

Farklı Tip Esnek Kaplamaların Yol Yüzey Özelliklerinin Arazi Ölçümleriyle Değerlendirilmesi

Bülent KAÇMAZ*

Ali TOPAL**

Burak ŞENGÖZ***

Serhan TANYEL****

ÖZ

Karayolunda güvenli bir sürüşün sağlanabilmesi için taşıt tekerlek bandajı ile yol yüzeyi arasındaki sürtünme direncinin belli bir seviyede olması gerekmektedir. Sürtünme direnci kaplama yüzey dokusu ile yakından ilişkilidir. Günümüzde, gelişen teknolojinin imkanlarını da kullanarak kaplama yüzey dokusunun belirlenmesine yönelik çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada, İzmir kentinde belirlenen 4 farklı tip esnek kaplamada 3'er aylık periyotlarla 3B lazer tarayıcı kullanarak ASTM E 1845-09 'e göre ortalama profil derinlikleri (MPD) ölçülmüş, sonuçlar Kum yama yöntemi ile elde edilen ortalama doku derinliği (MTD) ve DFT ile ölçülen sürtünme direnci ölçüm sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda MTD ile MPD arasında yüksek korelasyon bulunduğu ve MPD değerindeki azalış oranı ile 60 km/sa hızdaki sürtünme değerinin (f(60)) azalış oranının aynı düzeyde olmadığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kaplama, yüzey dokusu, ortalama profil derinliği, ortalama doku derinliği, sürtünme direnci.

ABSTRACT

Evaluation of Surface Texture Properties of Different Types of Flexible Pavements

In order to provide traffic safety on the road, the skid resistance should be at a certain level between the wheel and the surface of the pavement. Skid resistance on which road safety depends is closely related to the pavement surface texture.. The deformations especially the polishing effect seen on the surface of wearing course due to the traffic loads, involves a change in the surface texture. In recent years, efforts are performed to develop more advanced technologies for evaluating pavement surface texture. In this study, the 3D laser scanner was utilized to quantify the mean profile depth (MPD) of 4 different types of

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 25.12.2013 günü ulaşmıştır.
- 30 Eylül 2015 gününe kadar tartışmaya açıktır.

* Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir - bulentkacmaz@gmail.com

** Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir - ali.topal@deu.edu.tr

*** Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir - burak.sengoz@deu.edu.tr

**** Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir - serhan.tanyel@deu.edu.tr

flexible pavement in Izmir according to ASTM E 1845–09. The results have been compared with the results of sand patch test (MTD) and skid resistance test result for a period of 3 months. The results indicated that a close correlation exists between MTD and MPD values. Besides the variation of reduction in MPD values in not the same as the friction value corresponding to 60 km/h speed ($f(60)$).

Keywords: Pavement, surface texture, mean profile depth, mean texture depth, skid resistance.

1. GİRİŞ

Yol güvenliği, gerek kaplama tasarımı gerekse işletme ve bakım giderleri planlamasında en önemli faktördür. Karayolunda güvenli bir sürüşün sağlanabilmesi için sürtünme direncinin belirli bir seviyede olması gerekmektedir. Yüzey pürüzlülüğü, araçların güvenle durma mesafeleri üzerinde etkili en önemli faktör olmasının yanı sıra; araçların seyir konforu, taşıt yakıt tüketimi, bakım giderleri, sürtünme katsayısı, tekerlek kaplamasının ömrü, iç ve dış tekerlek gürültüsü, ışık yansımaları ve yuvarlanma direnci gibi yol karakteristikleri üzerinde de etkilidir. Dolayısıyla yol yüzey pürüzlülüğünün tanımlanabilmesi; yol yüzeyinin güvenlik, ekonomi ve çevresel etkiler bakımından incelenmesine olanak sağlar.

Yol yüzey kaplamaları farklı hava koşullarında tekerlek bandajı ile yol yüzeyi arasında yeterli aderansı sağlamalı, sürücünün fren tedbirine başvurduğu zamanlarda güvenle durmasını mümkün kılmalıdır. Özellikle yağmurlu havalarda yüksek taşıt hızlarında yol yüzeyi ile tekerlek bandajı arasında oluşan sürtünme direnci çok küçük değerlere inebilmektedir [1]. Bu alanda yapılan çalışmalar sürtünme direncindeki azalmanın kaza oranlarını arttırdığını ortaya koymuştur [2, 3]. Yeterli pürüzlülüğe sahip olmayan bir yol yüzeyinde, tekerlek ile kaplama arasında oluşan yetersiz sürtünme ile patinaj, savrulma, kayma veya durma mesafesindeki potansiyel artış kritik bir durum oluşturabilir. Yapılan araştırmalar, yolların hizmet yeteneğinin büyük ölçüde yüzey pürüzlülüğüne ve dolayısı ile kayma direncine bağlı olduğunu ortaya çıkarmıştır [4, 5]. Bu bakımdan kaplamaların sürtünme dirençlerinde zaman içinde meydana gelen değişimlerin belirlenebilmesi için yol yüzeyinin belirli periyotlarda ölçülerek değerlendirilmesi gerekmektedir.

Bu çalışma kapsamında, trafik güvenliği etkileyen parametrelerden yüzey dokusu ile sürtünme direnci ilişkisi ele alınmıştır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Yol yüzey dokusu, yatay bir düzlemsel yüzeyden olan sapmalar olarak ifade edilmektedir [6]. Makrodoku, dalga boyu 0,5 ve 50 mm ve genliği 0,1 ve 20 mm arasında değişen girinti ve çıkıntılar, mikro doku ise dalga boyu 0,5 mm' den küçük ve genliği 0,001 ve 0,5 mm arasında değişen girinti ve çıkıntılar olarak tanımlanmaktadır [7, 8]. Doku dalga boyu ise yüzey düzlemi boyunca periyodik olarak tekrar eden eğri parçaları arasındaki en kısa mesafe olarak tanımlanmaktadır [8]. Kaplama mikro ve makro dokusu kaplamanın sürtünme direncini etkilemektedir. Düşük taşıt hızında sürtünme direnci genellikle yol yüzeyi mikro dokusu ile ilgilidir. Yüksek taşıt hızlarında ise tekerlek lastiği ile yol yüzeyi

arasındaki su filminin azalması ile yol yüzeyindeki suyun drene olması daha önemli olmaya başlar. Suyun iyi bir şekilde drenajını sağlayan yol yüzey özelliği makro dokudur [7].

Yeterli yüzey dokusu, kaplama yüzeyinde biriken yüzeysel suların su kızaklamasına neden olmadan çabucak direne olarak yüzeyden uzaklaşması için önemlidir. Makrodoku, lastiklerin şekil değiştirme ve enerji kaybı ile ilgili olan sürtünme bileşeni (histerisis) gelişimi için yardımcı olduğundan, makrodoku kaplama sürtünmesini artırır [9,10].

Yol yüzey dokusu ve kayma direnci ile ilgili çeşitli araştırmalar mevcuttur. Britton ve diğ. yol yüzey dokusunun, tekerlek ve yol sürtünmesi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Sürtünme indeksi altı doku parametresi ile tanımlanmıştır. Çalışmalarında üç makro doku parametresi ve üç mikro doku parametresini ele alarak değerlendirmelerde bulunmuşlardır. [11]. Moore yüzey dokusunu karakterize etmek için üç parametre tanımlamıştır; boyut, ara mesafe (ya da yoğunluk) [12]. Ergun ve diğ. görüntüleme tekniği kullanarak doku profillerinin ölçümünü esas alan sürtünme katsayısı tahmin modelini geliştirmişlerdir [13]. Bond ve diğ. bir kaplamada mikro ve makro doku değişimlerinin standart bir test tekerleği için en büyük frenleme katsayısı üzerindeki etkisini incelemişlerdir [14]. Leu ve Henry farklı mikro ve makro doku özelliklerine sahip kaplama yüzeylerinden ölçülen kayma direnci değişimleri göstermişlerdir [15]. Şengöz ve diğ. lazer tarama sistemi kullanarak test yolu üzerinde tespit ettikleri ortalama profil derinlik değerleri ile kum yama yöntemi ile elde ettikleri ortalama doku derinliklerini değerlendirmişler ve yeni tip lazer cihazına ait kalibrasyon eğrileri üretmişlerdir [16].

Kaplama yüzey dokusu ve bu doku ile ilişkili olan kayma direnci ölçümleri, kaplama araştırmacıları için ilgi alanlarından biri olmuştur. Makrodoku ölçüm teknikleri; ASTM E 965-96 Kum yama yöntemi [17], ASTM E2380-M-09 Su kaçış ölçer [18], ASTM E2157-01 Dairesel doku ölçer [19] yöntemlerini içerir. Son yıllarda, yüksek hızlı bilgisayarlar ve lazer teknolojilerindeki gelişmelere bağlı olarak, yol yüzey dokusunu ölçmek üzere çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden bazıları; Mini doku ölçer İngiliz ulaşım ve yol araştırmaları merkezi tarafından [20], Selcom lazer sistemi ise Teksas üniversitesi araştırmacıları tarafından [21] ve temassız yüksek hızlı optik tarama tekniği Pensilvanya Üniversitesi araştırmacıları tarafından geliştirilmiştir [22].

Yol kaplama yüzeylerinden Sürtünme direncini ölçmek amacı ile kullanılan cihazlar iki grupta incelenmektedir. Bunlar yüksek hız ve düşük hızda ölçüm yapabilen cihazlardır. Yüksek hızlı ölçüm yapabilen cihazlar; ASTM E274 Kilitlenmiş Tekerlek Testi, ASTM E670 Yanal Kuvvet Ölçer, ASTM E1859 Değişken Kayma Yöntemidir. Düşük hızlı ölçüm cihazları ise; ASTM E445 Duruş Mesafesi Ölçer, ASTM E2102 Yavaşlama İvmesi Ölçer, ASTM E303 İngiliz Sarkacı ve ASTM E1911 Dinamik Sürtünme Ölçerdir [23, 24].

Sürtünme indeksleri yol mühendisliğinde uzun zamandır kullanılmaktadır. 1965 yılında, ASTM sürtünme sayısı-Skid number (ASTM E 274) terimini kullanmaya başlamıştır. 1990'lı yılların başında, PIARC uluslararası kayma indeksi (International Friction Index-IFI) kavramını ortaya çıkartarak farkı deney cihazları arasında bir harmonizasyon oluşturmuştur [7]. Rado, kendi doktora çalışmasında bu modeli geliştirerek yeni modeli literatüre kazandırmıştır [25].

TC Karayolları Genel Müdürlüğü'nce ülkemiz karayollarında doku ölçümleri için Kum yama yöntemi 2013 yılında şartnamelere girmiştir [26]. Lazer profilometreli düzgünsüzlük

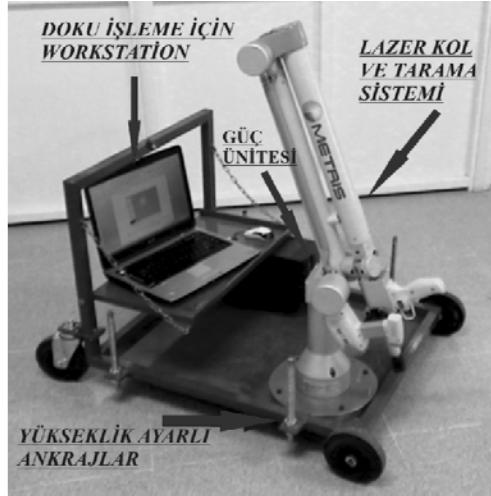
ölçer araçlarla Uluslararası Düzgünsüzlük İndeksi ölçülebilmekte [27] doku ölçümleri yapılamamaktadır.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Çalışmada, İzmir kentinde belirlenen 4 farklı tip esnek kaplama üzerinde, ölçüm dönemleri boyunca (Mart 2009 – Aralık 2011) tüm istasyon noktalarından 3'er aylık periyotlarla 3B lazer tarayıcı kullanarak ASTM E 1845-09 'e göre ortalama profil derinlikleri (MPD), ASTM E 965-96'e göre Kum yama yöntemi ile ortalama doku derinliği (MTD) ve Dinamik Sürtünme Ölçer (DFT) cihazı kullanılarak sürtünme indeksleri ölçülmüştür. Ölçüm sonuçlarından elde edilen veriler birbirleri ile karşılaştırılarak incelenen parametrelerin birbirleri ile olan ilişkileri analiz edilmiştir.

3.1. 3B Lazer Tarama Sistemi

Lazer tarama sistemi, oldukça yeni ve teknolojik açıdan üstün bir yöntemdir. Sistem laboratuvar şartlarında çalışılmak üzere tasarlandığından, arazi ölçümlerinin rahatça yapılabilmesi için Şekil 1 'de gösterildiği gibi bir taşıma aparatı hazırlanmıştır.



Şekil 1. Lazer tarama sistemi ve yazılımı için geliştirilen taşıma aparatı

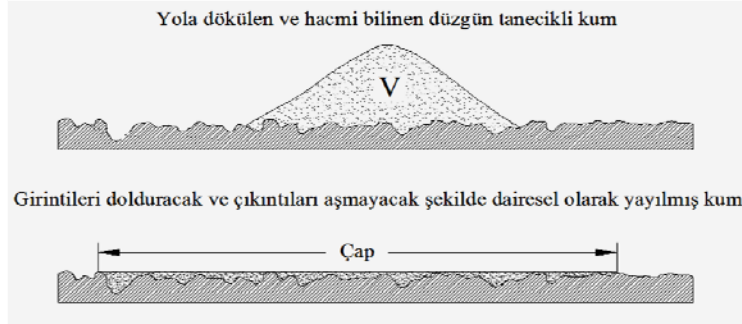
Lazer tarama sistemiyle ortalama profil derinliğinin (MPD) belirlenmesinde uygulanan adımlar aşağıda ana hatlarıyla anlatılmıştır. Öncelikle, lazer kol ve buna bağlı bilgisayar yazılımı (CUBE®) açılarak öncelikle lazer kola ait 7 eksen sisteme tanıtılır. Ardından çizgisel lazer şiddeti ortamın ışık seviyesine bağlı olarak en uygun taramayı yapmak üzere ayarlanır. Daha sonra, önceden taramanın alınacağı kaplama yüzeylerine çakılmış olan işaretçilere (probe) dokunularak lokasyonlar yazılıma tanıtılır. Bu işlem, farklı ölçüm

dönemlerinde yüzey dokusu değişimlerinin tespiti için yapılacak olan arazi çalışmalarının daima aynı bölgeden alınabilmesini ve aynı en kesitler için inceleme yapılabilmesini sağlamaktadır.

Metris Lazer Tarama Sistemi ile elde edilen yol yüzey profillerine ait veriler MATLAB Image Processing Toolbox'ı kullanılarak analiz edilmiştir. Analiz yapılacak görüntülerde ASTM E 1845-09 standardında tanımlandığı şekilde işlemlerin ve verilerin duyarlılıklarını arttırmak ve yol yüzey dokusunu daha net bir biçimde temsil etmesi bakımından her bir istasyondan alınan yol yüzey görüntülerinden 5 mm aralıklarla kesitler alınarak MPD değerleri hesaplanmıştır [28].

3.2. Kum Yama Yöntemi (ASTM E 965-96)

İngiltere'de geliştirilen bu deneyin amacı, yol yüzey doku derinliğini belirlemektir. Boyutları standartlaştırılmış ve hacmi bilinen bir miktar kum (50 ml) kaplamanın girintilerini dolduracak, çıkıntılarını aşmayacak şekilde, bir kauçuk ayak yardımıyla, yüzey üzerine dairesel olarak yayılır. Dairenin ortalama çapı (D) ölçülür. Kumun hacminin (V) dairenin alanına oranına "Kum yüksekliği (HS)" denir (Denklemler 1). Elde edilen değerler 0,5 ve 5,0 mm arasında değişmektedir [29]. Kum yama yöntemi ülkemizde kaplama makro dokusunun belirlenmesi amacı ile 2013 yılında Karayolları Teknik Şartnamesine girmiştir [26]. Bu yöntem ile ilgili bazı sınırlamalar ve ulusal farklılıklar mevcuttur. Yöntemin ıslak koşullar altında kullanımının zor olması, zayıf tekrarlanabilirlik, kullanılan cam küreciği tane dağılımındaki farklılıklar, cam küreciği yayılma şeklinin uygulayıcıya göre değişkenlik gösterebilmesi vb. şeklinde olumsuzlukları bulunmaktadır [30, 31]. Deney prensibi Şekil 2'de gösterilmektedir.

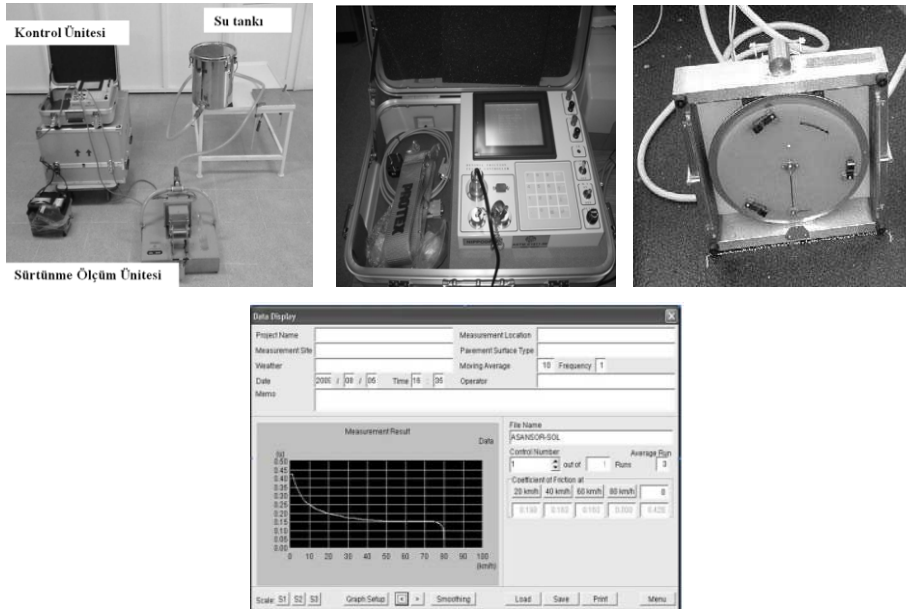


Şekil 2. Kum yama deneyi [7]

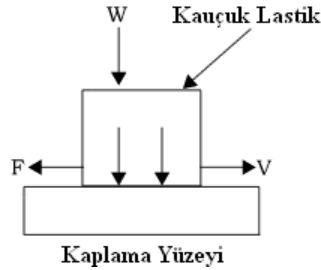
$$MTD = \frac{40 \times V}{\pi \times D^2} \quad (1)$$

3.3 Dinamik Sürtünme Ölçer

Dinamik sürtünme ölçer (DFT), saha ve laboratuvar ölçümlerinde kalite kontrol, proje ve araştırmalarda yararlanılmak üzere sürtünme verilerinin elde edilmesi için kullanılır (Şekil 3). Deneysel yöntemi ASTM E 1911-09'da belirtilmiştir [32]. Temel prensibi Kolomb'un sürtünme yasasına dayanır. Bu yöntemde, üç adet kauçuk lastik, yatay dönen bir diskin altına sabitlenmektedir. Test sırasında, disk 80 km/saat hıza ulaştığında otomatik olarak kaplama yüzeyine dik bir şekilde alçalarak yola temas eder. Şekil 4'de gösterildiği gibi, kauçuk lastikler yol yüzeyine dik bir şekilde etkiyen W sabit yükü altında ve doğrusal bir F kuvveti ile V hızında döner. F , kaplama ile kauçuk lastikleri arasındaki sürtünme kuvvetidir. Sürtünme katsayısı (μ), F 'yi W 'ye bölmek suretiyle bulunabilmektedir. 20, 40, 60 ve 80km/saat hız değerlerinde pik sürtünme ölçüm değerleri alınabilmektedir.



Şekil 3. Dinamik sürtünme ölçer test cihazı (Ölçüm Sistemi, Kontrol Ünitesi, Ölçüm Ünitesi Döner Disk, Veri transferi)



Şekil 4. DFT cihazında dönen diske etkiyen kuvvetler

Deney uygulanırken yüzeydeki toz, kum, yağ ve diğer yapancı maddelerin ölçüm sonuçlarına etkisini azaltmak için yüzey bir fırça ile temizlenmelidir [33]. Su basıncından kaynaklanabilecek herhangi bir etkiye karşı su tankı DFT cihazından en az 0,6 m yüksekte olmalı ve her deney öncesi doldurulmalıdır. Deney, İngiliz sarkacı gibi operatör veya rüzgardan etkilenmemekle birlikte uygun tekrar sağlanabilmektedir. Ayrıca uluslararası sürtünme indeksi (IFI–ASTM E 1960-07) değerine cihazdan alınan veriler ile kolayca ulaşılabilmektedir [34].

Sürtünme indeksine dair ölçüm aletleri, ölçüm ve hesap yöntemlerinin birbirinden farklı olması nedeniyle, bir ülkede yapılan bir ölçümün diğer bir ülke araştırmacısı tarafından değerlendirilmesi çok zor olmakta, hatta bu durum, araştırmacıların karşılaştırma yapamamasına yol açmaktadır. Bu nedenle, Yol Kongreleri Daimi Birliği (PIARC) tarafından, üye ülkelerdeki farklı tipteki yol yüzeylerinin, modern yol yüzey dokusu ve sürtünme direnci aletleri ile yapılan ölçüm sonuçları değerlendirilerek uluslararası sürtünme direnci indeksi (IFI) oluşturulmuştur [7]. IFI değerinin hesaplanabilmesi için en az bir sürtünme ve bir de doku derinliği ölçümü gerekmektedir.

Çalışma kapsamında sürtünme direncini tespit etmek amacı ile dinamik sürtünme ölçer test cihazı (DFT), Yol doku derinlikleri içinde lazer profilometresi ve kum yama yöntemi kullanılmıştır.

IFI, temel olarak PIARC sürtünme modeli olarak tanımlanan bir matematik modeldir. 2 ana parametreden oluşmaktadır. Bu parametrelerden biri olan Sp 'nin (speed number-hız sayısı) ölçümü son derece önemlidir. Özellikle ıslak yol yüzeyleri üzerinde birikmiş suyun yol yüzeyinden ayrılması için doku derinliği belli değerlerde olmalıdır [34, 35]. Sp değerinin değişiminden yol yüzeyinin cilalanma özellikleri ile ilgili bilgi alınabilmektedir. IFI'yi oluşturan diğer parametre ise $F(60)$ 'tır. Bu değer 60 km/saat hızdaki normleştirilmiş sürtünme değeridir.

IFI'yi oluşturan temel parametrelerden biri olan Sp Denklem 2 ile hesaplanmaktadır.

$$Sp = a + b \times T \quad (2)$$

Burada; Sp = Hız sabiti

a, b = Sabit katsayılar

T = Ortalama profil derinliği (MPD), mm.

Çalışma kapsamında sabit katsayılar yapılan tüm ölçüm sonuçları değerlendirilmek sureti ile ASTM E 1845–09 göre tayin edilmiştir.

Ölçülen sürtünme direnci değeri $FR(S)$, 60 km/saat ölçümünde elde edilen model eşitliğine koyulur;

$$FR(60) = FR(S) \times e^{\frac{S-60}{Sp}} \quad (3)$$

Burada; $FR(60)$ = S kayma hızından 60 km/saat hıza göre hesaplanmış düzeltilmiş sürtünme değeri,

$FR(S) = S$ kayma hızındaki sürtünme değeri (DFT ile)

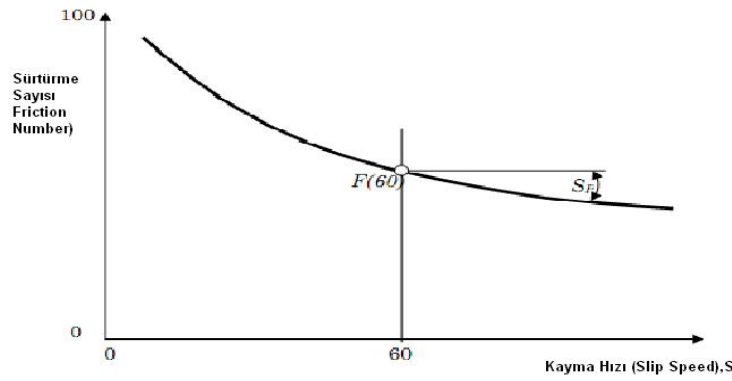
$S =$ Kayma hızı, km/saat (genellikle 20 km/saat alınmaktadır)

$$F(60) = A + B \times FR(60) \quad (4)$$

Burada; $F(60) =$ Düzeltilmiş IFI sürtünme sayısı

$A, B =$ Sürtünme ölçüm aletine bağlı kalibrasyon sabiti (DFT cihazı için bu parametreler ilgili ASTM standardından alınmıştır)

Herhangi bir hızdaki sürtünme değerini tahmin etmek için kullanılan IFI model grafiği Şekil 5'de gösterilmiştir. Ölçülen S_p ve 60 km/saat hızdaki sürtünme değeri ile herhangi bir S kayma hızındaki sürtünme değeri tahmin edilebilir. Şekildeki sürtünme eğrisi aşağıdaki genel formül kullanılarak çizilmiş olup, herhangi bir S kayma hızı için kullanılabilir. $F(60)$ ve S_p değerleri grafik üzerinden belirlenir.



Şekil 5. Uluslararası sürtünme indeksi modeli (IFI)[34-36]

4. İSTASYON NOKTALARININ SEÇİMİ

İzmir kentinde istasyon noktalarının seçimi amacıyla öncelikle yol sathının durumu göz önüne alınmıştır. Proje süresi içinde yol sathı üzerinden kesintisiz olarak (sath yenileme veya güvenlik dolayısı ile sath üzerinde yapılacak kısmi imalatlar gibi durumların olmayacağı) veri sağlanabilecek yol kesimleri seçilmiştir. İstasyon seçiminde bir diğer parametre ise ölçülmesi planlanan nokta üzerinde ölçümler sırasında trafiğin yönlendirilebilme olanağıdır. Ayrıca gözlem noktaları kavşak ve benzeri kesişim noktalarından mümkün olduğunca uzakta, blok ortası olarak tanımlanabilen kesimlerden seçilmiştir. Bu sayede kavşaklardan kaynaklanabilecek farklı trafik ve yol koşullarının etkisini en aza indirgeyerek sağlıklı değerlendirmeler yapılabilecek kesimlerden veri alınması amaçlanmıştır. Ölçümlerin sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi için İzmir Emniyet Müdürlüğü ve Karayolları 2. Bölge Müdürlüğünden güvenliğin sağlanması amacıyla destek alınmıştır.

Çalışma kapsamında dört farklı istasyon noktası belirlenmiştir: İzmir–Eski Foça Ayrımı, Altinyol, Karşıyaka Tünelleri ve Kısıkköy'dür. İzmir–Eski Foça Ayrımı Taş Mastik Asfalt (TMA), Altinyol Binder, Karşıyaka Tünelleri ve Kısıkköy Bitümlü Sıcak Karışım (BSK) olarak imal edilmiştir. Kısıkköy istasyonunun seçilme nedeni, yapım tarihi itibarı ile Karşıyaka Tünelleri'ne göre daha eski bir kaplama olmasıdır. Kısıkköy, İzmir–Yeni Foça ayrımı ve Karşıyaka Tünelleri'nde kullanılan karışım malzemelerinden agregalar Karayolları Teknik Şartnamesinde (KTŞ) yer alan aşınma Tip–2 gradasyonundaki kalker ile yine İzmir Aliğa Rafinerisi'nden temin edilen 50/70 penetrasyonlu asfalt çimentosudur. İzmir–Eski Foça ayrımı taş mastik asfalt (TMA) olup kaba agregası bazalt, ince agregası ise kalkerdir. Bazalt agregası, Yılmaz Beton'a ait Aliğa Çaltılıdere Taşocağı'ndan, kalker agregası ise İzmir Pınarbaşı Ada-Çiftay Taşocağı'ndan elde edilmiştir. Karışım tasarımı Taş Mastik Asfalt (TMA) Tip–1 gradasyonu seçilerek yapılmıştır. Bu kaplamalar üzerinde farklı ölçüm dönemlerinde alınan ölçüm değerleri arasındaki ilişkiler değerlendirilmeye çalışılmıştır. Tablo 1'de kalker ve bazalt agregasına ilişkin elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Şekil 6'da ise incelemeye alınan istasyon noktaları görünümü sunulmaktadır.



Şekil 6. İstasyon noktaları genel görünüm

İzmir–Eski Foça ayrımı, İzmir–Çanakkale devlet yolu üzerinde olup, İzmir İli'nin kuzeyinde yer almaktadır. İstasyon noktasının yaklaşık 5 km uzağındaki fabrikaların yanı sıra turizm merkezlerine de yakın olması sebebiyle, kaplama üzerinde ağır trafik yükü etkileri görülmektedir. Yol ikisi gidiş, ikisi geliş olmak üzere toplam dört şeritli olup, genişlik yaklaşık 20 m'dir.

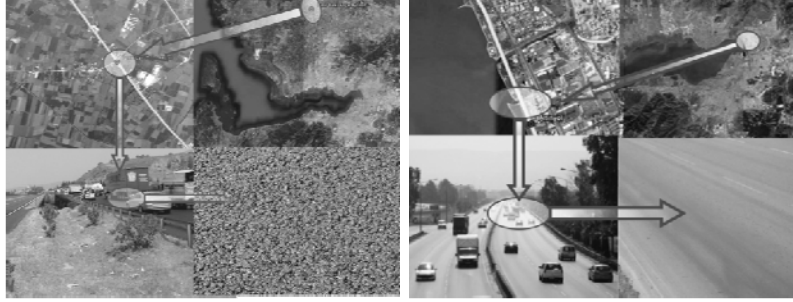
Altinyol Caddesi, İzmir–Çanakkale Karayolu'nun İzmir şehir için kesimine ait bir bölümü olup Anadolu Caddesi ile Mürselpaşa Caddesi arasında kalan kısımdır. Yol, İzmir ilinin Karşıyaka ilçesi ile en önemli bağlantısı olup, uzunluğu yaklaşık 3,5 km, genişliği ise yaklaşık 26 m'dir. Şubat 2007 tarihinde Çiğli–Bornova Çevreyolu'nun (Kuzey Otoyolu) hizmete girmesine kadar İzmir ilinin güney ve kuzeyini birbirine bağlayan tek yol olma özelliğini taşımıştır.

Tablo 1. Aşınma Tabakasında Kullanılan Kalker ve Bazalt Agregası Özellikleri

Deney Adı	Şartname	Bazalt Agregası için Sonuçlar	Kalker Agregası için Sonuçlar	Şartname Değerleri
Özgül Ağırlık (Kaba Agregası)	ASTM C127			
Hacim		2,666	2,686	-
Doğun Yüzey Kuru		2,810	2,701	-
Zahiri		2,706	2,727	-
Özgül Ağırlık (İnce Agregası)	ASTM C128			
Hacim		2,652	2,687	-
Doğun Yüzey Kuru		2,770	2,703	-
Zahiri		2,688	2,732	-
Özgül Ağırlık (Filler)			2,725	-
Los Angles Aşınma Deneyi (%)	ASTM C 131	14,2	24,4	maks. 45
Yassı ve Uzun Tane Oranı (%)	ASTM D 4791	5,5	7,5	maks. 10
Dayanıklılık Deneyi (%)	ASTM C 88	2,6	1,47	maks. 10 – 20
Köşelilik Tayini	ASTM C 1252	58,1	47,85	min. 40

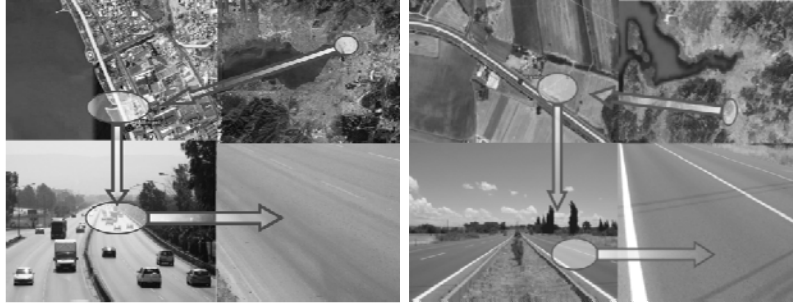
Karşıyaka Tünelleri 2007 yılında hizmete giren Kuzey Çevreyolu (Çiğli – Bornova Otoyolu) üzerinde olup, İzmir'in kuzeyini tamamen kaplamaktadır. İki adet güneyde, iki adet de kuzeyde olmak üzere dört tünelden oluşmakta ve her bir tünelde üç şerit bulunmaktadır.

İzmir – Menderes – Torbalı ayrımı (Kısıkköy mevki), İzmir – Aydın Devlet yolu üzerinde olup, ikisi gidiş ikisi geliş olmak üzere toplam dört şeritlidir. Yolun genişliği yaklaşık 15 m.'dir. İzmir–Eski Foça ayrımı, Altınyol, Karşıyaka Tüneller ve Kısıkköy istasyonlarına ait genel görünüm, ölçüm yapılan yer ve yol yüzeyinin durumu Şekil 7'de gösterilmiştir.



(a) İzmir-Eski Foça ayrımı

(b) Altınyol caddesi



(c) Karşıyaka Tüneller

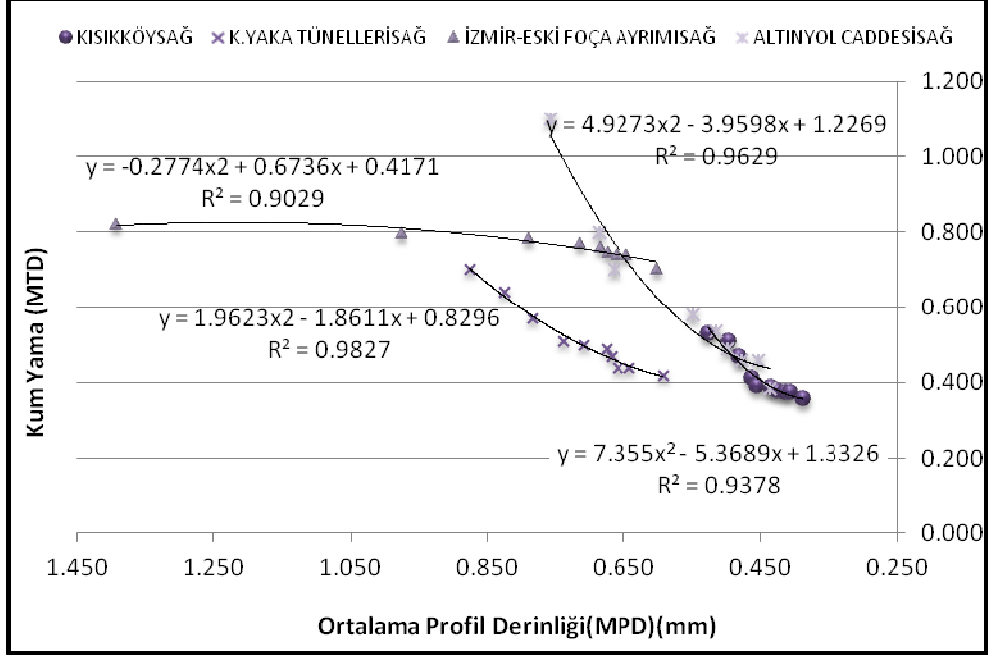
(d) Kısıkköy

Şekil 7. İzmir ili içinde seçilen istasyon noktaları

5. ÖLÇÜM SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Dört farklı istasyon noktasında, kaplama üzerinde 3'er aylık periyotlarla yapılan ölçüm değerleri arasındaki ilişkiler değerlendirilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla istasyon noktalarından Kısıkköy (BSK), Karşıyaka Tüneller (BSK), İzmir-Eski Foça Ayrımı (TMA) ve Altınyol (Binder) istasyon noktalarının sağ şeritlerinde yapılan ölçüm sonuçları arasındaki ilişkiler Şekil 8 – Şekil 'de sunulmuştur.

Şekiller incelendiğinde tüm istasyon noktalarında ortak olarak göze çarpan ilk ilişki Şekil 8'de kum yama deneyi ile elde edilen ortalama doku derinliği (MTD) ile lazer tarayıcı ile elde edilen ortalama profil derinliği (MPD) arasındaki yüksek korelasyondur. Korelasyon katsayısının taş mastik asfaltın (TMA) kullanıldığı Eski Foça istasyon noktasında azaldığı görülmektedir. Bunun nedeni TMA doku derinliğinin fazla olması nedeniyle kum yama deneyinde kullanılan cam küreciklerinin derin yüzey dokuları arasına dolması ile yayılma çapının oldukça düşük çıkmasıdır. MPD yüzeyden 2,5 mm ye kadar olan ve tekerlek ile yüzeyin etkileşimini direk etkileyen derinlikle ilgili olması nedeni ile çizgisel lazerle MPD ölçüm yöntemi, ölçümün yapıldığı bölgedeki aşırı doku farklılıklarını dikkate almamaktadır.

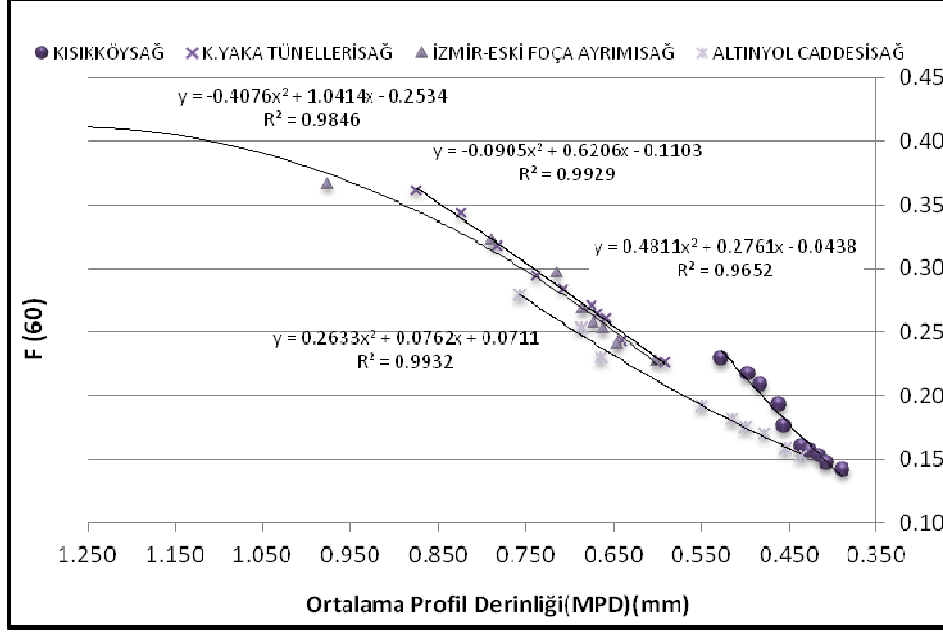


Şekil 8. Farklı Tip İstasyon Noktaları İçin MPD – MTD ilişkisi

Bu durum, Kum Yama yönteminin, trafiğe yeni açılan doku derinliği yüksek kaplamalarda (Örn: TMA) etkili bir yöntem olmadığı sonucunu ortaya koymaktadır. Choubane (2007) tarafından yapılan çalışmada ise düşük doku değerine sahip kaplamalar için kum yama yönteminin uygun olmadığı belirtilmektedir [30].

Değerlendirmeye alınan istasyon noktalarından Kısıkköy istasyonu yapım tarihi en eski kaplamadır. Bu nedenle ölçüm dönemleri süresince, bu istasyon noktasında MPD ve MTD değerleri daha dar bir aralıkta değişim göstermiştir.

Kum yama deneyi ile tespit edilen MTD değeri ile özellikle farklı ölçek, duyarlılık ve frekanslarda hizmet verebilen lazer tabanlı veya optik sisteme sahip cihazlar ile tespit edilen MPD değeri arasındaki ilişkiler eskiden beri araştırmacıların dikkatini çekmiştir. Adı geçen bu iki parametre daha önce de belirtildiği gibi uluslararası sürtünme indeksinin tayininde kullanılması bakımından son derece önemlidir. Bununla birlikte ülkeler farklı lazer tabanlı MPD değerlerini ölçebilen cihazlarını MTD değerleri ile kalibre ederek uluslararası sürtünme indeksinin çalışmalarında yerlerini almışlardır. Çalışma kapsamında kullanılan ve kalibrasyonları farklı bir çalışmada değerlendirilmiş [16] lazer tarama cihazının farklı kaplama türleri üzerinde göstermiş olduğu performans ve MTD değeri ile birlikte sergilemiş oldukları (Şekil 8) yüksek korelasyon değerleri lazer tarama cihazının özgünlüğü ortaya koymaktadır.



Şekil 9. Farklı Tip İstasyon Noktaları İçin (MPD) – F(60) ilişkisi

Şekil 9 'da görülen MPD – F(60) grafiğindeki R² değerlerinden anlaşılacağı üzere, her iki parametre arasında sıkı bir ilişki bulunmaktadır. MPD'deki azalma miktarına bağlı olarak F(60) değerlerinin değişimi incelendiğinde; MPD değer değişiminden F(60) değerinin en az etkilendiği istasyon noktası Eski Foça ayırımıdır. Sonrasında sırasıyla Altinyol, Karşıyaka Tüneller ve en çok etkilenen Kısıkköy istasyon noktaları gelmektedir. Bu sonuçlara göre TMA kaplamalarda iri agrega olarak kullanılan bazaltın aşınmaya dayanımının kalkere göre yüksek olması nedeni ile sürtünme indeksi değerleri yüksek olup zaman içerisinde düşük azalma eğilimi göstermektedir.

F(60) değerleri MPD değişim değerlerinden en az Eski Foça istasyon noktasından etkilenmiştir. MPD değişim hızının hizmet ömrü boyunca giderek azalması sürtünme indeksi değerinin değişim hızının da aynı şekilde azalacağı anlamına gelmemektedir. Sürtünme indeksi değeri çok daha hızlı şekilde azalmaktadır. Bu durum kaplamanın hizmet ömrü boyunca durma mesafeleri ve trafik güvenliği açısından daha riskli olacağı anlamına gelmektedir. Burada tek başına MPD değeri ile sürtünme indeksinin yorumlanamayacağı sonucu tekrar ortaya çıkmaktadır.

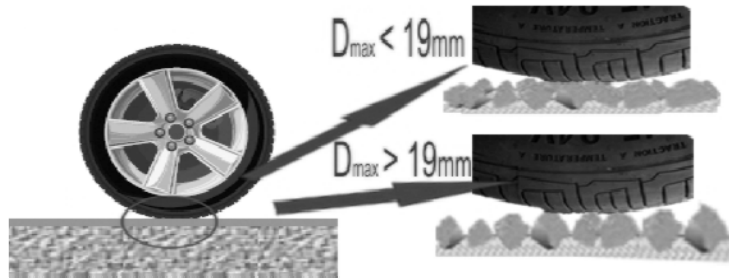
Trafik yük etkisi ile MPD'nin zaman içindeki değişimi azalmaktadır. Bunun F(60) değerine etkisinin benzer olduğu MPD–F(60) ilişkisinde de gözlenmektedir. Yeni kaplamalar da MPD değişimi fazla olmasına rağmen F(60) değerindeki azalma daha az olmakta, kaplama hizmet süresi uzadıkça MPD değerlerindeki değişim azalmakla birlikte F(60) değerlerindeki değişim artmaktadır. Bu durum özellikle yeni kaplamalar olan Altinyol ve Eski Foça İstasyon noktaları karşılaştırıldığında göze çarpmaktadır.

Kısıkköy istasyon noktası daha eski bir kaplama olması nedeni ile MPD değişim yüzdesi daha dar bir aralıkta (%22) değişmesine rağmen, F(60) değerindeki değişim yüzdesi (%35) çok daha yüksektir.

TMA olarak yapılan İzmir Eski Foça ayrımı istasyon noktasında ölçüm dönemleri boyunca MPD değerlerindeki değişim yüzdesi geniş bir aralıkta (%57) gerçekleşmesine rağmen, F(60) değerlerindeki değişim yüzdesi (%45) oran olarak daha düşüktür. Bunun nedeni, TMA kaplamalarda ortalama doku derinliğindeki hızlı değişime rağmen kaplamadaki iri agrega tane boyutunun (D_{max}) daha büyük olması nedeni ile iri agrega ile tekerlek arasındaki etkileşimin daha fazla olması ve bu nedenle sürtünme indeksinin daha yüksek değerler alması olarak açıklanabilir.

Farklı tip kaplamalarda da kolerasyon katsayıları yüksek değerlere sahip olduğundan MPD ile F(60) arasında sıkı bir ilişki olduğu görülmektedir.

Aynı MPD değerleri için (0,65 mm) F(60) değerleri açısından kıyaslama yapıldığında sırasıyla Karşıyaka tüneller, İzmir Eski Foça ve Altınyol Caddesi için F(60) değerleri sırası ile daha düşük değerler almaktadır. Burada kaplama cinsinin F(60) değeri üzerindeki etkisi görülmektedir. Karşıyaka Tünellerde agrega tane boyutu ($D_{max}=19$ mm) Eski Foça ve Altınyol kaplama türlerine göre daha düşüktür. Bu nedenle kaplamanın iki pik değerinin ortalaması ile kaplama yüzeyinin ortalama doku seviyesi arasındaki farkı ifade eden MPD değerinin aynı olması, iri agrega tane boyutunun küçüklüğü sebebi ile yol yüzeyinde birim alana düşen agrega tane sayısının daha fazla olması nedeni ile yüzey dokusu daha girintili-çukuntulu olmakta ve tekerlek yol yüzeyi ile daha çok noktadan etkileşime girdiğinden F(60) değeri daha yüksek çıkmaktadır [37]. Örneğin TMA gibi D_{max} 'ı 32 mm olan kaplamada ise aynı MPD değeri için kaplama yüzeyinde birim alana düşen agrega sayısı daha az olmakta bu nedenle de tekerlekle kaplama yüzeyi arasındaki etkileşim de azalmaktadır (Şekil 10). Özellikle ıslak yol yüzeylerinde MPD değeri için aynı drenaj koşullarının gerçekleştiği göz önüne alındığında, F(60) değeri doğrudan agrega özelliklerinden etkilenmektedir. Burada agrega mineralojisinden kaynaklanan mikro pürüzlülüğünün de F(60) değeri üzerinde etkili olacağı unutulmamalıdır.



Şekil 10. Tekerlekle kaplama yüzeyi arasındaki etkileşim

Kısıkköy istasyon noktası için MPD–F(60) değerleri değişiminin eğilimine bakıldığında kaplamanın hizmete açıldığındaki başlangıç MPD ve F(60) değerlerinin de aynı cins kaplama olan Karşıyaka Tünel sonuçlarına benzer davranış göstereceği düşünülebilir ancak

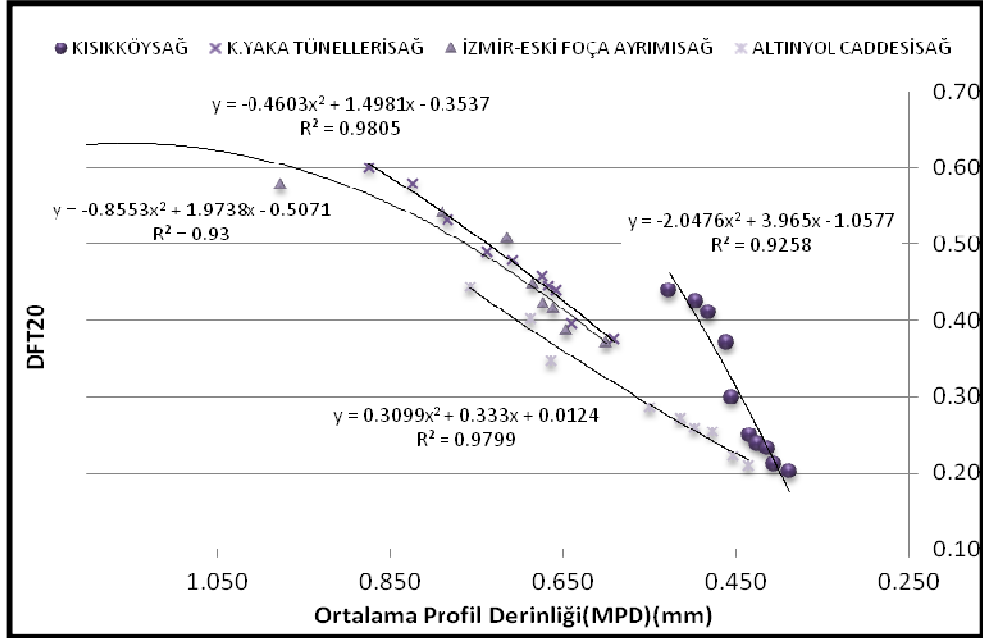
kaplama yapımından hemen sonraki ilk ölçüm değerleri olmadığından bu konuda kesin bir yorum yapılamamaktadır.

Aynı MPD değeri için yapılan kıyaslamada F(60) değerinin yüksek çıkması tek başına o kaplama tipinin iyi olduğu yorumuna yol açmamalıdır. Bir kaplama seçilen MPD değerinde diğer kaplamalara göre yüksek sürtünme indeksi değerleri verse de kaplama kalitesi yorumlanırken; F(60) başlangıç değeri ve bu değer hizmet süresi boyunca ne kadar uzun süre korunabildiği, yük altındaki davranışı gibi etmenler göz önüne alınarak değerlendirilmelidir. Ortalama profil derinliği ile F(60) arasındaki ilişkinin benzeri Şekil 11'da görülen MPD – DFT(20) arasında da gözlenmektedir.

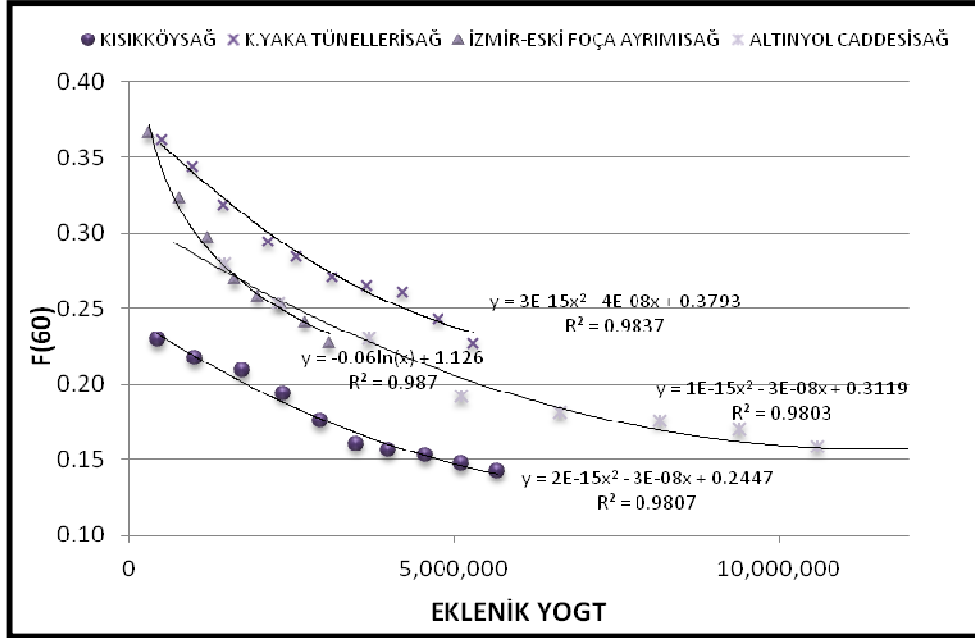
Şekil 12 ve Şekil 13 'de görüleceği gibi F(60)–YOGT eğrilerine bakıldığında YOGT artışına bağlı F(60) değerlerindeki değişim eğrileri yataylaşma eğilimindedirler. Bunun nedeni makro pürüzlüğün azalma hızının kaplamanın hizmet süresi arttıkça yavaşlayarak azalmasıdır. Şekil 14'de seçilen istasyon noktalarının her biri için sürtünmenin zamana bağlı değişimi sunulmaktadır.

Şekil 14'de görüleceği gibi, üçer aylık periyotlar halinde incelemeye alınan tüm istasyon noktalarında zaman içinde trafik yüklerinden dolayı makro dokuda meydana gelen azalma eğilimleri açıkça gözükmemektedir.

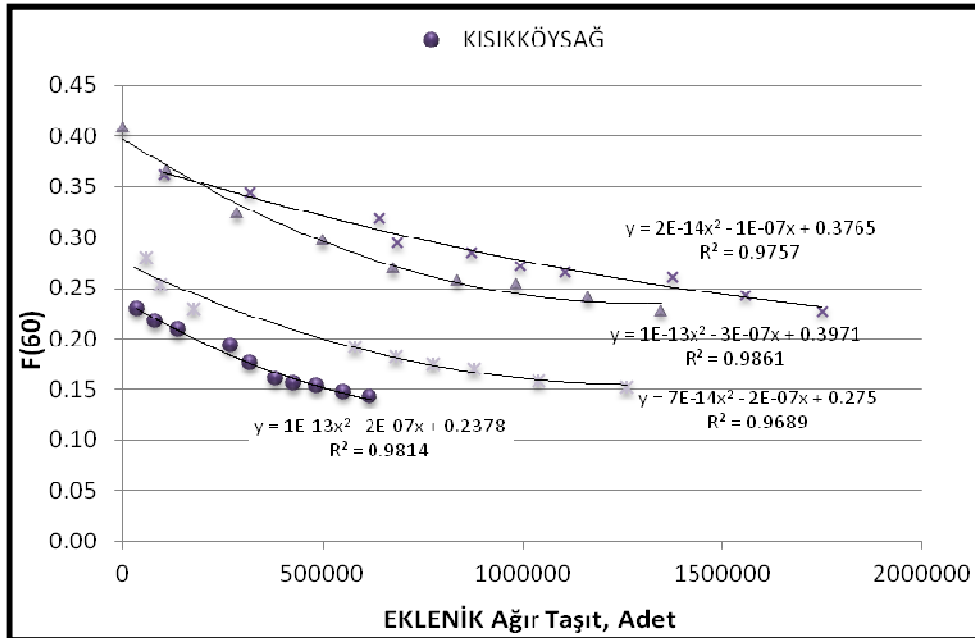
Belirli ölçüm dönemlerinde sonra makro doku belirgin şekilde azaldığından eğriler yatıklaşmaktadır. Şekil özellikle yol üst yapılarında trafiğin etkisini değerlendirmek açısından önemlidir. Şekil 15'te ise ortalama profil derinliği ile YOGT arasında ilişki irdelenmektedir.



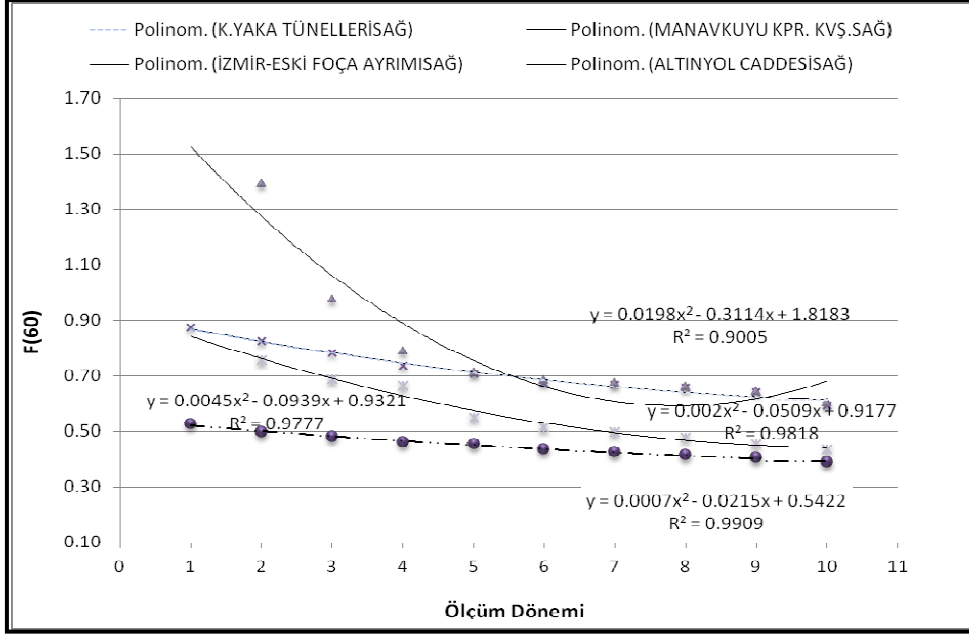
Şekil 11. Ortalama profil derinliği(MPD) – DFT(20) ilişkisi



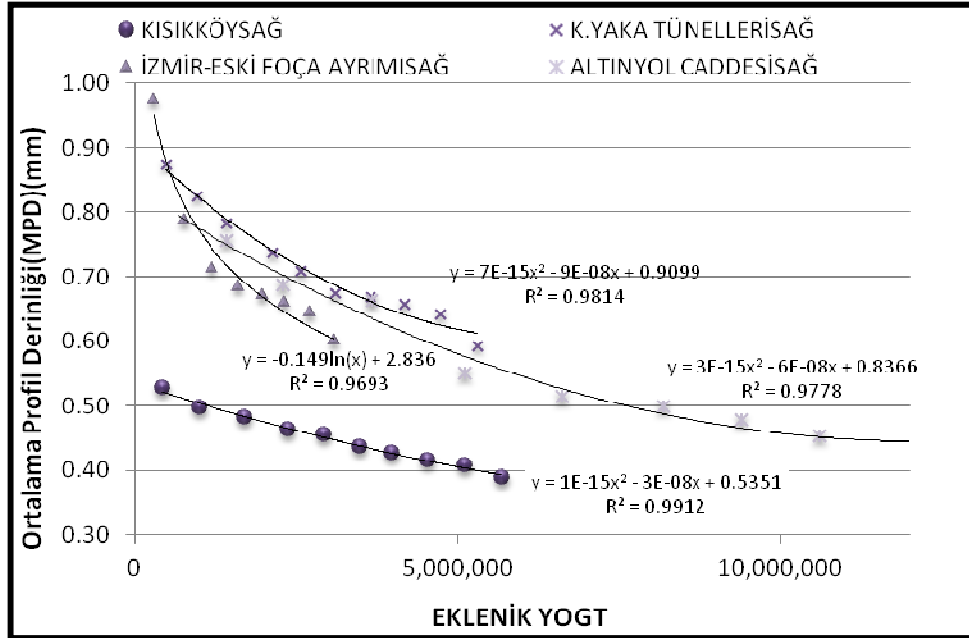
Şekil 12. Farklı tip istasyon noktaları için eklenik YOGT – F(60) ilişkisi



Şekil 13. Farklı tip istasyon noktaları için eklenik Ağır Taşıt – YOGT



Şekil 14. Sürtünmenin zamana bağlı değişimi



Şekil 15. Ortalama profil derinliği(MPD) – DFT(20) ilişkisi

Şekil 15 'de görüldüğü gibi, yol yüzey dokusundaki değişimi trafik hacmi ile büyük oranda ilişkilidir. Seçilen bu istasyon noktalarının ortak özelliği, ortalama hızın yüksek olduğu, özellikle sağ şeritte ağır vasıta trafiği oranının şehiriçi yol kesimlerine göre daha fazla olduğu transit ve şehirleri arası yol özelliğinde olmasıdır. Bu istasyon noktaları arasında en yüksek eklenik YOGT değerine sahip İstasyon noktası Altınyol Caddesidir, sonra sırasıyla Kısıkköy, Karşıyaka Tüneller, İzmir Eski Foça ayrımı istasyonları gelmektedir.

İstasyon noktalarında eklenik YOGT'ye bağlı MPD değişimleri kendi aralarında değerlendirildiğinde; Kısıkköy ve Altınyol istasyon noktaları birbirleri ile kıyaslandığında Kısıkköy istasyon noktasının eklenik YOGT değerinin Altınyol istasyon noktası eklenik YOGT değerinin yarısı kadar olmasına rağmen, değişim miktar ve oranları incelendiğinde Altınyol İstasyon noktası başlangıç MPD değeri 0,757 mm değerinden ölçüm dönemleri sonunda %42 lik bir azalma ile 0,436 mm değerine inmiştir. Kısıkköy İstasyon noktasında ise aynı dönem için başlangıç MPD değeri 0,497 mm değerinden ölçüm dönemleri sonunda %22'lük bir azalma ile 0,389 mm değerine inmiştir. İstasyon noktaları arasında eklenik YOGT değerleri 2 katına çıktığında MPD değişim oranları da iki kata varan oranda gerçekleşmiştir. Bu sonuç üzerinde sağ şeridi kullanan ağır vasıta trafiğinin etkisi de unutulmamalıdır. Ağır taşıt sayısına bakıldığı zaman Altınyol'daki ağır taşıt sayısının yine Kısıkköy'dekinin yaklaşık iki katı olduğu görülmektedir (Şekil 13). Yüzey dokusu değerlerindeki değişim sadece YOGT ile değil, aynı zamanda araç kompozisyonu (özellikle ağır araç trafiği) ve ortalama hız ile birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Güvenli bir sürüşün sağlanabilmesi için, yol kaplama yüzeyleri farklı hava koşullarında tekerlek bandajı ile yeterli aderansı sağlamalı, sürücünün fren tedbirine başvurduğu zamanlarda güvenle durmasını, aracın yatay kurpda hareketi veya ani manevralar sırasında savrulmamasını mümkün kılmalıdır. Kaplama bu özelliği yeteri derecede sağlamadığı, sürücü fren tedbirine başvurduğunda güvenle duramadığı takdirde, kaplama tasarımında dikkate alınan temel kriterler (stabilite, akma, boşluk, vb) insan hayatı söz konusu olduğunda ikinci derece önemli konuma düşmektedir. Bu nedenle kaplama tasarımı yapılırken temel tasarım kriterleri yanında sürtünme direnci üzerinde etkili olan yol yüzey doku karakteristiklerinin de, gerek laboratuvar deneyleri gerekse hizmet ömrü boyunca toplanacak verilerle bir bütün olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Kaplama performansı açısından tasarım kriterlerini sağlayan, kalıcı deformasyonlara karşı mukavim olan bir kaplama, yol yüzey doku özellikleri açısından yetersiz ise trafik kaza oluşumu açısından riskli olabilmektedir. Kaplama tasarım kriterleri arasında yer almayan doku derinliği ve sürtünme özellikleri de tasarımda hesaba katılmalıdır.

Birçok nedenden dolayı makro pürüzlülük sürtünme güvenlik karakteristikleri üzerine etkili temel faktördür. En iyi bilinen neden yağmur yağarken veya sonrasında ıslak yüzeyde kaplama yüzeyinde makro dokunun suyu drene edebilme özelliğidir. Bu özellik tekerlek ve yol yüzeyi arasındaki yastıklama riskini de en aza indirmektedir. Diğer bir neden de yolun herhangi bir kesitinde zaman içinde kaplama yüzeyi veya makro dokuda meydana gelecek cilalanma etkisi ile Sp değerinin değişmesidir.

Türkiye'de her ne kadar mega pürüzlülük ile mücadele son yıllarda ilerleme kaydedilmiş olsa da, kaza oluşum nedenleri arasında yer alan yol yüzey sürtünme direnci dikkate

alınmalıdır. Ülkemizde kaplama makro dokusunun belirlenmesi amacı ile kum yama yöntemi 2013 yılında Karayolları Teknik Şartnamesine girmiştir. Yöntemin ıslak koşullar altında kullanımının zor olması, zayıf tekrarlanabilirlik, kullanılan cam küreciği tane dağılımındaki farklılıklar, cam küreciği yayılma şeklinin uygulayıcıya göre değişkenlik göstermesi, doku derinliği çok yüksek ve çok düşük kaplamalarda değerlendirme yapılmasının mümkün olmaması gibi nedenlerle güvenilirliği düşüktür. Örneğin bozuk yüzeye sahip bir kaplama doku derinliği açısından yüksek değer vereceğinden, iyi bir kaplama olduğu sonucuna varılabilir. Yüzey sadece doku derinliği ile değerlendirilmemeli, DFT gibi sürtünme ölçer aletlerle sürtünme indeksi hesaplanmalıdır.

Çalışma sonuçlarından da görüleceği gibi; kum yama deneyi ile elde edilen ortalama doku derinliği (MTD) ile lazer tarayıcı ile elde edilen ortalama profil derinliği (MPD) arasındaki yüksek korelasyon bulunmaktadır. Elde edilen bu yüksek korelasyonlu bağıntılar ülkemizde ilk kez ortalama profil derinliği parametresinin tespit edilmesine lazer tabanlı tarama cihazının kullanılabilmesini göstermiştir. Bu sayede elde edilen bulgular uluslar arası sürtünme indeksi çalışmalarına ülkemiz açısından temel teşkil edecektir. Ancak yukarıda bahsi geçen korelasyon katsayısının taş mastik asfaltın kullanıldığı Eski Foça istasyon noktasında azaldığı görülmektedir. Kum Yama yöntemi trafiğe yeni açılan doku derinliği yüksek kaplamalarda etkili bir yöntem değildir.

Farklı MPD–MTD değerleri için kaplamalar çok farklı sürtünme davranışı sergilemektedir. Sadece doku derinliği baz alınarak yapılan değerlendirme sürtünme hakkında yanlış bir fikir oluşmasına neden olabilecektir.

Çalışma sonuçlarından da görüldüğü gibi MPD azalış oranı ile $f(60)$ azalış oranı da aynı değildir. Aynı MPD değeri için yapılan kıyaslamada $F(60)$ değerinin yüksek çıkması ise tek başına o kaplama tipinin iyi olduğu yorumuna yol açmamalıdır. Bir kaplama seçilen MPD değerinde diğer kaplamalara göre yüksek sürtünme indeksi değerleri verse de kaplama kalitesi yorumlanırken; $F(60)$ başlangıç değeri ve bu değer hizmet süresi boyunca ne kadar uzun süre korunabildiği, yük altındaki davranışı gibi etmenler göz önüne alınarak değerlendirilmelidir.

Kaplama tasarım ve imalatı sırasında belli bir sıkışma değerinden sonra optimum doku derinliği azalmaktadır. Buna dair araştırmalar artırılmalı, sonuçlar laboratuvar ve arazi deneyleri ile doğrulanmalıdır. Otomatik sayaç sisteminin yaygınlaştırılması ve ölçüm istasyonu sayısı artırılması ile araç sayısı ve kompozisyonuna dair sağlıklı veriler toplanarak, kaplama üzerinden geçen trafiğin yarattığı dinamik etkilerin kaplama dokusu üzerindeki etkisi daha sağlıklı değerlendirilebilecektir. Aynı zamanda, yol yüzey dokusuna ilişkin ölçümlerinin ileri teknolojik hassas cihazlarla yapılması durumunda mikro dokunun sürtünme üzerine etkisi de etkin bir şekilde ortaya konabilecektir.

Semboller

- BSK* : Bitümlü Sıcak Karışım
D : Dairenin Çapı
DFT : Dinamik Sürtünme Ölçer
Dmax : İri Agregat Dane Boyutu

F	: Doğrusal Kuvvet
$F(60)$: Uluslararası sürtünme indeksi
HS	: Kum yüksekliği
K	: Sabit katsayı
$KTŞ$: Karayolları Teknik Şartnamesi
MPD	: Ortalama Profil Derinliği
MTD	: Ortalama Doku Derinliği
TMA	: Taş Mastik Asfalt
v	: Hız
V	: Hacim
W	: Sabit Yük
$YOGT$: Yıllık Ortalama Günlük Trafik
μ	: Sürtünme Katsayısı

Teşekkür

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsüne doktora tezi kapsamında verdikleri destek için teşekkür ederiz.

Bu çalışma TÜBİTAK MAG 108M293 nolu proje kapsamında desteklenmiştir. TÜBİTAK'a destekleri nedeni ile teşekkür ederiz. Proje kapsamında yapılan tüm ölçüm ve gözlemler sırasında verdikleri destekler için, İzmir Emniyet Müdürlüğü ve Karayolları 2. Bölge Müdürlüğü'ne teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] Hosking, J. K., Relationship between skidding resistance and accident frequency: estimates based on seasonal variations, TRRL Report RR76, Department of Transport, Crowthorne, UK, 1987.
- [2] Şengöz, B., Tanyel, S., Görkem, Ç., Kaçmaz, B., İzmir şehir içi yolların kayma dirençlerinin trafik güvenliği açısından değerlendirilmesi, DEÜ Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt: 12 Sayı:1, 75–85, 2010.
- [3] Xiao, J., Kulakowski, B.T., El-Gindy, M., Prediction of risk of wet-pavement accidents: Fuzzy logic model, Transportation Research Record 1717, Transportation Research Board, Washington, D.C. 2000.
- [4] Rizenberg, R.L., Burchett, J.L., Napier C.T., Skid resistance of pavements, Report No. KYHPR-64-24, Part II, Kentucky Department of Highways, Lexington, Kentucky, 1972.

- [5] Ergun, M., Road surface micro and macro influence on skid resistance, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1997.
- [6] Permanent International Association of Road Congresses, Report of the Committee on Surface Characteristics, Proceedings of the 18th World Road Congress, World Road Congress, Brussels, Belgium, 1–43, 1987.
- [7] PIARC-Permanent International Association of Road Congresses, International PIARC experiment to compare and harmonize texture and skid resistance measurements, Permanent International Association of Road Congresses, Brussels, Belgium, 1995.
- [8] Characterization of pavement texture by use of surface profiles-Part 2: terminology and basic requirements related to pavement texture profile analysis, International Organization of Standardization., 2002.
- [9] Dewey, G.R., Robords, A.C., Armour, B.T., Muethel, R., Aggregate wear and pavement friction, Transportation Research Board Annual Meeting, Washington DC, USA, July 1, 2001.
- [10] Forster, S.W., Pavement microtexture and its relation to skid resistance, Transportation Research Record, 1215, 151–164. Transportation Research Board, TRB, National Research Council, 1989.
- [11] Britton, S.C., Ledbetter, W.B., Gallaway, B.M., Estimation of skid numbers from surface texture parameters in the rational design of standard reference pavements for test equipment calibration, Journal of Testing and Evaluation, 2, 73–83, 1974. DOI 10.1520/STP39047S.
- [12] Moore, D.F., The friction of pneumatic tires, Elsevier Scientific Publishing, Amsterdam, Netherland, 1975.
- [13] Ergun, M., Iyınam, S., Iyınam, A. F., Prediction of road surface friction coefficient using only macro and microtexture measurements, Journal of Transportation Engineering, 131, 311–319, 2005. DOI 10.1061/(ASCE)0733-947X(2005)131:4(311).
- [14] Bond, R., Katekhda, I.E.D., Lees, G., Williams, A.R., Tire/Road surface interaction, Journal of the Institution of Highway Engineers, 13, 72–79, 1976.
- [15] Leu, M.C., Henry, J.J., Prediction of skid resistance as a function of speed from pavement texture, Transportation Research Record, 666, 7–13. Transportation Research Board, TRB, National Research Council, 1978.
- [16] Şengöz, B., Topal, A., Tanyel, S., Comparison of pavement surface texture determination by sand patch test and 3D laser scanning, Periodica Polytechnica-Civil Engineering, 56/1, 73–78, 2012. DOI: 10.3311/pp.ci.2012-1.08.
- [17] Standard test method for measuring pavement macro-texture depth using a volumetric technique, ASTM E 965-96, American Society for Testing Materials, Pennsylvania, USA, 2006.

- [18] Standard test method for measuring pavement texture drainage, using an outflow meter, ASTM E 2380, American Society for Testing Materials, Pennsylvania, USA, 2009.
- [19] Standard test method for measuring pavement macro-texture properties using the circular track meter, ASTM E 2157-01, American Society for Testing Materials, Pennsylvania, USA, 2005.
- [20] Jayawickrama, P.W., Prasanna, R., Senadheera, S.P., Survey of state practices to control skid resistance on hot-mix asphalt concrete pavements, Transportation Research Record, 1536, 71–80, DOI 10.3141/1536- Transportation Research Board, TRB, National Research Council, 1996.
- [21] Walker, R.S., Payne, L.D., Use of selcom laser for pavement texture and skid resistance measurement, Research Project 1290, Transportation Instrumentation Laboratory, University of Texas, Texas, USA, 2003.
- [22] Her, I., Henry, J.J., Wambold, J.C., Development of a data acquisition method for non-contact pavement macrotexture measurement, Transportation Research Record, 1000, 91–100. Transportation Research Board, TRB, National Research Council, 1984.
- [23] Ergun, M., İyınam, Ş., İyınam, F., Kayma direnci için uluslararası indeks oluşturma çabaları, 3. Ulusal Asfalt Sempozyumu, Ankara, 368-377, 2004.
- [24] Rado, Z., Yager, T.J., Wambold, J.C., Hall, J.W., Guide for pavement friction, NCHRP, Project No:1–43, 2006.
- [25] Rado, Z., Analysis of texture models. Pennsylvania Transportation Institute (PTI), Report No. 9510, Penn State University, State College, Pennsylvania, 1994.
- [26] Karayolları Teknik Şartnamesi, T.C.Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü, 2013.
- [27] Demir, B., Ünal, N., Yeni yapılan asfalt kaplamalarda düzgünlük Değerlendirilmesi, 6. Ulusal Asfalt Sempozyumu, 27-28 Kasım, Ankara, 2013.
- [28] Standard practice for calculating pavement macrotexture mean profile depth, ASTM E 1845–09, ASTM International, Volume 04.03, West Conshohocken, Pennsylvania West Conshohocken, PA, United States, 2009.
- [29] Standard test method for measuring pavement macrotexture depth using a volumetric technique, ASTM E 965–96, ASTM International, Volume 04.03, West Conshohocken, Pennsylvania West Conshohocken, PA, United States, 2006.
- [30] Choubane, B., Pavement surface condition/Performance assessment: Reliability and relevancy of procedures and technologies, STP 1486, ASTM International, Lancaster, PA, 2007.
- [31] Yager, T. J., Bühlmann F., Macrotexture and drainage measurements on a variety of concrete and asphalt surfaces, Pavement Surface Characteristics and Materials, ASTM STP 763. C. M. Hayden, Ed., American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA, 16–30, 1982.

- [32] ASTM E1911–09, Standard test method for measuring paved surface frictional properties using the dynamic friction tester, ASTM International, Volume 04, West Conshohocken, PA, United States, 2005.
- [33] Jayawickrama, P.W., Thomas, B., Correction of field skid measurements for seasonal variations in Texas, Transportation Research Record 1639, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 147–154, 1998.
- [34] ASTM E 1960–07, Standard Practice for Calculating International Friction Index of a Pavement Surface, ASTM International, West Conshohocken, PA, United States, 2011.
- [35] Rado, Z., Analysis of texture models, PTI Report No. 9510, Pennsylvania Transportation Institute, Penn State University, State College, Pennsylvania, 1994.
- [36] Hall, J.W., Smith, K.L, Glover L.T., Wambold, J.C., Yager, T.J., RADO, Z., Guide for pavement friction, NCHRP, Project No:01–43, 2009.
- [37] Cheng, W., Barch, R., Dunn, P., A statistical roughness model for adhesion, Proceedings, World Congress on Adhesion Related Phenomenon II, Orlando, FL, 2002.

