

Şehiriçi Yollarda Üstyapıların Mevcut Performansını Belirlemek İçin Bir Yöntem

Ufuk KIRBAŞ¹

Mustafa KARASAHİN²

ÖZ

Şehiriçi yolların üstyapılarını yöneten sistem(ler)in bulunması zorunluluğu kaçınılmazdır. Üstyapıların yönetimini sağlamak amacıyla kurulan bir sistemde en zor olan adımın, üstyapıların mevcut performansını belirlemek olduğu bilinmektedir. Üstyapıların yapısal performansı ile sürüş konforu arasında güçlü bir ilişkinin olduğu yapılan birçok çalışmada saptanmıştır. Çalışmada, bir karayolu üstyapısının mevcut performansını gösteren PCI değerleri ile araç içinde oluşan düşey titreşim parametreleri arasındaki ilişkiler araştırılarak tahmin modeli oluşturulmuştur. Böylelikle, üstyapının performansını belirlemede kullanılan PAVER sisteminin zor ve meşakkatli olan arazi çalışmaları minimuma indirilerek, ülkemizde yerel yönetimlerin üstyapı yönetiminde kullanabileceği hale getirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Üstyapı yönetim sistemi, ISO 2631-1, titreşim, paver sistemi, PCI.

ABSTRACT

A Method for Determining Existing Pavement Performance in Urban Roads

The obligation of establishing system(s) that manage the suitability of road pavements in urban roads is inevitable. In a system which is established with the aim of ensuring the management of the pavements, the most difficult step is known to be determining the performance of the existing pavements. Many studies identified that there is a strong relationship between the structural performance of the pavements and the ride quality. In this study a prediction model was created by investigating the relationships between PCI that indicates the existing performance of a road pavement, and the vertical vibration parameters experienced inside the vehicle. Thus, the difficult and arduous terrain works of the PAVER system used for determining the pavement performance has been reduced by this work and a system has been made available for local governments to be used for pavement management.

Keywords: Pavement management system, ISO 2631-1, vibration, paver system, PCI.

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 16.02.2015 günü ulaşmıştır. 25.07.2017 günü yayımlanmak üzere kabul edilmiştir.
- 31 Temmuz 2018 gününe kadar tartışmaya açıktır.

• DOI: 10.18400/tekderg.373899

1 Ondokuz Mayıs Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Samsun - ufuk.kirbas@omu.edu.tr

2 İstanbul Gelişim Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul - mkarasahin@gelisim.edu.tr

1. GİRİŞ

Karayolu ağlarında güvenlik ve konforu sağlayan en önemli unsurun yol üstyapısı olduğu bilinmektedir. Bir üstyapıdan olması gerektiği gibi faydalanabilmek için belirli aralıklarda planlı bir şekilde bakım ve onarımlar yapmak şarttır. Ülkemizde şehiriçi yolların yol yapım, bakım, onarım ve işletmesinden sorumlu olan yerel yönetimlerin belediyeler olduğu bilinmektedir. Genel olarak belediyelerde, üstyapı yapım, bakım ve onarım ile ilgili sorumluluklar ana arter ve daha yüksek önemdeki şehiriçi yollarda büyükşehir veya il merkezi türü belediyelerde iken, önem düzeyi ana arterin altındaki olan yollarla ilçe belediyelerindedir.

Üstyapıların mevcut performansları çeşitli teknikler kullanılarak belirli indeksler aracılığıyla sayısal olarak ifade edilebilmektedir [1]. İndeks değerlerine ulaşmada kullanılan yöntemler karmaşık olmanın yanında oldukça yüksek altyapı yatırımları da gerektirmektedir [2]. Özellikle orta ve küçük ölçekli belediyelerin bu maliyetleri karşılayabilmeleri çoğunlukla mümkün olmamaktadır. Çalışmada, bir üstyapı yönetim sisteminde (ÜYS) en zor adım olan üstyapıların mevcut performansını belirleyebilmek için oldukça kolay ve göreceli olarak ucuz bir yöntem önerilmiştir. Aynı zamanda bu yöntemle teknik şartnamelerde yer almayan, yeni imal edilen üstyapıların sürüş konforu açısından kalite kontrolü de yapılabilecektir.

2. ÜSTYAPI YÖNETİM KAVRAMI

ÜYS planlama, programlama, tasarım, yapım, bakım, onarım ve yenileme işlemlerinin tamamını içeren çalışma programıdır [3]. ÜYS kavramı, 1950'li yıllardan beridir çalışılan, teknolojinin gelişmesi ile yeniliklere kavuşarak günümüze gelmiş bir konudur. Amerikan mühendislik standartlarından biri olarak ASTM E1889 - 97(2009) koduyla ÜYS standardı da yayınlanmıştır [4].

Ulusal yol ağlarında üstyapının mevcut performansını belirlemek için genellikle cihazlarla yapılan ölçümlerin kullanıldığı görülmektedir. Bu maksatla, çoğunlukla yüzey pürüzlülüğünü ifade eden uluslararası düzgünsüzlük indeksinin (IRI) kullanıldığı çalışmalarda görülmektedir. Dünya Bankası tarafından geliştirilen standart çerçevesinde değerlendirilen IRI'nın üstyapı tasarımında kullanılan hizmet düzeyi (PSI) ile doğrudan ilişkili olduğu çalışmalarda belirtilmektedir [1, 5]. Üstyapı değerlendirmelerinde ikinci olarak defleksiyon verilerinin (FWD) tercih edildiği anlaşılmaktadır. Benzer şekilde, şehiriçi yollarda da ÜYS çalışmalarının yapıldığı bilinmektedir. Damman (Arabistan), Lizbon (Portekiz) ve Amerika'da Bowling Green (Kentucky), Chittenden (Vermont), Dublin (Ohio), Folsom (California), Los Angeles (California) gibi daha birçok şehirin ÜYS çalışmalarını anlatan kaynak bulunmaktadır [6, 7]. Şehiriçi yollarda üstyapıların mevcut performansını belirlemede çoğunlukla yüzey bozulma verilerinin tercih edildiği görülmektedir. Ağırlıklı olarak tercih edilen indekslerin üstyapı durum indeksi (PCI), üstyapı durum oranı (PCR), üstyapı yüzey değerlendirme ve oranlama sistemi (PASER) ve kalan servis ömrü (RSL) indekslerinin olduğu belirlenmiştir [1, 2, 8].

Ayrıca, ivmeölçerler yardımıyla üstyapının mevcut performansını belirleme konusunda araştırmacıların, ağırlıklı olarak üstyapıdaki yüzey bozulma verileri ve/veya düzgünsüzlük verileri ile aracın düşey yöndeki titreşim verilerinin karşılaştırılması konusuna yöneldiği görülmektedir. Çalışmalarda, ivme verilerinin araç dinamiği modellerinde titreşim verisi

olarak veya yüzey bozulma verileri ve düzgünsüzlük verileri ile korelasyonlarının araştırılmasında kullanıldığı belirlenmiştir. Dahası, bu ilişkiler matematiksel olarak oldukça iyi ifade edilebilmelerinden dolayı sürüş konforunu gerçek zamanlı olarak yansıtabilen sürüş simülasyon sistemlerinin oluşturulduğu yapılan çalışmalarda görülmektedir. Diğer bir deyişle günümüz teknolojisi kullanılarak tasarımı yapıldıktan sonra imal edilecek bir üstyapıda zamanla oluşacak bozulmalar ve bu bozulmaların sürücülere etkisi ile yolun hizmet seviyesinin henüz yol yapılmadan belirlenebileceği anlaşılmaktadır [9-13].

3. METODOLOJİ

PAVER sistemi, rastgele dağılım prensiplerine göre seçilen örnek alanlarda, ASTM D 6433-11 kodlu bozulma tanımlama kılavuzuna göre toplanan yük, iklim ve diğer sebeplerden kaynaklanan bozulma verilerinin değerlendirilerek, üstyapının mevcut performansını ortaya koyan bir değerlendirme prosedürüdür [2, 14]. PAVER sisteminde 0 – 100 arasında bir değerle üstyapıların mevcut performansını gösteren PCI değeri olarak 100 hiç bozukluk bulunmayan en iyi derecedeki üstyapıyı 0 ise tamamen bozulmuş kullanılamayacak derecedeki üstyapıyı ifade etmektedir. PCI, üstyapıya ait bozulma tipi, bozulma yoğunluğu ve bozulma miktarı bileşenlerinin ortak değerlendirilmesi sonucunda üstyapının mevcut performansını gösteren bir indekstir. Çalışmada, Samsun ili sınırlarında farklı türde belediyelerin sorumluluğunda, farklı hizmet seviyelerindeki 20 adet karayolunda ve 98 adet kesimde, diğer bir deyişle yaklaşık olarak 55.750 m uzunluğundaki yolda PAVER sistemine göre üstyapıların mevcut performansları belirlenmiştir. Değerlendirme kesimlerinin seçiminde veri çeşitliliği ve model doğruluğunu arttırmak için farklı tipte, farklı yoğunluk düzeyinde ve farklı miktarlarda bozulmaların görülebilmesi kriterlerine dikkat edilmiştir.

Üstyapıların yüzey düzgünsüzlüğünün araç içerisinde düşey doğrultuda ölçülen titreşim ile yüksek derecede ilişkili olduğu bilinmektedir [10]. Literatürde araştırmacılar tarafından titreşim verilerini, konforu ifade etmek amacıyla analiz etmek için en çok ISO 2631-1 kodlu standartın tercih edildiği görülmektedir [15, 16]. Standartta taşıt içinde maruz kalınan 3 boyutlu ivme ölçüm verilerinin farklı pozisyonlarda (oturarak, ayakta durarak ve sırt üstü uzanarak) ölçüm noktaları ile ortalama titreşimi yansıtan ağırlıklandırılmış karekök ortalama (a_w) ve mekanik şokları yansıtan maksimum aktarılan titreşim değeri (MTVV) değerlendirme parametrelerinin hesap prensipleri açıklanmaktadır. Standart tüm vücudun maruz kaldığı titreşimi değerlendirebilmek için ivmeölçerin sürücünün hemen altında, sürücü ile temas halinde ve kauçuk bir yatak içerisinde olması gerektiğini tavsiye etmektedir. İvme ölçümleri 1/3 oktav bantlarına ayrılarak ve frekans ağırlık filtrelerinde tanımlanan kazançları uygulanarak, ilgili eksen doğrultusunda ağırlıklandırılmış toplam titreşim değerleri (a_w) (1) nolu bağıntı ile elde edilir.

$$a_w = [\sum_i (w_i a_i)^2]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

Burada a_w , frekans ağırlıklandırılmış ivmeyi, w_i , ilgili frekans tanımlanan ağırlık faktörünü, a_i ise i inci 1/3 oktav bandı için ivmelenme ortalama karekök değerini göstermektedir [15]. ISO 2631-1 standartına göre hareketli karesel ortalama (the runnig rms method) değerlendirme yöntemi sabit kısa zaman aralıklarında oluşan rastlantısal şok ve kişiye aktarılan titreşimlerin değerlendirmesinde uygulanan yöntemdir. Belirlenen bir zaman

aralığında oluşan $a_w(t_0)$ değerinin maksimumu bulunarak MTVV parametresi üretilmektedir. $a_w(t_0)$ (2) ve MTVV (3) nolu bağıntı ile ifade edilmektedir.

$$a_w(t_0) = \left\{ \frac{1}{\tau} \int_{t_0-\tau}^{t_0} [a_w(t)]^2 dt \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

$$MTVV = \max[a_w(t_0)] \quad (3)$$

Burada $a_w(t)$, anlık frekans ağırlıklandırılmış ivmelenme değerini τ , hareketli ortalama zaman dilimini t , ölçüm değişkenini ve t_0 , ölçüm zamanını ifade etmektedir.

Çalışmada üç adet ivmeölçer, GPS anteni ve veri kayıt cihazı (datalogger)'ndan oluşan ivme ölçüm seti ile aynı yollarda düşey doğrultudaki titreşim verileri kaydedilmiştir. Kaydedilen titreşim verileri ISO 2631-1 standardına göre değerlendirilmiş, PCI değerleri belirlenen yol kesimlerinde a_w ve MTVV değerleri elde edilmiştir. Düşey titreşim ölçümleri, Euro Car segment değerlendirmesine göre 4100-4600 mm uzunluk aralığında alt orta sınıf C segmentine giren station wagon türünde bir araçla yapılmıştır. Ölçümler sırasında ivmeölçerler, sürücü koltuğu (üzerinde sürücü var) ve orta aks üzeri (ayak hizası) olmak üzere üç farklı noktaya yerleştirilmiştir. Ölçümler sırasında taşıtın sabit bir şeritte, sabit bir hızda ve en az 20 km/sa hızda olması ölçüm kriterleri olarak kabul edilmiştir [5].

En uygun ölçüm hızını belirlemek amacıyla farklı tür ve yoğunlukta bozulmaların görüldüğü bir yolda düşey ivme ölçümleri 20, 30, 40 ve 50 km/sa hızlarda her şerit için ayrı ayrı yapılmıştır. Öte yandan, yapılan değerlendirmenin geliştirilmesi için aracın mekanik yapısından kaynaklı oluşan düşey titreşimlerin etkisinden kurtulmak amacıyla, boyuna eğimi sifıra yakın ve yüzey bozulması hiç olmayan yeni imal edilmiş bir yolda (PCI = 100) her bir ölçüm hızı için ve her bir ölçüm noktası için ayrı ayrı kalibrasyon parametreleri üretilmiştir. Böylece, herhangi bir yolda yapılan ölçüm sonrasında bulunan parametrik titreşim değerlerinden kalibrasyon için bulunan parametrik titreşim değerlerinin çıkarılması ile düzeltilmiş titreşim parametreleri (düz. a_w , düz.MTVV) bulunmuştur.

Kesimlerin PCI değerleri ile sürücü koltuğu a_w parametresi değerleri arasında yapılan istatistik değerlendirmelerde en yüksek korelasyonun 40 km/sa hızda oluşmasından dolayı en uygun ölçüm hızı olarak 40 km/sa kabul edilmiştir [17]. Fakat uygulamada, şehiriçi trafik koşullarında, belirli bir şeritte tam olarak belirli bir hızda gitmenin trafik, yolların boyuna eğimi gibi geometrik kısıtlar vb. muhtelif sebeplerle sabit hızın korunmasının mümkün olmadığı görülmüştür. Ölçümler sırasında, cihaz dahilinde bulunan gps anteni ile bir saniye aralıkla hız verileri de kaydedilmiştir. Dolayısıyla değerlendirmede, 1 sn aralıklarla toplanan araç hızının aritmetik ortalaması kesimin ortalama hızı olarak kabul edilmiş ve kesimlere ait hız bileşenleri elde edilmiştir.

4. DEĞERLENDİRMELER

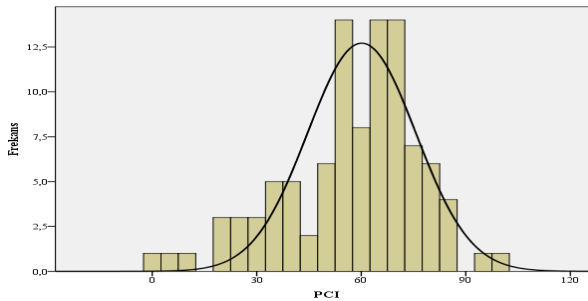
Çalışmada, kesimlerin PCI değerini ivme ölçümlerinden tahmin edebilen bir regresyon modeli oluşturulmuştur. Öncelikle yapılan analizlerin birbirlerine karşı rölatif doğrulukları incelenmiştir. Güvenirlik analizinde kullanılan modellerden biri de Alfa Modelidir. Alfa (α) katsayısına bağlı olarak ölçeğin güvenirliliği $0.00 \leq \alpha < 0.40$ ise ölçek güvenilir değildir, 0.40

$\leq \alpha < 0.60$ ise ölçeğin güvenirliliği düşük, $0.60 \leq \alpha < 0.80$ ise ölçek güvenilir ve $0.80 \leq \alpha < 1.00$ ise ölçek yüksek derecede güvenilir bir ölçek olduğu kabul edilmektedir [18]. Sürücü koltuğu ve orta aks üzeri ölçüm noktalarında titreşim ölçümünden üretilen a_w ve MTVV titreşim parametrelerinin hız faktörü ile birlikte veya ayrı olacak şekilde değerlendirilmesiyle her kesim için 8 adet farklı parametre üretilmiştir. Parametrelerin alfa değeri $\alpha = 0.841$ olarak bulunmuştur. Verilerin ‘yüksek derecede güvenilir’ olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu parametrelerin birbirlerine göre korelasyonları Çizelge 1.’de görülmektedir. Aşağıdaki çizelgede alt indislerden SK= Sürücü Koltuğu, OAU= Orta Aks Üzeri ölçüm yerlerinde yapılan titreşim ölçümlerinden üretilen parametreleri göstermektedir.

Çizelge 1. Modelleme çalışmasında kullanılacak parametreler ve korelasyonlar.

	düz. a_w SK	düz. a_w OAU	düz. a_w SK / ln(Hız)	düz. a_w OAU / ln(Hız)	düz.MTVV SK	düz.MTVV OAU	düz.MTVV SK / ln(Hız)	düz.MTVV OAU / ln(Hız)
düz. a_w SK	1.000	0.930	1.000	0.927	0.708	0.648	0.711	0.650
düz. a_w OAU	0.930	1.000	0.932	0.999	0.586	0.692	0.591	0.696
düz. a_w SK / ln(Hız)	1.000	0.932	1.000	0.930	0.703	0.644	0.707	0.647
düz. a_w OAU / ln(Hız)	0.927	0.999	0.930	1.000	0.579	0.686	0.584	0.691
düz.MTVV SK	0.708	0.586	0.703	0.579	1.000	0.802	1.000	0.799
düz.MTVV OAU	0.648	0.692	0.644	0.686	0.802	1.000	0.802	1.000
düz.MTVV SK / ln(Hız)	0.711	0.591	0.707	0.584	1.000	0.802	1.000	0.800
düz.MTVV OAU / ln(Hız)	0.650	0.696	0.647	0.691	0.799	1.000	0.800	1.000

Çizelge 1’de korelasyonların oldukça yüksek ve birbirlerine yakın olduğu görülmektedir. Bu durumun, regresyon analizinde oldukça sık karşılaşılan kolinerite (bağımlılık) problemiyle karşılaşılmasına neden olacağı için adım adım her bir değişken ayrı ayrı değerlendirilerek PCI tahmin modeli oluşturulmuştur.



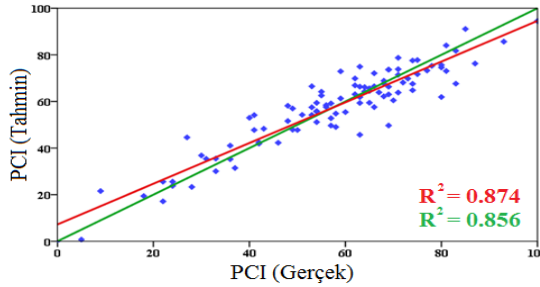
Şekil 1. PCI değerlerinin normal dağılım histogramı.

Bir regresyon modelinin kurulmasında modellenecek bağımlı değişkenin normal dağılıma uygun olması gerekmektedir. Bu amaçla, tahmin modelinde bağımlı değişken PCI değerlerinin normal dağılıma uygunluğunu test etmek amacıyla tek örneklem kolmogorov smirnov testi uygulanmıştır. Değerlendirme sonucunda, çift kuyruklu anlamlılık değeri $0.175 > 0.05$ bulunarak PCI değerlerinin %95 güven aralığında normal dağılıma uygun olduğu saptanmıştır. Ayrıca, histogram grafiği aşağıdaki Şekil 1'de görülmekte olan PCI değerlerinin önemli miktarda çarpıklık arz etmemektedir.

Yapılan değerlendirmeler sonucu ölçüm hızı, sürücü koltuğu üzeri düz. a_w ve orta aks üzeri düz. a_w ve düz.MTVV bileşenlerinin en uygun değişkenler olduğu saptanmıştır. Bu değişkenlere bağlı olarak üretilen PCI tahmin modeli aşağıdaki şekildedir.

$$PCI = \frac{-453.472 * \text{düz.}a_w_{SK}}{\ln(\text{Hız})} + \frac{-196.310 * \text{düz.}a_w_{OAU}}{\ln(\text{Hız})} + 5.227 * \text{düz.MTVV}_{OAU} + 94.508$$

Burada düz. a_w_{SK} bileşeni düzeltilmiş a_w Sürücü Koltuğu'nu (m/sn^2), düz. a_w_{OAU} bileşeni düzeltilmiş a_w Orta Aks Üzeri'ni (m/sn^2), düz.MTVV $_{OAU}$ bileşeni düzeltilmiş MTVV Orta Aks Üzeri'ni (m/sn^2) ve Hız bileşeni kesimin ortalama ölçüm hızını (km/sa) göstermektedir. Bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında regresyon değeri 0.874 ($R = 0.935$) gibi oldukça yüksek bir ilişki yakalanabilmiştir. Gerçek ve model kullanılarak elde edilen PCI değerleri arasındaki farklar grafik olarak Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. PCI değerleri arasındaki farklar.

Çizelge 2. PCI Tahmin Modeli istatistik verileri

	Sabitler		t	Anlam.	Korelasyonlar		Kolinerite
	Katsayılar	Std. Hata			PCI ile	Anlam.	Kondüsyon İn.
Sabit	94.508	1.824	51.817	.000			1
düz.a_w_{SK} / $\ln(\text{Hız})$	-453.472	73.158	-6.199	.000	-.923	.000	5.496
düz.a_w_{OAU} / $\ln(\text{Hız})$	-196.310	49.460	-3.969	.000	-.904	.000	7.088
düz.MTVV$_{OAU}$	5.227	2.264	2.309	.023	-.563	.000	17.371

Oluşturulan modele ait istatistik parametreler Çizelge 2’de görülmektedir. Gerek katsayılarla gerekse korelasyon değerlerinde istatistik anlamlılık değeri 0.05’den küçük yani, bulunan sonuçların istatistik olarak %95 anlamlılık sınırında olduğu görülmektedir. Bu değerlendirmeye göre bağımsız değişkenler arasında önemli bir kolinerite probleminin olmadığı görülmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Üstyapıların mevcut performansının sürüş konforunu en iyi yansıttığı kabul edilen, araç içinde oluşan düşey doğrultudaki titreşim değerleri ile yapılabileceği düşünülmüştür. Çalışmada, PAVER sisteminin zor ve meşakkatli olan arazi çalışmalarının azaltılması hedeflenmiştir. Nihai çıktı olarak, PCI değerini titreşim verileri aracılığıyla tahmin edebilen tahmin modeli oluşturulmuştur. Regresyon yöntemi kullanılarak geliştirilen modelde, eldeki verilerin model kurulması açısından zaruri istatistiki kısıtları sağladığı tespit edilmesinden sonra ölçüm hızı, sürücü koltuğu düz. a_w , orta aks üzeri düz. a_w ve düz.MTVV bağımsız değişkenlerini kullanan bir PCI tahmin modeli üretilmiştir. Tahmini ve gerçek veriler arasında 0.8738 ($R = 0.935$) gibi oldukça yüksek bir doğrusal ilişki yakalanabilmiştir.

Üretilen model yardımıyla herhangi bir yerel yönetimin sorumluluğunda bulunan, üstyapıları bitümlü sıcak karışım türündeki bir karayolu ağına ait ağ düzeyinde bir ÜYS kurmasının oldukça kolay ve işlevsel olacağı düşünülmektedir. Şüphesiz ki yapılan bu çalışma yardımıyla hayata geçirilecek bir ÜYS çerçevesinde kesimlere ait bakım&onarım veya yenileme uygulama projelerinin oluşturulabilmesi için yerinde gözlem ve ölçümlerin yapılması gerekmektedir.

Semboller

PCI	: Üstyapı performans indeksi (Pavement Condition Index);
a_w	: Frekans Ağırlıklandırılmış Karekök Ortalama ivme;
$a_w(t_0)$: Bir zaman aralığında frekans ağırlıklandırılmış karesel ortalama;
τ	: Hareketli ortalama zaman dilimini;
t	: Ölçüm değişkenini;
t_0	: Ölçüm zamanı;
α	: Cronbach alfa katsayısı;
MTVV	: Maksimum Aktarılan Titreşim Değeri;
düz. a_w SK	: Sürücü koltuğu düzeltilmiş a_w parametresi (m/sn^2);
düz. a_w OAU	: Orta aks üzeri düzeltilmiş a_w parametresi (m/sn^2);
düz.MTVV _{SK}	: Sürücü koltuğu düzeltilmiş MTVV parametresi (m/sn^2);
düz.MTVV _{OAU}	: Orta aks üzeri düzeltilmiş MTVV parametresi (m/sn^2);
Hız	: Kesimin ortalama ölçüm hızı (km/sa);

Teşekkür

Yazarlar çalışmaya desteğinden dolayı İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimine teşekkür eder.

Kaynaklar

- [1] Haas, R., Hudson, W.R., Zaniewski, J.P., Modern Pavement Management, Krieger Pub. Co., Malabar, Florida, USA, 1994.
- [2] Shahin, M.Y., Pavement Management for Airports, Roads, and Parking Lots, Springer, New York, 2005.
- [3] Kırbaş, U., Karashaşin, M., Performance Models For Hot Mix Asphalt Pavements In Urban Roads, Construction and Building Materials, 116, 281-288, 2016.
- [4] ASTM, E1889-97: Standard Guide for Pavement Management Implementation, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2009.
- [5] ASTM, E 950: Standard Test Method for Measuring the Longitudinal Profile of Traveled Surfaces with an Accelerometer Established Inertial Profiling Reference, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2009.
- [6] Wolters, A., Zimmerman, K., Schattler, K., Rietgraf, A., Implementing Pavement Mangement System for Local Agencies, Research Rep., Illinois, ICT-11-094-1, 2011.
- [7] Picado-Santos, L., Ferreira, A., Antunes, A., Carvalheira, C., Santos, B., Bicho, M., Quadrado, I., Silvestre, S., Pavement Management System For Lisbon, Thomas Telford Ltd, pp. 157-165, 2004.
- [8] Shahin, M.Y., Kohn, S.D., Pavement Maintenance Management for Roads and Parking Lots, Research Rep., U.S. Army Construction Engineering Res. Lab., 1981.
- [9] Terzi, S., Modeling for Pavement Roughness Using the ANFIS Approach, Advances in Engineering Software, 57, 59-64, 2013.
- [10] Cantisani, G., Loprencipe, G., Road Roughness and Whole Body Vibration: Evaluation Tools and Comfort Limits, Journal of Transportation Engineering, 136(9), 818-826, 2010.
- [11] Griffin, M.J., Discomfort From Feeling Vehicle Vibration, Vehicle System Dynamics, 45(7-8), 679-698, 2007.
- [12] Ahlin, K., Granlund, N.O.J., Relating Road Roughness and Vehicle Speeds to Human Whole Body Vibration and Exposure Limits, International Journal of Pavement Engineering, 3(4), 207-216, 2002.
- [13] Bolling, A., Jansson, J., Hjort, M., Lidström, M., Nordmark, S., Schammar, H.k., Sjögren, L., An Approach for Realistic Simulation of Real Road Condition in a Moving Base Driving Simulator, Journal of Computing and Information Science in Engineering, 11(4), 41009, 2011.
- [14] ASTM, D 6433-11: Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2011.

- [15] ISO, 2631-1: Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration, Part 1: General Requirement, ISO, Geneva, Switzerland, 1997.
- [16] Griffin, M.J., Handbook Of Human Vibration, Academic Press, London, UK, 2012.
- [17] Kırbaş, U., Şehiriçi Yollarda Üstyapı Bakım Yönetim Sistemi Kurulması, Türkiye Örneği, Doktora, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi, 2013.
- [18] Kalaycı, Ş., SPSS Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistik Teknikleri, Asil Yayın Dağıtım, Ankara, 2006.

