



Yüzey iyileştirme yöntemlerinden harç tipi kaplamaların yol sürtünme direncine etkisinin belirlenmesi

Evaluation of the slurry seal as a pavement surface treatment method on the road surface friction resistance

Mehmet GÜNEŞ¹, Ali TOPAL^{2*}

¹Fen Bilimleri Enstitüsü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye.

mehmetgunes3636@gmail.com

²İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye.

ali.topal@deu.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 11.02.2016, Kabul Tarihi/Accepted: 27.07.2016

* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2016.84555

Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Modern bir karayolu, taşıtlara güvenli, konforlu ve ekonomik bir şekilde hareket imkanı sağlamalıdır. Son yıllarda otomotiv endüstrisindeki gelişmeler, taşıt hızlarının ve dolaylı olarak trafik kazalarının artmasına neden olduğundan, güvenlik sorunu ön plana çıkmaktadır. Karayolunda güvenli sürüş koşullarının sağlanabilmesi için taşıt tekerlek bandajı ile kaplama yüzeyi arasında oluşan sürtünme direncinin belirli bir seviyede olması gerekmektedir. Karayolu kaplamaları farklı hava koşullarında, tekerlek bandajı ile yol yüzeyi arasında yeterli aderansı sağlamalı, sürücünün fren tedbirine başvurduğu zamanlarda güvenle durmasını mümkün kılmalıdır. Özellikle yağmurlu hava koşulları ve yüksek taşıt hızlarında, yol yüzeyi ile tekerlek bandajı arasında oluşan sürtünme direnci çok küçük değerler alabilmektedir. Bu konu ile ilgili bazı çalışmalarda araştırmacılar, kaplamanın sürtünme direncindeki azalmanın trafik kazalarının artmasına neden olduğunu ortaya koymuştur. Bu bakımdan kaplama yüzey özellikleri ve sürtünme direncinin belirli zaman aralıklarında ölçülerek değerlendirilmesi gerekmektedir. Üzerinde durulması gereken diğer önemli faktör, sürtünme direnci ile birlikte değerlendirilmesi gereken yol kaplamalarının yüzey doku derinliğidir. Bu çalışmada, İzmir ilinde harç tipi kaplama uygulanmış istasyon noktalarında üçer aylık zaman aralıklarında ortalama yüzey doku derinliği ve sürtünme direnci ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen veriler İzmir İl Emniyet Müdürlüğü'nden temin edilen kaza istatistikleri ile birlikte aynı noktalardaki trafik özellikleri ile ilişkilendirilmiştir. Sonuç olarak, yol kaplamalarında yüzey dokusunun yol güvenliği açısından önemi irdelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Yüzey iyileştirme, Yüzey dokusu, Ortalama doku derinliği, Sürtünme direnci, Harç tipi kaplamalar, Yol güvenliği

Abstract

A modern highway must be capable of proving traffic safety, comfort to passenger cars as well as efficient and economical transportation. In view of the increase in the number of traffic accidents due to the developments in automotive industry, the traffic safety has gathered too much consideration in recent years among the other factors. In order to provide safety traffic conditions, the friction resistance between the vehicle tire and pavement surface should be in certain level. The surface of a highway on the other hand must provide enough adherences between the thread of the tire and the road surface enabling the cars to stop in safety way in case of application of the brakes. Especially in rainy climate conditions, the friction resistance in question decreases to very small values. The researches in this field point out that the decrease in the value of friction increases the rate of traffic accidents. Therefore in order to determine the friction resistance, the surface properties of the road must be evaluated periodically. The mean surface texture depth of the road on the other hand must be evaluated with the frictional characteristics. In this work, the mean texture depth characteristics were determined with every three months period by the sand path test and also the dynamic friction test was also applied to evaluate the frictional characteristics of the slurry seal applied road sections in İzmir. The gathered data together with the traffic characteristics were linked with the traffic accident data obtained from Security General Directorate of İzmir in order to build various models. In conclusion, the importance of the road surface texture on traffic safety of was also discussed.

Keywords: Surface treatment, Surface texture, Mean texture depth, Skid resistance, Slurry seal, Traffic safety

1 Giriş

Kaplama tabakasının ağır trafik yükleri ve çevresel etkiler vb. sebebiyle deforme olması ve özellikle yol yüzeylerinin cilalanması durumunda, mevcut kaplamanın yeniden yapılması yerine yüzey iyileştirme yöntemlerine başvurulması daha ekonomik bir çözüm olarak öne çıkmaktadır. Özellikle Amerika Birleşik Devletleri ve Avrupa'da kaplama yüzeylerinin iyileştirilmesi amacı ile çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Ülkemizde ise iyileştirme yöntemlerinin kullanımı henüz çok yeni olup, genellikle kaplamanın yeniden yapımı tercih edilmekte, bu durum bakım onarım maliyetlerinin oldukça artmasına neden olmaktadır. Taşıt kontrolü (veya uçak iniş güvenliği) ve trafik güvenliği büyük oranda kaplamanın yüzey doku özelliklerine bağlıdır. Sürücü fren tedbirine başvurduğu zaman, yol yüzeyi ile tekerlek

bandajları arasında kuru ve yağışlı hava koşullarında gerekli aderans sağlanmalıdır. Yeterli yüzey dokusu olmayan bir yolda, araç tekeri ile kaplama arayüzeyinde oluşacak yetersiz sürtünme nedeni ile ilk hareket sırasında patinaj, frenleme sırasında ise kayma, savrulma ve/veya durma mesafesinde artış meydana gelebilir. Konu ile ilgili araştırmalar, bir karayolunda hizmet süresinin kalıcı deformasyonlar yanında, yüzey doku derinliğinde azalma ve dolayısı ile kayma direnci kaybı ile ilgili olduğuna işaret etmektedir.

Karayolları Genel Müdürlüğü Yollar Teknik Şartnamesi 2013 yılında güncellenmiş ve yeni yapılan yollarda kum yama deneyi ile yol yüzeylerinin makro dokusunun belirlenmesi şartı getirilmiştir. Bu nedenle, çalışma kapsamında yol yüzeylerinin makrodokusunun belirlenmesinde kum yama deneyi kullanılmıştır.

Yol yüzeylerinin kayma dirençlerinin ölçülmesinde SRT (Skid Resistance Test: Kayma direnci ölçer) yöntemlerinden olan DFT (Dynamic Friction Tester: Dinamik sürtünme ölçer) kullanılmıştır.

Çalışma kapsamında, öncelikle yüzey iyileştirme yöntemlerinden harç tipi kaplama yapılmış yüzeylerde, yol yüzey dokusu ve sürtünme direnci ölçümleri yapılan istasyon noktaları tanımlanmıştır. İstasyon noktalarının belirlenmesinde İzmir ili içerisinde harç tipi kaplama yapılan ve aynı zamanda harç tipi kaplama yapılmadan önceki yüzey dokusu ve sürtünme direnci ölçümlerinin yapıldığı istasyon noktaları seçilmiştir. Daha sonra bu istasyon noktalarının konumları, yol kaplamalarında kullanılan malzemelerin özellikleri ve trafik akım karakteristikleri tanımlanarak, arazi çalışmaları sonrasında yapılacak değerlendirmeler için mevcut durum tespiti yapılmıştır.

Belirlenen istasyon noktalarında yaklaşık 3'er aylık periyotlar halinde, Kum yama yöntemi ile yapılan yol yüzey dokusu ölçümleri ve DFT cihazı ile sürtünme direnci ölçümleri yapılarak sonuçlar irdelenmiştir. Elde edilen veriler kullanılarak, istasyon bazında ortalama doku derinliği ile sürtünme sabiti (S_p) hesaplanmıştır. Sürtünme indeksi ölçüm sonuçları kullanılarak, 20 km/sa hıza karşılık gelen dinamik sürtünme değerleri hesaplanmıştır DFT(20). S_p ve DFT(20) değerleri kullanılarak da hıza bağlı olarak değişen Uluslararası Sürtünme İndeksi (IFI: International Friction Index) sürtünme değerleri 60 km/sa için hesaplanmıştır (FR(60)).

Seçilen istasyon noktaları için İzmir İl Emniyet Müdürlüğü Trafik Denetleme Şube Müdürlüğü'nden elde edilen kaza istatistikleri ayrı ayrı yıllık ölçüm dönemleri bazında değerlendirilmiştir.

2 Harç tipi kaplama ve yüzey dokusu

Motorlu taşıt trafiğindeki artış trendi ve doğal kaynakların verimli kullanılması ihtiyacı, kaplama tabakalarının yeniden yapılması yerine yüzey iyileştirmeleri yapılması üzerine yoğunlaşmaktadır. Karayollarında, kaplama tabakası asfalt betonu olan esnek üstyapı, kaplama tabakası Portland çimento betonundan oluşan rijit üstyapı ve kompozit üstyapı gibi farklı tipte üstyapılar kullanılabilir [1].

Esnek üstyapı, yüklerin büyük bir kısmının üstyapıyı oluşturan bitümlü veya bitümsüz tabakalar tarafından taşınan, yüklerin kalan kısmının taban zeminine aktarıldığı bir üstyapı tipidir. Başlıca esnek üstyapı tabakaları basit şematik gösterimi Şekil 1'de görüldüğü gibidir.

Tipik kaplama yapıları sıcak karışım asfalt tabakaları ile iyileştirilmiş ya da iyileştirilmemiş toprak zemin üzerindeki agregalı temel tabakalarını içerir. Esnek kaplamaların korunması genellikle ince örtü tabakası veya aşınma tabakası ile gerçekleştirilmektedir.

Kaplama Tabakası
Temel
Alt Temel
Üstyapı Tabanı (dolgu/yarma)

Şekil 1: Esnek üstyapı tabakaları.

Yüzey iyileştirme yöntemleri, farklı uygulamalar için farklı avantajları olan birçok yöntemden oluşmaktadır:

- Çatlak Onarımı/sızdırmazlık,
- Sathi Kaplama (Chip Seal),
- Karartma Tabakası (Fog Seal),

- Cape Seal,
- Micro-surfacing,
- Harç tipi kaplama (Slurry Seal).

Yüzey iyileştirme yöntemlerinden harç tipi kaplamalar, asfalt kaplama yüzeylerinin iyileştirilmesinde avantajları ile ön plana çıktığı için çalışma kapsamında incelenmiştir.

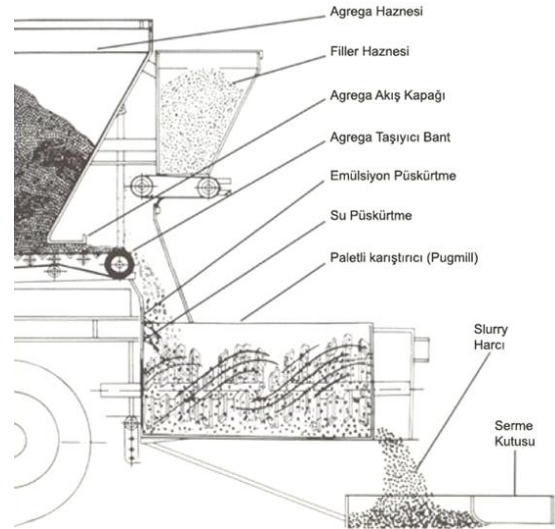
2.1 Harç tipi kaplama

Harç tipi kaplama; ince agregası, asfalt emülsiyonu, su ve dolgu malzemesi olan filler ve gerektiğinde katkıların uygun oranlarda karıştırılması ile elde edilir [2].

Genel bir fikir oluşturması açısından, bir harç tipi kaplama tasarımı aşağıda verilmiştir [3]:

- + Agreganın ağırlıkça %14'ü kadar asfalt emülsiyonu,
- + Agreganın ağırlıkça %12'si kadar su,
- + Agregası (Tip I, II veya III),
- + Katkı.

Harç karışımı, karıştırma ünitesine bağlanmış olan yayıcı kutu ile eski kaplama yüzeyine serilir. Harç tipi kaplama makinesi şematik olarak Şekil 2'de gösterildiği gibidir.



Şekil 2: Harç tipi kaplama makinesi şeması [3].

Karıştırma işlemi tecrübeli operatörler tarafından sürekli olarak denetlenir. Yardımcı personeller ise kaplama yüzeyini karışım serilebilecek hale getirmek için temizler, trafik emniyet tedbirlerini alır, serim işinin uygunluğunu denetler, uygulama sonrası rögar kapaklarını temizler ve yayma kutusunun giremediği yerlerde slurry harcı serme işlemini gerçekleştirir.

Çalışma kapsamında incelenen istasyon noktalarında uygulanan harç tipi kaplama üretiminde İzmir Belkavne taş ocaklarından temin edilen kalker kökenli, kum eşdeğeri ≥ 45 olan 2. tip agregası (\leq Elek No.4 (4.75 mm)) kullanılmıştır. 2. tip agregası, harç tipi kaplamaların 3 farklı gradasyonu içinde genellikle normal ve yoğun trafik koşulları için tercih edilmektedir. Bu tip karışımlar, çatlak kapatılması, normalden ciddiye doğru soyulmaların, oksidasyonun ve bağ kaybının önlenmesi ve kayma direncinin artırılması için kullanılır. Kentlerin ve yerleşkelerin caddelerinde, ana arter yollarda, havaalanlarında ve şehirlerarası yollarda kullanılır (5.4-9.8 kg/m²). Emülsiyon üretiminde kullanılan ham bitüm 70-100 penetrasyon sınıfına aittir. Kullanılan kalker ve

emülsiyon asfalt özellikleri KGM Teknik Şartname kriterlerini karşılamaktadır [4].

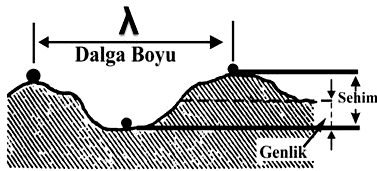
Harç tipi kaplama, yüzey dokusu sürtünme özellikleri açısından bozulmuş ve kalıcı deformasyon oluşmuş kaplama yüzeylerinin kazınması sonrasında, asfalt yüzeylerine 2 tabaka halinde serilerek uygulanmıştır. Harç karışımı uygulamadan önce yol yüzeyi toz, kil vb.'den arındırılmıştır. Yüzey hazırlığının temel amacı harç tipi kaplamanın uygulandığı temiz ve sağlam bir yüzey temin edilmesidir. Yüzey hazırlığının ilk adımı çatlaklara sızdırmaz yama yaparak yapısal bütünlük ve işlevsel performans özelliği sağlanır. Harç tipi asfalt kaplamaların trafiğe açılması için emülsiyonun kesilmesi ve kaplamanın sertleşmesi gerekmektedir. Uygulamalar, seçilen istasyon noktaları için yaz aylarında, trafiğin daha az yoğun olduğu gece saatlerinde, mevcut trafik koşullarında sırasıyla şeritlerin kapatılması yolu ile gerçekleştirilmiş ve sabah pik saat trafiğine ulaşmadan yol trafiğe açılmıştır.

Harç karışımının kohezif olması için emülsiyonun kesilebilir olması ve sürekli bir film tabakası oluşturmasının mümkün olması başarılı bir uygulama için temel kuraldır. Sonuç olarak, nem, rüzgâr koşulları, hava ve kaplama yüzey sıcaklığı gibi konuların uygulamada titizlikle dikkate alınması gerekir. Modifikasyon katkıları, uygulama sırasında değişen ortam koşullarına göre uygulanmalıdır.

CALTRANS (2008)'e göre harç tipi kaplamaların ömrü 3-5 yıl olarak öngörülmüştür (5). Fakat tüm kaplamalar gibi harç tipi kaplamalar da trafik hacmi, taşıt kompozisyonu ve atmosferik şartlardan etkilendiklerinden, daha erken yaşlarda da deforme olabilmekte ve performans kayıpları yaşayabilmektedir. Harç tipi kaplamaların düşük maliyet, yüzey dokusunu iyileştirip sürtünme direncinin artırılması, yüzeydeki çatlakları doldurarak çatlak ilerlemesinin önlenmesi, geçirimsiz bir yüzey tabakası oluşturması, yaşlanma etkilerinin azaltılması ve estetik olarak göze hoş görünüm gibi avantajları bulunmaktadır.

2.2 Yüzey dokusu ve sürtünme

Yol kaplamalarının yüzey dokuları, yüzeydeki girinti ve çıkıntıların Şekil 3'te gösterildiği gibi dalga boyu genlikleri ve derinliklerine bağlı olarak belirlenebilir. Dalga boylarına bağlı olarak pürüzlülük; megadoku, makrodoku ve mikrodoku olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Bu üç gruptan makrodoku ve mikrodoku kombinasyonu, kaplamanın sürtünme direncini belirleyen en baskın faktördür.



Şekil 3: Yol yüzeyinin geometrik özellikleri [6].

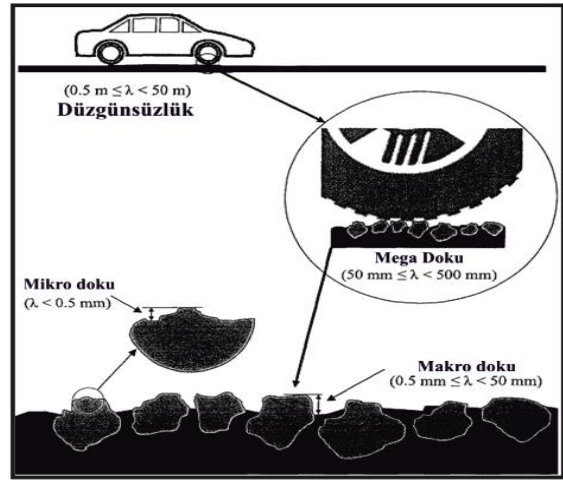
Dalga boyu 0.5 metrenin üstünde olanlar geometrik düzgünlük olarak ifade edilmektedir [1]. Geometrik düzgünlüğün kalitesi, yol yüzeyinde girinti ve çıkıntı bulunup bulunmamasına bağlıdır. Bu girinti ve çıkıntılar, yolun teorik (proje) yüzeyi ile gerçek yüzeyi arasındaki farklardan ileri gelmektedir.

- Mikrodoku, karışımdaki agregaların yüzey pürüzlülüğüne bağlıdır. Mikrodoku, asfalt ya da

beton kaplamalardaki agrega parçalarının yüzey özelliklerinin bir fonksiyonudur. Mikrodoku, yol yüzeyi ile lastik arasındaki su filminin parçalanmasını ve lastikle yol arasında kuru temas olmasını sağlar,

- Makrodoku, agreganın dane boyutuna bağlı bir parametredir. Özellikle sürtünme direnci ve yağmur suyu drenajı üzerinde etkilidir. Makrodoku arttıkça su filminin yüzeyden uzaklaşması daha hızlı olur,
- Megadoku, kaplama serimi sırasında finişerin vibrasyonu sonucu ve/veya yol yüzeyinin trafik yükleri ve çevresel şartlar altında bozulması sonucu oluşan kalıcı deformasyonlar, çatlaklar, vb. nedenlerle ortaya çıkar.

Şekil 4'te yol yüzey dokusu bileşenleri anlatılmaktadır.



Şekil 4: Yol yüzey doku bileşenleri [7].

2.2.1 Doku derinliği

Doku derinliği, bir yüzey için lastik/yol yüzeyi ara fazının üç boyutlu hali veya bir mesafe için lastik/yol yüzeyi ara fazının iki boyutlu hali olarak aşağıdaki şekillerde tanımlanmaktadır [6]:

- Doku Derinliği (Texture Depth), TD; Yüzey ile yüzeyde en büyük üç pik noktasından geçen düzlem arasındaki düşey mesafe,
- Ortalama Doku Derinliği (Mean Texture Depth), MTD: Hacim esasına dayanan kum yama yöntemi kullanılarak kaplamanın ortalama makro derinliği,

Ortalama doku derinliği, sürtünme direnci ile birlikte çalışma kapsamında ölçülecek yüzey parametrelerini oluşturmaktadır.

2.2.2 Uluslararası sürtünme indeksi (IFI)

Yüzey dokusu ve sürtünme direnci ölçüm aletleri ve hesap yöntemlerinin çok çeşitli olması nedeniyle, farklı ülkelerdeki araştırmacılar tarafından yapılan ölçümlerin karşılaştırılması çok zor olmakta, ilave maliyetler yaratmakta ve hatta bu durum araştırmacının değerlendirme yapamamasına yol açmaktadır. Bu soruna çözüm bulabilmek adına, PIARC-World Road Association tarafından, üye ülkelerin farklı yol kaplamalarında, güncel yüzey dokusu ve sürtünme direnci ölçüm metodları ile yapılmış ölçümlerin sonuçları değerlendirilerek uluslararası sürtünme direnci indeksi oluşturma çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalar, Amerika ve

Avrupa'dan 51 farklı ölçüm sistemini içermektedir. Sürtünme direncini tespit etmek amacı ile kilitlenmiş tekerlek, sabit ve değişken kayma aletleri, dinamik sürtünme ölçer test cihazı ile bazı prototip cihazlar kullanılmaktadır. Yol yüzey dokusu ölçümleri için ise kum yama, lazer profilometresi ve bazı optik sistemler kullanılmaktadır.

Uluslararası Sürtünme İndeksi (IFI) kaplama yüzeylerinin sürtünme özelliklerinin sınıflandırılabilmesi için ortak bir referans ölçek olarak geliştirilmiştir. IFI, sürtünme direnci ile doku ölçümlerinden elde edilen verilerin, kaplama yüzey karakteristiklerinin belirlenmesinde kullanımı amacıyla dünya çapında uygulanmaktadır. IFI'nın hesaplanabilmesi için en az bir sürtünme direnci ve bir yüzey doku derinliği ölçümü yapılmalıdır.

IFI, temel olarak PIARC sürtünme modelini içeren bir matematik model olup 2 temel parametre içermektedir. Bunlardan ilki olan Sp 'nin (Hız sabiti) ölçümü çok önemlidir. Özellikle yağışlı havalarda yol yüzeyinde biriken suyun drenajı için yolun makro dokusunun belli seviyelerde olması gereklidir [5]. Sp değerinin değişiminden, yol yüzeyinin cilalanma seviyesi ile ilgili bilgi alınabilmektedir. IFI'yi oluşturan diğer parametre ise $F(60)$ 'tır. Bu değer 60 km/sa hızındaki bir taşıtın fren yapması durumunda kaplama yüzeyinde oluşan normalleştirilmiş sürtünme değeridir.

IFI'yi oluşturan temel parametrelerden biri olan Sp aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmaktadır.

$$Sp = a + bxT \quad (1)$$

Burada;

- Sp = Hız sabiti,
 a, b = Sabit katsayılar,
 T = Ortalama doku (MTD) veya profil (MPD) derinliği, mm.

Bu katsayılar ASTM E 965 (Kum yama yöntemi) ile tayin edilecekse veya ASTM E 1845 ile tayin edilecekse farklı değerler almaktadır.

Ölçülen kayma direnci değeri $FR(S)$, 60 km/sa ölçümünde elde edilen model eşitliğine konulur;

$$FR(60) = FR(S) \times e^{\frac{S-60}{Sp}} \quad (2)$$

Burada;

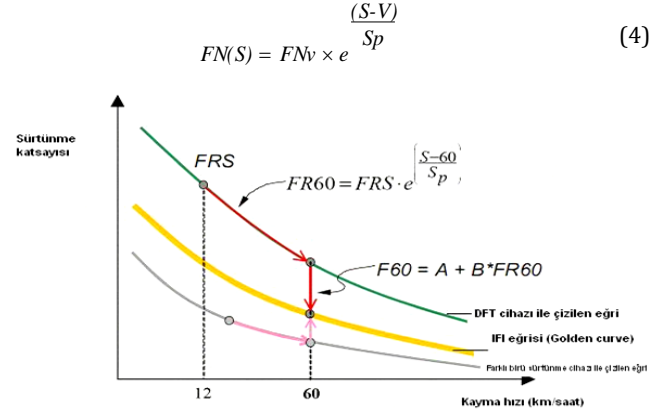
- $FR(60)$ = 60 km/sa hıza göre hesaplanmış sürtünme değeri,
 $FR(S)$ = S kayma hızındaki sürtünme değeri (dinamik sürtünme cihazı ile)
 S = Kayma hızı, km/sa (genellikle 20 km/sa alınmaktadır).

$$F(60) = A + BxFR(60) \quad (3)$$

Burada;

- $F(60)$ = Düzeltilmiş IFI sürtünme sayısı,
 A, B = Sürtünme ölçüm aletine bağlı kalibrasyon sabiti (Çalışma kapsamında DFT cihazı kullanıldığı için bu parametreler ilgili ASTM standardından alınacaktır).

Denklem 4 kullanılarak çizilmiş olan, kaplamanın herhangi bir hızdaki sürtünme değerini tahmin etmek için kullanılan IFI model grafiği Şekil 5'te gösterilmektedir. Şekildeki sürtünme eğrisi ile ölçülen Sp ve 60 km/sa hızdaki sürtünme değerleri ($F(60)$) grafik üzerinden işaretlenerek herhangi bir S kayma hızındaki sürtünme değeri tahmin edilebilir.



Şekil 5: Uluslararası kayma indeksi (IFI) modeli.

3 Deneysel çalışmalar

3.1 İstasyon noktalarının belirlenmesi

Çalışma kapsamında tüm ölçümlerin ve gözlemlerin yapılabilmesi için İzmir İl Emniyet Müdürlüğü desteği ile İzmir ili ve şehir içi yollarından aşağıdaki özelliklere sahip istasyon noktaları seçilmiştir.

İzmir Büyükşehir Belediyesi tarafından 2013 yılında bazı kritik istasyon noktalarında harç tipi kaplama ile yüzey iyileştirmesi yapılmıştır. Bu nedenle, çalışma kapsamında önce-sonra etütlerinin yapılarak harç tipi kaplamaların zaman içindeki yüzey özelliklerinin incelenmesi için, TÜBİTAK MAG 108M293 [8] projesi kapsamında incelenen istasyon noktalarından harç tipi kaplama yapılan istasyon noktalarından Yeşildere Caddesi ve Mustafa Kemal Sahil Bulvarı üzerinde 4'er adet istasyon noktası seçilmiştir.

Seçilen noktalardan üç tanesi harç tipi kaplama imalatı yapılmış istasyon noktalarıdır. Bir tanesi ise kıyaslama yapabilmek amacı ile aynı güzergâh üzerinden aynı trafik hacmine sahip bitümlü sıcak karışım yapılmış kaplama tabakası seçilmiştir.

İstasyon noktaları seçilirken, çalışma süresince İzmir genelinde harç tipi kaplama yapılan yollardan yol sahinde satih yenileme veya yama imatlarının olmayacağı ve kesintisiz olarak veri sağlanabilecek yollar seçilmeye çalışılmıştır. İstasyon seçiminde dikkat edilen bir diğer husus ise trafik güvenliği açısından ölçülmesi planlanan istasyon noktalarında, ölçümler sırasında trafiğin yönlendirilebilme olanağıdır.

Ölçümler sırasında güvenlik ve trafik yönlendirilme sıkıntıları sebebi ile yalnızca sağ şerit üzerinden veri sağlanabilmektedir. Ayrıca kavşak ve benzeri kesişim noktalarından mümkün olduğunca uzakta, blok ortası olarak tanımlanabilen kesimler ölçüm noktaları olarak seçilmiştir. Bu sayede kavşaklarda farklı trafik ve yol koşullarının etkisi en aza indirgenerek, daha sağlıklı değerlendirmeler yapılabilecek kesimlerden veri alınması hedeflenmiştir.

İstasyon noktalarındaki arazi çalışmalarının ölçüm dönemleri Tablo 1'de görüldüğü gibidir. Deneyler yapılırken ölçüm dönemlerindeki hava koşullarının (sıcaklık vb.) birbirine yakın olmasına (18-22 °C) özen gösterilmiştir. Ayrıca hava durumu gözetilerek deneylerin yağış öncesi ve yağış sonrası yapılmamasına dikkat edilmiştir. Böylece deney sonuçlarının sıcaklık, yağış ve diğer çevresel etkenlerden etkilenmesi önlenmeye çalışılmıştır.

Tablo 1: Ölçüm isimleri ve tarihleri.

Ölçüm İsmi	Ölçüm Tarihi
2014/1	06.02.2014
2014/2	01.04.2014
2014/3	01.10.2014
2014/4	25.12.2014
2015/1	29.04.2015

Arazi ölçümleri yapılırken her bir istasyon noktası için DFT cihazının kurulum yeri ve kum yama deneyinin yapıldığı bölgeler sabit röper noktaları çakılarak ve sprej boya kullanılarak işaretlenmiş ve her ölçüm döneminde aynı noktalarda deneyler tekrarlanmıştır.

3.1.1 Yeşildere Caddesi

Yeşildere Caddesi, şehrin kuzeyinden Altınyol ve Ankara Caddesi ile gelen trafiği Mürselpaşa Caddesi ile toplayarak, Yeşillik Caddesi ile şehrin güneyine aktarılmasını sağlayan yaklaşık 4.5 km uzunluğunda ve yaklaşık 25 m genişliğinde bir yoldur. Yeşildere Caddesi'ne ait, genel görünüm ve ölçüm yapılan istasyon noktaları Şekil 6'da gösterilmiştir.

Mürselpaşa Bulvarı 1 No.lu İstasyon: Saha deneyleri için bu istasyon noktasının seçilme nedeni, imalattan sonra ağır trafik yüküne rağmen kaplamada aşırı deformasyon oluşmamasıdır. Böylece aynı bulvar üzerinde harç tipi kaplama yapılmayan 4 No.lu istasyon noktası ile normal deforme olmuş harç tipi kaplama imalatının yüzey dokusu ve sürtünme direnci farklılıkları ve bu farklılığın trafik güvenliğine etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Mürselpaşa Bulvarı 2 No.lu İstasyon: Saha deneyleri için bu istasyon noktasının seçilme nedeni, imalattan sonra ağır trafik yüküne rağmen istasyon noktasının diğer noktalara göre daha az deforme olmasıdır. Bu güzergah üzerinde imalattan sonra başlangıç değerlerine yakın veriler elde etmek amacı ile istasyon noktası banket kenarına yakın seçilmiştir. Böylece aynı bulvar üzerinde harç tipi kaplama yapılmayan 4 No.lu istasyon noktası ile normalden daha az deforme olmuş harç tipi kaplama imalatının yüzey dokusu ve sürtünme direnci farklılıkları ve bu farklılığın trafik güvenliğine etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Mürselpaşa Bulvarı 3 No.lu İstasyon: Saha deneyleri için bu istasyon noktasının seçim sebebi, imalattan sonra ağır trafik yükü altında kaplamada aşırı deformasyon oluşmasıdır. Böylece aynı bulvar üzerinde harç tipi kaplama yapılmayan 4 No.lu istasyon noktası ile aşırı deforme olmuş harç tipi kaplama imalatının yüzey dokusu ve sürtünme direnci farklılıkları ve bu farklılığın trafik güvenliğine etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Mürselpaşa Bulvarı 4 No.lu İstasyon: Saha deneyleri yapılırken bu istasyon noktasının seçim sebebi, mevcut kaplamanın bitümlü sıcak karışım olmasıdır. Harç tipi kaplama yapılan 1, 2, ve 3 No.lu istasyonlardaki imalatların bitümlü

sıcak karışım ile yüzey dokusu ve sürtünme direnci farklılıkları ve bu farklılığın trafik güvenliğine etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır.



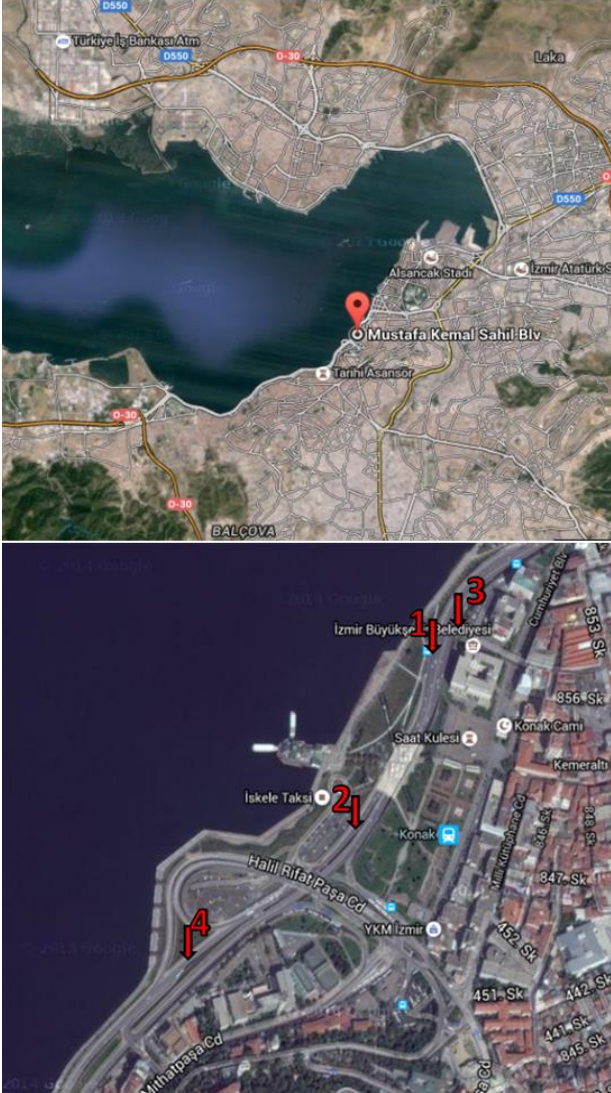
Şekil 6: Yeşildere Caddesi genel görünümü ve ölçüm yapılan istasyon noktaları.

3.1.2 Mustafa Kemal Sahil Bulvarı

Mustafa Kemal Sahil Bulvarı, İzmir Körfezi'nin güney sahil şeridi boyunca devam eden, 6.2 km uzunluğunda ve yaklaşık 27 m genişliğinde bir yoldur. Bu yol, Cumhuriyet Bulvarı ile Fevzi Paşa Caddesi'nin kesiştiği noktadan başlayarak, İzmir-Çeşme Otoyolu'na bağlanmaktadır. Yolun denizden uzaklığı yaklaşık 17 m'dir. Mustafa Kemal Sahil Bulvarı (Konak Altgeçidi) istasyon noktalarına ait genel görünüm, ölçüm yapılan yerler Şekil 7'de gösterilmiştir.

Konak Alt Geçidi 1 No.lu İstasyon: Saha deneyleri için bu istasyon noktasının seçim sebebi, imalattan sonra ağır trafik yüküne rağmen kaplamada aşırı deformasyon oluşmasıdır. Böylece aynı bulvar üzerinde harç tipi kaplama yapılmayan 4 No.lu istasyon noktası ile aşırı deforme olmuş harç tipi kaplama imalatının yüzey dokusu ve sürtünme direnci farklılıkları ve bu farklılığın trafik güvenliğine etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Konak Alt Geçidi 2 No.lu İstasyon: Saha deneyleri için bu istasyon noktasının seçim sebebi, imalattan sonra ağır trafik yüküne rağmen kaplamada aşırı deformasyon oluşmamasıdır. Böylece aynı bulvar üzerinde harç tipi kaplama yapılmayan 4 no.lu istasyon noktası ile normal deforme olmuş harç tipi kaplama imalatının yüzey dokusu ve sürtünme direnci farklılıkları ve bu farklılığın trafik güvenliğine etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır.



Şekil 7: Mustafa Kemal Sahil Bulvarı genel görünümü ve ölçüm yapılan istasyon noktaları.

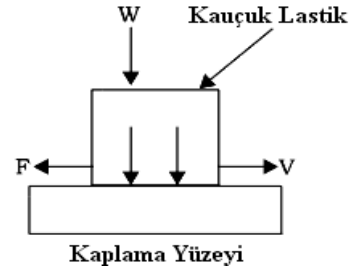
Konak Alt Geçidi 3 No.lu İstasyon: Saha deneyleri için bu istasyon noktasının seçim sebebi, imalattan sonra ağır trafik yüküne rağmen istasyon noktası diğer noktalara göre daha az deforme oluşmasıdır. Bu güzergah üzerinde imalattan sonra başlangıç verisine yakın veriler elde etmek amacı ile istasyon noktası banket kenarına yakın seçilmiştir. Böylece aynı Bulvar üzerinde harç tipi kaplama yapılmayan 4 No.lu istasyon noktası ile normalden daha az deforme olmuş harç tipi kaplama imalatının yüzey dokusu ve sürtünme direnci farklılıkları ve bu farklılığın trafik güvenliğine etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Konak Alt Geçidi 4 No.lu İstasyon: Saha deneyleri için bu istasyon noktasının seçim sebebi, mevcut kaplamanın bitümlü

sıcak karışım olmasıdır. Harç tipi kaplama yapılan 1, 2, ve 3 No.lu istasyonlardaki imalatların bitümlü sıcak karışım ile yüzey dokusu ve sürtünme direnci farklılıkları ve bu farklılığın trafik güvenliğine etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır.

3.2 Dinamik sürtünme ölçer (DFT) deneyi

Elektronik olarak kontrol edilen DFT donanımı Japonya'da geliştirilmiştir (Şekil 8 ve Şekil 9). DFT, arazi ölçümü ve laboratuvar testlerinde kalite kontrol/kalite güvencesi, bilimsel çalışmalarda ise sürtünme değerlerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Deneysel prosedür ASTM E 1911'de tanımlanmaktadır [9]. Cihazın temel çalışma esası Coulomb'un sürtünme yasası ile açıklanabilir. Cihaz üzerinde üç lastik pabuçun bağlı olduğu, kendi eksenine etrafında dönen ve hızı değiştirilebilen bir disk bulunmaktadır (Şekil 8-9). Test sırasında disk istenilen hız değerine (80-100 km/sa) ulaştığında kaplama yüzeyine otomatik olarak düşerek lastik pabuçlar yüzeye temas eder. Şekil 8'de görüldüğü üzere, lastik pabuçlar kaplama yüzeyine dik olarak etkiyen sabit bir W yükü altında ve F doğrusal kuvvetinde V hızı ile döner.



Şekil 8: DFT cihazında dönen diske etkiyen kuvvetler.

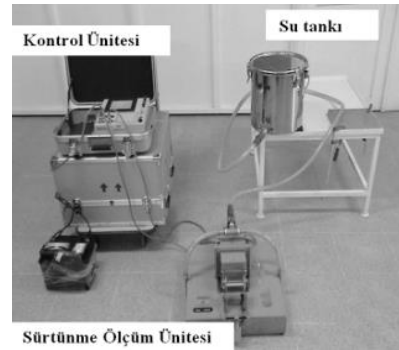
F ile W arasında aşağıdaki gibi bir ilişki bulunmaktadır. Bu ilişki sonucunda sürtünme katsayısı (μ) bulunur:

$$\mu = F/W \quad (5)$$

Denklem 5'te W değeri sabit tutularak, $1/W$ yerine (bir oran sabiti olan) K getirilirse aşağıdaki denklem elde edilir:

$$\mu = KxF \quad (6)$$

Denklemden de anlaşılacağı gibi μ katsayısı, F kuvveti ile doğru orantılı olarak değişkenlik gösterir. 20, 40, 60 ve 80 km/sa hızlar için pik sürtünme ölçüm verileri elde edilebilmektedir.

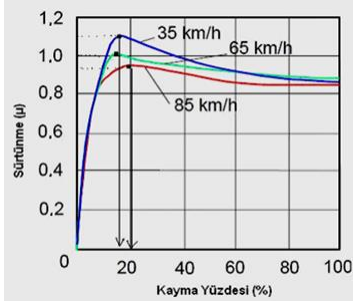


Şekil 9: DFT cihazı ve ekipmanları.

Bu yöntem, her aşamada tekrar edilebilme ve yeniden yapılabilme imkanı sunmakla birlikte, İngiliz Sarkacı Deneyi'nin aksine (British Pendulum Test) rüzgar, hatalı okuma gibi dış etkenlerden kesinlikle etkilenmemektedir. Cihazın kurulumu oldukça kolaydır. Böylelikle ölçümler kısa

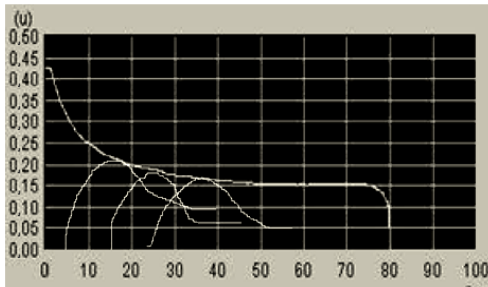
bir sürede yapılmakta ve veriler anında değerlendirilebilmekte ve uluslararası kayma direnci indeksi (IFI-ASTM E1960-07) değerine kolayca ulaşılabilir [10]. Ayrıca bu yöntem ile yüksek hızlardaki sürtünme değerleri de elde edilebilmektedir.

Şekil 10'da sürtünmenin yolculuk hızı ve frenleme derecesi ile nasıl değiştiği gösterilmiştir. Şekilde, lastik-kaplama yüzeyi için evrensel sürtünme modeli hız değişkeni ve kayma hızı olarak nitelendirilen frenleme derecesi ile açıklanmaktadır [11]. Farklı hızlar ile hareket eden taşıt lastikleri, frenleme sırasında yol kaplamasının duruma göre farklı maksimum sürtünme değeri almaktadırlar.



Şekil 10: Kuru yüzeyde lastik ile sürtünme arasındaki ilişki [9].

Dinamik sürtünme ölçer, tüm eğrileri tek bir sürtünme eğrisi olarak değerlendirmekte ve Şekil 11'de gösterildiği gibi hızla bağlı değişimi verebilmektedir. Diğer bir ifade ile sabit kauçukları barındıran deney cihazından elde edilen ana eğri, aşağıdaki eğrilerin bileşimi olarak değerlendirilebilir. Bileşik eğrinin maksimum sürtünme değerine kadar olan bölümü direkt olarak taşıt lastiğinin durumu ile ilişkilidir. Pik noktası olarak adlandırılacak maksimum sürtünme değerinden sonraki bölümü yol mühendisleri açısından önemlidir.



Şekil 11: Hıza bağlı DFT değerinin genel değişimi.

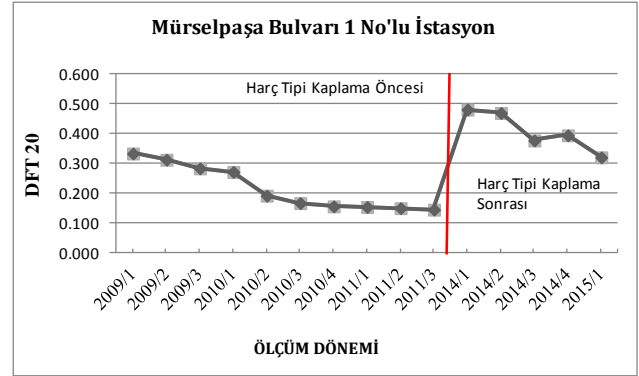
Görüldüğü gibi, DFT değeri tekerlek ile yol yüzeyi arasındaki etkileşimi ifade etmektedir. Yüksek hızlarda (Şekil 10) seyreden bir araç tekerleğinin yol yüzeyi ile olan teması azalacak ve dolayısı ile DFT değeri de yüksek hızlar için düşük değer olacaktır. Deney 0 ile 80 km/sa arasındaki hızlardan 20 km/sa hıza karşılık gelen DFT verisi esas alınmaktadır. Bu değer, ileride de sunulacağı gibi IFI değerinin elde edilmesinde kullanılmaktadır.

DFT20 değerinin ölçüm zamanları boyunca sıcaklık değişimlerinin DFT değerleri üzerindeki etkili olması sebebiyle ölçümler sırasında sıcaklıkların benzer olmasına ve yağış olmamasına özen gösterilmiştir.

Bunlara ek olarak, yaz aylarında havanın kuru ve sıcak olması nedeniyle, kaplama yüzeyindeki agrega yüzeylerini ince toz partikülleri sarmaktadır. Bu durumda, kaplama yüzeyinden geçen araçlar agregaların daha kolay ve çabuk cilalanmasına neden olur. Bu sebeple ölçüm periyotları benzer hava

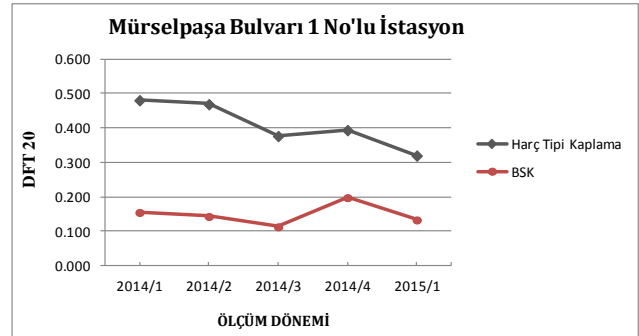
koşullarını kapsayacak şekilde yapılmıştır. Böylece ölçümlerde sıcaklık farkları ve yağış gibi hava koşullarının etkisi minimize edilmiştir.

Şekil 12'de 2013 yılında harç tipi kaplama imalatı yapılan Mürselpaşa Bulvarı 1 No.lu istasyonda DFT20 değerlerinin ölçüm dönemleri boyunca değişimleri gösterilmektedir.



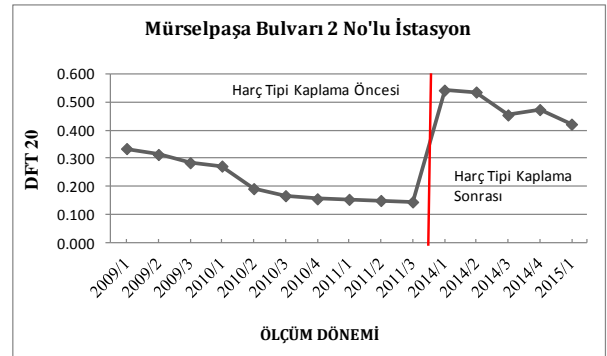
Şekil 12: Mürselpaşa Bulvarı 1 No.lu istasyonda yıllara göre DFT20 değerinin genel değişimi.

Şekil 13'te 2013 yılında harç tipi kaplama imalatı yapılan Mürselpaşa Bulvarı 1 No.lu istasyon ve harç tipi kaplama imalatı yapılmamış eski Bitümlü Sıcak Karışım (BSK) kaplamalı Mürselpaşa Bulvarı 4 No.lu istasyon arasında DFT20 değerinin ölçüm dönemlerine göre değişimi ve aralarındaki farklar gösterilmektedir.



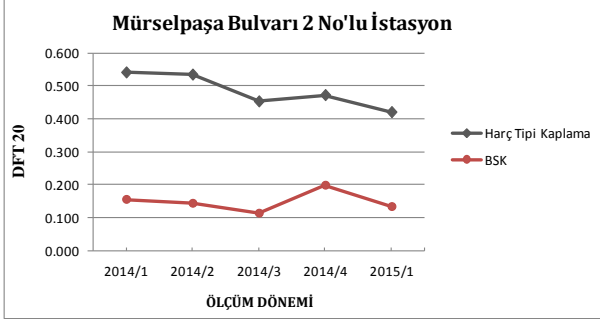
Şekil 13: Mürselpaşa Bulvarı 1 No.lu istasyonda kaplama türüne göre DFT20 değerinin değişimi.

Şekil 14'te 2013 yılında harç tipi kaplama imalatı yapılan Mürselpaşa Bulvarı 2 No.lu istasyonda 25 °C'ye kalibre edilen DFT20 değerlerinin ölçüm dönemleri boyunca değişimleri gösterilmektedir.



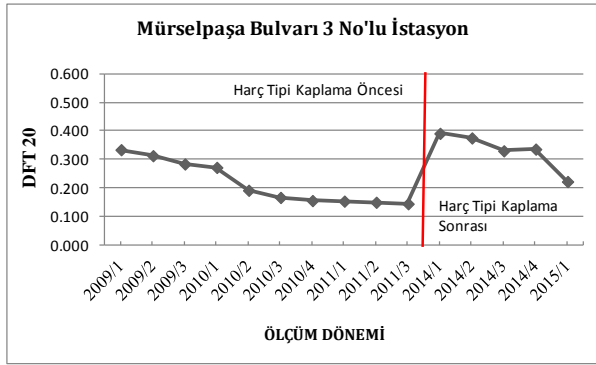
Şekil 14: Mürselpaşa Bulvarı 2 No.lu istasyonda yıllara göre DFT20 değerinin genel değişimi.

Şekil 15'te 2013 yılında harç tipi kaplama imalatı yapılan Mürselpaşa Bulvarı 2 No.lu istasyon ve harç tipi kaplama imalatı yapılmamış eski BSK kaplamalı Mürselpaşa Bulvarı 4 No.lu istasyon arasında DFT20 değerinin ölçüm dönemlerine göre değişimi ve aralarındaki farklar gösterilmektedir.



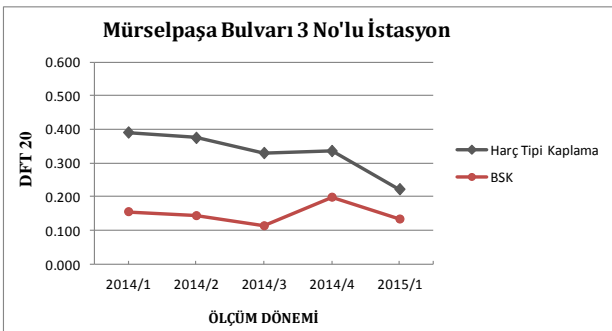
Şekil 15: Mürselpaşa Bulvarı 2 No.lu istasyonda kaplama türüne göre DFT20 değerinin değişimi.

Şekil 16'da 2013 yılında harç tipi kaplama imalatı yapılan Mürselpaşa Bulvarı 3 No.lu istasyonda 25 °C'ye kalibre edilen DFT20 değerlerinin ölçüm dönemleri boyunca değişimleri gösterilmektedir.



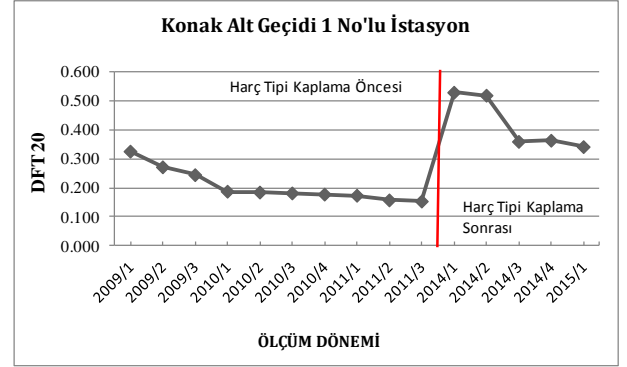
Şekil 16: Mürselpaşa Bulvarı 3 No.lu istasyonda yıllara göre DFT20 değerinin genel değişimi.

Şekil 17'de 2013 yılında harç tipi kaplama imalatı yapılan Mürselpaşa Bulvarı 3 No.lu istasyon ve harç tipi kaplama imalatı yapılmamış eski BSK kaplamalı Mürselpaşa Bulvarı 4 No.lu istasyon arasında DFT20 değerinin ölçüm dönemlerine göre değişimi ve aralarındaki farklar gösterilmektedir.



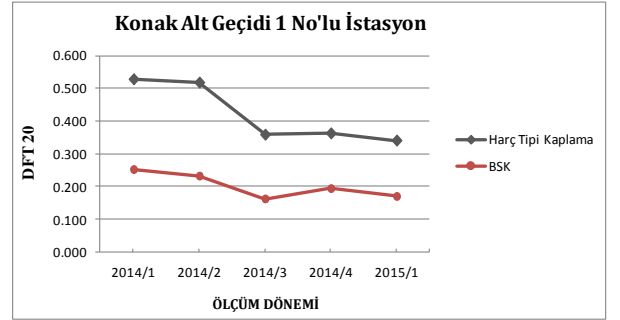
Şekil 17: Mürselpaşa Bulvarı 3 No.lu istasyonda kaplama türüne göre DFT20 değerinin değişimi.

Şekil 18'de 2013 yılında harç tipi kaplama imalatı yapılan Konak Alt Geçidi 1 No.lu istasyonda 25 °C'ye kalibre edilen DFT20 değerlerinin ölçüm dönemleri boyunca değişimleri gösterilmektedir.



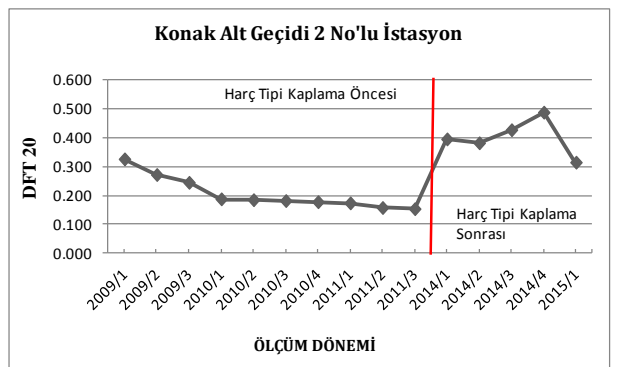
Şekil 18: Konak Alt Geçidi 1 No.lu istasyonda yıllara göre DFT20 değerinin genel değişimi.

Şekil 19'da 2013 yılında harç tipi kaplama imalatı yapılan Konak Alt Geçidi 1 No.lu istasyon ve harç tipi kaplama imalatı yapılmamış eski BSK kaplamalı Konak Alt Geçidi 4 No.lu istasyon arasında DFT20 değerlerinin ölçüm dönemlerine göre değişimi ve aralarındaki farklar gösterilmektedir.



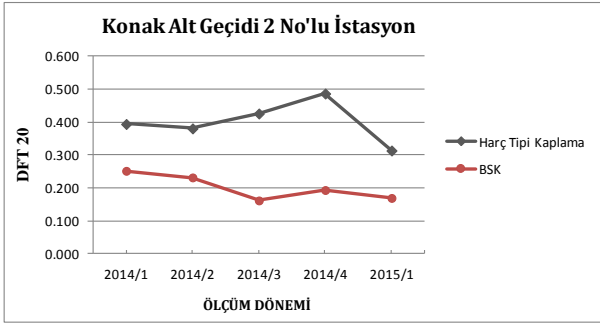
Şekil 19: Konak Alt Geçidi 1 No.lu istasyonda kaplama türüne göre DFT20 değerinin değişimi.

Şekil 20'de 2013 yılında harç tipi kaplama imalatı yapılan Konak Alt Geçidi 2 No.lu istasyonda 25 °C'ye kalibre edilen DFT20 değerlerinin ölçüm dönemleri boyunca değişimleri gösterilmektedir.



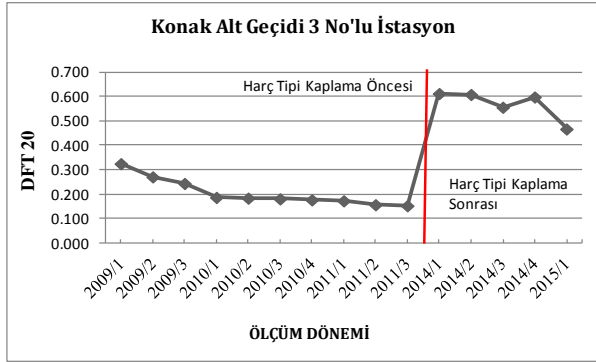
Şekil 20: Konak Alt Geçidi 2 No.lu istasyonda yıllara göre DFT20 değerinin genel değişimi.

Şekil 21'de 2013 yılında harç tipi kaplama imalatı yapılan Konak Alt Geçidi 2 No.lu istasyon ve harç tipi kaplama imalatı yapılmamış eski BSK kaplamalı Konak Alt Geçidi 4 No.lu istasyon arasında DFT20 değerlerinin ölçüm dönemlerine göre değişimi ve aralarındaki farklar gösterilmektedir.



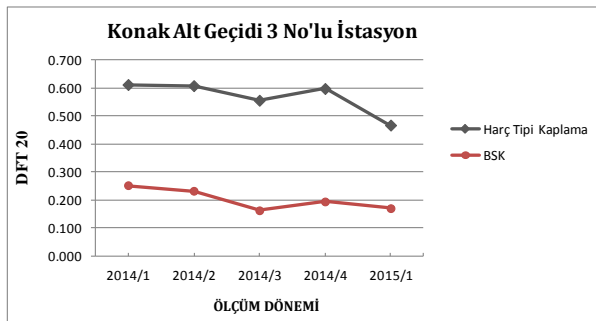
Şekil 21: Konak Alt Geçidi 2 No.lu istasyonda kaplama türüne göre DFT20 değerinin değişimi.

Şekil 22'de 2013 yılında harç tipi kaplama imalatı yapılan Konak Alt Geçidi 3 No.lu istasyonda 25 °C'ye kalibre edilen DFT20 değerlerinin ölçüm dönemleri boyunca değişimleri gösterilmektedir.



Şekil 22: Konak Alt Geçidi 3 No.lu istasyonda yıllara göre DFT20 değerinin genel değişimi.

Şekil 23'de 2013 yılında harç tipi kaplama imalatı yapılan Konak Alt Geçidi 3 No.lu istasyon ve harç tipi kaplama imalatı yapılmamış Eski BSK kaplamalı Konak Alt Geçidi 4 No.lu istasyon arasında DFT20 değerinin ölçüm dönemlerine göre değişimi ve aralarındaki farklar gösterilmektedir.



Şekil 23: Konak Alt Geçidi 3 No.lu istasyonda kaplama türüne göre DFT20 değerinin değişimi.

Yukarıdaki şekillerde de açıkça görüleceği gibi tüm ölçüm dönemleri boyunca 20 km/sa. hız karşılık gelen sürtünme değeri olan DFT20 zamanla azalma eğilimindedir. Bu durum doğrudan yoğun trafik etkisi ile açıklanabilmektedir. Ancak, 2013 yılında yüzey iyileştirme yöntemlerinden harç tipi kaplama imalatı yapıldıktan sonra DFT20 değeri çok önemli miktarda artış göstermiştir. Ayrıca harç tipi kaplama yapılmış yol kesimi ile bitümlü sıcak karışım yapılmış yol kesimi arasında kıyaslama yapmak gerekirse, gerek kaplama yapılan kesimdeki DFT20 değeri, gerekse DFT20 değerindeki azalma

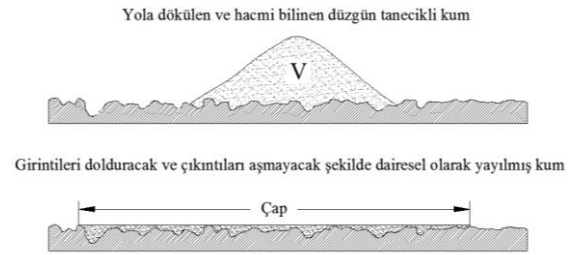
sonucu ulaşılan değer yüzey iyileştirmesi yapılmamış bölüme göre en az 1.6 kat daha büyüktür.

Elde edilen değerler, uluslararası sürtünme direnci ilişkilerinin bulunmasında kullanılacaktır.

3.3 Kum yama yöntemi (ASTM E 965-96)

Deney, yol yüzeylerinin makro pürüzlülüğünü belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. Standart boyutta ve belirli bir hacimdeki standart kum, (British Standard 598'e göre 50 ml) kaplama yüzeyindeki dokuları dolduracak şekilde, kauçuk bir silindir vasıtası ile kaplama yüzeyinde dairesel hareketler yapılarak yayılır.

Dairenin çapı (D) en az üç farklı bölgeden ölçülüp ölçülen değerlerin ortalaması alınmak sureti ile belirlenir. Kum hacminin (V) daire alanına oranı Kum yüksekliğini (HS) verir [12]. Deney prensibi Şekil 24 ve Şekil 25'te gösterilmektedir.



Şekil 24: Kum yama deneyi.

$$MTD = \frac{40 \times V}{\pi \times D^2} \quad (7)$$



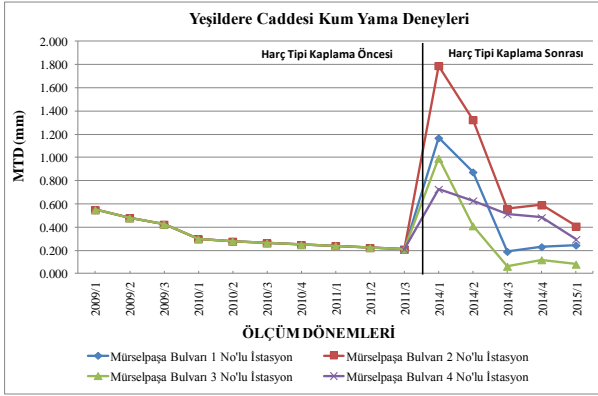
Şekil 25: Kum yama yönteminde kullanılan cam kürecikleri ve yöntemin uygulanışı.

Kum yama yöntemi yaygın olarak kullanılmakla birlikte, yağışlı hava koşullarında uygulanabilirliğinin olmaması, zayıf üretilebilirlik, kullanılan kumun tane boyut dağılımı, yayılma şekli vb. nedenlerle bazı uygulama sorunları vardır.

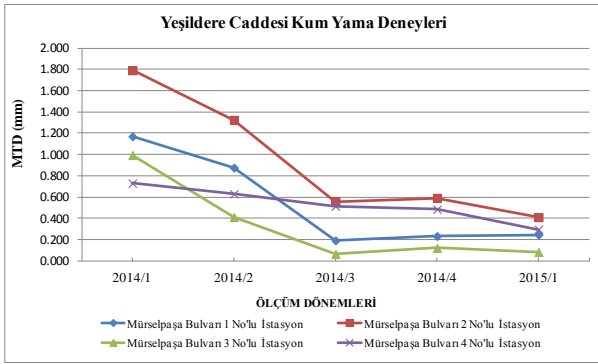
Kum yama yöntemi oldukça basit olmasına karşın doku derinliği az olan yollarda doğru sonuçlar vermediği bilinmektedir. Bu deneyden elde edilen veri, yüzeyin "ortalama doku derinliği-mean texture depth" değeridir. İstasyon noktalarında farklı dönemlerde uygulanan kum yama deneyi sonuçları Şekil 26-Şekil 29'da özetlenmiştir.

Şekil 26'da verilen tüm ölçüm dönemine ait deney sonuçlarından harç tipi kaplama yapılması sonrasında yapılan ölçümlerden alınan veriler daha iyi karşılaştırma yapabilmek amacıyla Şekil 27'de tekrar verilmiştir.

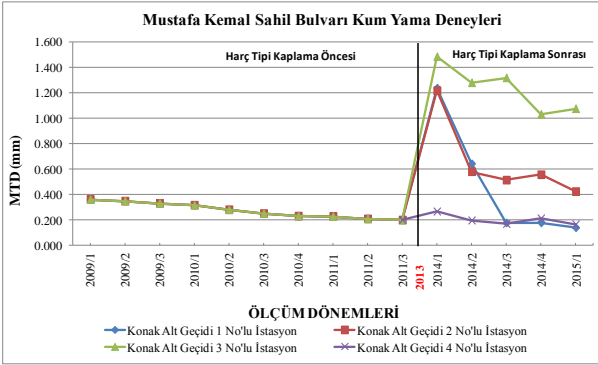
Şekil 28'de ise verilen tüm ölçüm dönemine ait deney sonuçlarından, imalat sonrası alınan veriler rahat incelenmesi amacıyla Şekil 29'da tekrar verilmiştir.



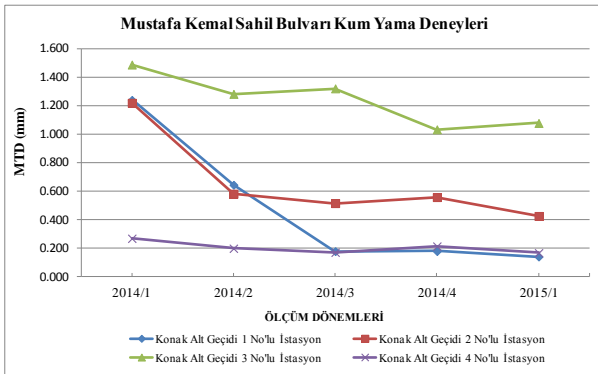
Şekil 26: Yeşildere Caddesi kum yama deneyi ile ortalama doku derinlikleri (MTD).



Şekil 27: Yeşildere Caddesi imalat sonrası kum yama deney verileri.



Şekil 28: Mustafa Kemal Sahil Bulvarı kum yama deneyi ile ortalama doku derinlikleri (MTD).



Şekil 29: Mustafa Kemal Sahil Bulvarı imalat sonrası kum yama deney verileri.

Tüm ölçüm dönemleri göz önüne alındığında; ortalama doku derinliklerinin tüm istasyon noktalarında zamanla azalma eğiliminde olduğu belirlenmiştir. Bu azalma, kaplama üzerinden zamana bağlı olarak kümülatif araç sayısının artması ve yüzeyi aşındırmasıyla açıklanabilir.

Yukarıdaki şekillerle sunulan çizgisel grafik verilerinde ortalama doku derinliğinin imalat yılı olan 2013 yılında sonra arttığı gözlemlenmektedir. Bu değerler, harç tipi kaplama imalatının yapılarak yüzey dokusunun iyileştirilmesinden kaynaklanmaktadır (1, 2, 3 No.lu istasyonlar).

3.4 Sürtünme indeksi sonuçları

Kaplamanın sürtünme özelliklerini dinamik sürtünme cihazı kullanılarak hıza bağlı olarak karakterize eden bağıntı aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$FR(V) = DFT_{20} \times e^{\frac{-V+20}{Sp}} \quad (8)$$

Bağıntıda;

$FR(V)$ = Dinamik sürtünme cihazının kullanılması durumunda taşıt hızına bağlı sürtünme değeri,

DFT_{20} = 20 km/sa hıza karşılık gelen dinamik sürtünme değeri,

V = Taşıt hızı (km/saat),

Sp = Sürtünme Sabiti (Speed constant).

Sp değeri, yolun ortalama profil derinliği veya ortalama doku derinliği ile ilişkilidir. Bu değer aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır.

$$Sp = a + b \times T \quad (9)$$

Görüldüğü üzere, Sp değeri a ve b katsayılarına bağlıdır. Bu katsayılar ASTM E 965 Kum yama yöntemi kullanılarak belirlenen ortalama doku derinliği (MTD) olarak ifade edileceğinden ise $a = -11.6$ ve $b = 113.6$ değerleri alınacaktır.

$$Sp = -11.6 + 113.6 \times MTD \quad (10)$$

Görüldüğü üzere, kum yama deneyi ile tayin edilmiş Sp değeri Denklem 10 ile ifade edilmiş ve çalışma kapsamında MTD'ye bağlı olarak Sp değerlerinin hesaplanmasında kullanılmıştır [13].

Her bir istasyon noktası için trafik hızına bağlı olarak eksponansiyel eğriler elde edilecektir. İstasyon noktalarından ortalama trafik hızları tespit edildikten sonra, sürtünme direnci eğrisinden ortalama hıza karşılık gelen direnç değeri alınarak modelleme aşamasında kullanılacaktır.

$$FR(60) = DFT_{20} \times e^{\frac{-60+20}{Sp}} \quad (11)$$

Bağıntıda;

$FR(60)$ = 60 km/sa hıza karşılık gelen sürtünme değeri.

Uluslararası sürtünme indeksi çalışmaları kapsamında ele alınan bağıntı ise aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$F(V) = A + B \cdot FR(V) \quad (12)$$

$$F(V) = A + B \cdot DFT_{20} \times e^{\frac{-V+20}{Sp}} \quad (13)$$

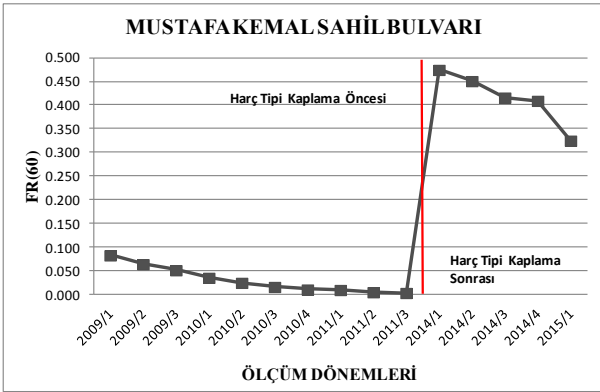
A ve B katsayıları, DFT cihazı kullanılması durumunda kullanılacak korelasyon sabitleridir. $A=0,11$; $B=0,66$ olarak alınacaktır. Bu değerler Henry ve diğ. (2000) tarafından yapılmış olan çalışma göz önüne alınarak yukarıdaki değerlere güncellenmiştir [14]. IFI, $F(60)$ ve Sp değerleri ile karakterize edilmektedir.

Burada;

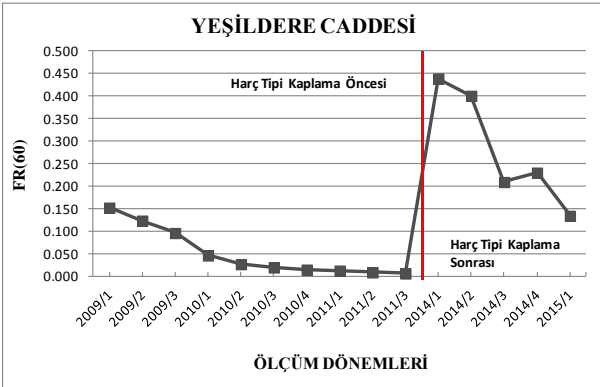
$$F(V) = \text{IFI'ya ilişkin taşıt hızına bağlı sürtünme değeri,}$$

$$F(60) = 60 \text{ km/sa değerine karşılık gelen IFI sürtünme değeri.}$$

Mustafa Kemal Sahil Bulvarında Konak Altgeçidi 3 No.lu İstasyon ve Yeşildere Caddesinde Mürselpaşa Bulvarı 2 No.lu istasyon diğer istasyon noktalarına göre imalattan sonra en az deforme olan istasyonlardır. Bu nedenle, Şekil 30 ve Şekil 31'de görülen IFI sürtünme değerleri ($FR(60)$) Mustafa Kemal Sahil Bulvarında Konak Altgeçidi 3 No.lu istasyon verileri, Yeşildere Caddesinde Mürselpaşa Bulvarı 2 No.lu istasyon verileri kullanılarak oluşturulmuştur.



Şekil 30: Mustafa Kemal Sahil Bulvarı uluslararası sürtünme indeksi eğrileri ($FR(60)$).



Şekil 31: Yeşildere Caddesi uluslararası sürtünme indeksi eğrileri ($FR(60)$).

Şekil 30 ve Şekil 31'de, aynı trafik hızına karşılık gelen sürtünme değerlerinin (örneğin $FR(60)$) ölçüm dönemleri boyunca azalma eğilimi gösterdiği görülmektedir. Bu durum trafik etkisi ile ölçüm dönemleri boyunca MTD'de azalma ile birlikte lastik-taşıtlı etkileşimini ifade eden DFT20 değerlerindeki azalmaya bağlıdır. Özellikle, ölçümlerin yapıldığı sağ şeritteki ağır araç sayısının fazla olması nedeni ile yüzeysel pürüzlülük azalarak, tekerleklerle yol yüzeyi arasındaki aderansın düşük olmasına neden olmaktadır.

Verilen iki şekilde de 2013 yılında istasyon noktalarında uygulanan yüzey iyileştirme yöntemlerinden harç tipi

kaplamaların sürtünme direncini önemli oranda arttırdığı açıkça görülmektedir.

3.5 Kaza analizleri

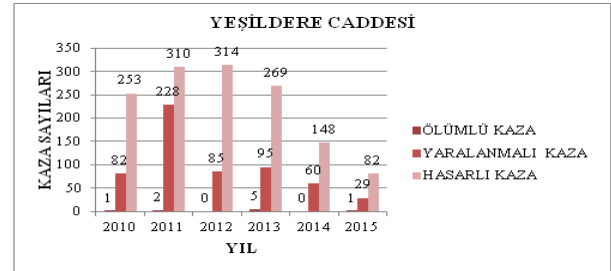
Harç tipi kaplamaların sağladığı yüksek sürtünme direncinin trafik kazaları ve yol güvenliğine etkisini incelemek amacıyla çalışma kapsamında, İzmir Emniyet Müdürlüğü'nden 2010–2015 yıllarına ait ölümlü, yaralanmalı, kamu araçlarının karıştığı kazalar ile tek araçların karıştığı kaza verileri temin edilmiştir.

İncelenen istasyon noktalarından harç tipi kaplama imalatı yapılmış olan Mürselpaşa Bulvarı Yeşildere caddesinin bir kısmını, aynı şekilde harç tipi kaplama imalatı yapılan Konak altgeçidi de Mustafa Kemal Sahil bulvarının bir kısmını kapsamaktadır. Elde edilen kaza verilerinde, kaza oluşma nedenleri yer almadığından ve kaza verilerinin tüm caddeyi kapsamaması sebebiyle bu veriler genel olarak kaplamanın performansı hakkında fikir vermesi açısından kullanılmıştır.

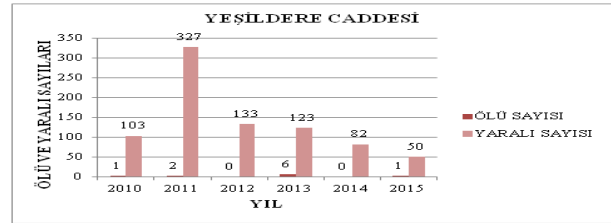
Yeşildere Caddesine ilişkin kaza verilerinin ayrıntılı analizleri Şekil 32 ve Şekil 33'te verilmiştir.

Şehir içi yol sınıflarında incelenen istasyon noktalarından Mustafa Kemal Sahil Bulvarına ait kaza verilerinin ayrıntılı analizleri ise Şekil 34 ve Şekil 35'te verilmiştir.

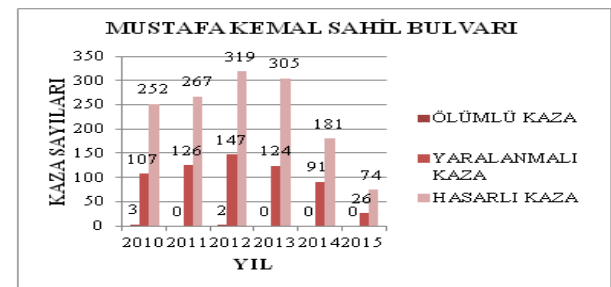
Şekillerden görüldüğü üzere, 2013 yılına kadar kazaların genel olarak artma eğiliminde olduğu görülmektedir. Harç tipi kaplama imalatının 2013 yılında yapılması ile birlikte kaza oranlarında ve ölü/yaralı sayılarında ciddi düşüşler göze çarpmaktadır.



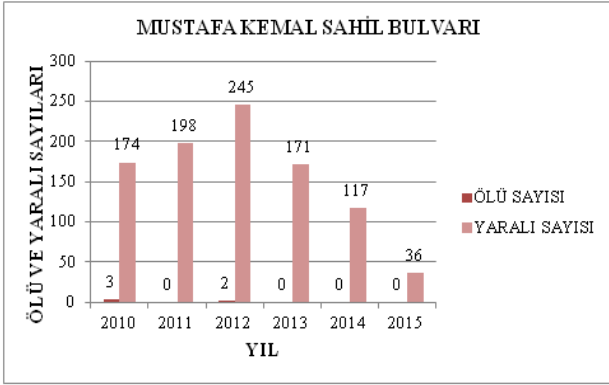
Şekil 32: Yeşildere Caddesi'ne ait kaza verileri.



Şekil 33: Yeşildere Caddesinde yaşanan kazalara ait ölü ve yaralı sayıları.



Şekil 34: Mustafa Kemal Sahil Bulvarı'na ait kaza verileri.



Şekil 35: Mustafa Kemal Sahil Bulvarında yaşanan kazalara ait ölü ve yaralı sayıları.

4 Sonuç ve öneriler

İzmir Büyükşehir Belediyesi tarafından İzmir ili sınırları içerisinde Yeşildere Caddesi, Mustafa Kemal Sahil Bulvarı, Gaziemir Esbaş altgeçidi, Gaziemir altgeçidi, Gaziemir Sarnıç altgeçidi, Karşıyaka Alaybey Tersane Kavşağı, Büyük Çiğli altgeçidi gibi önemli ana arterler ve altgeçitlerde yaşanan kazaları azaltmak amacı ile 2013 yılında harç tipi asfalt kaplama imalatı yapılmıştır. Çalışma kapsamında İzmir genelinde imalat yapılan bölgelerde önce-sonra etütlerini yapmak amacı ile TÜBİTAK MAG 108M293 No.lu araştırma projesi kapsamında belirlenen farklı istasyon noktalarından Mustafa Kemal Sahil Bulvarı ve Yeşildere Caddesi bu çalışmaya esas olmak üzere yeniden incelenmiştir.

TÜBİTAK MAG 108M293 No.lu araştırma projesi istasyonları arasından seçilen, harç tipi kaplama yapılan istasyonlara ait kum yama deneyi ve dinamik sürtünme ölçer cihazı eski verileri, bu çalışmaya esas güncel saha deneyleri ile karşılaştırıldığında, kaplamadaki yol yüzey dokusunun harç tipi kaplama yapım yılı olan 2013'de çok önemli miktarda arttığı görülmüştür. Buradan, harç tipi kaplamaların yol yüzey dokusunu iyileştirerek kaplamanın sürtünme direncini artırdığı sonucuna varılmaktadır. Bu artışın, ağır taşıt trafiğine maruz istasyon noktalarında bile 2 kata varan oranlarda daha yüksek değere sahip olduğu gözlenmektedir.

Kaplamaların sürtünme direnci, kaplama üzerinde seyir halinde bulunan araçların fren tedbirine başvurduklarında duracakları mesafe üzerinde etkilidir. Sürtünme direncindeki artış ile fren mesafesi kısalmaktadır. Sonuç olarak, harç tipi kaplamaların sağladığı yol yüzey dokusunun kaplamanın sürtünme direncini artırarak fren mesafesini kısalttığı söylenebilir. Fren mesafesinin kısılması ile yaşanacak olası ölümlü ve yaralanmalı kazalar önenebilecek ve/veya etkileri azaltılabilecektir.

Yol yüzey dokusu ve DFT deney verileri ışığında harç tipi kaplama imalatının yol güvenliğini önemli miktarda artırdığı gözlemlenmiştir. Mustafa Kemal Sahil Bulvarı ve Yeşildere Caddesinde uygulanan harç tipi kaplamaların imalat yılı 2013 olup, 2010-2015 yılları arasında yaşanan kazalar incelendiğinde, imalattan sonra yaşanan kazaların imalat öncesine göre en az %50 oranında azalma gösterdiği görülmektedir.

Ülkemizde ve diğer ülkelerde yapılan kaza istatistikleri karşılaştırıldığında, hava koşulları ve yol yüzey özelliklerinden kaynaklanan kaza oranlarının birbirinden çok farklı olduğu görülmektedir. Ülkemiz istatistiklerinde, iklim ve yol

özelliklerinden kaynaklanan kazalar, diğer ülkelerde meydana gelen kazalardan oran olarak daha düşüktür. Çoğu kez yol kusurundan meydana gelen kazalar da sürücü kusuru olarak kaza tutanaklarına işlenmekte ve böylece istatistik verilerde yol kusuru daha düşük oranda çıkmaktadır. Trafik kaza tutanaklarında fren mesafelerinin yanında, kazanın meydana geldiği yol yüzeyinin pürüzlülüğünün de belirlenmesi ve bu amaçla hızlı ve etkin bir yöntemin kullanılması gerekliliği de ortadadır.

Birçok nedenden dolayı yol yüzeylerinin makrodokusu, sürtünme ve güvenlik karakteristikleri üzerinde etkili en temel bileşendir. Özellikle yağışlı havalarda ıslak kaplama yüzeylerinde, makrodokunun suyu drene edebilme özelliği, tekerlek ve yol yüzeyi arasındaki yastıklama riskini azaltmaktadır. Bunun yanında, kaplamada zamanla meydana gelebilecek cilalanma nedeniyle Sp değeri değişebilecektir. Yol kaplama yüzeylerinde güvenli sürüş koşullarının temini için, tekerlek bandajıyla yeterli aderans sağlanmalı, sürücü ani frenleme yaptığında aracı güvenle durabilmeli, yatay dönemeçlerdeki seyri ve ani manevraları sırasında savrulmayı engellemelidir. Bu nedenle yol yüzey dokusu ve sürtünme özellikleri "affaden yollar" kavramı içinde önemli bir etkiye sahiptir.

Yol kaplamaları istenilen yüzey özelliklerini sağlamadığı takdirde, stabilite, akma, boşluk oranı vb. gibi kaplama tasarımında dikkate alınan temel kriterlerin önemi azalmaktadır. Bu nedenle, günümüzde kaplama tasarımında dikkate alınmayan, ancak yolun sahip olacağı sürtünme direnci üzerinde etkili olduğu görülen yol yüzey dokusu özelliklerinin de bir bütün olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Kalıcı deformasyon ve çatlak oluşumlarına karşı mukavim olan bir kaplama, performans açısından tasarım kriterlerini sağlamakla birlikte yüzey dokusu açısından şartname kriterlerinin altında ise kaza oluşumu açısından riskli olabilecektir. Ülkemizde geometrik düzgünlüğün önlenmesi ile ilgili ilerleme kaydedilmekle birlikte, kaplama tasarım kriterleri arasında bulunmayan yüzey dokusu (mikrodoku ve makrodoku) ve sürtünme özelliklerinin de dikkate alınması gereklidir.

KTŞ 2013'te makrodokunun kum yama yöntemi ile belirlenmesi şartname kriteri olarak belirtilmiştir. Yöntemin yağışlı hava koşullarında uygulanabilirliğinin düşük olması, akan trafik altında araçların ve havanın rüzgarından etkilenmesi, zayıf tekrarlanabilirlik, cam küreciği tane boyutundaki farklılıklar, yayılma çapı ve şeklinin operatöre göre farklılık arz etmesi, doku derinliğinin çok düşük ya da çok yüksek olduğu kaplamalar için yöntemin elverişli olmaması gibi nedenlerle güvenilirliği düşüktür. Örneğin, kalıcı deformasyonlar ve çatlak oluşumları açısından bozuk yüzey özelliklerine sahip bir kaplama, yayılan kum çapı açısından küçük değerler alacağından, yüzey dokusu açısından iyi olduğu sonucuna varılabilir.

Yüzey dokusu sadece derinlik yaklaşımı yerine, DFT gibi cihazlarla sürtünme karakteristikleri de belirlenmek sureti ile uluslararası sürtünme indeksleri (IFI) belirlenmelidir.

Çalışma sonuçları göstermektedir ki; kum yama deney sonuçları (MTD), tek başına kaplamanın yüzey dokusunun güvenilirliğini belirlemede yeterli değildir. MTD ve F(60) değerleri arasındaki değişim uyumlu değildir. Herhangi bir kaplamada, seçilen bir MTD değeri için diğer kaplamalara kıyasla daha yüksek sürtünme indeksi elde edilmiş olsa da kaplama özellikleri değerlendirilirken; Yolun hizmete açıldığı

durumdaki F(60) değeri ve bu değerin hizmet süresince ne kadar uzun süre korunabildiği, yükleme koşulları değiştiğindeki meydana gelebilecek değişiklikler de göz önüne alınmalıdır.

Trafik kaza tutanaklarının kaza oluşum nedenini yansıtabilecek şekilde düzenlenmesi, kaza verilerinin düzenli ve sağlıklı bir şekilde depolanması sağlanmalıdır. Bu sayede, trafik güvenliği açısından daha sağlıklı ve geniş çaplı araştırmaların yapılmasına da olanak sağlanacaktır.

5 Teşekkür

Bu çalışma Dokuz Eylül Üniversitesi BAP 2015 KB FEN29 proje numarası ile desteklenmiştir. Proje kapsamındaki destekleri için Dokuz Eylül Üniversitesi'ne teşekkür ederiz.

Projenin arazi çalışmaları sırasında gerekli izinlerin verilmesi, ölçümler sırasında güvenlik önlemlerinin alınması hususunda azami hassasiyeti gösterdikleri için İzmir Emniyet Müdürlüğüne ve Harç tipi kaplama işi verilerini paylaştıkları için İzmir Büyükşehir Belediyesi'ne teşekkür ederiz.

Fen Bilimleri Enstitüsü'ne Yüksek Lisans Tezi kapsamında verdikleri destekler için teşekkür ederiz.

6 Kaynaklar

- [1] Ağar E, Süttaş İ, Öztaş G. *Beton Yollar (Rijit Üstyapılar)*. İstanbul, Türkiye, İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları, 1998.
- [2] Metrayol (b.t). "Yollar Dört Mevsim Koruma Altında". <http://www.metrayol.com.tr/icerik.asp?u=3> (21.04.2015).
- [3] Slurry (b.t). "Slurry Seal". <http://www.slurry.com/index.php/specifications/39-slurry-seal> (21.04.2015).
- [4] Güneş, M. Yüzey İyileştirme Yöntemlerinden Harç Tipi Kaplamaların Yol Sürtünme Direncine Etkisinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2015.
- [5] California Department of Transportation (CALTRANS). "Maintenance Technical Advisory Guide Volume I-Flexible Pavement Preservation". 2nd Edition. Sacramento, USA, State of California Department of Transportation, Office of Pavement Preservation, Division of Maintenance, 2008.
- [6] International Organization for Standardization (ISO). "Characterization of pavement texture by use of surface profiles, part 1: Determination of mean profile depth". ISO 13473-1, 1997.
- [7] Hall JW, Glover LT, Smith KL, Evans LD, Wambold JC, Yager TJ, Rado Z. "Guide for Pavement Friction". National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, National Research Council, Washington DC., United States, Final Guide, Project No: 1-43, 2009.
- [8] Şengöz B, Tanyel S, Topal A, Gümüştekin Ş, Ağar E. "Yol Kaplama Yüzeylerinin Mikro-Makro Pürüzlülüğünün Görüntü Analiz Yöntemleri ile Belirlenmesi, Sonuçların Trafik Güvenliği Açısından Değerlendirilmesi". MAG 108M293 No.lu TÜBİTAK Projesi, Ankara, Türkiye, 2012.
- [9] American Standard of Testing Materials. "Standard Test Method for Measuring Paved Surface Frictional Properties Using the Dynamic Friction Tester". ASTM International, Volume 04, West Conshohocken, PA, United States, ASTM E1911-09, 2005.
- [10] American Standard of Testing Materials. "Standard Practice for Calculating International Friction Index of a Pavement Surface". ASTM International, West Conshohocken, PA, United States, ASTM E 1960-07, 2011.
- [11] Clark SK. "Mechanism of Pneumatic Tires". US Department of Transportation, National Highway Safety Administration, Washington, USA, 1981.
- [12] American Standard of Testing Materials. "Standard Test Method for Measuring Pavement Macrotexture Depth Using a Volumetric Technique". ASTM International, Volume 04.03, West Conshohocken, Pennsylvania West Conshohocken, PA, United States, ASTM E 965-96, 2006.
- [13] Kaçmaz B, Topal A, Şengöz B, Tanyel S. "Farklı tip esnek kaplamaların yol yüzey özelliklerinin arazi ölçümleriyle değerlendirilmesi". *İMO Teknik Dergi*, 436, 7115-7137, 2015.
- [14] Henry JJ, Abe H, Kameyama S, Tamai A, Kasahara A, Saito K. "Determination of the international friction Index (IFI) using circular texture meter (CTM) and the dynamic friction tester (DFT)". *SURF 2000: 4th International Symposium on Pavement Surface Characteristics of Roads and Airfields*, Nante, France, 22-24 May, 2000.