti 76,44 TL/m<sup>2</sup> ve MA+TMA karışım maliyeti 80,85 TL/m<sup>2</sup> olduğu görülmüştür.

Temel tespitler;

- 1- Tekerlek izi deneyinde; tek tabaka MA karışımı diğer karışımlara göre daha düşük sayıda geçiş sayısında bile en fazla deformasyona uğrayan kaplama olmuştur. Özellikle ağır taşıt trafiği yoğun olan durumlarda tek tabaka MA uygulamasından kaçınılmalıdır.

Ancak beton ve çelik köprü tabliyelerinin korunmasında yüksek performans sağlayan, geçirimsiz ve su yalıtım sistemi ile BSK aderansı açısından alttaki tabakanın MA karışımı olması tercih edilmelidir.

- 2- Tekrarlı yükler altında yorulma deneyinde; MA+TMA karışım numunelerinin her birim deformasyon grubunda sertliklerinin yarı değerine daha fazla yük tekrar sayısına ulaştığı ve daha fazla enerji sönümlendiği görülmüştür.
- 3- Çalışmada ülkemizin en kalabalık ili olan ve iki kıtayı birleştiren üç adet çelik köprüsü olan İstanbul' da ki FSM köprüsünün üstyapı kaplamasının maliyeti hesaplanmıştır. 46.508 m<sup>2</sup> olan FSM köprüsünün maliyeti;

- MA kaplaması 4.401.517,12 TL,
- MA+MAT kaplaması 3.555.071,52 TL
- MA+TMA kaplaması 3.760.171,80 TL'ye mal olacaktır.

4- FSM köprüsü ve laboratuvardaki tekerlek izi karşılaştırılmasında deformasyon değeri esas alınmıştır. FSM köprüsünde yapılan ölçümlerde elde edilen deformasyon değeri, laboratuvar şartlarında 2.250 geçişe tekabül ettiği görülmüştür. Deformasyon değerlerine bakılarak FSM köprüsü MA karışımının ömrü 7 yıl kabul edildiğinde, MA+MAT karışımının ömrü 18 yıl, MA+TMA karışımının ömrünü 40 yıl olduğu hesaplanmıştır.

Ancak uzun sürelerde trafik yükü altındaki kaplamalarda yüzey doku derinliğinin problemi görülmektedir. Bu sebeple ortalama 8 yıl dayanımı olan micro-surfacing bakım uygulamasının maliyeti 26,35 TL/m<sup>2</sup>'dir. Ömür döngü maliyeti analizinde köprü yüzeyi yalıtım sistemi ömrü 50 yıl olduğundan;

- MA karışımının 8 defa imalatı maliyeti;  
35.212.136,96 TL
- MA+MAT karışımının 4 defa imalatı ve 2 defa bakımı maliyeti;  
17.896.743,78 TL
- MA+TMA karışımının 2 defa imalatı ve 5 defa bakım maliyeti;  
13.647.772,60 TL

olduğu hesaplanmıştır. İlk yapım maliyeti yüksek olan MA+TMA'nın 50 yıllık hizmet ömrü boyunca imalat ve bakım maliyeti bakımından daha ekonomik olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak ülkemizde ve dünyada karayollarının sahip oldukları yoğun taşımacılık boyutundan dolayı kısa zamanda yıpranma olasılıklarının yüksek olduğu görülmektedir. Özellikle alternatif olmayan köprülerin kaplamalarında performansı yüksek olan MA+TMA karışımlarının yaygınlaştırılmasında katkıda bulunulmalıdır. Bu sayede köprülerde yapılan bakım çalışmalarından dolayı kaybedilen seyahat zamanını, yakıt ve çevre zararı minimuma indirgenerek maliyetlerin azaltacağı ve ülke ekonomisine katkı sağlayacağı görüşümdedir.



## KAYNAKLAR

- Arık, A., 1998. Balıkesir İli Çevresinde Karayollarında Esnek Üstyapı Bozulmalarının Araştırılması, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 98, İzmir
- Arıoğlu, E., 2011. Köprü Mühendisliğinin Gelişimi ve Sanatsal Özellikleri, 2.Köprüler ve Viyadükler Sempozyumu, 28-30 Eylül 2011, Eskişehir
- Ayçiçek, S., 2011. Esnek Üstyapılarda İmalat Kusurları, Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 102, İstanbul
- Bağdatlı, M.E.C., 2010. Esnek Üstyapı Kaplamalarındaki Hasar Özelliklerinin Bakım Maliyetleri Üzerine Etkisi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 82, Tekirdağ
- Cornell, 1995. Cornell Local Roads Program Report 1995, 94-5, Hot and Cold Mixing Paving: Principles and Practices
- Cornell, 2008. Those Cracks on the Edge of the Road.What Causes Them?  
[https://www.clrp.cornell.edu/nuggets\\_and\\_nibbles/articles/2008/cracks.html](https://www.clrp.cornell.edu/nuggets_and_nibbles/articles/2008/cracks.html)
- Dinç, E., 1999. Superpave, TCK 16. Bölge Müdürlüğü, 45, Sivas
- European Asphalt Pavement Association, 2016. Köprü Tabliyelerinde Asfalt Kaplamalar, EAPA Durum Tespit Dokümanı, Çev. Temren Z., 36, Brüksel
- Hacıoğlu, S., 2013. Esnek Üstyapılı Yollarda Çatlak Tamir Yöntemi Uygulanarak Asfalt Ömrünün Uzatılması, Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 94, İstanbul
- Hanlı, E., 2009. Esnek Yol Üstyapılarında Oluşan Bozulmalar ve Değerlendirmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 161, İstanbul
- Ilıcalı, M., Tayfur, S., Özen, H., Sönmez, İ., Eren, K., 2001. Asfalt ve Uygulamaları, Yıldız Teknik Üniversitesi Yayın Merkezi Başkanlığı, İsfalt, Seçil Ofset, 280
- Jacobs, M.M.J., 1995. Crack Growth in Asphaltic Mixes. Delft University of Technology, PhD Thesis, Netherlands
- Kara, S., Vonk, W., 2009. Yeni Geliştirilmiş Bir SBS Tipi ile Polimer Modifiye Bitümde Performans Etkinliğinin Arttırılması, 5. Ulusal Asfalt Sempozyumu, 18-19 Kasım 2009, Ankara, 93-100
- Kırcıl, M.S., 2015. Köprüler Ders Notları, [www.yildiz.edu.tr/~kircil/kopru](http://www.yildiz.edu.tr/~kircil/kopru)

- Medani, T.O., 2001. Towards a New Design Philosophy for Asphalt Surfacing On Orthotropic Steel Decks, Report: 7-01-127-2, 65s.
- Monfred, N.P., Sivatha, H.,(2003), Mastic Asphalt and Waterproofing Components for Bridge and Tunnel Construction, 12th International Flexible Pavements Conference, 5-8 October 2003, Australia, 1-11
- Önalp, A., 1983. İnşaat Mühendislerine Geoteknik Bilgisi, Cilt 2, Karadeniz Teknik Üniversitesi Yayınları, Trabzon
- Özay, O., 2011. Farklı Katkılarla Hazırlanan Poroz Asfalt Karışımların Performans İncelenmesi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 121, Ankara
- Özen, H., 2004. Karayolları Üstyapı Ders Notları
- Pokorski, P., Sarnowski, M., Radziszewski, P., (2015), Rheological Propertise of Asphalt Mixtures for Bridge Pavements, Procedia Engineering, 111, 637-644
- TS EN 12697-22, 2008. Bitümlü karışımlar- Sıcak asfalt karışımlar- Deney yöntemleri- Bölüm 22: Tekerlek izi
- TS EN 12697-24, 2018. Bitümlü karışımlar- Sıcak asfalt karışımlar- Deney yöntemleri- Bölüm 24: Yorulma direnci
- Temren, Z., 2005. Şehir İçi Yollarda Asfalt, Asfalt Mütahhitleri Derneği, Ankara
- The Constructor 2019, Corrugation and Shoving in Flexible Pavement-Causes and Remedies,  
<https://theconstructor.org/transportation/corrugation-shoving-flexible-pavements/30886/>
- TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası (İMO), 2003. Beton yollar  
<http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/215.pdf>
- Tunç, A., 2004. Kaplama Mühendisliği ve Uygulamaları, Asil Yayın Dağıtım, 549, Ankara
- Türkiye Petrolleri Rafineri A.Ş. (TÜPRAŞ), 2019. 01.03.2019 tarihli B 50/70 pen. Bitüm fiyatı  
<https://www.tupras.com.tr/bitum-fiyatları-kronolojik>
- Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası (TCMB), 2019. 01.03.2019 Günü Saat 15:30' da Belirlenen Gösterge niteliğindeki Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası Döviz Kurları  
[https://www.tcmb.gov.tr/kurlar/kurlar\\_tr.html](https://www.tcmb.gov.tr/kurlar/kurlar_tr.html)
- Umar, F., Açar, E., 1985. Yol Üstyapısı, İTÜ İnşaat Fakültesi, 47, İstanbul
- Umar, F., Açar, E., 1991. Yol Üstyapısı, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul

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): 04019054,15

Wang, X., Chen X., Cheng, G., Huang, W., (2005), Cracking of the Asphalt Surfacing of the Longest Suspension Steel Bridge in China, Proceeding of the 24 th Southern African Transport Conference, 11-13 July 2005, Pretoria, 935-942

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 Vol 2019, Article ID 2951412, 11

ZTV Asphalt-StB 07, Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphalt, 200



## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Çağlar EREN  
Doğum Yeri ve Yılı : ÜSKÜDAR, 06/05/1985  
Medeni Hali : Bekar  
Yabancı Dili : İngilizce  
E-posta : [caglarxeren@gmail.com](mailto:caglarxeren@gmail.com)



### Eğitim Durumu

Lise : Üsküdar Halide Edip Adivar Lisesi, 2003  
Lisans : Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2007  
Yüksek Lisans : İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi Anabilim Dalı, 2019

### Mesleki Deneyim

Kamer İnşaat Tur. San. Tic. LTD. ŞTİ	2007-2008
As Yapı A.Ş.	2009-2012
İstanbul Asfalt Fabrikaları A.Ş.	2012-.....(devam ediyor)

### Yayımları

Eren, Ç., Özen, H., Ilıcalı, M., 2019. Çelik Tabliyeli Köprü Üstü Farklı Karışım Tiplerinin Performanslarının İncelenmesi, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Basımda