

## ASFALT KAPLAMALARDA DÜZGÜNSÜZLÜK DEĞERLENDİRMELERİ

Emine Nazan ÜNAL<sup>1</sup> Muhammet KOMUT<sup>2</sup> Sina KİZIROĞLU<sup>2</sup>

### ÖZET

Ülkemiz Karayolları Ağı kapsamında, yolların daha güvenli ve konforlu olarak en az onarım maliyeti ile hizmet vermesini sağlamak amacıyla rehabilitasyon ve yeni yapımı tamamlanan kaplamalar için düzgünsüzlik performans kriteri ölçüm ve değerlendirmeleri yapılmaktadır.

2009-2016 yılları arasında imalatı tamamlanan 43884 km BSK kaplamalı (şerit ölçümlü bazında) yolların profilometre ile ödemeye esas ölçümleri yapılmış ve şartname değerlerine göre 'Tam Ödeme', '%5 Kesintili Ödeme', '%10 Kesintili Ödeme' ve 'Yeniden Yapım' olan kesimler belirlenmiştir

Yapılan değerlendirme çalışmaları sonucunda, düzgünsüzlik performans kriterinin ölçümü ile imalatın kalite kontrolü yapılp belgelendirerek amaçlanan hedefe doğru ilerlemenin sağlandığı izlenmiştir.

### GİRİŞ

Düzgünsüzlik ölçümleri ile imalatın kalite kontrolü ve ayrıca kaplamaların başlangıç düzgünsüzlik değerleri belirlenmektedir. Bu doğrultuda yapılan araştırmalar, başlangıç düzgünsüzlik değerleri yüksek olan yolların, yüksek onarım maliyetleri ve taşıt işletme giderleri getirdiğini göstermiştir. Bu nedenle bu değerlerin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Başlangıç düzgünsüzlik değerlerinin iyi olması, daha uzun hizmet ömürlü, daha az bakım, rehabilitasyon ve sonuçta daha uygun maliyetli üstyapılara sahip olummasını sağlar (1).

Yeni yapılan asfalt kaplama yüzeyine ait üstyapı performans değerlerinden biri olan sürüs konforu, düzgünsüzlik değerleri ile ifade edilir. Düzgünsüzlik değerleri, profilometre test aracı ile yapılan ölçüm sonuçları ile belirlenir.

Bu test metodu ile öncelikle; serilen malzemelerin yerindeki performansı, yapım çalışmalarının teknigue uygunluğu ve hizmet süresi boyunca da hizmet kalitesi ve bakım-onarım için müdahale zamanı belirlenir.

Ülkemizde, Karayolları sorumluluk alanı içerisinde yapılan imalatlarda, 11.09.2008 tarihinden sonra ihalesi yapılan işlerde, imalat sonrası düzgünsüzlik performans kriteri aranmaya başlanmıştır. Bu kapsamında 2009 tarihinden itibaren profilometre ölçüm cihazları ile ölçümler yapılmaktadır.

---

1.Dr.Yük. Kimya Müh., KGM, ARGE Dai. Bşk., Ankara  
2.Yüksek İnşaat Müh., KGM, ARGE Dai.Bşk., Ankara

## METOD VE METODOLOJİ

Yüzey düzgünliğini belirlemek amacı ile en yaygın kullanılan indis, Düzgünsüzlük (IRI) indisidir. Bu indis yol performansının değerlendirilmesi ve üstyapı sistemlerinin yönetilmesinde kullanılan önemli bir performans kriteridir.

### Düzgünsüzlük

Düzgünsüzlük: Uluslararası Düzgünsüzlük İndeksi [International Roughness Index (IRI)] kaplamanın genel durumunu gösterir (2). Boyuna profil ölçütlerinden hesaplanır. Birimi m/km (veya in/mile) dir (ASTM E 1926) (3). Düzgünsüzlük (Sürüs konforu), trafik emniyeti ve araç işletme maliyeti değerlerinin göstergesidir.

Asfalt kaplamalara uygulanan düzgünsüzlük şartname değerleri Tablo1 de verilmektedir.

*Tablo1: Asfalt kaplama düzgünsüzlük şartname değerleri.*

Düzgünsüzlük (m/km)		
Binder Tabakası	Aşınma-TMA Tabakası	Ödeme Şekli
<1.30	<1.20	'Tam Ödeme'
1.30-1.60	1.20-1.50	%5 'Kesintili Ödeme'
1.61-1.90	1.51-1.80	%10 'Kesintili Ödeme'
>1.90	>1.80	Yeniden Yapım

### Düzgünsüzlük ölçüm cihazları

Düzgünsüzlük ölçümleri, Yol Yüzey Profil ((Road Surface Profiler -RSP) ölçüm cihazları ile yapılmaktadır. Düzgünsüzlük ölçümünde kullanılan profilometreler, Dünya Bankası Teknik Bildirisi No: 46'ya (4) ve ASTM E950 uygun ve Sınıf 1 kalitesinde üretilmiştir (5). Ölçüm düzeneği Volkswagen Transporter aracına monte edilmiştir. Şekil 1-2.

Karayolları Genel Müdürlüğünde (KGM) de bulunan profilometre ölçüm aracına 17 adet lazer sensör ile 2 adet kamera (Şekil 1), Bölge Müdürlüklerinde bulunan profilometre ölçüm araçlarına ise 2 adet lazer sensör ile 1adet kamera (Şekil 2) monte edilmiştir.

Profilometreler ve beraberindeki bilgisayar programları, üzerinde seyahat edilen yol yüzeyinin boyuna profilini, Uluslararası Düzgünsüzlük İndeksini (IRI), küresel konumunu (Diferansiyel Konum Belirleme – DGPS kullanılarak), ölçüm esnasındaki araç hızını gerçek zamanlı olarak ölçüp, hesaplayıp, sayısal ve grafiksel olarak kaydedip saklayabilmektedir.

17 lazerli 2 kameralı sisteme, 1. kamera, yol yüzeyindeki bozulmaları 2 mm çat�ak genişliği hassasiyetiyle görüntüleyebilmekte, ikinci kamera ise, daha geniş görüş açısına sahip olup, envanter verilerinin toplanmasında kullanılmaktadır. Araç üzerinde bulunan 17 adet lazer sensör, saniyede on altı bin (16000) ölçüm yapmaktadır. 2 adet doku lazer

sensörü ise saniyede otuz iki bin (32000) ölçüm yapmaktadır. 1 adet Durum Ölçüm Sensörü (IMS) yol üstyapısının enine eğimini, boyuna eğimini ve kurp yarıçaplarını ölçmektedir. 2 adet ivme ölçerle ise lazerlerin düşey hareketi takip edilmektedir. Bu düşey hareketler Uluslararası Düzgünsüzlük İndeksi (IRI) ve Sürtüş Sayısı (RN) değerlerini hesaplamak için kullanılmaktadır. Uluslararası Düzgünsüzlük İndeksi (IRI), Sürtüş Sayısı (RN), Tekerlek İzinde Oturması (TIO) birer metre aralıklarla, Makro Yüzey Dokusu (MDP) on'ar santimetre ve Geometrik Özellikler (IMS) ile Küresel Konum (DGPS) birer metre aralıklarla ölçülmektedir (6).

Profilometrelere monte edilen kameralar ile gerçek zamanlı olarak her 20 m de bir görüntüler alınıp kaydedilmektedir.



*Sekil 1: KGM de, araç ön bari üzerinde 17 adet lazer sensör bulunan profilometre.*



*Sekil 2: Bölge Müdürlüğülerinde, araç ön bari üzerinde 2 adet lazer sensör bulunan profilometreler.*

#### Düzgünsüzlük ölçümleri

Ölçümler ASTM E 950 ‘Measuring the Longitudinal Profile of Traveled Surfaces with an Accelerometer Established Inertial Profiling Reference’ standartına (5) uygun olarak yapılmaktadır. Ölçüm sırasında; ‘RSP için oluşturulmuş özel ‘Data Collection’ bilgisayar ölçüm programı kullanılmaktadır. Ayrıca araçlara yerleştirilmiş olan yüksek çözünürlüklü (High Definition - HD) kameralar ile yol yüzey ve envanter görüntüleri alınarak, alınan bilgiler, eş zamanlı olarak veri çevrimi ve birim işleme sistemleri tarafından değerlendirilerek tüm veriler ASCII formatında depolanmıştır. Ölçümler; Yol Yüzey Profilometresi ölçüm cihazları ile KGM AR-GE Daire Başkanlığı, Üstyapi Geliştirme Şubesi Müdürlüğü ve Bölge Müdürlükleri AR-GE Başmühendislikleri tarafından, yolların sağ ve sol platformlarında ve tüm şeritlerinde yapılmıştır.

#### Veri analizi

Ölçüm verileri, ASCII formatında depolanmış ve ‘Ham Veri Analizi’ ve ‘Homojen IRI’ bilgisayar programları ile analiz edilmiştir.

Yeni yapılan asfalt kaplama yüzeyine ait düzgünsüzlük değerleri proje başlangıcından itibaren, ardışık olarak ölçmek sureti ile homojen olan kısımlar belirlenmiş ve maksimum 1 er km lik kesimler halinde değerlendirilmiştir.

### ***ELDE EDİLEN VERİ VE DEĞERLENDİRMELER***

Yeniden yapımı ve rehabilitasyonu tamamlanan yollarda düzgünsüzlük kriteri uygunluk tespiti amacı ile ölçümler yapılmaktadır. 2009-2016 yılları arasında toplam serit uzunluğu 43884 km yolun IRI ölçümleri yapılmıştır.

Bu ölçümeler;

- Karayolları 1-18 Bölge Müdürlükleri (Ky.1.-18.Bl. Md.) ,
- Kamu Özel Sektör Ortaklığı Bölge Müdürlüğü (KÖSOB)
- Kuzey Marmara Otoyolu (KMO)

olmak üzere 3 ayrı kısımda değerlendirilmiştir.

Ky.1.-18. Bl. Md. dahilinde yer alan yollar 2009 tarihi itibarı ile, KÖSOB ve KMO dahilinde yer alan yollar ise 2016 yılı itibarı ile ölçülmeye başlanmıştır. Türkiye geneli 2016 yılı ölçülen yol uzunluğunun % 94,3 oranındaki büyük çoğunluğu Karayolları 1.-18. Bölge Müdürlükleri, % 3 ü KÖSOB, % 2,7 si KMO sorumluluk alanlarında olup kurumlara göre km ve % oranları Tablo 2 ve Grafik 1 de verilmiştir.

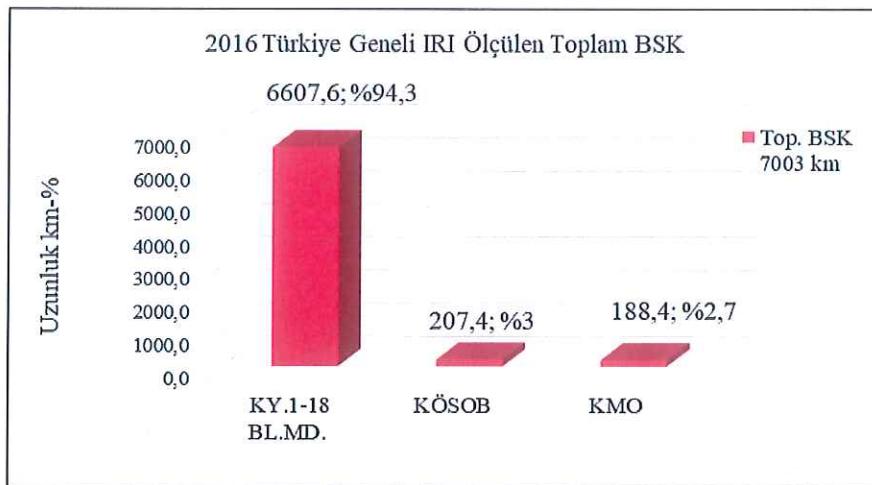
2016 yılına ait toplam 7003 km IRI ölçüm değerlendirmeleri Tablo 3 de verilmiştir.

Ölçülen kaplamaların, Tablo 1 de verilen sınıflandırmalar doğrultusunda her kriter aralığı için km uzunlukları, ayrı ayrı tespit edilerek yüzde değerleri bulunmuştur.

İmalatı tamamlanan yolların, IRI ölçümleri yapılmış, homojen kesimleri belirlenmiş ve performans seviyelerine göre Tam Ödeme, %5 Kesintili Ödeme, %10 Kesintili Ödeme ve Yeniden Yapım performans sınıflarına göre dağılımları yapılmıştır (Tablo 3).

*Tablo2:2009-2016 yılları arası ölçülen IRI km uzunlukları*

Kurum	IRI Değeri Ölçülen Yol Uzunlukları (km)		
	2009-2015	2016	2009-2016
KY.1-18 BL. MD.	36881	6608	43489
KÖSOB	-	207	207
KMO	-	188	188
Toplam	36881	7003	43884



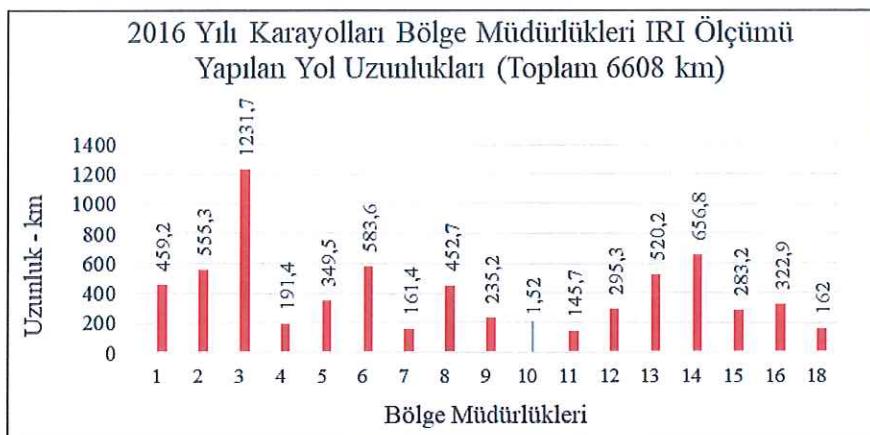
Grafik 1: 2016 yılında ölçülen IRI km uzunlukları

Tablo 3: 2016 yılında yapılan IRI ölçüm değerlendirmeleri

KURUM	Toplam		Tam Ödeme		% 5 Kesinti		% 10 Kesinti		Yeniden Ypm	
	km	%	km	%	km	%	km	%	km	%
KY.1-18 BL.MD. [% 42 B+% 58 (A+TMA)]	6608	100	6093	92	356	5	127	2	32	1
KÖSOB (% 100TMA)	207	100	205	99	2	0,96	0,10	0,04	0	0
KMO (% 100TMA)	188	100	177	94	6	3	3	2	2	1
<b>TÜRKİYE GENELİ TOPLAM BSK</b>	<b>7003</b>	<b>100</b>	<b>6476</b>	<b>93</b>	<b>364</b>	<b>5</b>	<b>130</b>	<b>2</b>	<b>34</b>	<b>1</b>

#### Karayolları Bölge Müdürlüğü 2009-2016 yıllarına ait IRI değerlendirmeleri:

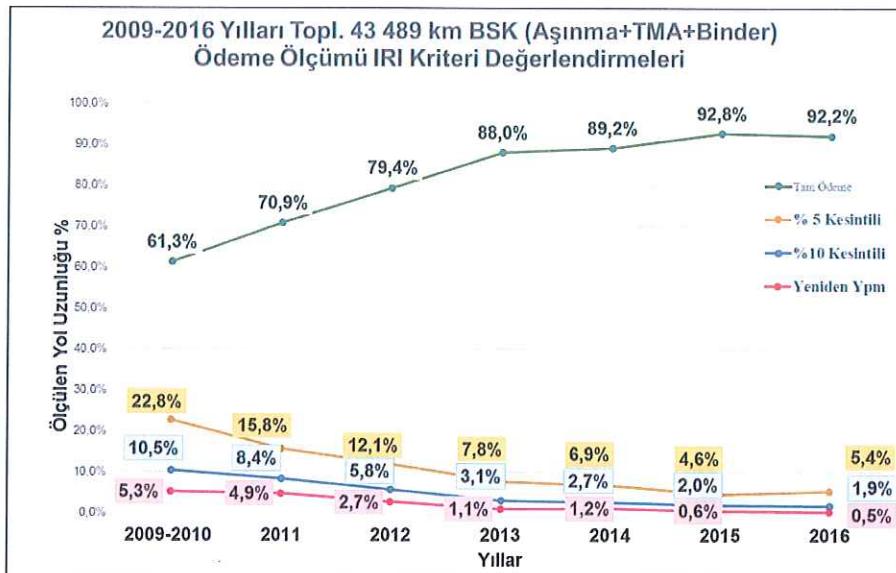
Karayolları Genel Müdürlüğü sorumluluk alanları içinde yer alan, Karayolları 1.-18. Bölge Müdürlüğü ne ait yol ağında, 2009-2016 yılları arasında Bitümlü Sıcak Karışım (BSK) kaplama olan Asfalt betonu (Binder, Aşınma) ve Taş Mastik Asfalt (TMA) kaplamalarda, düzgünşzlük ölçümleri yapılmıştır. Bu kapsamda toplam şerit uzunluğu 43489 km olan yol kesimleri teslim alınmıştır. Toplam 43489 km uzunluğun 6608 km si 2016 yılına aittir ve Bölge Müdürlüklerine göre km dağılımı Grafik 2 de verilmiştir. 2009-2016 yılları ölçülen toplam Ky.1.-18. Bl. Md. sorumluluğundaki BSK yolların düzgünşzlük kriteri değerlendirmeleri (Tablo 4,Grafik 3)verilmiştir (6).



*Grafik 2: 2016 Yılı ölçülen toplam 6608 km BSK kaplama yolların Bölge Müdürlüğü'ne göre dağılımı.*

*Tablo 4: 2009-2016 yılları ölçülen toplam KGM sorumluluğundaki BSK yolların düzgünsüzlik kriteri değerlendirmeleri.*

Ölçüm Yılı	KGM 2009-2016 Toplam BSK (Aşınma+TMA+Binder) IRI Kriteri Değerlendirmeleri												2009-2016 (Toplam)			
	2009-2010		2011		2012		2013		2014		2015		2016			
Top.Uznlk. (km,%)	1476	100%	5654	100%	8300	100%	8667	100%	6109	100%	6673	100%	6608	100%	43489	100%
Tam Ödemz	905	61,3%	4006	70,9%	6590	79,4%	7627	88,0%	5449	89,2%	6194	92,8%	6093	92,2%	36864	84,8%
% 5 Kesintili Ö.	337	22,8%	896	15,8%	1002	12,1%	673	7,8%	421	6,9%	306	4,6%	356	5,4%	3991	9,2%
%10 Kesintili Ö.	155	10,6%	475	8,4%	482	5,8%	273	3,1%	168	2,7%	132	2,0%	127	1,9%	1812	4,1%
Yeniden Ypm	79	5,3%	277	4,9%	226	2,7%	94	1,1%	71	1,2%	43	0,6%	32	0,5%	822	1,9%



Grafik 3: 2009-2016 yılları, ödeme ölçümü IRI kriterinin değerlendirme.

Ky.1-18 Bl. Md. sorumluluğunda; 2009 - 2016 yılları arasında ölçülen toplam şerit bazında 43489 km BSK kaplama düzgünlük kriterinin 8 yıllık genel değerlendirmesinde;

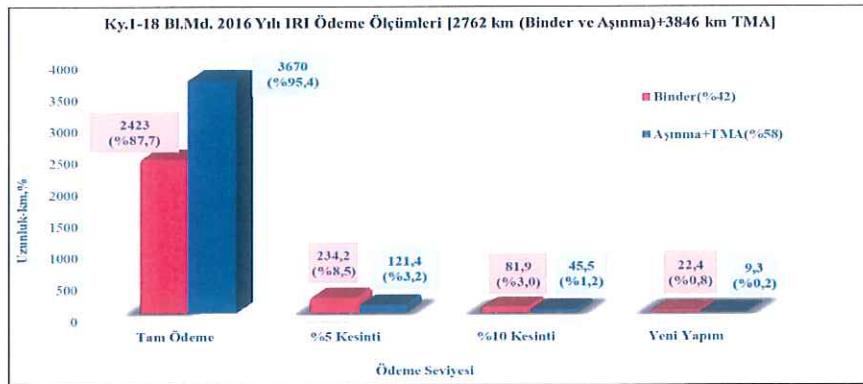
- Tam Ödeme lerin %50 oranında arttığı ( %61,3 den %92,2 ye) ,
- %5 Kesintili Ödeme lerin %76 oranında azaldığı (%22,8 den %5,4 e),
- %10 Kesintili Ödeme lerin %82 oranında azaldığı ( %10,5 den %1,9 a),
- Yeniden Yapım olan kesimlerin %91 oranında azaldığı (%5,3 den %0,5 e), tespit edilmiştir (Grafik 3).

2016 yılı IRI verilerine göre Ky.1-18 Bl. Md. tarafından imalatı yapılan 2761,5 km 'Binder' ile 3846,1 km 'Aşınma ve TMA' tabakalarına ait sonuçlar karşılaştırıldığında; Aşınma ve TMA tabakalarındaki Tam Ödemelerin daha fazla, Kesintili Ödeme ve Yeniden Yapımların daha az olduğunu ve sonuç olarak en üst yüzey tabakalarının daha konforlu yapıldığı tespit edilmiştir (Tablo 5, Grafik 4) (6).

Tablo 5: 2016 yılı toplam 'Binder', 'Aşınma ve TMA' düzgünlük kriteri değerlendirmeleri.

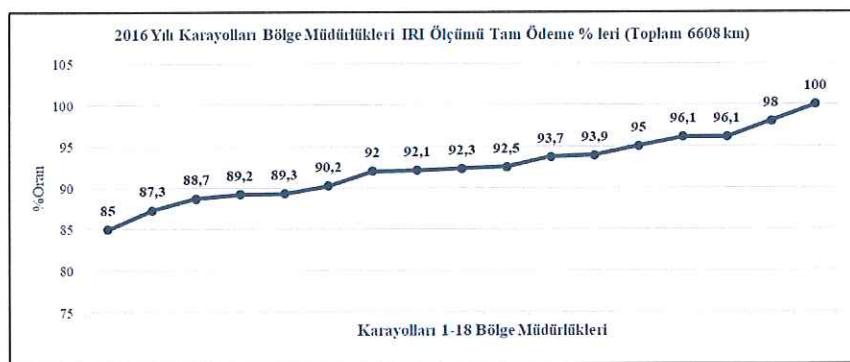
Ky.1-18 Bl.Md.	Toplam		'Tam Ödeme'		%5 Kesinti		%10 Kesinti		Yeniden Yapım	
	km	%	km	%	km	%	km	%	km	%
Toplam BSK	6607,6	100	6093,0	92,2	355,6	5,4	127,3	1,9	31,7	0,5
Binder (%42)	2761,5	100,0	2423,0	87,7	234,2	8,5	81,9	3,0	22,4	0,8
Aşınma+TMA(%58)	3846,1	100,0	3670,0	95,4	121,4	3,2	45,4	1,2	9,3	0,2

## KARAYOLU 4. ULUSAL KONGRESİ VE SERGİSİ



Grafik 4: 2016 Yılı 'Binder' ve yüzey kaplama 'Aşınma ve TMA' tabakaları IRI kriteri değerlendirmeleri.

Karayolları Bölge Müdürlüklerinde gerçekleştirilen 2016 yılı ölçümlerinde %85-%100 arasında ‘Tam Ödemelere ulaşılmıştır. (Grafik 5). İmalatı az olan Bölge Müdürlüklerinde gerçekleştirilen ölçümlerde %100 Tam Ödeme ye, imalatı fazla olan Bölge Müdürlüklerinde gerçekleştirilen ölçümlerde ise %98 ‘Tam Ödemelere erişildiği ortalama değerin %92,2 olduğu tespit edilmiştir (Grafik 5-6) (6).



Grafik 5 :2016 Yılı Karayolları Bölge Müdürlüğü IRI Ölçümü Tam Ödeme % leri



*Grafik 6 :2016 Yılı Karayolları Bölge Müdürlükleri IRI Ölçümü Tam Ödeme % leri.*

#### 2016 Yılı KÖSOB IRI ölçüm değerlendirmeleri:

KÖSOB bünyesinde, 204 km uzunluğunda yapılan yolların IRI değerlendirmelerinde, Tam Ödemenin %99, % 5 Kesintili Ödemenin %0,96, %10 Kesintili Ödemenin %0,04 mertebesinde olduğu belirlenmiştir Grafik 7.



*Grafik 7: 2016 Yılı KÖSOB IRI değerlendirmeleri*

#### 2016 Yılı KMO IRI ölçüm değerlendirmeleri:

KMO bünyesinde, 188 km uzunluğunda yapılan yolların IRI değerlendirmelerinde, Tam Ödemenin %94, % 5 Kesintili Ödemenin %1, %10 Kesintili Ödemenin %1,5 mertebesinde Yeniden Yapım değerinin %1,1 olduğu, tespit edilmiştir Grafik 8.



Grafik 8: 2016 Yılı KMO IRI değerlendirmeleri

## SONUÇLAR

Yeni yapımı ve rehabilitasyonu tamamlanan yolların ‘Yol Üstyapısı Düzgünsüzlük Kriteri ve Ödeme Koşulları Şartnamesi’ gereğince teslim alınması ve ödemelerin performans sınıflarına göre yapılması, imalat kalitesini sayısal indislerle ifade edip kaliteyi kontrol edebilme olanağı vermiş ve performansı daha yüksek yolların hizmete girmesini sağlamıştır.

Düzgünsüzlük performans kriterlerine ilişkin ödeme ölçümleri 2009 yılında başlanmıştır. 2009-2016 yılları arasında toplam şerit bazında 43884 km yol ölçülmüş olup, 7003 km si 2016 yılına aittir. 2016 yılına ait 7003 km nin 6608 km si Ky.1-18 Bl. Md. ieri dahilinde olup 207 km si KÖSOB ve 188 km si KMO sorumluluk alanı içinde yer almaktadır. Bu ölçümlere ait değerlendirmeler aşağıda verilmiştir.

### Ky.1-18 Bölge Müdürlüklerine ait IRI performans değerlendirmelerinde;

Ky.1-18 Bölge Müdürlükleri sorumluluk alanı içerisinde ölçülen yollar, 2016 Türkiye geneli toplam 7003 km yol uzunluğunun %94,3 ünү (6608 km) oluşturmaktadır. (Grafik 1) (6).

Karayolları 1.-18. Bölge Müdürlüklerinde gerçekleştiren ölçümlerde %85-%100 arasında Tam Ödemelere ulaşılmıştır. 2009-2016 yıllarını kapsayan 8 yıllık sürecin genel değerlendirmelerine göre;

- Tam Ödemelerin %61,3 den %92,2 ye arttığı,
- %5 Kesintili Ödemelerin %22,8 den %5,4 e düştüğü,
- %10 Kesintili Ödemelerin %10,5 den %1,9 ye düştüğü,
- Yeniden Yapımların %5,3 den %0,5 e düştüğü, tespit edilmiştir.
- Ayrıca, 2016 yılı verilerine göre; toplam ölçülen yolan %58 oranındaki ‘Aşınma ve TMA’ üst yüzey kaplamalarının, %48 oranındaki binder kaplamalara oranla daha konforlu imal edildiği belirlenmiştir. Aşınma ve TMA da Tam Ödemelerin %95,4 ‘Yeniden Yapım’ ların %0,2, binder kaplamalarda Tam Ödemelerin %87,7 Yeniden Yapımların %0,8 olduğu gözlenmiştir.

*Kamu Özel Sektör Ortaklığı Bölge Müdürlüğü IRI performans değerlendirmeleri:*

KÖSOB sorumluluğunda yapılan yollarda, Türkiye geneline göre %3 oranında ölçüm yapıldığı ve Tam Ödemelerin %99 lara ulaştığı belirlenmiştir.

*Kuzey Marmara Otoyollarına ait IRI performans değerlendirmeleri:*

KMO sorumluluğunda yapılan yollarda, Türkiye geneline göre %2,7 oranında ölçüm yapıldığı ve Tam erin % 94 lere ulaştığı tespit edilmiştir.

*Üstyapı Yönetim Siteminin Geliştirilmesi Çalışmalarına Katkı Değerlendirmeleri:*

Yeni yapılan kaplamaların kalite kontrol çalışmaları aynı zamanda Üstyapı Yönetim Sistemi çalışmalarının da önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Bu çalışmaların sonucunda, proje ömrü 20 yıl olarak planlanıp yapılan yolların gerçek ömrü belirlenecek ve performans modelleri oluşturulacaktır.

2009 yılından itibaren ölçüm yapılan kaplamalardaki IRI performans artışı; konforlu ve güvenli yolların hizmete sunulduğunu göstermeye olup hizmet ömrü boyunca gerekecek bakım-onarım maliyetlerini de en aza indirecektir. Bu kapsamında yapılacak çalışmalarla: ilerleyen zamana karşı farklı performans seviyelerindeki yolların hizmet ömrü belirlenecek ve servis süresince gerekecek bakım-onarım maliyetleri tespit edilebilecektir.

**KAYNAKLAR**

- 1.ZAGHLOUL S, (2007), Development of Objective Payment Adjustment Criteria for Nova Scotia' 2007 Annual Conference of the Transportation Association of Canada.
- 2.The Little Book of Profiling, Sayers, M. and Karamihas, S., The Regent of the University of Michigan, Michigan. 1998.
- 3.ASTM E 1926 -98 (1998) "Standard Practice for computing International Roughness Index of Roads from Longitudinal Profile Measurements".
- 4.Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements, World Bank Technical Paper . Number 46. The World Bank, Sayers, M., Gillespie, T. and Paterson, W., Washington, 1986.
- 5.ASTM E 950/E950M-09 Standard Test Method for Measuring the Longitudinal Profile of Traveled Surfaces with an Accelerometer Established Inertial Profiling Reference.
- 6.Ünal E. N., Komut M., Demir B., (2017) 'Yeni Yapılan Asfalt Kaplamalarda Düzgünsülük Değerlendirmeleri' 7.Uluslararası Asfalt Sempozyumu Ve Sergisi, Ankara.

