

Araştırma Makalesi

**ÜLKELERİN LOJİSTİK PERFORMANSLARININ VERİ
ZARFLAMA ANALİZİ İLE ÖLÇÜMÜ***

Merve YILDIRIM¹, Berk AYVAZ²

¹İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Küçükyalı, İstanbul, Türkiye, yyildirimerve@gmail.com, orcid.org/0000-0001-9712-1922

²İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Küçükyalı, İstanbul, Türkiye, bayvaz@ticaret.edu.tr, orcid.org/0000-0002-8098-3611

Öz

Lojistik sektörü her geçen yıl GSYİH içinde daha fazla önem kazanmaktadır. Ülkelerin lojistik sektöründe etkinlik ölçümü yapmaları, bu sektördeki düzeylerini ölçebilmeleri ve gerekli iyileştirmeleri yapabilmeleri için yol haritası sunmaktadır. Bu çalışmada ülkelerin rekabet avantajı sağlamalarında etkin rol oynayan lojistik sektörünün ülkeler bazında performansları veri zarflama analizi kullanılarak hesaplanmıştır. Çalışmada, seçilen 15 ülkenin 2016 yılına ait gümrük prosedürleri, altyapıları ve enerji kullanımları girdi olarak ele alınır; CO₂ Emisyonu, Lojistik Hizmet Kalitesi ve İş gücü oranı çıktı olarak ele alınmıştır. Çalışmanın sonucuna göre ‘etkin’ ve ‘etkinsiz’ ülkeler belirlenmiş, ‘etkinsiz’ ülkeler için potansiyel iyileştirme çalışmaları yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Lojistik performans, veri zarflama analizi, BCC model, CCR model.*

Research Article

**MEASUREMENT OF LOGISTICS PERFORMANCE OF COUNTRIES WITH DATA
ENVELOPMENT ANALYSIS**

Abstract

Logistic sector is gaining more importance in GDP every year. It provides a road map for countries to measure efficiency in the logistics sector to measure their level in this sector and make necessary improvements. In this study, the performance of the logistics sector which plays an effective role in ensuring competitive advantage of countries is calculated by using Data Envelopment Analysis (DEA). In the study, custom's procedures, infrastructures and energy consumption of 15 selected countries were considered as input. CO₂ Emission, Logistics Service Quality and Labor Force Ratio are considered as output. According to the results of the study, effective and inefficient countries are identified and some potential improvements have been suggested for inefficient countries.

Keywords: *Logistic performance, data envelopment analysis, model BCC, model CCR.*

* Bu çalışma, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde yapılan “Şans Kısıtlı Veri Zarflama Analizi İle Ülkelerin Lojistik Etkinlik Ölçümü” başlıklı yüksek lisans tezinden hazırlanmıştır.

Received / Geliş tarihi: 14.05.2019

Accepted / Kabul tarihi: 23.05.2019

Corresponding Author/ Sorumlu Yazar :

yyildirimerve@gmail.com

1.GİRİŞ

Lojistik kavramı hem makro hem de mikro bakış açısıyla kilit rol oynamaktadır. Mikro bakış açısıyla kaliteli hizmeti ile müşteri memnuniyeti sağlamaktadır. Lojistik hizmetin, lojistik performansın çok iyi olması da makro bakış açısıyla bir ülkenin ekonomik kalkınmasını yönlendirebilmektedir.

Dünya ticaretindeki gelişmeler lojistik sektörüne büyük oranda etki etmektedir. Çoğunlukla bütün sektörlerle entegre çalışan lojistik sektörü, uluslararası rekabet avantajı sağlamakta önemli iş alanlarından biridir. (Kara vd.,2009)

Lojistik sektörü ticaretten beslenmektedir. Küreselleşmenin sonucu ortadan kalkan sınırlar taşımacılık sektöründe mesafeleri uzatmış ve zamanında teslimatı zorlaştırmıştır. Bu zorluklar lojistik sektörünün önemini hem ülkeler hem de işletmeler açısından arttırmıştır. Ülkeler altyapı, gümrük prosedürleri vb. çalışmalarla katkı sağlarken işletmeler etkili lojistik ağları oluşturmaya çalışmaktadır. Sektörün hızla büyümesi, taşımacılık sektöründeki iş gücünün, toplam iş gücüne oranını arttırmıştır. Avrupa'da Rotterdam Limanı lojistik faaliyetleriyle tek başına GSYİH'nın %10'nuna denk gelen katma değer oluşturmakta ve Hollanda işgücünün %4'ünü karşılamaktadır. Lojistik sektörü Avrupa'da %7-9, Amerika'da %15 ve Asya'da %20 'lik büyüme oranıyla en hızlı büyüyen sektörler arasındadır. (İş Sağlığı ve Güvenliği, Şubat 2014-Dünya Ekonomisinde Lojistiğin Yeri ve Önemi)

Literatürde verimlilik ile ilgili en çok kullanılan yöntem veri zarflama analizidir. Çalışma literatür araştırmasıyla başlamıştır. Metodoloji kısmında uygulamada kullanılan veri zarflama analizi ve modelleri anlatılmıştır. Uygula kısmında, uygulanan modelin içeriğinden bahsedilerek bulgular kısmında program sonuç ve yorumları yer almıştır. Genel olarak çalışmada 15 ülkenin lojistik performansları, gümrük prosedürleri, altyapıları ve enerji kullanımları girdi olarak, lojistik hizmet kalitesi, karbon emisyonu ve iş gücü oranı çıktı olarak ele alınmıştır ve veri zarflama analizi ile çözülmüştür. Çalışma sonucunda etkinsiz ülkeler için performans iyileştirme yapılmıştır.

2.LİTERATÜR TARAMASI

Atmaca, E. ve diğ.,2012 çalışmasında Ankara ilinde bulunan 21 özel hastanenin 2011 yılı verilerini kullanarak Veri Zarflama Analizi ile etkinlik ölçümü yapmıştır. Çalışmasında 6 adet girdi ve 7 adet çıktı kullanmıştır. VZA çözümünde EMS Version 1.3 paket programı kullanmıştır.

Aydemir, M.,2015 çalışmasında birden fazla girdi ve çıktı ile etkinlik ölçmeye olanak sağlayan veri zarflama analizinin deterministik ve bulanık modellerini Türkiye Büyükşehir Belediyelerinin mali etkinliğini ölçmek için kullanmıştır. Çalışmada 3 girdi,2çıkıtı değişkeni 2013 verileri kullanılarak kalsik veri zarflamanın CRS veVRS varsayımı altında, bulanık veri zarflama da ise (0.25,0.50,0.75) α -kesim kümelerinde

ölçümler yapılmıştır. Buna göre CRS varsayımı altında 8 belediye, VRS varsayımı 11, bulanık veri zarflama analizi ile de 11 belediye etkin bulunmuştur.

Bayazid, Y. ve diğ., 2019, çalışmasında Bangladeş'teki Taşkın ve Sukültürü Kurulu (FPA)'nın verimliliğini ölçmektedir. Çalışmada 4 girdi ve bir çıktı kullanılmıştır. Beş bölgeden 15 FBA seçilerek verimlilik analizi yapılmıştır. Sonuçlara göre 15 FBA'dan 11 tanesi teknik olarak verimli çıkmıştır.

Erkan B., 2014 çalışmasında Küresel Rekabet Gücü Endeksi ve alt bileşenlerinin Lojistik Performans Endeksine etkisini regresyon analizi ile tespit etmiştir. Çalışmasında 133 ülkeye özellikle Türkiye'ye ilişkin verilerle rekabet gücünün lojistik performansa etkisini incelemiştir.

Kıran, B., 2008 çalışmasında 1995-2000 yılları arasındaki dönemde Kalkınmada Öncelikli Yörelere kapsamında bulunan illerin ekonomik etkinliğini incelemiştir. Etkinlik ölçümünde Veri Zarflama Analizini kullanmıştır. Analizde ise girdi olarak GSYİH, teşviklerle yaratılan istihdam, açılan iş yeri sayısını ve çıktı olarak ise dış ticaret dengesini kullanmıştır. Analizini DEA Solver Pro 4.1 paket programlama ile yapmıştır.

Kurşun, S., 2016 çalışmasında bankacılık sektöründe yaşanan rekabetin, bankaların kaynaklarını etkin bir şekilde kullanması gerektiğini savunarak Türkiye'de faaliyet gösteren bir katılım bankasının 135 şubesinin etkinliklerini Veri Zarflama Analizi BCC-CCR yöntemi kullanarak ölçmüştür. Elde ettiği bulgular sonucunda verimliliği düşük şubelerde iyileştirmeler yapmıştır.

Liu W. ve Wang y., 2018, çalışmasında verimlilik ölçümü yaparken referans karar birimlerini, en iyi ve en kötü karar birimlerini kullandığı iki aşamalı bir veri zarflama modeli önermiştir. En iyi ve en kötü karar birimlerini karşılaştırarak elde ettiği verimliliği 'normalize verimlilik' ve karar birimleri arasında sıralama yapmak için 'aralık verimliliği' olarak önermiştir. Çalışmasında iki örnek sunmuştur.

Motroi, A., 2018 çalışmasında ısıcam üretimi yapan bir firmanın 2014 yılı verilerini kullanarak, imalat işletmesi üzerinde veri zarflama analizi ile verimlilik ölçümü yapmıştır. Çalışmasında personel sayısı, makinenin enerji üretimi ve teknik üretim olmak üzere 3 adet girdi, ısıcam üretimi olmak üzere 1 adet çıktı kullanmıştır. Verimlilik analizini aylara göre yapmıştır ve sonuç olarak gözlem altındaki firma için en verimli ayları Şubat ve Ağustos ayları olarak bulmuştur.

Önsoy, E., 2013 çalışmasında Veri Zarflama Analizini belirlediği 5 kargo şirketinin performanslarını değerlendirmek için kullanmıştır. Analizi Frontier Analyst programı ile yapmıştır. Girdi olarak personel, şube ve araç sayısını çıktı olarak ise müşteri sayısını kullanmıştır.

Özbek A. Ve Demirkol İ., 2018 çalışmasında Fortune 500 listesinde yer alan 8 lojistik firmasının 2016 yılındaki ekonomik performansını 8 ölçüte göre değerlendirmiştir.

Kullanılan ölçütler: Net Satış, Net Satış Değişimi, Faiz Vergi Öncesi Kar, FVÖK Değişimi, Aktif Toplam, Öz kaynak, İhracat ve Çalışan sayısıdır. Bu ölçütler Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden, Step-Wise Weight Assesment Ratio Analysis (SWARA) ve Gri İlişkisel Analiz (GIA) yöntemlerinde kullanılarak performans ölçümü yapılmıştır.

Özden, Ü.,2008 çalışmasında Türkiye'deki vakıf üniversitelerinin görece toplam,teknik ve ölçek etkinliklerini Veri Zarflama Analizi ile hesaplamıştır. Toplam etkinliklerini CCR modeliyle, teknik etkinliklerini BCC modelleri ile hesaplamıştır. Hesaplamalar sonucunda etkin olmayan üniversitelerin etkin olması için gerçekleştirmeleri gereken hedef değerleri ve potansiyel iyileştirme oranlarını hesaplamıştır.

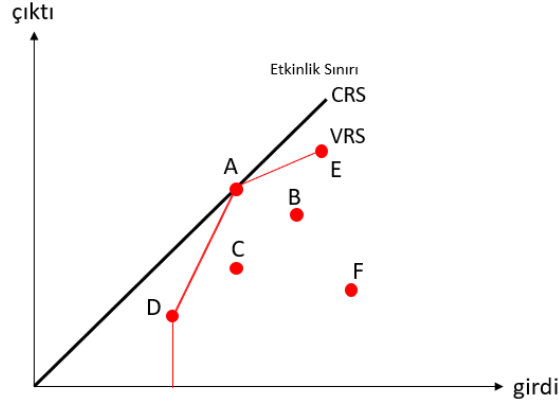
Tekin, M. ve diğ.,2005, çalışmasında Konya ilinde lojistik sektöründe faaliyet gösteren işletmelerin bilişim teknolojileri kullanım düzeylerini incelemiştir ve bilişim teknolojilerinin işletme performansına etkisini araştırmıştır.

Yapraklı,T. ve Ünalın, M.,2017,çalışmasında Dünya Bankası tarafından yayınlanan Lojistik Performans Endeksi (LPI) 2007,2010,2012,2014,2016 yılları verileri ele alınarak Türkiye'nin lojistik sektöründeki yerinin küresel boyuttaki durumu incelenmiştir.

3.METODOLOJİ: VERİ ZARFLAMA ANALİZİ

Veri Zarflama Analizi; girdinin sonuca dönüşmesinde sorumlu birimlerin (karar verme birimi) doğrudan bir sınıra bağlı olarak deterministik yapıdaki çoklu girdi ve çıktı setleri ile etkinliğini veya etkisizliğini ölçen, temelde doğrusal (lineer) programlama modellenmiş yöntemdir. Farrell'in (1957) 'Üretken Verimlilik Ölçümü (The Measurement of Productive Efficiency)' isimli çalışmasından esinlenilerek Charnes-Cooper- Rhodes (1978-1981) tarafından geliştirilmiştir. Çok sayıda girdi ve çıktı setleri Charnes ve arkadaşları tarafından VZA'ya dahil edilmiştir ve toplam faktör verimliliği göz önünde bulundurulmuştur (Sahin vd.,2016).

VZA, homojen yapıdaki karar verme birimlerinin karşılaştırmalı etkinliğini ölçmektedir. (Örnek olarak; bir bankanın şubeleri, okullar, hastaneler, il bazında verimlilik ölçümü, ülke bazında verimlilik ölçümü vb.) Bu yöntem, her bir karar verme birimini kuşatarak (zaflayarak) tüm gözlemin üzerinden geçen doğrusal yüzeyin elde edilmesine dayanmaktadır. Ve etkinlik skoru bu yüzeye göre belirlenmektedir (Turgutlu, 2006).



Şekil 1. CRS-VRS Etkinlik Sınırı (Aydemir,2015)

Şekilde görüldüğü üzere VZA, sınır yaklaşımına dayalı bir yöntemdir. Belirlenen etkinlik sınırının üzerindeki karar birimi etkin diğerleri etkisiz sayılmaktadır. Etkinlik skoru 0-1 arasında bir değer almaktadır. (Özbek,2007)

Veri Zarflama Analizi'nin diğer geleneksel ekonometrik sınır yöntemlerine (örn:regresyon analizi) göre avantajı, önceden belirlenmiş bir analitik üretim fonksiyonuna ihtiyaç duymamasıdır. VZA, her karar birimini en iyi karar birimi ile kıyaslamaktadır. Veri zarflama analizindeki dezavantaj ise parametrik olmayan bir yöntem olduğu için ölçüme duyarlı bir yapıdadır. Karar birimine ait girdilerin veya çıktılarının büyük/küçük olması etkinlik sınırının bozulmasına ve denetim altındaki karar biriminin aykırı değer almasına neden olabilir. Çünkü veri zarflama analizi tek bir karar birimine ait değil örneklemin tamamını dikkate alarak ölçüm yapmaktadır. (Sarı,2015)

Veri zarflama analizinde göreceli etkinlik ölçümü iki aşamalı bir işlemdir.

1. En az girdiyle en fazla çıktı üreten en iyi performans gösteren karar biriminin belirlenmesi. (Etkinlik sınırında olan/lar)
2. Örneklemdaki diğer karar birimleri için performans endeksi değerini belirlemektir. Bu değerler daha az verimli karar birimlerinin etkinlik sınırına olan uzaklığını temsil etmektedir. (Kılıç, 2011)

Veri zarflama analizin kullanım oranı arttıkça VZA modelleri çeşitlenmiştir. VZA modellerine (Aydemir,2015) çalışmasında aşağıdaki gibi değinmiştir.

1.CCR MODELİ (Charnes-Cooper-Rhodes): Veri zarflama analizinde geliştirilen ilk modeldir. CRS varsayımı (ölçeğe göre sabit getiri) altında toplam etkinliği

ölçmektedir. Daha sonra geliştirilen modellerin temeli CCR Modeli'dir. Girdi ve çıktı odaklı olmak üzere iki yaklaşımı vardır.

a. Girdi Odaklı CCR Modeli: Sabit çıktı seviyesini en etkin şekilde elde edecek girdi bileşeninin, ne kadar azaltılması gerektiği sonucunu yani en az girdiyle maksimum çıktı üretmeye çalışmaktadır.

n = Karar birimi sayısı

s = Çıktı Sayısı

m = Girdi Sayısı

u_r = k . Karar birimi tarafından r . çıktıya verilen ağırlık

v_i = k . Karar birimi tarafından i . girdiye verilen ağırlık

x_{ij} = j . Karar birimi tarafından kullanılan girdi miktarı

y_{rj} = j . Karar birimi tarafından üretilen çıktı miktarı

x_{ik} = k . Karar birimi tarafından kullanılan i . girdi miktarı

y_{rk} = k . Karar birimi tarafından kullanılan i . girdi miktarı, olmak üzere;

Girdiye Yönelik Primal Model	Girdiye Yönelik Dual Model
Amaç Fonksiyonu $maks \sum_{r=1}^s u_r y_{rk}$	Amaç Fonksiyonu $\min z_k = \theta$
Kısıtlar $\sum_{i=1}^m v_i x_{ik} = 1 \quad i = 1, \dots, m$	Kısıtlar $\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_{ik} - \theta x_{ik} \leq 0 \quad i = 1, \dots, m$
$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0 \quad j = 1, \dots, n$	$\sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - y_{rk} \geq 0 \quad r = 1, \dots, s$
$u_r, v_i \geq 0 \quad r = 1, \dots, s$	$\lambda_j \geq 0 \quad j = 1, \dots, s$

Şekil:2 CCR Girdiye Yönelik Primal ve Dual Model Formülasyonları

θ^* = Etkinlik Skoru olmak üzere;

$\theta^* = 1$ ise ve artıklar sıfır ise karar birimi etkin

$\theta^* < 1$ ise karar birimi etkin değildir.

b. Çıktı Odaklı CCR Modeli: Sabit girdi seviyesinde elde edilebilecek en fazla çıktıyı elde etmeye odaklanmaktadır. Yani girdi düzeyi değişmeden çıktı bileşenini ne kadar artırılması gerektiğini araştırmaktadır.

Çıktı Odaklı Primal Model	Çıktı Odaklı Dual Model
<p>Amaç Fonksiyonu</p> $\min \sum_{i=1}^m v_i x_{ik}$ <p>Kısıtlar</p> $\sum_{i=1}^m v_i x_{ik} = 1 \quad i = 1, \dots, m$ $\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0 \quad j = 1, \dots, n$ $u_r, v_i \geq 0 \quad r = 1, \dots, s$	<p>Amaç Fonksiyonu</p> $\text{maks } z_k = \theta$ <p>Kısıtlar</p> $\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_{jk} \leq x_{ik} \quad i = 1, \dots, m$ $\theta y_{rk} \leq \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_{jk} \quad r = 1, \dots, s$ $\lambda_{jk} \geq 0 \quad j = 1, \dots, s$
Şekil:3 CCR Çıktıya Yönelik Primal ve Dual Model Formülasyonları	

θ^* =Etkinlik Skoru olmak üzere;

$\theta^* = 1$ ise ve artıklar sıfır ise karar birimi etkin

$\theta^* > 1$ karar birimi etkin değildir. (Kıran,2008)

2.BCC MODELİ (Banker-Charnes- Rhodes)

1984 yılında Banker-Charnes-Rhodes tarafından geliştirilmiştir. VRS (ölçeğe göre değişken getiri) varsayımı altında benzer ölçekteki birimleri birbiriyle kıyaslayarak teknik etkinliği ölçmektedir. BCC modelini, CCR'dan ayıran özellik zarflama formunda $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1, \forall j \text{ için } \lambda_j \geq 0$ konvekslik kısıtının bulunmasıdır. (Kurşun,2016)

a. Girdi Odaklı BCC Modeli

Girdi odaklı BCC modeli, ölçeğe göre değişen getiri varsayımı altında girdileri minimize etmeye çalışmaktadır. Bu doğrultuda primal ve dual model formülasyonları Şekil 4'teki gibidir.

Girdi Odaklı Primal Model	Girdi Odaklı Dual Model
<p>Amaç Fonksiyonu</p> $\text{maks} \sum_{r=1}^s u_r y_{rk}$ <p>Kısıtlar</p> $\sum_{i=1}^m v_i x_{ik} = 1 \quad i = 1, \dots, m$ $\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0 \quad j = 1, \dots, n$ $u_r, v_i \geq 0 \quad r = 1, \dots, s$	<p>Amaç Fonksiyonu</p> $\text{maks} \sum_{r=1}^s \mu_r y_{rk} - u_k$ <p>Kısıtlar</p> $\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} \leq \sum_{i=1}^m x_{ij} v_i - u_k$ $\sum_{i=1}^m v_i x_{ik} = 1$ $\lambda_{jk} \geq 0 \quad j = 1, \dots, s$ $i = 1, \dots, m \quad r = 1, \dots, s$
Şekil:4 BCC Girdiye Yönelik Primal ve Dual Model Formülasyonları	

θ^* = Etkinlik Skoru olmak üzere;

$\theta^* = 1$ ise ve artıklar sıfırsa karar birimi etkin

$\theta^* < 1$ ise karar birimi etkin değildir.

b. Çıktı Odaklı BCC Modeli

Çıktı odaklı BCC modelinde, CCR modelinde olduğu gibi maksimum çıktı üretmeyi hedeflemektedir.

Çıktı Odaklı Primal Model	Çıktı Odaklı Dual Model
<p>Amaç Fonksiyonu $\text{maks}\theta$</p> <p>Kısıtlar</p> $\sum_{j=1}^n x_{ij}\lambda_i - x_{ik} \leq 0 \quad i = 1, \dots, m$ $\sum_{j=1}^n \lambda_i y_{rj} - \theta y_{rk} \geq 0 \quad j = 1, \dots, n$ $\sum_{j=1}^n \lambda_i = 1$ $\lambda_i \geq 0$	<p>Amaç Fonksiyonu</p> $\min \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} - v_k$ <p>Kısıtlar</p> $\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} \leq \sum_{i=1}^m x_{ij} v_i - v_k$ $\sum_{i=1}^m u_r y_{rk} = 1$ $u_r, v_i \geq \varepsilon \quad j = 1, \dots, s$ $i = 1, \dots, m \quad r = 1, \dots, s$
Şekil:5 BCC Çıktıya Yönelik Primal ve Dual Model Formülasyonları	

θ^* = Etkinlik Skoru olmak üzere;

$\theta^* = 1$ ise ve artıklar sıfır ise karar birimi etkin

$\theta^* > 1$ ise karar birimi etkin değildir.

3. TOPLAMSAL MODEL:

1985 yılında Charnes ve arkadaşları tarafından geliştirilen VZA modelidir. Diğer veri zarflama analizi modelleri (CCR, BCC) girdi ve çıktıya yönelik ayrı ayrı değerlendirme yapmaktadır. Toplamsal model ise iki tür yönelimi beraber kullanmaktadır. Toplamsal modelin çeşitli versiyonları bulunmaktadır. Ancak temel olanı doğrusal programlama tabanlıdır. (Kıran,2008)

4. UYGULAMA

Çalışmanın uygulama kısmında Dünya Bankası tarafından iki yılda bir yayınlanan Lojistik Performans Endeksi'nden (Logistic Performance Index (LPI)) belirlenen 15 ülkenin lojistik performanslarına dayalı etkinlik analizi, Veri Zarflama Analizi yöntemi kullanılarak ölçülmüştür. LPI'de kullanılan girdiler Gümrük, Altyapı, Lojistik Hizmet Kalitesi ve çıktılar Zamanlama, Uluslararası Sevkiyatlar ve Takip-İzleme şeklindedir. Endeks, lojistik firmalarında çalışan üst düzey yöneticilerden, kendilerine yönlendirilen sorulara 1-5 arasında değer verilmesi istenilerek daha sonra

da cevapların ağırlıklı ortalaması alınarak hesaplanmıştır. (Yapraklı ve Ünal,2017) Çalışmanın uygulama kısmında Lojistik Performans Endeksi'nden de yararlanarak çeşitli girdi ve çıktılarla belirlenen 15 ülkenin etkinlik analizi yapılmıştır.

Metodoloji doğrultusunda uygulanması gereken adımlar aşağıdaki gibi gerçekleştirilmiştir.

1.Karar Birimlerinin Belirlenmesi: Veri Zarflama Analizinde karar verme birimleri, amaca uygun olarak aynı girdi ve çıktıları kullanan homojen yapıdaki birimler olmalıdır. Aynı zamanda kullanılacak karar birimi sayısı, girdi sayısı m , çıktı sayısı n olmak üzere, KVB sayısı en az $(m+n+1)$ olmalıdır. (Motro,2018) Çalışmanın karar birimleri LPI'de bulunan 160 ülke içinden seçilen 15 ülkeyi kapsamaktadır.

2.Girdi ve Çıktı Değişkenlerinin Belirlenmesi

Sonuçların güvenli ve anlamlı olması için VZA uygulamasında kullanılacak girdi ve çıktılar dikkatli seçilmelidir. Bu nedenle çalışmanın uygulama kısmında kullanılan girdi ve çıktılar literatür araştırmaları sonucu oluşturulmuştur.

Kullanılan Girdi Değişkenleri: 1.Gümrük Prosedürleri, 2.Altıyapı: Ülkelerin Demiryolu,Karayolu ve Denizyolu toplam kapasitelerinin oranlanmasıyla bulunmuştur.3. Enerji Kullanımı: Uluslararası Enerji Raporu'na göre ülkelerin taşımacılık sektöründe kullandıkları enerji toplamını ifade etmektedir.

Kullanılan Çıktı Değişkenleri: CO_2 Emisyonu: Ülkelerin taşımacılıkta ortaya çıkan karbon emisyon miktarını içermektedir. OECD verileri kullanılmıştır.Uygulama kısmında Kyoto Protokülü'ne göre ülkelerin hedef karbon emisyon miktarları hesaplanarak uygulanmıştır. İkinci çıktı İşgücü Oluşturma Oranı ve Lojistik Hizmet Kalitesi'dir.

3.Verilerin Toplanması

Veri Zarflama Analizinde etkinlikler görece hesaplandıkları için kullanılacak verilerin güvenilirliği analizin doğruluğu açısından önemlidir. Çalışmamızda veriler Dünya Bankası LPI, OECD Karbon Emisyonları Verileri, Uluslararası Enerji Raporu, (Rashidi ve Cullinane,2019) adlı çalışmadan, OECD Ulaştırma İstatistikleri gibi çeşitli uluslararası raporlardan ve akademik yayınlardan elde edilmiştir.

4.Modelin Kurulması

BCC-CCR modelleri Gams paket programında çözümlenmiştir.

CCR model örnek matematiksel formülasyon;

Amaç Fonksiyonu: $\min \theta$

Girdi Kısıtları: Her bir girdi için aşağıdaki örnek tekrarlanır.

Birinci karar birimi birinci girdi için;

$$(3.18*\lambda_1) + (3.83*\lambda_2) + (3.95*\lambda_3) + (3.82*\lambda_4) + (3.71*\lambda_5) + (4.12*\lambda_6) + (2.85*\lambda_7) \\ + (3.45*\lambda_8) + (3.85*\lambda_9) + (4.12*\lambda_{10}) + (3.02*\lambda_{11}) + (3.48*\lambda_{12}) + (3.54*\lambda_{13}) \\ + (3.98*\lambda_{14}) + (2.01*\lambda_{15}) \leq \theta*3.18$$

Çıktı Kısıtları: Her bir çıktı için aşağıdaki örnek tekrarlanır.

Birinci karar birimi ikinci çıktı için;

$$((3.31*\lambda_1) + (4.07*\lambda_2) + (3.90*\lambda_3) + (4.01*\lambda_4) + (3.82*\lambda_5) + (4.28*\lambda_6) + (2.91*\lambda_7) \\ + (3.77*\lambda_8) + (3.99*\lambda_9) + (4.12*\lambda_{10}) + (3.35*\lambda_{11}) + (3.73*\lambda_{12}) + (3.87*\lambda_{13}) + \\ (4.05*\lambda_{14}) + (2.76*\lambda_{15})) \geq 3.31$$

5.Etkinlik Sıralaması

Gams paket programın sonuçlarına göre ülkeler arasında etkinlik sıralaması yapılmıştır. Sonuç bire eşitse etkin, birden küçükse etkisiz gruba dahil edilmiştir.

6.Performans İyileştirme

Etkin olmayan karar birimlerinin etkin sınıra ulaşabilmeleri için girdilerini ne oranda azaltmaları gerektiğinin hesaplanmasıdır. Referans setinin yoğunluk değeri tüm girdi ve çıktı değerleri ile çarpıldığında hedef değerler elde edilmektedir.

$$\frac{\text{Hedef Değer} - \text{Gerçekleşen Değer}}{\text{Gerçekleşen Değer}} = \text{Potansiyel İyileştirme Katsayısı} \quad (1)$$

Etkin referans setlerinin belirlenmesinde destek sağlayan dual model;

<p>Amaç Fonksiyonu</p> $\min \theta$ <p>Kısıtlar</p> $\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j - \theta x_{io} \leq 0 \quad i = 1, \dots, m$ $\sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - y_{ro} \geq 0 \quad r = 1, \dots, s$ $\lambda_j \geq 0 \quad j = 1, \dots, s$	<p>Bu modelde λ dual değişkeni etkin referans setlerini belirlemede kullanılmaktadır. Denetim altındaki karar biriminin primal modelinde pozitif değer verilen karar birimleri etkindir. Etkin karar birimlerinin oluşturduğu sete 'Referans Seti' denilmektedir. Genelde denetim altındaki kvb verimli ise o zaman referans setindeki tek karar birimi kendisi olacaktır ve dual değişken $\lambda_j = 1.0$ olacaktır. (Özden,2008)</p>
<p>Şekil 6: Referans Setinin Belirlenmesinde Destek Sağlayan Dual Model</p>	

5.BULGULAR

Çalışmada kullanılan girdi ve çıktı verileri Tablo1 'de verilmiştir.

Tablo 1: Kullanılan Girdi ve Çıktı Verileri

ÜLKELER	GİRDİLER			ÇIKTILAR		
	GÜMRÜK	ALTYAPI	ENERJİ KULLANIMI	CO2 EMİSYONU	LHK	İŞ GÜCÜ ORANI
Türkiye	3,18	274,163	33103	4092,06	3,31	0,0308
Belçika	3,83	37,176	11345	1979,255	4,07	0,0398
Kanada	3,95	407,879	76389	10460,23	3,90	0,0393
Danimarka	3,82	18,53	5200	1059,917	4,01	0,0261
Fransa	3,71	183,628	54786	10731,4	3,82	0,0382
Almanya	4,12	158,452	71059	35031,05	4,28	0,0402
Yunanistan	2,85	15,988	7378	1395,082	2,91	0,0202
İtalya	3,45	103,06	44769	6792,857	3,77	0,0354
Japonya	3,85	173,748	89460	12527,78	3,99	0,0572
Hollanda	4,12	122,456	13011	1830,524	4,12	0,0388
Macaristan	3,02	54,12	5406	748,8	3,35	0,0388
İspanya	3,48	223,554	38286	12919,61	3,73	0,0281
Avustralya	3,54	219,083	41150	7797,009	3,87	0,0409
Birleşik Krallık	3,98	17,053	51271	14935,54	4,05	0,0266
Rusya	2,01	2680,475	117866	12806,32	2,76	0,0155

Çalışmada 15 ülkenin CCR-BCC modelleriyle etkinlik çözümü yapılmıştır. Uygulama sonucunda CCR modelinde girdi yönelimli ve çıktı yönelimli olarak yapılan analizin sonucunda 15 ülkeden 6 tanesi etkin çıkmıştır. Girdi yönelimli model ele alındığında, bu ülkeler içerisinde Kanada 0,87'lik verimlilik puanı ile gözlem altındaki ülkeler içinde en düşük skoru elde etmiştir. Kanada'yı; 0,89 puanla Hollanda, 0,922 puanla Fransa, 0,927 puanla Türkiye ve 0,933 puanla Almanya takip etmiştir. İspanya 0,95, Avustralya 0,97 ve İtalya 0,982 puanla 'etkin' grubunda yer almasa da etkinliğe çok yakın bir skor elde etmişlerdir.

CCR çıktı yönelimli model ele alındığında, etkinlik skoru θ^* olmak üzere $\theta^* > 1$ sağlayan ülkeler 'etkinsiz' olarak nitelendirilmiştir. Bu ülkeler içerisinde 1,141'lik en yüksek puanla Kanada en etkinsiz ülke olmuştur. Kanada'dan sonra sırayla en yüksek puan alarak etkinsiz olan ülkeler; 1,111 puanla Hollanda, 1,08 puanla Fransa, 1,079 puanla Türkiye ve 1,072 puanla Almanya'dır.

CCR modelde kullanılan iki farklı yönelimin sonuçları aynı skorları vermese de aynı sıralamayı vermiştir.

BBC model ele alındığında gözlem altındaki 15 ülkeden ‘11 tanesi etkin’ sonuç vermiştir. Girdi yönelimli modelde 0,907 puanla Kanada en düşük skoru elde ederken, Türkiye 0,927, Fransa 0,942 ve İspanya 0,975 puanla etkinsiz grubunda yer almıştır. Çalışmanın sonuçları ile ilgili detaylı bilgi Tablo 2’de yer almaktadır.

Tablo 2: CCR-BCC Analiz Sonuçları

ÜLKELER	KVB	CCR MODELİ		BCC MODELİ	
		GİRDİYE YÖNELİK	ÇIKTIYA YÖNELİK	GİRDİYE YÖNELİK	ÇIKTIYA YÖNELİK
Türkiye	K1	0,927	1,079	0,927	1,067
Belçika	K2	1	1	1	1
Kanada	K3	0,876	1,141	0,907	1,056
Danimarka	K4	1	1	1	1
Fransa	K5	0,922	1,08	0,942	1,044
Almanya	K6	0,933	1,072	1	1
Yunanistan	K7	0,97	1,031	1	1
İtalya	K8	0,982	1,017	1	1
Japonya	K9	1	1	1	1
Hollanda	K10	0,89	1,111	1	1
Macaristan	K11	1	1	1	1
İspanya	K12	0,95	1,044	0,975	1,022
Avustralya	K13	0,97	1,023	1	1
Birleşik Krallık	K14	1	1	1	1
Rusya	K15	1	1	1	1

Çalışmanın sonucunda CCR yöntemine göre etkinsiz çıkan ülkeler için potansiyel iyileştirme yapılmıştır. Buna göre hedeflenen değerler bulunarak girdilerinde azaltmaları gereken miktarlar hesaplanmıştır.

Potansiyel İyileştirme Sonuçları

Potansiyel iyileştirme yapılırken, referans karar birimlerinin yoğunluk değeri tüm girdi ve çıktılarla çarpılarak hedef değerler ortaya çıkmaktadır. Daha sonra (1) numaralı formül uygulanarak potansiyel iyileştirme katsayısı bulunur.

Potansiyel iyileştirme katsayısının 100 ile çarpılmasıyla yüzde olarak potansiyel iyileştirme sonuçları çıkmaktadır. Çalışmada yapılacak potansiyel iyileştirme uygulamasında kullanılan referans karar birimleri ve yoğunluk değerleri Tablo3 'te verilmiştir.

Tablo 3: Referans Karar Birimleri ve Yoğunluk

ÜLKELER	Referans Kümesindeki Karar Birimleri	Yoğunluk Değerleri
Türkiye	K11, K15	(0,925), (0,076)
Kanada	K11, K15	(1,072), (0,112)
Fransa	K11, K15	(1,107), (0,041)
Almanya	K11, K15	(1,253), (0,030)
Yunanistan	K2, K4, K11	(0,067), (0,640), (0,022)
İtalya	K11, K15	(1,113), (0,015)
Hollanda	K11, K15	(1,216), (0,017)
İspanya	K11, K15	(1,065), (0,058)
Avustralya	K11, K15	(1,108), (0,058)

Potansiyel iyileştirme sonuçlarına göre 'etkinsiz' ülkelerden olan Türkiye'nin 'etkin' olabilmesi için Gümrük Prosedürlerinde %7,23, Altyapı çalışmalarında %7,43 ve Enerji kullanımında yaklaşık %58'lik bir azaltma yapması gerekmektedir. Diğer ülkelerin girdilerinde azaltması gereken miktarlar, Gümrük: Tablo 4, Altyapı Tablo 5 ve Enerji Kullanımı Tablo 6 'da verilmiştir.

Tablo 4: Etkinsiz Ülkelerin Gümrük Prosedürlerinde Azaltması Gereken Miktarlar

ÜLKELER	GUMRUK			
	Gerçekleşen	Hedef	Fark	PI(%)
Türkiye	3,18	2,95	-0,23	-7,2327
Kanada	3,95	3,46	-0,49	-12,4051
Fransa	3,71	3,43	-0,28	-7,54717
Almanya	4,12	3,84	-0,28	-6,79612
Yunanistan	2,85	2,77	-0,08	-2,80702
İtalya	3,45	3,39	-0,06	-1,73913
Hollanda	4,12	3,70	-0,42	-10,1942
İspanya	3,48	3,33	-0,15	-4,31034
Avustralya	3,54	3,46	-0,08	-2,25989

Tablo 5: Etkinsiz Ülkelerin Altyapı Çalışmalarında Azaltması Gereken Miktarlar

ÜLKELER	ALTYAPI			
	Gerçekleşen	Hedef	Fark	PI(%)
Türkiye	274,163	253,78	-20,383	-7,43463
Kanada	407,879	358,23	-49,649	-12,1725
Fransa	183,628	169,81	-13,818	-7,525
Almanya	158,452	148,23	-10,222	-6,45117
Yunanistan	15,988	15,54	-0,448	-2,8021
İtalya	103,06	100,44	-2,62	-2,54221
Hollanda	122,456	111,378	-11,078	-9,04651
İspanya	223,554	213,11	-10,444	-4,6718
Avustralya	219,083	215,43	-3,653	-1,6674

Tablo 6: Etkinsiz Ülkelerin Enerji Kullanımında Azaltması Gereken Miktarlar

ÜLKELER	ENERJİ KULLANIMI			
	Gerçekleşen	Hedef	Fark	PI(%)
Türkiye	33103	13968,38	-19134	-57,8026
Kanada	76389	18996,25	-57393	-75,1321
Fransa	54786	10816,96	-43969	-80,2561
Almanya	71059	10309,71	-60749	-85,4913
Yunanistan	7378	4207,05	-3170	-42,9746
İtalya	44769	7784,87	-36984	-82,6109
Hollanda	13011	8577,42	-4434	-34,0769
İspanya	38286	12593,63	-25693	-67,1067
Avustralya	41150	12826,09	-28324	-68,8309

6.SONUÇ

Küreselleşmenin etkisiyle ülkeler arasındaki sınırlar ortadan kalkmaktadır. İşletmelerin yanında ülkelerin de rekabet avantajı sağlayabilmeleri için kalite, maliyet ve yenilikçi yaklaşımlara önem vermeleri gerekmektedir. Bugün Dünya’da lojistik sektörü ve lojistik sektöründeki iş gücü yukarı yönlü hızlı bir ivme göstermektedir. Temelde doğru ürünün, doğru yere, zamanında ve hatasız teslimini ifade eden lojistik sektörü ülkeler için çeşitli girdiler içermektedir. Çeşitli literatür araştırmaları ve Dünya Bankası’nın ülkelerin lojistik performanslarını ölçmek için kullandığı girdiler baz alınarak bu çalışma yapılmıştır.

Çalışmada ilk olarak yerli-yabancı literatür araştırması yapılmıştır. Daha sonra veri güvenliği için resmi raporlardan veriler toplanarak metodoloji uygulanmıştır. Uygulama sonucunda etkinsiz çıkan ülkeler için CCR-Girdi Odaklı model sonuçlarına göre Potansiyel İyileştirme yapılmıştır. Potansiyel İyileştirme ile beraber etkinsiz ülkelerin girdilerinde azaltmaları gereken miktarlar hesaplanmıştır. Çalışmada girdi odaklı veri zarflama analizi (CCR) uygulandığında 15 ülkeden 6 ülkenin etkin, kalan 9 ülkenin ise etkinsiz olduğu sonucuna ulaşılmıştır. BCC modelinin uygulanmasıyla etkin ülke sayısının 11 ülkeye çıktığı gözlenmiştir.

7.KAYNAKLAR

Aydemir, M.,(2015),”Veri Zarflama Analizi İle Türkiye’deki Büyükşehir Belediyelerinin Mali Etkinliğinin Ölçülmesi”,Uludağ Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Ekonometri Anabilimdalı İstatistik Bilim Dalı,Yüksek Lisans Tezi.

Kılıç, M.,(2011),”Croos-Border Bank Acquisitions and Banking Sector Performance: An Empirical Study of Turkish Banking Sector”,Procedia Social and BehavioralSciences, 24,946-959.

Kurşun, S.,(2016) Veri Zarflama Analizi İle Performans Değerlendirme: Katılım Bankacılığı Sektöründe Bir Uygulama, İstanbul Ticaret Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi.

Motroi, A.,(2018),”İmalat İşletmelerinde Veri Zarflama Analizi ile Verimlilik Ölçümü”, Bankacılık ve Finansal Araştırmalar Dergisi,5,1.

Özbek, S., (2007),”Sigorta Şirketlerinin Etkinliğinin Veri Zarflama Analizi ile İncelenmesi”, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Ekonometri Anabilim Dalı İstatistik Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi.

Özden, Ü.,(2008),”Veri Zarflama Analizi ile Türkiye’deki Vakıf Üniversitelerinin Etkinliğinin Ölçülmesi”, İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi,37,167-185.

Rashidi,K., Ve Cullinane,K., (2019),”Evaluating the sustainability of national logistics performance use Data Envelopment Analysis”, Transport Policy,74,35-46.

Sahin, G., Gökdemir, L., Öztürk, D., (2016),”Global Crisis and Its Effect on Turkish Banking Sector: A Study with Data Envelopment Analysis”, Procedia Economics and Finance,38,38-48.

Sarı, Z.,(2015),Veri Zarflama Analizi ve Bir Uygulama, Hacettepe Üniversitesi İstatistik Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi.

Turgutlu, E.,(2006),Tam Bilgi ve Belirsizlik Altında Etkinlik Analizi: Türk Sigortacılık Endüstrisi Örneği, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İktisat Anabilim Dalı Doktora Tezi.

Yapraklı, T. Ve Ünalın, M., (2017),“Küresel Lojistik Performans Endeksi ve Türkiye'nin Lojistik Performansının Analizi”, Atatürk Üniversitesi İBB Dergisi,31,3.

Araştırma Makalesi

ÇELİK TABLİYELİ KÖPRÜ ÜSTÜ FARKLI KARIŞIM TİPLERİNİN PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ*

Çağlar EREN¹

Halit ÖZEN²

Mustafa ILICALI³

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

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

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

Öz

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

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

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

Research Article

EVALUATION OF DIFFERENT TYPE OF PAVEMENT PERFORMANCE FOR STEEL BRIDGE DECK

Abstract

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

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

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

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

Received / Geliş tarihi: 08.05.2019

Accepted / Kabul tarihi: 17.05.2019

Corresponding Author/ Sorumlu Yazar :

caglarxeren@gmail.com

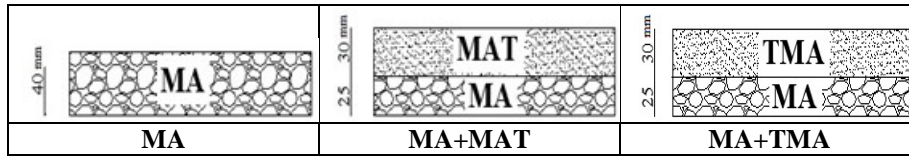
1. GİRİŞ

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

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

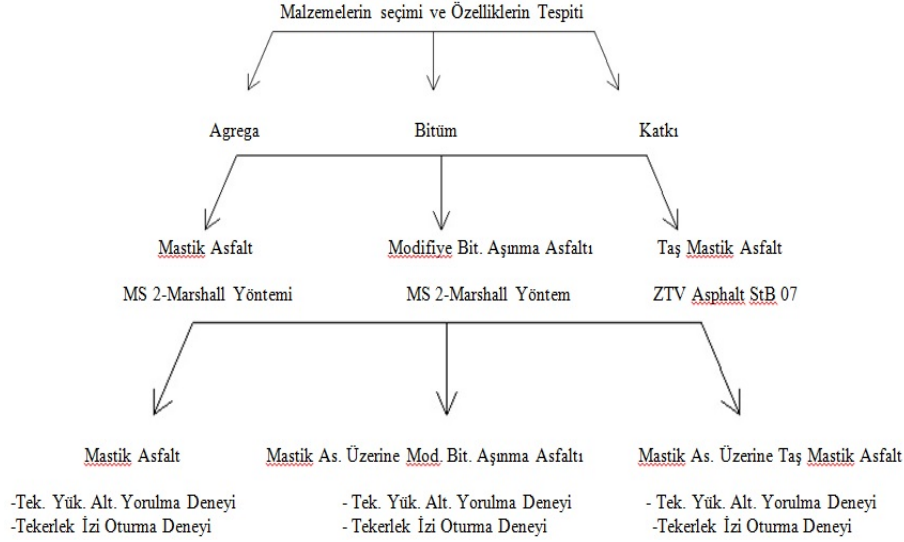
Çelik tabliyeli köprülerde, gerek trafik yüklerinin aşındırıcı etkileri gerekse köprü tabliyesini korozyona karşı korumak üzere genellikle mastik asfalt (MA-harç) tipi kaplama tabakası kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra çelik köprü tabliye üzeri üstyapı tabakası; sadece taş mastik asfalt (TMA), modifiye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

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



Şekil 1. Çelik Köprü Tabliyesi BSK Kaplama Çeşitleri

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



Şekil 2. Çalışmanın Aşamaları

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

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

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

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

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

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

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

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

3. ÇALIŞMADA KULLANILAN MALZEMELER VE ÖZELLİKLERİ

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

Tablo 1. Agregâ Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

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

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

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

Tablo 2. B 50/70 Bitüm Özellikleri

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

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

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

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

Tablo 4. % 5 SBS İçeren Bağlayıcı Özellikleri

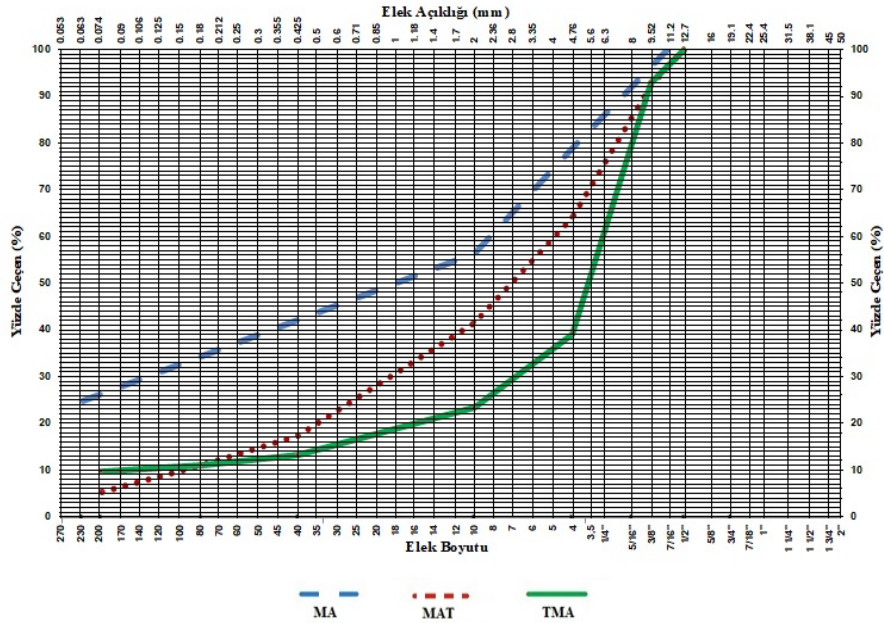
Deney Adı	Birimi	Değeri	KTŞ 2013 PMB 76-16	Deney Yöntemi
Penetrasyon (25 °C, 100 gr, 5 sn)	0,1 mm	44,5	25-55	TS EN 1426
Yumuşama Noktası	°C	82,5	≥ 65	TS EN 1427
Özgül Ağırlık	gr/ cm ³	1,013	1,0-1,1	TS EN 15326
Parlama Noktası	°C	320	≥ 220	TS EN ISO 2592
Elastik Geri Dönme, 25 °C	%	92,5	≥ 60	TS EN 13398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

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

Tablo 5. Agrega Gradasyonları

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

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



Şekil 3. Karışımların Gradasyon Eğrileri

4. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

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

4.1. Karışım Dizaynı

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

Tablo 6. MA Karışım Dizayn Değerleri

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

Tablo 7. MAT ve TMA Karışım Dizayn Değerleri

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

4.2. Tekrarlı Yükler Altında Yorulma Deneyi

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

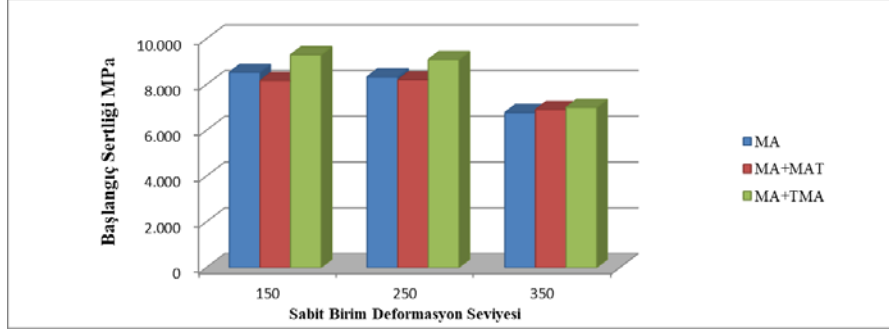
Yorulma deneyi sabit 10 Hz frekansta, sabit 150, 200 ve 350 birim deformasyon (strain) seviyelerinde yapılmış ve numunenin deney başlangıcındaki ölçülen rijitlik değerinin yarı değerine düştüğü anda deney sonlandırılmıştır.

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

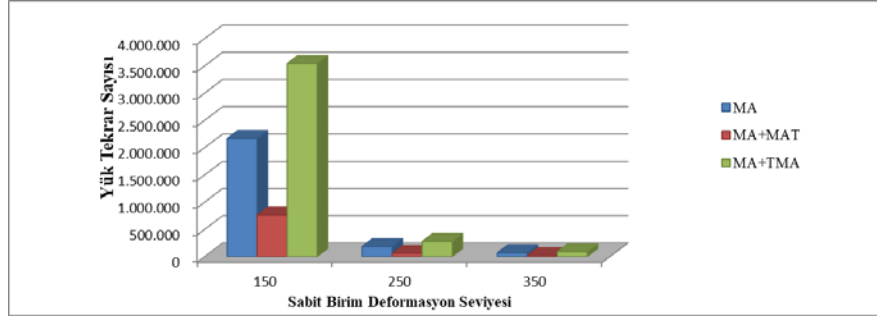


Şekil 4. MA+TMA Numunesinin Çatlak Görüntüsü

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



Şekil 5. Numunelerin Birim Deformasyonlarda Başlangıç Sertlikleri

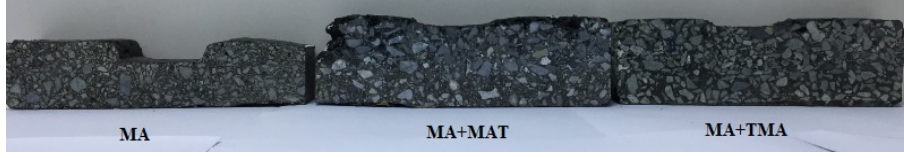


Şekil 6. Numunelerin Birim Deformasyondaki Yük Tekrar Sayıları

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

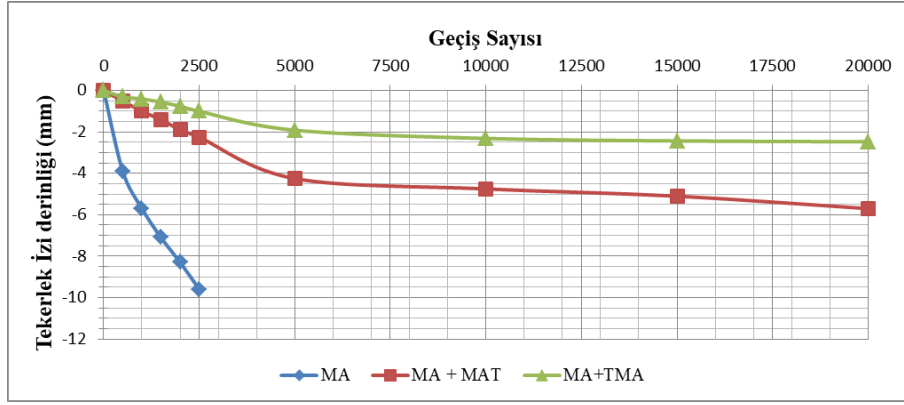
4.3. Tekerlek İzinde Oturma Deneyi

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



Şekil 7. Karışım Numunelerinin Deney Sonu Görüntüsü

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



Şekil 8. Tekerlek İzinde Oturma Değerleri

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



Şekil 9. Karışımların Kesit Ölçümleri

Tablo 8. Karışımların Deformasyon Miktarları

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

5. SONUÇ

Yapılan çalışmalarda varılan sonuçlar aşağıda açıklanmıştır.

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

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

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

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

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

KAYNAKÇA

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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