

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YOL KAPLAMA YÜZEYLERİNDE
MİKRO-MAKRO PÜRÜZLÜLÜK
DEĞİŞKENLERİNİN YOL GÜVENLİĞİ
AÇISINDAN İNCELENMESİ

Bülent KAÇMAZ

Şubat, 2014
İZMİR

**YOL KAPLAMA YÜZEYLERİNDE
MİKRO-MAKRO PÜRÜZLÜLÜK
DEĞİŞKENLERİNİN YOL GÜVENLİĞİ
AÇISINDAN İNCELENMESİ**

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Doktora Tezi

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Ulaştırma Programı

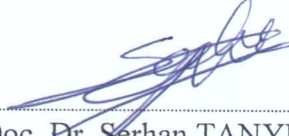
Bülent KAÇMAZ

Şubat, 2014

İZMİR

DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

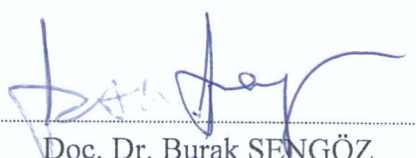
BÜLENT KAÇMAZ, tarafından DOÇ. DR. SERHAN TANYEL yönetiminde hazırlanan “YOL KAPLAMA YÜZEYLERİNDE MİKRO-MAKRO PÜRÜZLÜLÜK DEĞİŞKENLERİNİN YOL GÜVENLİĞİ AÇISINDAN İNCELENMESİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir doktora tezi olarak kabul edilmiştir.


Doç. Dr. Serhan TANYEL

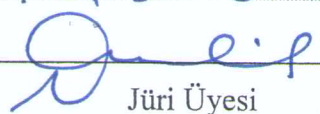
Yönetici


Doç. Dr. Doğan KARAKUŞ

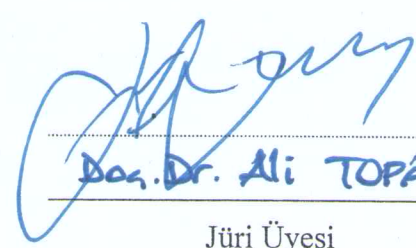
Tez İzleme Komitesi Üyesi


Doç. Dr. Burak ŞENGÖZ

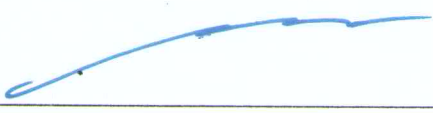
Tez İzleme Komitesi Üyesi


Prof. Dr. Osman Nuri ÇETİK

Jüri Üyesi


Doç. Dr. Ali TOPAL

Jüri Üyesi


Prof. Dr. Ayşe ÖKUR

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans ve doktora öğrenimim sürecince tüm akademik çalışmalarında büyük özverisi ve emeği bulunan, doktora tezimin her aşamasında bilgi birikim ve yönlendiriciliğini hiç esirgemeyen değerli hocam ve tez danışmanım Sn. Doç. Dr. Serhan TANYEL'e gösterdiği yakın ilgi, sonsuz yardımları ve sabrı için şükranlarımı sunarım.

Tez izleme aşamaları boyunca, yol gösterici değerli görüş ve değerlendirmeleri ile, tezimin son şeklini almasında büyük katkıları bulunan değerli hocalarım Sn. Doç. Dr. Burak ŞENGÖZ'e ve Sn. Prof. Dr. İsmet ÖZGENÇ'e teşekkürlerimi sunarım. Tezin oluşmasındaki büyük katkıları nedeni ile TÜBİTAK projesi yürütücüsü Sn. Doç. Dr. Burak ŞENGÖZ'e ayrıca teşekkür ederim.

TÜBİTAK projesi kapsamındaki arazi çalışmalarında verdiği destek, verilerin değerlendirilmesi konusundaki katkıları ve tezimin son dönemlerinde elde ettiğim sonuçları yorumlanması ve karşılaştığım bir takım problemlerin üstesinden gelmemde ilgi ve desteğini benden esirgemeyen Sn. Doç. Dr. Ali TOPAL'a teşekkür ederim.

TÜBİTAK projesi danışmanı İstanbul Teknik Üniversitesi Öğretim üyesi Sn. Prof. Dr. Emine AĞAR'a değerli görüş ve önerileri için şükranlarımı sunarım.

Tübitak Projesi araştırmacılarından İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Öğretim üyesi Sn. Yrd. Doç. Dr. Şevket GÜMÜŞTEKİN'e tez çalışmalarım boyunca özellikle görüntü analizi konusunda verdiği destek, yaratıcı fikirleri ve değerli katkıları için teşekkür ederim.

Tübitak projesi bursiyeri Sn. Çağrı GÖRKEM'e arazi çalışmalarında verdiği destek ve verilerin bilgisayar ortamına aktarılması konusundaki katkıları için teşekkür ederim.

Bu alışma TÜBİTAK MAG 108M293 nolu proje kapsamında desteklenmiştir. TÜBİTAK'a destekleri nedeni ile teşekkür ederim.

Proje kapsamında yapılan tüm ölçüm ve gözlemler sırasında verdikleri destekler için, İzmİr Emniyet Müdürlüğü ve Karayolları 2. Bölge Müdürlüğü'ne teşekkür ederim. Gerekli izinlerin alınması ve trafik verilerinin temin edilmesi konusunda verdikleri destek için Emniyet Müdürü Sn.Olcay CEVİZ ve Karayolları Otoyol İşletme Başmühendisi Sn. İbrahim KURşUN'a teşekkürlerimi sunarım.

Dokuz Eyll Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'ne ve ğrenci işleri çalışanlarına doktora tezi kapsamında verdikleri destek için teşekkür ederim.

Hayatta karşıma çıkan tüm engellere benim önümde, benden önce göğüs geren abi olmayı herkesten daha iyi bilen Ağabeyim Serkan KAÇMAZ ve eşi Sedef KAÇMAZ'a,

Tüm hayatım boyunca güven ve desteklerini hiç eksiltmeyen, aile olmanın değeriinin vazgeçilmezliğini öğreten ve beni bu günlere getiren, Annem Fikriye KAÇMAZ ve Babam Mehmet KAÇMAZ'a,

Tanıştığımız günden beri soluk almadan çalışmama bitmeyen sabrı, özveri ve desteğiyile hep yanımda olan hayat arkadaşım, eşim Funda KAÇMAZ'a,

Tketilemeyecek hayat enerjisini bana hediye eden oğlum MERT'e,

Sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bülent KAÇMAZ

YOL KAPLAMA YÜZEYLERİNDE MİKRO-MAKRO PÜRÜZLÜLÜK DEĞİŞKENLERİNİN YOL GÜVENLİĞİ AÇISINDAN İNCELENMESİ

ÖZ

Modern bir karayolu, taşıtların güvenli, konforlu ve ekonomik bir şekilde seyretmelerine olanak sağlamalıdır. Günümüzde otomotiv endüstrisinde meydana gelen hızlı gelişmelerin taşıt hızlarının dolayısı ile trafik kazalarının artışına neden olduğu göz önüne alındığında, güvenlik ihtiyacı yukarıda belirtilen üç zorunluluk içinde öne çıkmaktadır. Karayolunda güvenli bir sürüşün sağlanabilmesi için, taşıt tekerlek bandajı ile yol yüzeyi arasında oluşan sürtünme direncinin belirli bir düzeyde 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 havalarda, yüksek taşıt hızlarında yol yüzeyi ile tekerlek bandajı arasında oluşan sürtünme direnci çok küçük değerlere inebilmektedir. Bu alandaki çalışmalar, sürtünme direncindeki azalmanın trafik kazalarını arttırdığını ortaya koymuştur. Bu bakımdan kaplamaların sürtünme direncinin belirli periyotlarla ölçülerek değerlendirilmesi gerekmektedir. Üzerinde durulması gereken diğer önemli faktör sürtünme direnci ile birlikte değerlendirilmesi gereken yol kaplamalarının yüzey doku derinliği ve yüzey profil derinlikleridir.

Trafik yüklerine bağlı olarak kaplama yüzeyinin cilalanması ile kaplama yüzey dokusunu değiştirmektedir. Günümüzde, gelişen teknolojinin imkanlarını da kullanarak kaplama yüzey dokusunun belirlenmesine yönelik çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışma kapsamında İzmir ve çevresindeki farklı esnek yol kaplaması sınıflarına ait istasyon noktalarında üçer aylık periyotlarda 3B Lazer tarama sistemi ile ASTM E 1845-09 'e göre ortalama profil derinlikleri (MPD) ölçülmüş; 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 ve İngiliz Sarkacı ile ölçülen sürtünme direnci ölçüm sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen veriler Emniyet ve TRAMER'den temin

edilen kaza istatistikleri ile birlikte aynı noktalardaki trafik özellikleri ile ilişkilendirilerek çeşitli modeller türetilmiştir.

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

**THE INVESTIGATION OF MICRO-MACRO PAVEMENT
SURFACE ROUGHNESS CHARACTERISTICS FROM ROAD SAFETY
POINT OF VIEW**

ABSTRACT

A modern highway must be capable of providing 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 the friction resistance between the vehicle tire and surface should be in certain level. The surface of a highway on the other hand must provide enough adherences between the tread 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, 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 of the road must be evaluated periodically. The mean surface texture depth as well as the mean profile depth of the road on the other hand must be evaluated with the frictional characteristics.

The deterioration due to the traffic loads, especially polishing effect, involves a change in the surface texture. In recent years, efforts are needed to develop more advanced technologies for evaluating pavement surface texture. In this thesis, the 3D laser scanner was utilized to quantify the mean profile depth (MPD) of the observation points in İzmir that belong to different road category according to ASTM E 1845–09. The British pendulum as well as the dynamic friction test will also be applied to evaluate the frictional characteristics of the same road sections. The gathered data together with the traffic characteristics will be linked with the traffic accident data obtained from Security General Directorate of İzmir in order to build various models.

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

İÇİNDEKİLER

Sayfa

DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ.....	v
ABSTRACT.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xiii
TABLolar LİSTESİ	xix
BOLÜM BİR - GİRİŞ.....	1
BÖLÜM İKİ - YOL YÜZEY DOKUSU VE SÜRTÜNME.....	5
2.1 Yol Yüzey Dokusu	5
2.1.1 Yol Yüzey Dokusunu Etkileyen Faktörler	9
2.1.2 Doku Derinliği	10
2.1.3 Yol Dokusu Ölçüm Yöntemleri.....	11
2.2 Sürtünme Direnci	13
2.2.1 Tanım.....	14
2.2.2 Boyuna Sürtünme Kuvveti	15
2.2.3 Enine (Yanal) Sürtünme Kuvveti	17
2.2.4 Sürtünme Mekanizmaları.....	18
2.2.5 Sürtünme Direncini Etkileyen Parametreler	20
2.2.5.1 Kaplama Yüzey Özellikleri	21
2.2.5.2 Trafik Özellikleri	22
2.2.5.3 Lastik Özellikleri	23
2.2.5.4 Çevresel Etkenler	24
2.2.6 Sürtünme Direnci Ölçüm Yöntemleri.....	25
2.3 Sürtünme İndeksi.....	28
2.3.1 Uluslararası Sürtünme İndeksi (IFI)	29
2.3.2 Rado IFI Modeli	32

BÖLÜM ÜÇ - TRAFİK AKIM KARAKTERİSTİKLERİ VE TRAFİK KAZALARI 34

3.1 Akım Yoğunluk İlişkisi ve Yoğunluğun Elde Edilmesi.....	36
3.2 Hız–Yoğunluk İlişkisi	37
3.3 Hız–Akım İlişkisi	38
3.4 Trafik Kazaları	39
3.4.1 Trafik Kaza Etüdları	42
3.4.2 Trafik Kazaları- Sürtünme Direnci-Yol Dokusu İlişkileri.....	46

BÖLÜM DÖRT - İSTASYON NOKTALARININ BELİRLENMESİ 52

4.1 Otoyol ve Çevre Yolu Niteliği Taşıyan Yollar	56
4.1.1 Karşıyaka Tünelleri	56
4.2 Şehirlerarası Yollar	57
4.2.1 İzmir – Menderes – Torbalı Ayrımı (Kısıkköy)	57
4.2.2 İzmir – Yeni Foça Ayrımı.....	57
4.2.3 İzmir – Eski Foça Ayrımı	58
4.3 Transit Yollar	59
4.3.1 Altinyol.....	59
4.3.2 Ankara Caddesi Özkanlar Üstgeçit.....	60
4.3.3 Yeşildere Caddesi	61
4.4 Şehir İçi Yollar	62
4.4.1 Mustafa Kemal Sahil Bulvarı	62
4.4.2 Yeni Girne Caddesi.....	63
4.4.3 Mustafa Kemal Caddesi (Özkanlar Migros Önü).....	64
4.4.4 Manavkuyu Köprülü Kavşak Bağlantısı.....	65
4.4.5 Menderes Caddesi-Heykel/Buca	66
4.5 Belirlenen İstasyon Noktalarındaki Yol Kaplaması Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi.....	67
4.6 Belirlenen istasyon noktalarına ait trafik akımının genel özellikleri	71

BÖLÜM BEŞ - YOL YÜZEY DOKUSU VE SÜRTÜNME DİRENCİ ÖLÇÜMLERİ..... 78

5.1 British Pendulum (İngiliz Sarkacı) Deneyi:-AASHTO T 278-90 /ASTM E303-93	78
5.2 Dinamik Sürtünme Ölçer Testi	83
5.3 Kum Yama Yöntemi ASTM E 965-96	94
5.4 Lazer Tarama Sistemiyle Ortalama Profil Derinliğinin Belirlenmesi.....	100
5.4.1 Metris Lazer Tarama Sistemi.....	100
5.4.2 Ortalama Profil Derinliğinin (MPD) Hesaplanması ve Ana Bileşen Tahlili ile Veri Normalizasyonu.....	106
5.5 Ortalama Profil Derinliği-Doku Derinliği (MPD-MTD) İlişkisi	112
5.6 Sürtünme İndeks Sonuçları	114

BÖLÜM ALTI - KAZA ANALİZLERİ VE DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ

..... 122

6.1 Otoyol ve Çevre Yolu Niteliği Taşıyan Yollar	123
6.2 Şehirlerarası Yollar	123
6.2.1 Kısıkköy.....	124
6.2.2 İzmir – Yeni Foça Ayrımı.....	126
6.2.3 İzmir – Eski Foça Ayrımı	127
6.3 Transit Yollar	128
6.3.1 Yeşildere Caddesi..	132
6.4 Şehir İçi Yollar	133
6.4.1 Mustafa Kemal Sahil Bulvarı (Göztepe Vapur İskelesi Üstgeçidi).....	133
6.4.2 Yeni Girne Caddesi.....	135
6.4.3 Özkanlar Migros Önü (M. Kemal Cad.).....	136
6.4.4 Manavkuyu Köprülü Kavşak Bağlantısı.....	138
6.4.5 Menderes Caddesi.....	139
6.4.6 Dönemsel Kaza Değişimleri	141

BÖLÜM YEDİ - DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ..... 143

7.1 Deney Sonuçları	143
7.1.1 Tüm İstasyon Noktaları	143
7.1.2 Aynı Tip Kaplamaların Değerlendirilmesi	150

7.1.3 Farklı Tip Kaplamaların Değerlendirilmesi.....	154
7.2 Trafik akım özelliklerinin değerlendirilmesi.....	162
7.3 Kaza–Sürtünme İlişkisine Olasılık Temelli Yaklaşım	166
7.3.1 Olasılık Temelli Yaklaşım İle Kaza–Sürtünme İlişkinin – Değerlendirilmesi	169
7.3.2 Şerit Bazında Olasılık Temelli Yaklaşım İle Kaza–Sürtünme İlişkinin Değerlendirilmesi	178
BÖLÜM SEKİZ - SONUÇ VE ÖNERİLER.....	183
KAYNAKLAR.....	186
EKLER	194

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Yol yüzeyinin geometrik özelliğini belirten şema	5
Şekil 2.2 Yol yüzey doku bileşenleri	7
Şekil 2.3 Pürüzlük dalga boyunun kaplama tekerlek etkileşimi üzerinde etkileri	8
Şekil 2.4 Farklı kayma hızlarında kaplama tekerlek etkileşimi üzerinde yol yüzey dokuların etkisi	9
Şekil 2.5 Hareketli tekerlek üzerinde etkiyen yükler	14
Şekil 2.6 Kuru satıh üstünde sabit hızda ve serbest hareketli tekerlek üzerinde yuvarlanma direnimi.	16
Şekil 2.7 Kuru satıh üstünde sabit frenleme esnasında tekerlek üzerinde etkiyen yükler.....	16
Şekil 2.8 Sürtünme-tekerlek kayma ilişkisi	17
Şekil 2.9 Yatay kurbta taşıta etkiyen kuvvetler	17
Şekil 2.10 Yol yüzeyi-tekerlek sürtünme mekanizması.....	18
Şekil 2.11 Kayma hızının sürtünme bölümleri üzerine etkisi	20
Şekil 2.12 Mikro ve makro pürüzlülük	21
Şekil 2.13 Kaplama cinsine göre sürtünme direnç değişimi	22
Şekil 2.14 Sürtünme direnci-hız ilişkisi	23
Şekil 2.15 Yoldan istenilen ve mevcut sürtünme direnci hız eğrileri	23
Şekil 2.16 Su filmi kalınlığı-sürtünme ilişkisi	24
Şekil 2.17 Kuru yüzeyde lastik ile sürtünme arasındaki ilişki	28
Şekil 2.18 Doku derinliği ve sürtünme arasındaki ilişki	30
Şekil 2.19 Uluslararası kayma indeksi modeli (IFI)	32
Şekil 2.20 Uluslararası kayma indeksi (IFI) modeli	32
Şekil 3.1 Akım – yoğunluk ilişkisi.....	37
Şekil 3.2 Hız – yoğunluk ilişkisi	38
Şekil 3.3 Hız–hacim ilişkisi	38
Şekil 3.4 Hacim – yoğunluk ve hız parametreleri arasındaki ilişkiler	39
Şekil 3.5 Yağmurlu hava kazaları ile kayma direnci ilişkisi.....	47

Şekil 3.6	Yüzey kayma direnimi ile kaza oranları (Schulze, Gerbaldi ve Chavet, 1976).....	50
Şekil 4.1	İzmir ili ve çevresini birbirine bağlayan karayolu ağı (Türkiye Cumhuriyeti Ulaştırma Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü [KGM], 2008).....	53
Şekil 4.2	Karşıyaka Tünelleri, ölçüm yapılan yer ve yol sathının durumu.	56
Şekil 4.3	İzmir-Menderes-Torbalı ayrımı (Kısıkköy), genel görünüm.....	57
Şekil 4.4	İzmir-Yeni Foça ayrımı, ölçüm yapılan yer ve yol sathının durumu.....	58
Şekil 4.5	İzmir-Eski Foça ayrımına ait genel görünüm ve yüzey yapısı	59
Şekil 4.6	Altınyol, ölçüm yapılan yer ve yol sathının durumu.	60
Şekil 4.7	Ankara Caddesi (Özkanlar), ölçüm yapılan yer ve yol sathının durumu.	61
Şekil 4.8	Yeşildere genel görünüm, ölçüm yapılan yer ve yol sathının durumu	62
Şekil 4.9	M. Kemal Sahil Bulvarı, genel görünüm, ölçüm yapılan yer ve yol sathının durumu.	63
Şekil 4.10	Yeni Girne Caddesi, genel görünüm, ölçüm yapılan yer ve yol sathının durumu.	64
Şekil 4.11	Mustafa Kemal Caddesi (Özkanlar Migros önü ölçüm yapılan yer ve yol sathının durumu.	65
Şekil 4.12	Manavkuyu Köprülü Kavşak Bağlantısı, ölçüm yapılan yer ve yol sathının durumu.....	66
Şekil 4.13	Menderes Caddesi, ölçüm yapılan yer ve yol sathının durumu	67
Şekil 4.14	Sayaç programının genel görünüşü.....	72
Şekil 5.1	British pendulum deney cihazı.....	79
Şekil 5.2	British pendulum deney cihazı kauçuk pabucu	79
Şekil 5.3	Kauçuk pabucun sıcaklığa bağlı sertlik değişim faktörleri.....	79
Şekil 5.4	BPN deney sonuçları	81
Şekil 5.5	Dinamik Sürtünme Ölçer(DFT) cihazında dönen diske etkiyen kuvvetler	84
Şekil 5.6	Dinamik sürtünme ölçer test cihazı (Ölçüm Sistemi, Kontrol Ünitesi, Ölçüm Ünitesi Döner Disk, Veri transferi)	85
Şekil 5.7	Kuru yüzeyde lastik ile sürtünme arasındaki ilişki.....	85
Şekil 5.8	Hıza bağlı DFT değerinin genel değişimi.....	86

Şekil 5.9 Banket No.1 DFT20-sıcaklık değişimi	89
Şekil 5.10 Banket No.3 DFT20-sıcaklık değişimi	90
Şekil 5.11 Sıcaklığa bağlı DFT20 değişimleri	91
Şekil 5.12 Ölçüm dönemleri boyunca DFT20 değişimleri	93
Şekil 5.13 Kum yama deneyi	95
Şekil 5.14 Kum yama yönteminde kullanılan cam kürecikleri ve yöntemin uygulanması	95
Şekil 5.15 Kum yama deneyi ile ortalama doku derinlikleri (MTD).....	98
Şekil 5.16 Metris lazer tarama sistemi	100
Şekil 5.17 Lazer tarama sistemi ve yazılımı için geliştirilen taşıma aparatı	101
Şekil 5.18 Lazer kola ait eksenlerin yazılıma tanıtılması	102
Şekil 5.19 “Autoset Laser” komutuyla lazer şiddetinin ayarlanması.....	102
Şekil 5.20 Lazer probe işaretçisi (marker) ve yerlerin yazılıma tanıtılması	102
Şekil 5.21 “Prescan” komutuyla tarama yapılacak yerin alanı, hacmi ve sınırlarının belirlenmesi	103
Şekil 5.22 Lazer tarama sistemiyle yüzeyden veri alınması	103
Şekil 5.23 İşaretçinin yerlerinin sisteme tanıtılması ve veri karşılaştırılması.....	104
Şekil 5.24 Metris Lazer Tarama Sistemi alınan bazı yüzey profillerinin 3 boyutlu simülasyonu ile yol yüzey görüntüleri	105
Şekil 5.25 Ortalama profil derinliği hesap işlemi	108
Şekil 5.26 Yol yüzeylerinden düşey kesitlerin çıkarılması	109
Şekil 5.27 Altınyol istasyon noktası yol yüzey profili.....	110
Şekil 5.28 Karşıyaka Tüneller yol yüzey profili	110
Şekil 5.29 İstasyon noktalarına ait ortalama profil derinlik değişimi	111
Şekil 5.30 MTD-MPD ilişkisi	112
Şekil 5.31 MTD-MPD modellerinin karşılaştırılması.....	114
Şekil 5.32 Lazer tarama sistemi ile tayin edilmiş “a” ve “b” katsayıları	116
Şekil 5.33 İstasyon noktaları bazında uluslararası sürtünme indeks eğrileri (a-o) .	120
Şekil 6.1 Kısıkköy’e ait kaza şekilleri oranı	124
Şekil 6.2 Kısıkköy’e ait yıl bazında kaza şekilleri	124
Şekil 6.3 Kısıkköy’e ait yağışlı hava kazaları	125

Şekil 6.4	Kısıkköy’e ait birinci, ikinci ve üçüncü dönem kaza şekilleri karşılaştırmaları.....	125
Şekil 6.5	İzmir – Yeni Foça ayırımına ait kaza şekilleri oranı.....	126
Şekil 6.6	İzmir – Yeni Foça ayırımına ait yıl bazında kaza şekilleri	126
Şekil 6.7	İzmir – Yeni Foça ayırımına ait yağışlı hava kazaları	127
Şekil 6.8	İzmir – Yeni Foça ayırımına ait ölçüm dönemleri bazında kaza şekilleri karşılaştırmaları.....	127
Şekil 6.9	İzmir – Eski Foça ayırımına ait kaza şekilleri oranı	127
Şekil 6.10	İzmir – Eski Foça ayırımına ait yıl bazında kaza şekilleri.....	128
Şekil 6.11	İzmir – Eski Foça ayırımına ait ölçüm dönemleri bazında kaza şekilleri karşılaştırmaları.....	128
Şekil 6.12	Altınyol Caddesi’ne ait kaza şekilleri oranı.....	129
Şekil 6.13	Altınyol Caddesi’ne ait kaza şekilleri	129
Şekil 6.14	Altınyol Caddesi’ne ait yağışlı hava kazaları	129
Şekil 6.15	Altınyol Caddesi’ne ait ölçüm dönemleri bazında kaza şekilleri karşılaştırmaları.....	130
Şekil 6.16	Özkanlar Üstgeçidi’ne ait kaza şekilleri oranı.....	130
Şekil 6.17	Özkanlar Üstgeçidi’ne ait kaza şekilleri	131
Şekil 6.18	Özkanlar Üstgeçidi’ne ait yağışlı hava kazaları.....	131
Şekil 6.19	Özkanlar Üstgeçidi’ne ait ölçüm dönemleri bazında kaza şekilleri karşılaştırmaları.....	131
Şekil 6.20	Yeşildere Caddesi’ne ait kaza şekilleri oranı.....	132
Şekil 6.21	Yeşildere Caddesi’ne ait yıl bazında kaza şekilleri	132
Şekil 6.22	Yeşildere Caddesi’ne ait yağışlı hava kazaları	132
Şekil 6.23	Yeşildere Caddesi’ne ait ölçüm dönemleri bazında kaza şekilleri karşılaştırmaları.....	133
Şekil 6.24	M. Kemal Sahil Bulvarı'Na ait kaza şekilleri oranı	133
Şekil 6.25	M. Kemal Sahil Bulvarı'na ait yıl bazında kaza şekilleri.....	134
Şekil 6.26	M. Kemal Sahil Bulvarı'na ait yağışlı hava kazaları.....	134
Şekil 6.27	M.Kemal Sahil Bulvarı'na ait dönemler bazında kaza şekilleri karşılaştırmaları.....	134
Şekil 6.28	Yeni Girne Caddesi’ne ait kaza şekilleri oranı	135

Şekil 6.29	Yeni Girne Caddesi'ne ait yıl bazında kaza şekilleri.....	135
Şekil 6.30	Yeni Girne Caddesi'ne ait yağışlı hava kazaları.....	135
Şekil 6.31	Yeni Girne Caddesi'ne ait dönemler bazında kaza şekilleri karşılaştırmaları.....	136
Şekil 6.32	Özkanlar Migros önüne ait kaza şekilleri oranı	136
Şekil 6.33	Özkanlar Migros önüne ait yıl bazında kaza şekilleri.....	137
Şekil 6.34	Özkanlar Migros önüne ait yağışlı hava kazaları.....	137
Şekil 6.35	Özkanlar Migros önüne ait dönemler bazında kaza şekilleri karşılaştırmaları.....	137
Şekil 6.36	Manavkuyu Köprülü Kavşağa ait kaza şekilleri oranı.....	138
Şekil 6.37	Manavkuyu Köprülü Kavşağa ait yıl bazında kaza şekilleri	138
Şekil 6.38	Manavkuyu Köprülü Kavşağa ait yağışlı hava kazaları	138
Şekil 6.39	Manavkuyu Köprülü Kavşağa ait dönemler bazında kaza şekilleri karşılaştırmaları.....	139
Şekil 6.40	Menderes Caddesi'ne ait kaza şekilleri oranı	139
Şekil 6.41	Menderes Caddesi'ne ait yıl bazında kaza şekilleri.....	140
Şekil 6.42	Menderes Caddesi'ne ait yağışlı hava kazaları.....	140
Şekil 6.43	Menderes Caddesi'ne ait dönemler bazında kaza şekilleri karşılaştırmaları	140
Şekil 7.1	Tüm istasyon noktaları için MPD – DFT(20) ilişkisi	144
Şekil 7.2	Tüm istasyon noktaları için MTD – MPD ilişkisi	144
Şekil 7.3	Tüm istasyon noktaları için DFT(20) – F(60) ilişkisi.....	145
Şekil 7.4	Tüm istasyon noktaları için Eklenik YOGT – MPD ilişkisi.....	146
Şekil 7.5	Mpd'nin zaman içindeki değişimi	148
Şekil 7.6	Tüm istasyon noktaları için MPD – DFT(20) ilişkisi	149
Şekil 7.7	Tüm istasyon noktaları için MPD – F(60) ilişkisi	149
Şekil 7.8	Aynı tip kaplamalar için ölçüm dönemleri boyunca MPD'nin zaman içinde değişimi	150
Şekil 7.9	Aynı tip kaplamalar için MPD – F(60) ilişkisi	151
Şekil 7.10	Aynı tip kaplamalar için MPD – DFT ilişkisi.....	152
Şekil 7.11	Aynı tip kaplamalar için Eklenik YOGT – MPD İlişkisi	153
Şekil 7.12	Agrega-tekerlek temas etkileşimi	153

Şekil 7.13 Farklı tip istasyon noktaları için MPD – MTD ilişkisi	155
Şekil 7.14 Farklı Tip İstasyon Noktaları İçin (MPD) – F(60) ilişkisi	156
Şekil 7.15 Tekerlek ile kaplama yüzeyi arasındaki etkileşim	158
Şekil 7.16 Ortalama profil derinliği(MPD) – DFT(20) ilişkisi	159
Şekil 7.17 Farklı tip istasyon noktaları için eklenik YOGT – F(60) ilişkisi.....	159
Şekil 7.18 Farklı tip istasyon noktaları için eklenik ağır taşıt – YOGT.....	160
Şekil 7.19 Ortalama profil derinliği (MPD) – DFT(20) ilişkisi	161
Şekil 7.20 İstasyon noktalarına ait ağır taşıt ve ortalama hızlar	162
Şekil 7.21 Londra Asfaltı, Merter yakınları, İstanbul kesimine ait şerit kullanım grafiği (Günay, 2004).....	164
Şekil 7.22 Piyatrapoomi ve diğer. (2008) tarafından yapılmış olan arazi verilerine ait olasılık dağılım grafikleri	167
Şekil 7.23 Piyatrapoomi ve diğer. (2008)'nin çalışmalarında %15'lik alt ve üst sınırların şematik gösterimi	169
Şekil 7.24 MPD değerleri ile kazalar arasındaki ilişkiye ait olasılık dağılım grafiği	171
Şekil 7.25 F(60) değerleri ile kazalar arasındaki ilişkiye ait olasılık dağılım grafiği	172
Şekil 7.26 F(V) değerleri ile kazalar arasındaki ilişkiye ait olasılık dağılım grafiği	172
Şekil 7.27 DFT(20) değerleri ile kazalar arasındaki ilişkiye ait olasılık dağılım grafiği	173
Şekil 7.28 MTD değerleri ile kazalar arasındaki ilişkiye ait olasılık dağılım grafiği	173
Şekil 7.29 MPD, F(60), F(V), DFT ve MTD olasılık dağılım fonksiyonunun sınır değer altında ve üstünde kalan değerlerin normal dağılım ile uyum grafikleri	177
Şekil 7.30 Sağ şerit MPD değerleri ile kazalar arasındaki ilişkiye ait olasılık dağılım grafiği	178
Şekil 7.31 Sağ şerit F(60) değerleri ile kazalar arasındaki ilişkiye ait olasılık dağılım grafiği	179

Şekil 7.32 Sağ şerit DFT(20) değerleri ile kazalar arasındaki ilişkiye dair olasılık dağılım grafiği	179
Şekil 7.33 Sağ şerit MTD değerleri ile kazalar arasındaki ilişkiye dair olasılık dağılım grafiği	180
Şekil 7.34 Sol şerit MPD değerleri ile kazalar arasındaki ilişkiye ait olasılık dağılım grafiği	181
Şekil 7.35 Sol şerit DFT(20) değerleri ile kazalar arasındaki ilişkiye ait olasılık dağılım grafiği	181

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1 Mikro ve makro doku üzerinde etkili parametreler	10
Tablo 2.2 Yüksek hızlı yol doku ölçüm yöntemleri.....	12
Tablo 2.3 Trafik kontrolü gerektiren yol doku ölçüm yöntemleri	13
Tablo 2.4 Yol sürtünme direncini etkileyen faktörler	20
Tablo 2.5 Yüksek hızlı ölçüm aletleri.....	25
Tablo 2.6 Düşük hızlı ölçüm aletleri.....	27
Tablo 3.1 Yoğunluk ve işgal yüzdesine dayanan trafik akım koşulları	35
Tablo 3.2 Arazi kullanımı, kavşak tipi ve yoldaki konumun ölümcül kazalar üzerine etkisi.	41
Tablo 3.3 Arazi kullanımı ve trafik kontrol tipinin kavşaklardaki ölümcül kazalar üzerindeki etkisi	41
Tablo 3.4 Yol yüzeyi ve atmosferik şartların ölümcül kazalar üzerindeki etkisi.....	42
Tablo 3.5 Farklı kaza tipleri için olası kaza nedenleri	44
Tablo 3.6 Hava durumu ve kaza ilişkisi.....	46
Tablo 3.7 Sürtünme kaza oranı ilişkisi.....	49
Tablo 3.8 Türkiye’de yol yüzey durumuna bağlı kaza oranları	50
Tablo 4.1 Yol sınıfları ile istasyon noktaları.....	54
Tablo 4.2 Kalker agregasına ait özellikler	69
Tablo 4.3 50/70 penetrasyonlu bitüme ait özellikler.....	69
Tablo 4.4 Modifiye bitüm özellikleri.....	69
Tablo 4.5 Karışımlarda kullanılan kalker agregası gradasyonu.....	70
Tablo 4.6 Bazalt ve kalker agregası gradasyonu ile tolerans değerleri.....	70
Tablo 4.7 Analiz dönemlerine ait trafik sayım, kompozisyon ve hız değerleri	73
Tablo 4.8 Analiz dönemlerine ait verilerin değişim yüzdeleri.....	75
Tablo 5.1 Mevsimsel BPN deney sonuçları.....	82
Tablo 5.2 Mevsimsel değişim etkileri için banketlerde yapılan DFT20 deney sonuçları	89
Tablo 5.3 Tüm ölçüm dönemlerine ait DFT20, YOGT ve sıcaklık arasındaki ilişki	91
Tablo 5.4 Tüm ölçüm dönemlerine ait DFT20, YOGT ve sıcaklık arasındaki ilişki	91

Tablo 5.5	Ölçüm dönemlerine ait ortalama doku derinlikleri (MTD)	97
Tablo 6.1	Dönemsel kaza değişimleri.....	141
Tablo 7.1	Gözlem noktalarına ait şerit kullanım oranları	163
Tablo 7.2	Sağ ve sol şeritlerde ölçüm yapılmış olan gözlem noktalarına ait dönemsel ortalama hız ve F(60) değerleri.....	165
Tablo 7.3	MPD, F(60), F(V), DFT ve MTD değerleri için olasılık dağılım fonksiyonu değerlerinin istatistiksel özeti.....	174

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Karayolunda güvenli bir sürüşün sağlanabilmesi için taşıt tekerlek bandajı ile yol yüzeyi arasında meydana gelen sürtünme direncinin belirli bir seviyede olması gerekmektedir. Karayolu 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. Bu alandaki çalışmalar sürtünme direncindeki azalmanın kaza oranlarını arttırdığını ortaya koymuştur. Bu bakımdan kaplamaların sürtünme direncinin belirlenebilmesi için yol yüzeyinin belirli periyotlarda ölçülerek değerlendirilmesi gerekmektedir.

Yol kaplamalarının yüzey dokuları, yüzeylerdeki girinti ve çıkıntıların dalga boyu genlikleri ve derinliklerine bağlı olarak belirlenebilir. Dalga boylarına bağlı olarak pürüzlülük; mega, makro ve mikro pürüzlülük olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Bu üç gruptan makro ve mikro pürüzlülüğün değişik kombinasyonu sürtünme direnci olarak kendini göstermektedir.

Günümüzde, elektronik ve bilgisayar teknolojilerinin gelişimi ile birlikte ortaya çıkan bilgisayar destekli görüntü analiz teknikleri hem insan hata faktörünü, hem de işlem süresini azaltan çözümler sunmaktadır. Bilgisayar destekli analizler otomatik, nesnel ve hızlı ölçümler için güçlü bir araç olarak kullanılabilirler. Bilgisayar destekli görüntü analiz teknikleri, işlemcilerin ve yazılımlarının gelişmesi ile birlikte giderek daha çok alanda uygulama imkanı bulmaktadır.

Yol güvenliği, gerek kaplama tasarımı gerekse işletme ve bakım giderleri planlamasında en önemli faktördür. Yüzey pürüzlülüğü, araçların güvenle durma mesafeleri üzerinde etkili en önemli faktör olmasının yanı sıra; araçların seyir kalitesi, 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.

Teknolojik gelişmeler, taşıt hızlarının ve dolayısı ile trafik kazalarının artışına neden olmuştur. Örneğin, uluslararası araştırmalar taşıt hızlarında %1'lik bir artışın bile yaralanmalı trafik kazalarını %3 oranında arttırdığını ortaya koymuştur (OECD, 1995). Bu nedenle, modern bir yol kaplaması artan trafik hızlarında bile taşıtların güvenli, konforlu ve ekonomik bir şekilde seyretmelerine olanak sağlamalıdır. Taşıt kontrolü (veya uçak iniş güvenliği) ve trafik güvenliği büyük oranda kaplama yüzey özelliklerine bağlıdır. Sürücü fren tedbirine başvurduğu zaman, yol yüzeyi ile tekerlek bandajları arasında kuru ve yağışlı hava koşullarında gerekli aderans sağlanmalıdır. 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.

Karayolları Genel Müdürlüğü Yollar Teknik Şartnamesi 2013 yılında güncellenmiş ve yeni yapılan yollarda kum yama deneyi ile yol yüzeylerinin makro dokusunun belirlenmesi şartı getirilmiştir. Kum yama deneyi gelişmiş ülkelerde uzun yıllar boyunca kullanılmış ve günümüzde modern teknolojideki gelişmelere bağlı olarak alternatif yöntemlerin geliştirilmesi ile birlikte terk edilmek üzeredir. Tez kapsamında yol yüzeylerinin mikro ve makro pürüzlülüklerinin belirlenmesinde dijital görüntü alma ve analiz yöntemlerinin kullanılacak olması, görüntüleme ve dijital teknoloji kullanımının farklı çalışma alanlarına entegre edilmesi bakımından da önemli olacaktır.

Sürtünme direncini ölçmek amacı ile kullanılan cihazlar iki grupta incelenmektedir. Bölüm 2'de detayları verilen yöntemler, yüksek hız ve düşük hızda ölçüm yapabilen cihazlardır. Tez kapsamında, yol yüzeylerinin kayma dirençlerinin ölçülmesinde SRT (Skid Resistance Test:Kayma direnci ölçer) yöntemlerinden British Pendulum (İngiliz Sarkacı) ve ülkemizde henüz şartnamelerde yer almadığı

için üzerinde çalışma yapılmamış olan DFT (Dynamic Friction Tester: Dinamik sürtünme ölçer) kullanılmıştır. SRT yöntemleri ile arazide elde edilen sürtünme direnci değişimleri ve dijital görüntüleme yöntemleri ile elde edilen yol yüzey dokusu özellikleri de kullanılarak trafik güvenliği açısından değerlendirmeler yapılmıştır. Bu veriler aynı zamanda dijital görüntüleme yöntemlerden elde edilen verilerle birlikte değerlendirilerek, daha tasarım aşamasında sürtünme direncinin tahmini için kullanılabilecektir.

Bu amaçla tez kapsamında;

İkinci bölümde, yol yüzey özelliklerine değinildikten sonra, yol yüzey özelliklerini ve sürtünme direncini etkileyen faktörler ve halihazırda bu amaçla kullanılan ölçüm yöntemleri tanımlanmıştır.

Üçüncü bölümde, trafik akımının karakteristikleri ile aralarındaki ilişkiler literatür bilgileri ışığında verilerek, trafik kazaları ile yol yüzey dokusu ve sürtünme direnci ve ilişkileri değerlendirilmiştir.

Dördüncü bölümde, tez kapsamında yol yüzey dokusu ve sürtünme direnci ölçümleri yapılan istasyon noktaları verilmiştir. İstasyon noktalarının belirlenmesinde İzmir ili genelini kapsayacak şekilde; Otoyol ve Çevre yolu niteliğindeki yollar, Şehirlerarası yollar, transit yollar ve şehiriçi yollar şeklinde gruplandırma yapılmıştır. 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.

Beşinci bölümde, belirlenen istasyon noktalarında 3'er aylık periyotlar halinde 3 yıl süresince Kum yama yöntemi ve Lazer tarama yöntemi ile yapılan yol yüzey dokusu ölçümleri ve British Pendulum ve DFT cihazları ile sürtünme direnci ölçümleri yapılarak, sonuçlar verilmiştir. Elde edilen veriler kullanılarak, istasyon bazında ortalama profil derinliği ve ortalama doku derinliği arasında ilişkiler değerlendirilerek sürtünme sabiti (S_p) hesaplanmıştır. Sürtünme indeksi ölçüm

sonuçları kullanılarak, 20 km/saat hıza karşılık gelen dinamik sürtünme değerleri hesaplanmıştır DFT(20). Sp ve DFT(20) değerleri kullanılarak da hıza bağlı olarak değişen Uluslararası Sürtünme İndeksi (IFI:International Friction Index) sürtünme değerleri 60 km/saat için hesaplanmıştır (FR(60)).

Altıncı bölümde, seçilen istasyon noktaları için İzmir Emniyet Müdürlüğü ve Tramer'den elde edilen kaza istatistikleri ayrı ayrı 6 aylık ve yıllık ölçüm periyotları bazında değerlendirilmiştir. Yağışlı havalarda sürtünme direncindeki azalmaların kaza oluşumu açısından daha kritik olması sebebi ile veri elde edilebilen istasyon noktaları için yağışlı hava kazaları da değerlendirilmiştir.

Yedinci ve sekizinci bölümde yapılan çalışmaların sonuçları değerlendirilmiştir. Kaza verileri ile ortalama profil derinliği, ortalama doku derinliği, sürtünme indeksi, dinamik sürtünme direnci ve 60 km/saat hıza karşılık gelen uluslararası sürtünme indeksi arasındaki ilişki şerit bazında olasılık temelli yaklaşım ile değerlendirilerek, trafik güvenliği açısından trafik ve kaza verilerinin sağlıklı toplanması ihtiyacına vurgu yapılarak, yol yüzey dokusu ve sürtünme indeksinin önemi hakkında önerilerde bulunulmuştur.

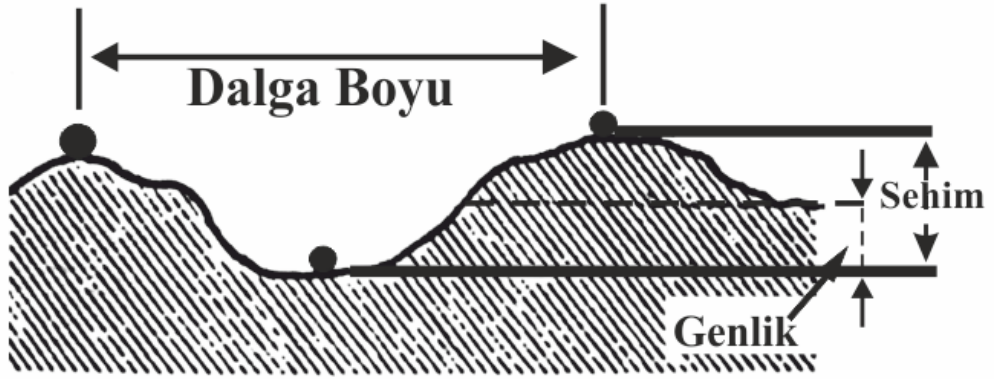
BÖLÜM İKİ

YOL YÜZEY DOKUSU VE SÜRTÜNME

Yol kaplamalarının yüzey dokuları, yüzeydeki girinti ve çıkıntıların dalga boyu genlikleri ve derinliklerine bağlı olarak belirlenebilir. Dalga boylarına bağlı olarak pürüzlülük; mega, makro ve mikro pürüzlülük olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Bu üç gruptan makro ve mikro pürüzlülüğün kombinasyonu kaplamanın sürtünme direncini belirleyen en baskın faktördür.

2.1 Yol Yüzey Dokusu

Trafik güvenliği açısından fren mesafesinin uzunluğu üzerinde en önemli faktörlerden biri yol kaplamasının dokusudur. Yol yüzey dokusu, yol yüzeyinin gerçek bir düzlemsel yüzeyden sapması olarak tanımlanmaktadır. Bu sapmalar, dalga boyu ve genlik gibi bileşenlerle ifade edilen farklı ölçek düzeyinde incelenir.



Şekil 2.1 Yol yüzeyinin geometrik özelliğini belirten şema (Ağar, Süttaş ve Öztaş, 1998)

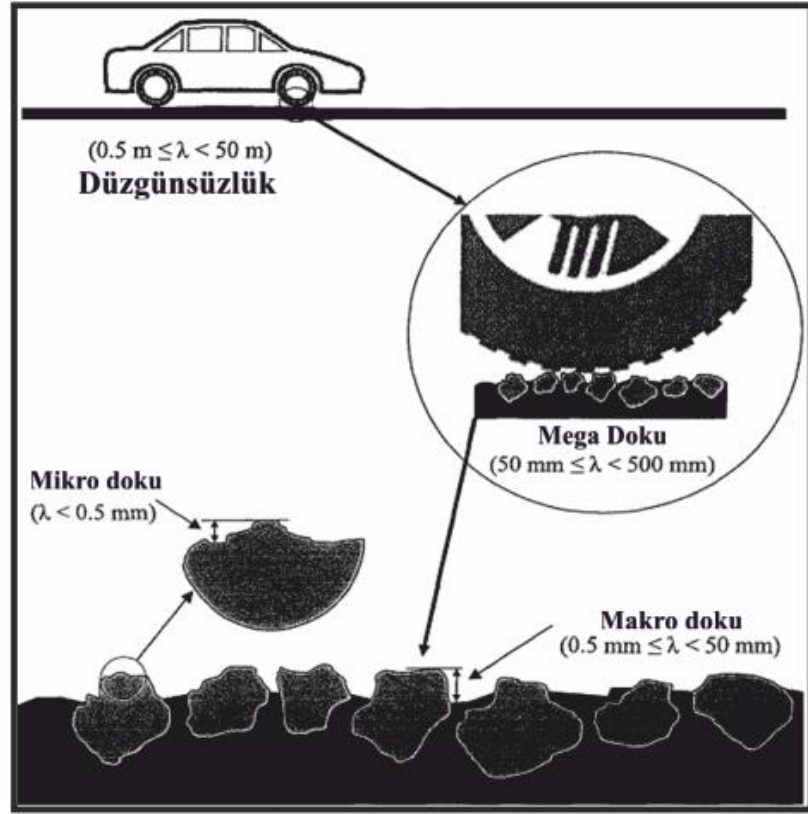
Dalga boyu 0,5 metrenin üstünde olanlar geometrik düzgünsüzlük olarak ifade edilmektedir (Ağar, Süttaş ve Öztaş, 1998). Geometrik düzgünsüzlüğün kalitesi, yol yüzeyinde girinti ve çıkıntı bulunup bulunmamasına bağlıdır. Bu girinti ve çıkıntılar, yolun teorik (proje) yüzeyi ile gerçek yüzeyi arasındaki farklardan ileri gelmektedir. İki yüzey arasındaki düşey farkların problemi üç boyutludur ancak yol mühendisleri enine ve boyuna profilleri inceleyerek problemi iki boyutlu hale indirgemişlerdir. Ölçmeler boyuna ve enine profili saptamak için iki yönde yapılmaktadır. Boyuna

düzgünsüzlük için seyyar cetvel, boyuna profil analizatörü, AASHTO eğim profilometresi, tümsek intekratörü gibi cihazlar kullanılmaktadır. Enine düzgünsüzlük için Plaum, AASHTO tekerlek izi derinliği sayacı, TRRL yüksek hızlı profilometre gibi cihazlar kullanılmaktadır (İyınam, Ergun ve İyınam, 1998).

Dalga boyu 0,5 metrenin altında olan girinti ve çıkıntılar pürüzlülük veya doku olarak adlandırılır. Dalga boylarına bağlı olarak dokular üç alt başlıkta incelenirler (World Road Association [PIARC], 1995).

- Mikrodoku, karışımdaki agregaların yüzeyine bağlıdır. Mikro Doku ($\lambda < 0,02$ in. [0,5 mm], $A = 0,00004 - 0,02$ in. [1 – 500 μ m]) mikroskopik düzeyde yüzey pürüzlülüğü kalitesidir. Mikro doku, asfalt ya da beton kaplamalardaki agregat parçalarının yüzey özelliklerinin bir fonksiyonudur. Mikro doku, yol yüzeyi ile lastik arasındaki su filminin parçalanmasını ve lastikle yol arasında kuru temas olmasını sağlar.
- Makrodoku, agreganın dane boyutuna bağlı bir parametredir. Makro Doku ($\lambda = 0,02 - 2$ in. [0,5 – 50 mm], $A = 0,005 - 0,8$ in. [0,1 – 20 mm]) yüzey doku kalitesi, asfalt kaplamaların karışım özelliği (şekil, özellikle dane boyutu ve agregat gradasyonu) ve beton kaplama yüzeylerde kullanılan yapım yöntemleri ile açıklanır. Özellikle sürtünme direnci üzerinde etkilidir. Makro doku arttıkça su filminin uzaklaşması daha hızlı olur.
- Megadoku, yol yapım aşamasında finişerin vibrasyonu sonucunda veya yol yüzeyinin zamanla bozulması sonucu oluşan çatlaklar, tekerlek izi vb. nedenlerle ortaya çıkar. Mega Doku ($\lambda = 2 - 20$ in. [50 – 500 mm], $A = 0,005 - 2$ in. [0,1 – 50 mm]) kaplama – lastik arayüzünde dalga boyları aynı sıra ve büyüklükte olan dokudur. Mega dokunun etkileri kendisini yuvarlanma direnci, trafik gürültüsü ve taşıt içi gürültü olarak gösterir.

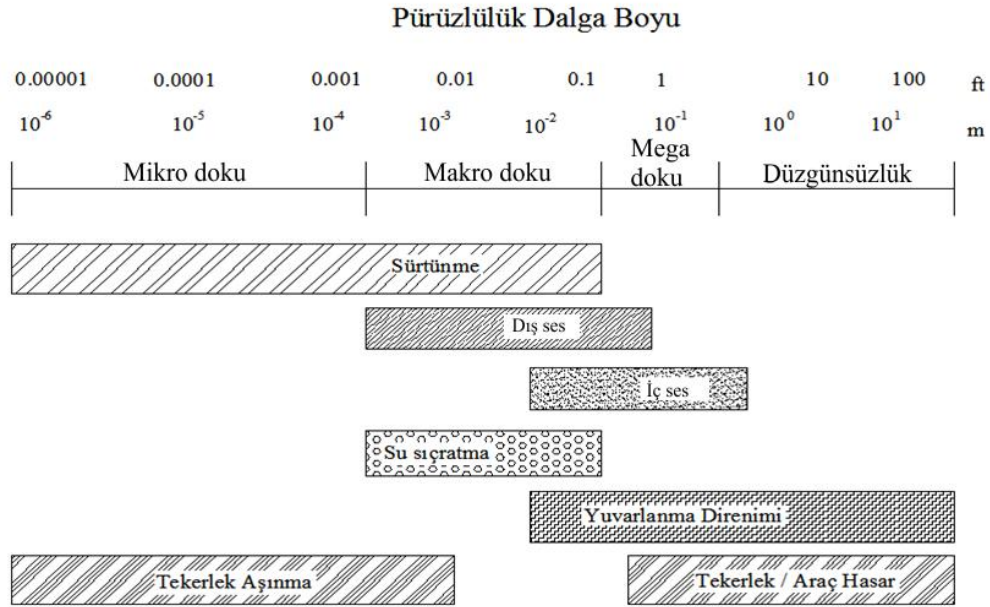
Aşağıdaki şekilde yol yüzey dokusu bileşenleri anlatılmaktadır.



Şekil 2.2 Yol yüzey doku bileşenleri (Flintsch ve diğer, 2003)

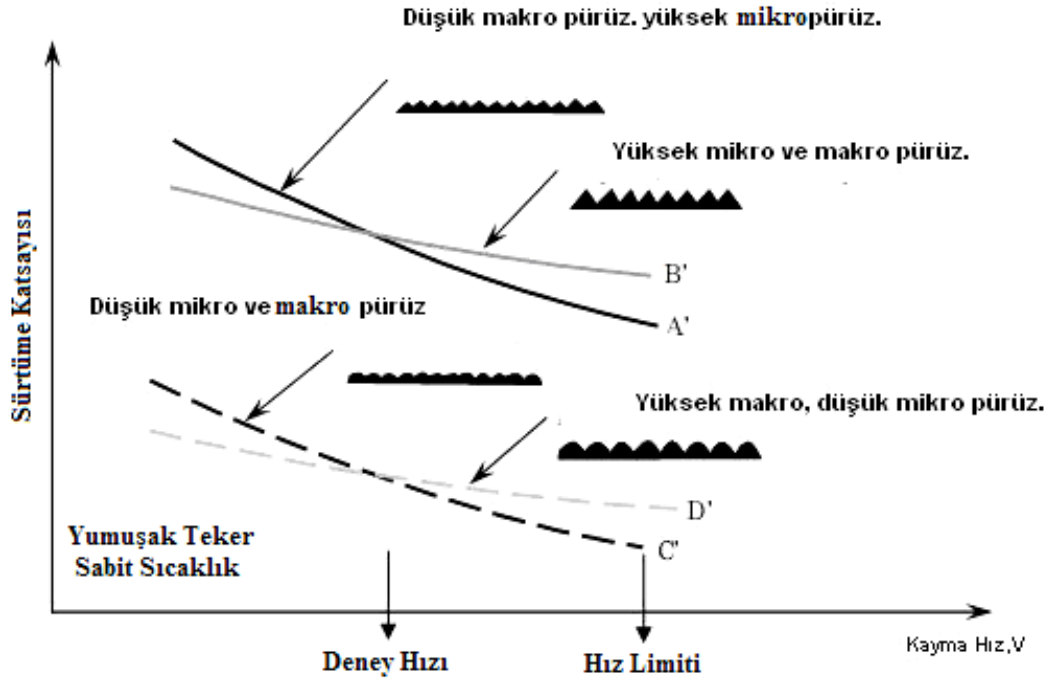
Yol yüzey dokusu birçok farklı kaplama – lastik ilişkisini etkilemektedir.

Şekil 2.3 'de sürtünme, iç ve dış gürültü, su sıçrama ve püskürme, dönme direnci ve lastik aşınması gibi çeşitli araç–yol etkileşimlerini etkileyen doku dalga boy aralıkları gösterilmiştir. Şekilden de görülebileceği gibi sürtünme özellikle makro doku ile yakından ilişkilidir.



Şekil 2.3 Pürüzlülük dalga boyunun kaplama tekerlek etkileşimi üzerinde etkileri (Henry, 2000), (Sandberg ve Ejsmont, 2002)

Şekil 2.4’de yol yüzey dokuları ile hızın sürtünme üzerindeki etkileri gösterilmektedir. Şekilden de anlaşılacağı üzere, makro doku sürtünme–hız değişimini etkilerken, mikro doku, lastik sürtünmesinin büyüklüğünü etkilemektedir. Düşük hızlarda (30 km/saat), mikro doku ıslak sürtünme düzeyinin belirlenmesinde başta gelir. Yüksek hızlarda (30 km/saat ten büyük hızlarda), makro dokunun yüksek oluşu suyun drenajını sağlayarak sürtünmedeki adezyon bileşenini yeniden oluşturur. Histerezis, hızın artmasıyla katlanarak artar ve 105 km/saat’in üzerindeki hızlarda sürtünmenin %95’in üzerinde olduğu kabul edilmektedir.



Şekil 2.4 Farklı kayma hızlarında kaplama tekerlek etkileşimi üzerinde yol yüzey dokularının etkisi (Flintsch, Leon, McGhee ve Al-Qadi, 2003).

2.1.1 Yol Yüzey Dokusunu Etkileyen Faktörler

Yüzey dokusunu etkileyen agrega, bitümlü bağlayıcı ve karışım özellikleri aşağıda liste halinde verilmiştir:

- **Maksimum agrega boyutu:** Asfalt betonundaki en büyük agrega dane boyutları makro dokunun dalga boylarını belirler. Bunun için birbirine yakın ve düzgün yerleşmiş olmalıdırlar.
- **Kaba agrega cinsi:** Kaba agrega türünün seçimi, agrega köşeliliği, şekli ve dayanıklılığının kontrolü ile yapılır. Asfalt betonu için oldukça önemlidir.
- **İnce agrega cinsi:** Seçilen ince agreganın köşeliliği ve dayanıklılığı, malzeme seçimi ve kırıcı cinsi ile kontrol edilebilir.
- **Bağlayıcı viskozitesi ve içeriği:** Düşük viskoziteli bağlayıcılar sert olanlara göre daha kolay kasma eğilimindedirler. Ayrıca aşırı bağlayıcı kullanımı (tüm bağlayıcı çeşitleri için) kasmaya neden olmaktadır. Kasma, kaplama yüzeyindeki dokuların azalmasına veya kaybına yol açmaktadır. Bağlayıcı, agregaları bir arada ve olmaları gereken yerde tuttuğundan, akmaya karşı oldukça dirençli olması gerekmektedir.

- **Karışım Gradasyonu:** Karışım gradasyonu, kaplamanın stabilitesini ve hava boşluğunu doğrudan etkiler.
- **Karışımın Hava Boşluğu:** Hava boşluğunun artması kaplamadaki suyun daha kolay drene edilebilmesini sağlar. Ayrıca araç altındaki havayı da drene ederek gürültüyü azaltır.
- **Tabaka Kalınlığı:** Poroz asfalt kaplamalarda tabaka kalınlığının artması daha yüksek hacimli suyun tahliyesini sağlamaktadır. Diğer bir taraftan, tabaka kalınlığının artışı yüksek ses emilim frekansını düşürmektedir.
- **İzotropi veya Anizotropi:** Tüm yönlerdeki yüzey dokusunun tutarlılığı (izotropi) uzun dalga boylarını düşürerek gürültüyü azaltmaktadır.
- **Doku Çarpıklığı:** Negative çarpıklık, profildeki derin çukurlardan meydana gelirken, pozitif çarpıklık makro doku profilindeki tepelerden kaynaklanmaktadır.

Aşağıdaki tabloda yukarıda sıralan faktörlerin mikro ve makro dokuyu nasıl etkiledikleri özetlenmiştir.

Tablo 2.1 Mikro ve makro doku üzerinde etkili parametreler (Henry, 2000; Rado,1994; Sandberg, 2002)

Kaplama Türü	Faktör	Mikro Pürüzlülük	Makro Pürüzlülük
Asfalt	Maks. agrega boyutu		X
	Kaba agrega tipi	X	X
	İnce agrega tipi		X
	Karışım gradasyonu		X
	Hava boşluk		X
	Bağlayıcı tipi		X
Beton	Kaba agrega tipi	X	X
	İnce agrega tipi	X	
	Karışım gradasyonu		X
	Agrega dağılımı		X

2.1.2 Doku Derinliği

Doku derinliği bir yüzey alanı için lastik/yol yüzey ara fazının üç boyutlu hali veya bir mesafe için lastik/yol yüzey ara fazının iki boyutlu olarak aşağıdaki şekillerde tanımlanmaktadır (International Organization Standardization [ISO] 13473, 1997):

-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,

-Profil Derinliği (Profile Depth), PD: Profilin pik noktasından geçen yatay çizgi ile profil arasındaki düşey mesafe,

-Ortalama Profil Derinliği (Mean Profile Depth), MPD: Profilin taban çizgisi üzerinde ölçülebilen iki boyutlu profil derinliğinin ortalaması.

Yukarıdaki terimler sürtünme direnci ile birlikte tez kapsamında ölçülecek yüzey parametrelerini oluşturmaktadır.

2.1.3 Yol Dokusu Ölçüm Yöntemleri

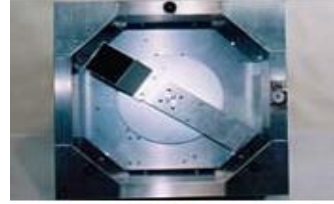
Bu bölümde doku derinliği ve profil derinliği ölçüm yöntemleri yüksek hızlı yöntemler ile trafik kontrolü gerektiren yöntemler olarak 2 farklı tabloda incelenmiştir (Tablo 2.2 ve Tablo 2.3).

Tablo 2.2 Yüksek hızlı yol doku ölçüm yöntemleri

Deney Adı	Standard	Ekipman ve Açıklamalar	
Elektro-optik (Lazer) Yöntemi (EOM)	ASTM E1845-09, ISO 13473-1, ISO 13473-2, ISO 13473-3	Temassız çok yüksek hızlı lazerler 0,01 inç (0,25mm) veya daha az değerlerdeki kaplama yüzeyi yüksekliklerinin belirlenmesinde kullanılır. Bu çeşit sistemler, kaplama yüzeyindeki ortalama profil derinliklerini (MPD) ölçme yeteneğine sahiptir. Sahadaki ölçüm yerlerinin tespiti için GPS cihazları eklenebilir. Veri toplama ve işlem yazılımları ile doku profilleri ve diğer doku indeksleri hesaplanır. Yüksek hızlı lazer doku ölçüm cihazları (FHWA ROSAN), yatay uzaklık ölçüm cihazı ve yüksek hızlı (64kHz veya daha yüksek) lazer nirengi sensorü ile birlikte kullanılır. Dikey çözünürlük genellikle 0,002" (0,5 mm) veya daha iyidir. Lazer ekipmanları, yüksek hızlı bir araç üzerine monte edilir ve elde edilen veriler taşınabilir bir bilgisayara depolanır ve saklanır. - Yüksek hızlarda sürekli veri toplar. - MTD değerleri ile iyi korelasyon yapılabilir. - Sürtünme değerleri ile hız sabitini elde etmek için kullanılabilir. - Cihaz pahalıdır. - Veri toplama ve işleme için kullanıcıların cihaza alışması gerekir.	 

Tez kapsamında, yüksek hızlı lazer tarama sistemi kullanılarak ortalama profil derinlikleri tespit edilmiştir. Cihazın kullanımı ve veri analizi ile ilgili ayrıntılar Bölüm 5’de verilmiştir. Sunulacak olan kum yama yöntemi kullanılarak da ortalama doku derinlikleri tespit edilmiştir.

Tablo 2.3 Trafik kontrolü gerektiren yol doku ölçüm yöntemleri

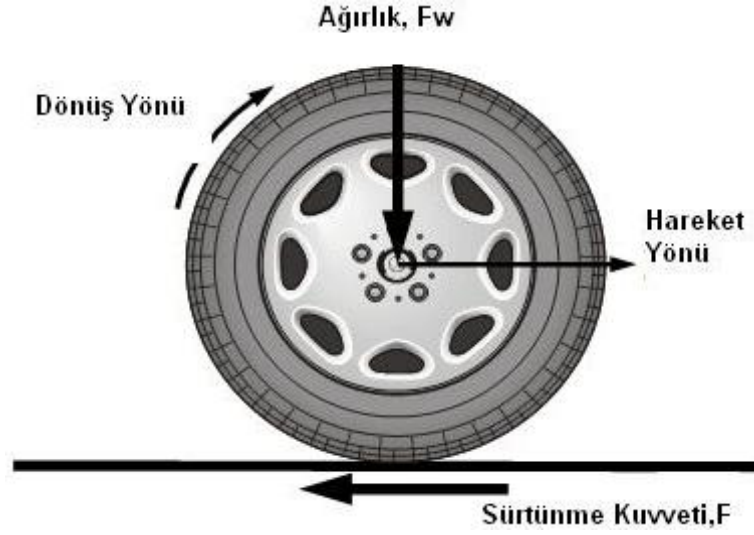
Deney Adı	Standartlar	Ekipman ve Açıklamalar	
Kum Yama Deneyi (SPM)	ASTM E 965-96, ISO 10844	Bu hacimsel tabanlı spot test yöntemi yol yüzeyi ortalama doku derinliğinin tespitini sağlar. Operatör, temizlenmiş bir yüzey üzerine hacmi bilinen cam küreciklerini dairesel olacak şekilde yayar ve çap ile ortama doku derinliğini (MTD) belirler. Cihaz şunları içerir: - Rüzgar perdesi - Ölçekli flask (25 mm³) - Cetvel - Fırça - Kauçuk yayma diski (60-65mm çaplı) - ASTM D1155'e uygun cam kürecikleri.	
Outflow Metre (OFM)	ASTM E 2380-M-09	Bu hacimsel test yöntemi, yüzey dokusu ve iç boşluklardaki su drenaj oranını ölçer. Bu, hareketli bir tekerlek altında su kaçış süresi ile ilgili yüzey yastıklanma potansiyelini gösterir. Diğer doku ölçüm yöntemleri ile korelasyonu da geliştirilmiştir. Cihaz, altında lastik bir disk olan üstü açık bir silindir yapısındadır. Sensörler, belli hacimdeki suyun diskin altından veya kaplamanın içinden geçişi için gereken zamanı ölçer.	
Dairesel Doku Metre (CTM)	ASTM E 2157-01	Bu temassız lazer cihazı, yüzey dokusu 0,868 mm olan 286 mm çaplı dairesel profilli kaplama yüzeyini ölçerek Dinamik Sürtünme Deneyi (Dynamic Friction Test, DFT) ile eşleştirilmesini sağlar. 20 ft/min (6m/min) hız ile dönerek kaplama yüzeyi için profil izleri ve profil derinliğini (MPD) hesaplar. Ekipman bir su kaynağı, taşınabilir bilgisayar ve doku metre cihazı içerir.	 

2.2 Sürtünme Direnci

Bu bölümde; sürtünme direncinin tanımı, sürtünme mekanizmaları ve sürtünme direnci ölçüm aletleri üzerinde durulacaktır.

2.2.1 Tanım

Sürtünme, araç lastiği ve yol yüzeyi arasındaki göreceli harekete direnen kuvvet olarak tanımlanmaktadır. Şekil 2.5'de gösterildiği gibi bu direnç kuvveti, lastiğin, dönmesi veya kaplama yüzeyi üzerinde kayması ile oluşmaktadır.



Şekil 2.5 Hareketli tekerlek üzerinde etkiyen yükler

Boyutsuz bir katsayı olan ve “μ” ile gösterilen sürtünme kuvveti katsayısı, lastik ile yol yüzeyi arasındaki teğetsel sürtünme kuvvetinin (F), düşey yüke oranı şeklinde ifade edilmekte olup aşağıdaki denklem ile hesaplanmaktadır.

$$\mu = \frac{F}{F_w} \quad (2.1)$$

Sürtünme kuvveti, sürücülere araçlarını düz ve yanal yönlerde kontrol ederek, yatay yönde ve düşey yönde güvenli manevra yapabilme olanağı vermektedir. Sürtünme katsayısı aynı zamanda yol geometrik tasarımında minimum duruş görüş uzunluğunun hesaplanmasında kullanılmaktadır. Genel anlamda, sürtünme direncinin büyük oluşu, taşıt kullanıcısının araç üzerinde daha fazla kontrol sağladığının bir ifadesidir.

2.2.2 Boyuna Sürtünme Kuvveti

Boyuna sürtünme kuvveti, boyuna yöndeki dönen pnömatik lastik ile serbest yuvarlanma veya sabit frenleme durumunda yol yüzeyi arasında meydana gelmektedir. Serbest yuvarlanma durumunda (frenleme olmadan), lastik çevresi ile kaplama arasındaki bağıl hız (kayma hızı) sıfırdır. Sabit frenleme durumunda ise, kayma hızı sıfırdan aracın potansiyel maksimum hızına kadar artar. Kayma hızı, aşağıdaki matematiksel ilişki ile açıklanır (Meyer, 1982).

$$S = V - V_p = V - (0.423 \times 35,60 \omega \times 0,19r) \quad (2.2)$$

Burada;

S = Kayma hızı (km/saat)

V = Aracın hızı (km/saat)

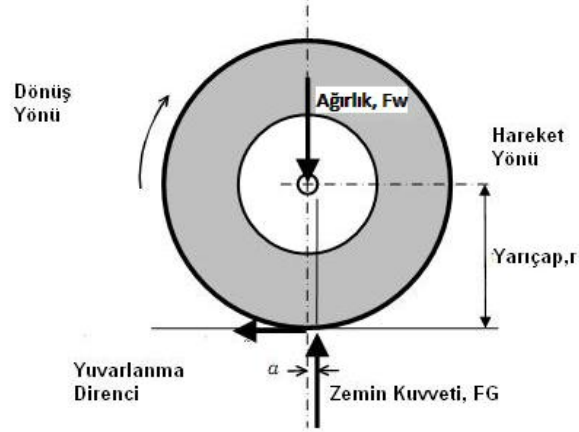
V_p = Lastiğin ortalama çevresel hızı (km/saat)

ω = Lastiğin açısal hızı (derece/saniye)

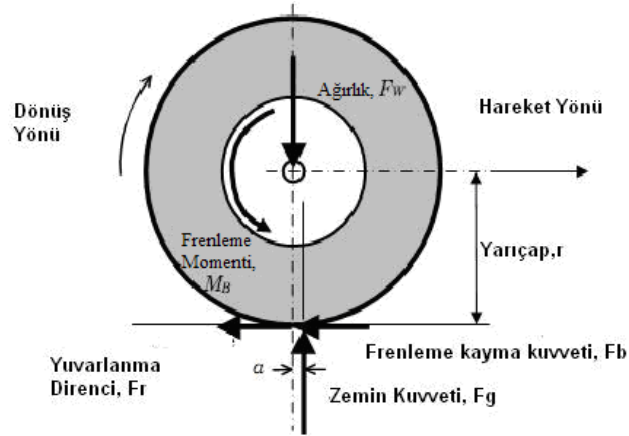
r = Lastiğin Ortalama Yarıçapı (m)

Şekil 2.6'da, serbest yuvarlanan lastiğe etkiyen zemin kuvveti sunulmaktadır. Bu durumda, zemin kuvveti (ground force), lastik temas alanının basınç merkezi ile bu merkezden "a" kadar uzaklıktaki noktadadır. Bu kayma, lastiğin dönebilmesi için aşılması gereken bir momente neden olmaktadır. Bu momente karşı gerekli kuvvete dönme direnç kuvveti (F_R) denir. "a" değeri hızın bir fonksiyonudur ve hız arttıkça artmaktadır. Bu nedenle, F_R değeri hız arttıkça artmaktadır.

Sabit frenleme durumunda, frenlemeden doğan ek momente (M_B) karşı, frenleme kayma kuvveti (F_B) denen ek bir kuvvete ihtiyaç duyulur (Şekil 2.7). Kuvvet, frenleme seviyesi ve elde edilen kayma oranıyla orantılıdır. Toplam sürtünme kuvveti, serbest-dönme direnç kuvveti (F_R) ile frenleme kayma kuvvetinin (F_B) toplamıdır.



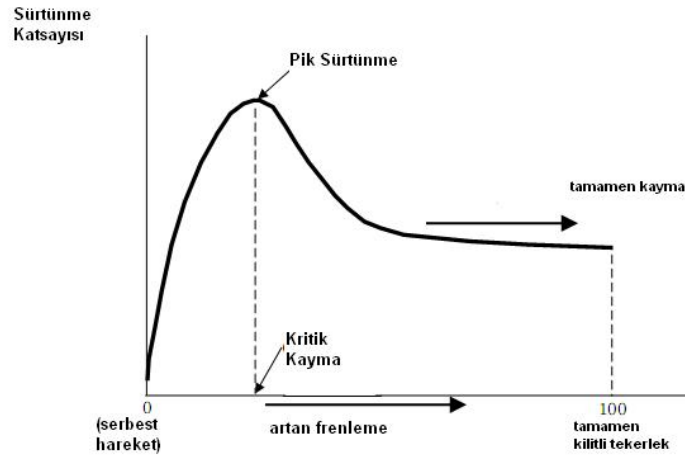
Şekil 2.6 Kuru satıh üstünde sabit hızda ve serbest hareketli tekerlek üzerinde yuvarlanma direnimi (Andersen ve Wambold, 1999).



Şekil 2.7 Kuru satıh üstünde sabit frenleme esnasında tekerlek üzerinde etkiyen yükler (Andersen ve Wambold, 1999).

Kayma hızına bağlı olarak lastik ile kaplama arasındaki sürtünme katsayısı, Şekil 2.8'deki gibi değişmektedir (Henry, 2000). Kayma hızı ile birlikte sürtünme katsayısı da artmakta; belirli bir pik değere (bu değer sıklıkla %10 ile %20 arasındaki kayma derecesinde görülür ve buna kritik kayma denir) ulaşmaktadır. Bu aşamadan sonra sürtünme, %100 kayma ile oluşan ve kayma sürtünme katsayısı olarak adlandırılan değere kadar düşer. Sürtünmenin en yüksek katsayısı ve kayma katsayısı arasındaki fark, kayma değerinin %50 olduğu yere kadar eşit olabilir. Bu fark, ıslak kaplamalarda kuru kaplamalara göre daha büyüktür.

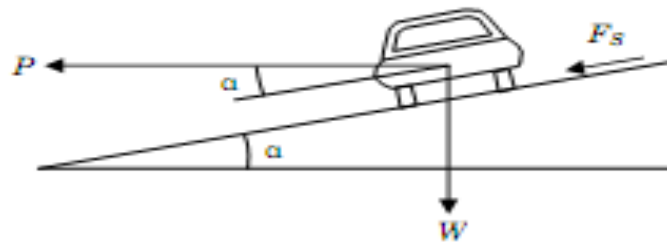
Şekil 2.8 aynı zamanda, kilitlenmeyen fren sisteminin (ABS) temel prensibini göstermektedir. ABS donanımı bulunan araçlarda frenleme yapıldığında, fren çok hızlı bir şekilde açılıp kapanır, böylelikle kayma en yüksek değere yaklaşır. Bu değer zirve değerine ulaşmadan hemen önce frenler açılarak aracın kontrolü sağlanır. Frenler belli bir zaman veya en yüksek kayma yüzdesinin altına düştüğünde tekrar kapanır.



Şekil 2.8 Sürtünme-tekerlek kayma ilişkisi (Henry, 2000)

2.2.3 Enine (Yanal) Sürtünme Kuvveti

Sürtünme kuvvetinin bir diğer önemli bileşeni ise yol yüzeyinde hareket eden taşıtın yön değişiminde etkili olan ve enine eğim değişimleri ile yanal rüzgârların etkilerini minimum düzeye indirmek için gerekli olan enine sürtünme kuvvetidir. Özellikle kurlarda etkili olan yanal sürtünme kuvveti aşağıdaki eşitlik ile ifade edilmektedir. Şekil 2.9'da yatay kurb içinde taşıta etkileyen kuvvetler gösterilmektedir.



Şekil 2.9 Yatay kurbta taşıta etkileyen kuvvetler

W = Araç ağırlığı

P = Merkezkaç kuvveti

$$F_s = \frac{V^2}{127R} - \alpha \quad (2.3)$$

Denklemden;

F_s = Yanal sürtünme

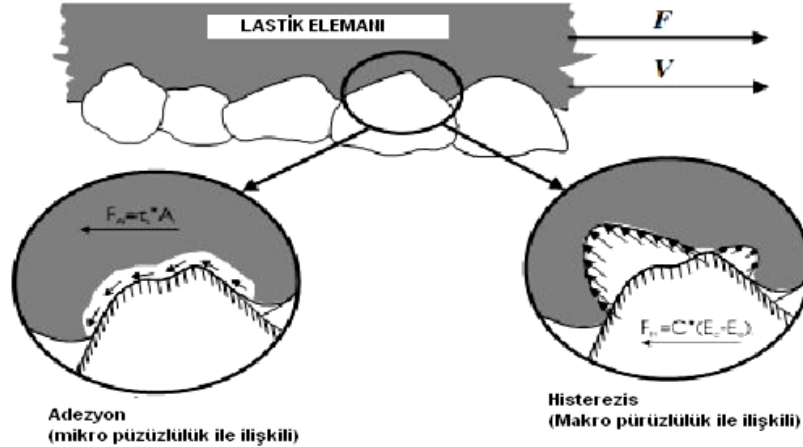
V = Araç hızı, km/saat

R = Kurb yarıçapı, m

α = Enine eğim (m/m)

2.2.4 Sürtünme Mekanizmaları

Sürtünme, adezyon ve histerezis adı verilen iki temel sürtünme kuvveti bileşeni arasındaki etkileşimin karmaşık bir sonucudur (Şekil 2.10).



Şekil 2.10 Yol yüzeyi-tekerlek sürtünme mekanizması

Adezyon, lastik ile yol yüzeyi arasında küçük ölçekli bağ oluşturan bir sürtünmedir. Adezyon, kayma kuvveti ile lastik temas alanının bir fonksiyonudur. Histerezis, araç lastiklerindeki büyük çaplı deformasyondan kaynaklanan enerji kaybı sebebi ile ortaya çıkmaktadır. Deformasyon genellikle lastiğin agrega dokusunu saran bölgesinde oluşur.

Lastik, kaplama yüzeyine basınç uyguladığında, gerilim dağılımı kauçuk içinde depolanan deformasyon enerjisine neden olmaktadır. Lastiğin serbest bırakılıp gevşemesiyle depolanan enerjinin bir kısmı geri kazanılırken, diğer kısmı ısı olarak kaybedilir (histerezis). Bu kayıp, net sürtünme kuvveti olarak aracın durmasına yardımcı olur.

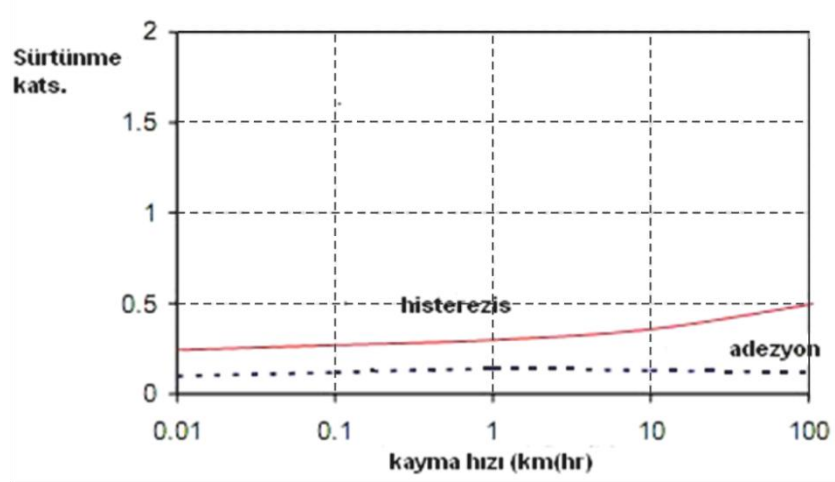
Yol üzerinde oluşan sürtünme kuvvetinin başka bileşenleri de olmasına rağmen, adezyon ve histerezis kuvvetleri ile karşılaştırıldığında önemsizdirler. Bu sebeple sürtünme kuvveti, adezyon ve histerezis kuvvetlerinin toplamı olarak görülebilir.

$$F = F_A + F_H \quad (2.4)$$

Tüm bu bileşenler büyük oranda kaplama yüzeyinin karakteristiğine, kaplama ile lastiğin temasına ve lastiğin özelliklerine bağlıdır. Ayrıca, lastik vizko–elastik bir malzeme olduğundan, ısı ve kayma hızı da bu iki bileşeni etkiler.

Adezyon kuvveti kaplama–lastik arayüzünde olduğundan, kaplamadaki agregaların yüzey dokusu ile doğrudan ilişkilidir. Mikro doku agrega danesinin mineralojik yapısına bağlıdır. Aksine histerezis kuvveti lastik içinde oluştuğundan, tasarım yöntemi ve/veya yapım teknikleriyle şekillenmiş yüzeyin makro pürüzlülüğüyle (makro doku) ilişkilidir. Sonuç olarak, histerezis ıslak ve sert yapıları kaplamalarda önemli bileşen olurken, adezyon cilalanmış ve kuru kaplamalardaki etkin bileşeni oluşturmaktadır.

Şekil 2.11’de, cilalanmış ancak makro pürüzlülüğünü henüz kaybetmemiş yolda kayma hızının, sürtünme kuvvetinin iki bileşeni üzerindeki etkisi grafiksel olarak gösterilmektedir. Kayma hızı, yol yüzeyine temas eden lastik kısmı ile yol yüzeyi arasındaki hız farkıdır. Örneğin, frenleme sırasında bir aracın tekerlekleri 40 km/saat’lik teğetsel hızla yavaşlarken, araç 60 km/saat hızla gidebilir. Bu durumda lastiğin yol yüzeyine bağlı kayma hızı 20 km/saat’dir. Tekerlerin kilitlendiği anda (dönmenin durduğu an) kayma hızı aracın hızına eşit olur.



Şekil 2.11 Kayma hızının sürtünme bölümleri üzerine etkisi (Rado ve diğer,2006)

2.2.5 Sürtünme Direncini Etkileyen Parametreler

Bir karayolunun sürtünme direncini etkileyen faktörler dört ana gruba ayrılmaktadır:

- a) Yol yüzey özellikleri,
- b) Trafik özellikleri,
- c) Lastik özellikleri,
- d) Çevresel etkenler.

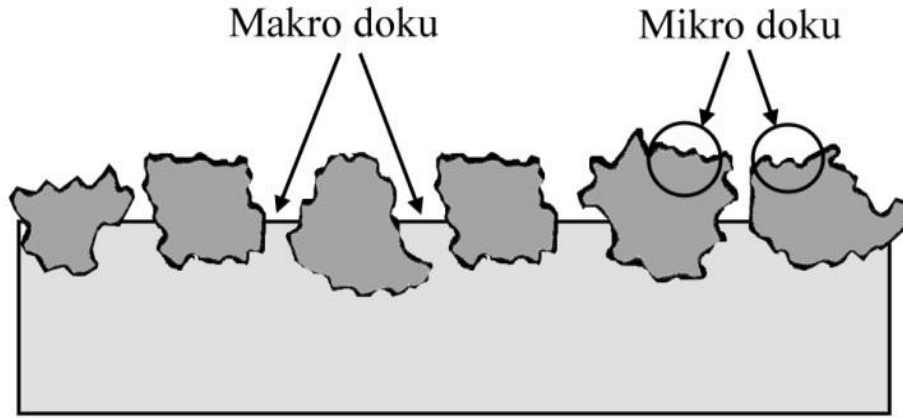
Tüm grupları kapsayan farklı etkenler Tablo 2.4’de özetlenmiştir.

Tablo 2.4 Yol sürtünme direncini etkileyen faktörler (Wallman ve Astrom, 2001)

Yol Yüzey Özellikleri	Araç İşletme Özellikleri	Lastik Özellikleri	Çevre
Mikro pürüzlülük	Kayma hızı -Araç hızı -Frenleme işi	Lastik deseni	İklim - Rüzgar - Sıcaklık - Yağmur - Kar ve buz
Makro pürüzlülük		Temas alanı	
Mega pürüzlülük / yüzey düzgünsüzlüğü		Lastik kompozisyonu, sertliği	
Malzeme özellikleri		Basınç	
Sıcaklık	Sürücü manevrası	Yük	Kayma engelleyiciler (Tuz, kum)
		Sıcaklık	Kir, çamur, atık kırıntılar

2.2.5.1 Yol Yüzey Özellikleri

Yüzey Dokusu : Sürtünme direncine etkiyen yol yüzey özellikleri makro ve mikro doku (pürüzlülük) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Henry, 2000). 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 (Şekil 2.12).



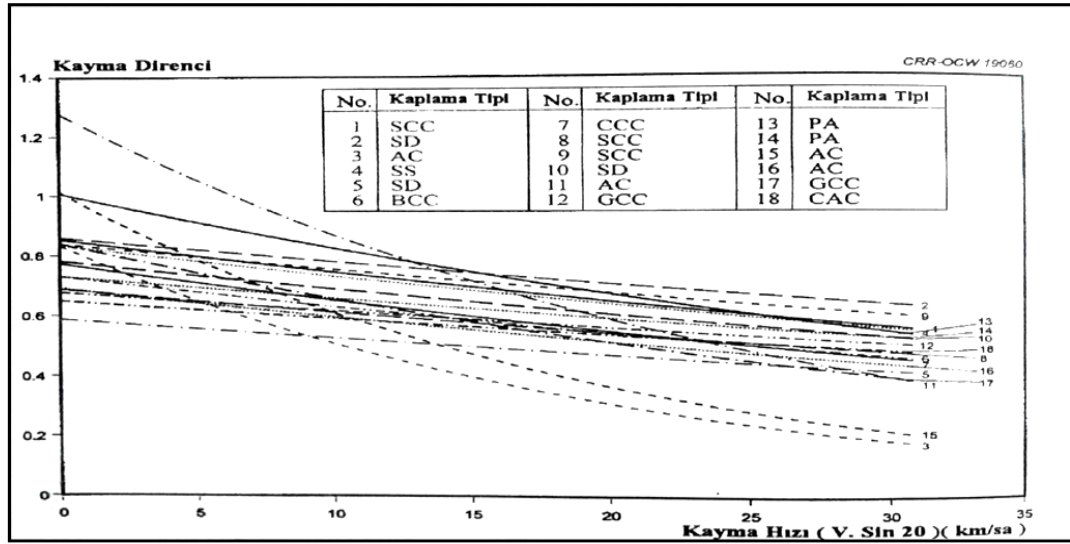
Şekil 2.12 Mikro ve makro pürüzlülük (Flintsch ve diğer., 2003)

Bir sonraki bölümde kaplama yüzey özelliklerinde çalışmanın ana başlıklarından biri olan yüzey dokusu ana hatları ile ele alınacaktır.

Yüzey Malzeme Özellikleri: Yüzey malzeme özellikleri (agrega ve karışım özellikleri, vb.) yüzey dokusunu tanımlamak amacıyla kullanılmaktadır. Bu özellikler, trafik ve çevresel etkiler altında, agrega danelerinin aşınma ve cilalanmaya karşı gösterdiği direnç bakımından agreganın uzun dönem doku sağlamlık özelliklerine etki etmektedirler. Bu özellikler aynı zamanda, yol yüzeyi ile lastik arasında oluşan sürtünme direnci üzerinde de etkili rol oynamaktadırlar.

Kaplama Cinsi : Kaplamalar esnek (asfalt) ve rijit (beton) olmak üzere başlıca iki ana sınıfa ayrılmaktadır. Esnek üstyapılar asfalt betonu (AC), harç tipi kaplamalar (SS), taş mastik kaplamalar (Stone Mastic Asphalt, TMA), geçirimli kaplamalar (PA)

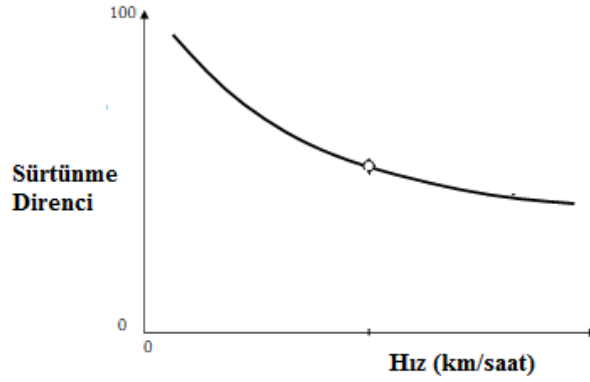
şeklinde sınıflandırılırlar. Beton yollar ise sürekli donatılı çimento betonu (CRCP), donatısız beton plaklar (CC), el ile pürüzlendirilmiş çimento betonu (BCC), mihlanmış agregalı çimento betonu (CCC), geçirimli çimento betonu (PCC) olarak sınıflandırılır (Ergün, İyınam ve İyınam, 2000). Genel olarak esnek üstyapıların sürtünme dirençleri beton yollara kıyasla daha yüksektir. Fakat geçirimli kaplamalar her iki tipte en yüksek sürtünme direncine sahip kaplamalardır. Şekil 2.13’de kaplama tipine göre sürtünme dirençleri gösterilmektedir. Şekilden de anlaşılabacağı gibi, her kaplama tipi için sürtünme dirençleri taşıt hızına bağlı olarak farklı değerler almaktadır (Ergün, 1997).



Şekil 2.13 Kaplama cinsine göre sürtünme direnç değişimi (Ergun, 1997)

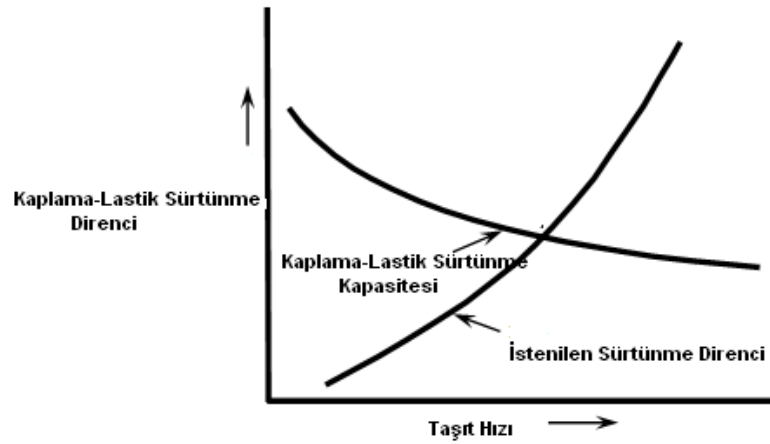
2.2.5.2 Trafik Özellikleri

Sürtünme direnci üzerinde etkili parametrelerden biri de taşıt hızıdır. Taşıt hızı arttıkça sürtünme direnci de düşmektedir. Bu nedenle değişik kaplama yüzeylerine sahip olan karayollarında güvenlik için belirli hızdaki sürtünme direnci esas alınmaktadır. Özellikle ıslak yüzeylerde örneğin kamyon hızının 32 km/saat ten 100 km/saat’e çıkması duruş mesafesini 15 metreden 366 metreye arttırmaktadır (Radlinski and Williams, 1985). Sürtünme direnci ile taşıt hız arasında exponensiyel bir ilişki vardır (Şekil 2.14).



Şekil 2.14 Sürtünme direnci-hız ilişkisi

Şekil 2.15 ıslak kaplama yüzeylerde istenilen sürtünme direnci ile mevcut sürtünme direnci arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Taşıt hızının artması, istenilen sürtünme direncini artırmakta, mevcut sürtünme direncini azaltmaktadır (Glennon, 1996)



Şekil 2.15 Yoldan istenilen ve mevcut sürtünme direnci hız eğrileri

2.2.5.3 Lastik Özellikleri

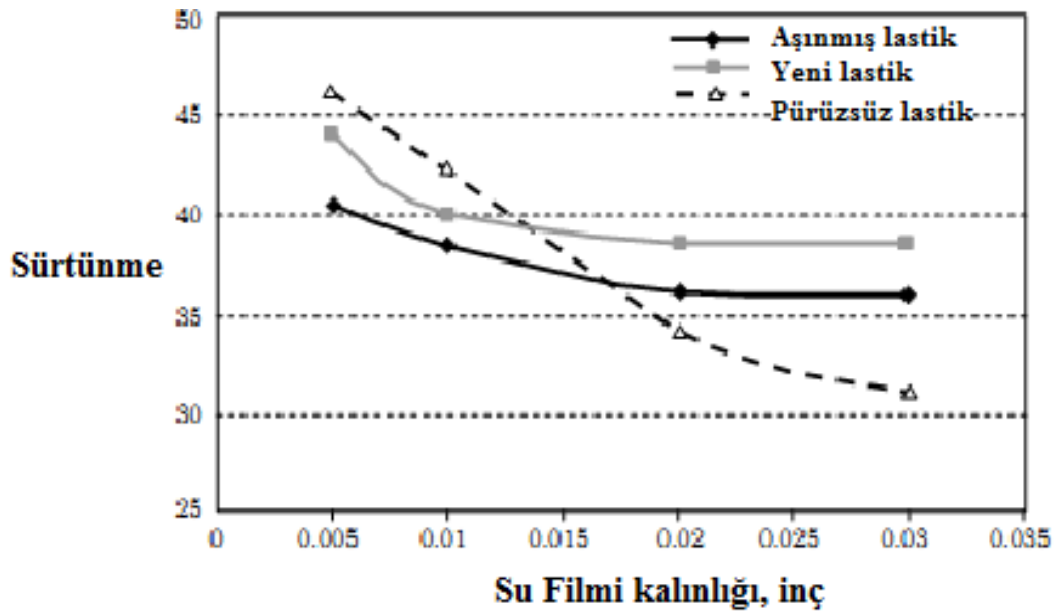
Taşıt lastiklerinin tipi, diş derinliği ile deseninin yol yüzeyi üzerinde biriken suların drenajı üzerinde büyük etkileri bulunmaktadır. Yol yüzeyi ile taşıt lastiği arasında biriken sular lastik deseni ve yol dokusu arasından ortamdan ayrılmaktadır. Genellikle diş izi alanı büyük olan taşıt lastikleri yol yüzeyi ile temasını iyi sağlamakta, dolayısı ile sürtünme direnci daha yüksek olmaktadır.

Lastik basıncı da direnç üzerinde etkilidir. Düşük lastik basınçları özellikle yüksek hızlarda sürtünme direncini azaltmaktadır.

2.2.5.4 Çevresel Etkenler

Araç lastikleri viskoelastik malzemeden yapılmıştır, dolayısı ile özellikleri ısı değişimlerine karşı oldukça duyarlıdır. Araştırmalar lastik ısının artışı ile yüzey-lastik direncinin azaldığını göstermiştir (Rado, 1994).

Yağmur suları yüzey üzerinde yağlandırıcı etki yaparak lastik ile yol yüzeyi arasında sürtünme direncini önemli ölçüde azalmaktadır. Su filmi düşük taşıt hızlarında (30 km/saat) etkili değilken; yüksek hızlarda (65 km/saat) sürtünme üzerinde etkin bir rol oynamaktadır. Şekil 2.16'da gösterildiği gibi, sürtünme direnci su filmi kalınlığı artışı ile azalmaktadır. Aynı zamanda, su filmi kalınlığı ile birlikte lastik deseni de sürtünme direnci üzerinde etkilidir.



Şekil 2.16 Su filmi kalınlığı-sürtünme ilişkisi (Henry,2000)

Çok küçük miktar su birikintisi bile sürtünme direncini önemli miktarda düşürmektedir. Araştırmalar, yüzey üzerinde 0,05 mm su birikintisinin sürtünmeyi %20-30 oranında azalttığını göstermiştir (Harwood, 1987). Özellikle drenajın yeterli

olmadığı yollarda, kalın bir su filmi tabaksı oluşmakta, kaplama-lastik teması 65-70 km/saat hızda tamamı ile kaybolmaktadır (Hayes, Ivey ve Gallaway, 1983).

Yol yüzeyinde kir, toz, kil, kum partikülleri ile araçlardan atılan atıklar sürtünme direncini azaltıcı unsurların başında gelmektedir.

2.2.6 Sürtünme Direnci Ölçüm Yöntemleri

Sürtünme direncini ölçmek amacı ile kullanılan cihazlar iki grupta incelenmektedir. Bunlar yüksek hız ve düşük hızda ölçüm yapabilen cihazlardır. Yöntemler sırası ile Tablo 2.5 ve Tablo 2.6’te özetlenmektedir (Ergün ve diğer. 2004; Rado, Yager, Wambold ve Hall, 2006).

Tablo 2.6 ile incelenen deneylerden Tez çalışmaları kapsamında kullanılan Dinamik Sürtünme Ölçer Cihazı (Dynamic Friction Tester) ile ilgili ayrıntılar ilerleyen bölümlerde sunulacaktır.

Tablo 2.5 Yüksek hızlı ölçüm aletleri

Deney Adı	Standart	Ekipman ve Açıklamalar
Locked Wheel (Kilitlenmiş Tekerlek)	ASTM E-274	Sistemin esas bileşenleri, ASTM standartlarına uygun yumuşak lastik, tekerleği kilitleyen fren, üstyapıyı üniform bir su filmi ile ıslatmak için gerekli bir su tankı ve dağıtım hortumu ile, tekerlek kilitlendiğinde(64km/saat hızla giderken) treyleri itmek için gerekli kuvveti ölçmeye yarayan kuvvet ölçücüdür. Tekerlek kilitlenip, uygun bir mesafe kaydırıldıktan sonra, kuvvet ölçülmekte ve üstyapı kesimi için kayma sayısı (Skid Number, SN) değerleri hesaplanmaktadır. Kullanımı çok kolay olmakla birlikte vakit harcayan bir deney değildir ancak kurlar, T kavşaklar ile dönel kavşaklarda güvenilir sonuçlar vermezler.



Tablo 2.5 Yüksek hızlı ölçüm aletleri(devamı)

Deney Adı	Standart	Ekipman ve Açıklamalar	Deney Adı
Yanal (Enine) Kuvvet (Side Force)	ASTM E-670	Yöntemde deney tekerleği, tekerleğin serbestçe dönmesine izin verilmesi dışında, hareket yönü ile bir sapma açısı oluşturacak konumda korunmaktadır. Teorik olarak, yanal kuvvet belli bir sapma açısında yatay kurbayı dönme konumundaki bir tekerlek vasıtası ile ölçülmektedir. Bu taşıtların viraj alırken gereksinim duyduğu sürtünme direncinin bir gösterimi olmaktadır. Yanal kuvvet katsayısı dönen deney tekerleği düzlemine dik yanal kuvvetin, tekerlek yüküne oranıdır. Amerika’da yalnızca pist kaplamalarında kullanılmaktadır. Kaplama üzerinde çatlaklara karşı çok duyarlıdır. SCRIM (British Sideways Force Coefficient Routine Investigation Machine), kullanılmadığı zaman yol yüzeyinden yukarı kaldırılabilen 20° lik sapma açılı bir deney tekerleği ve yüzeye 1 mm. kalınlıkta su filmi püskürten bir sulama sistemine sahiptir. Kayma direnci değeri, enine sürtünme katsayısı (Sideway Force Coefficient-SFC) olarak verilir. Sistemin esas üstünlüğü, kayma direnci kayıtlarını sürekli vermesi ve yüksek çalışma hızına sahip bulunmasıdır. Bu sistemin başlangıç maliyetinin yüksektir.	 
Değişken Kayma Yöntemi (variable speed)	ASTM E-1859	Bu yöntemde, kayma kontrol altında bulunmaktadır. Bu, istenen herhangi bir kaymada ölçüm yapmak veya önceden tayin edilen bir dizi değer içinden geçmek ya da bir kontrol sistemi ile en yüksek sürtünmeyi aramak amacıyla tasarlanmaktadır. En çok kullanılanı Norsemeter’dir. Bakım maliyetleri yüksektir ve deney sırasında sürekli su gerektirir.	
Sabit Kayma Yöntemi (fixed speed)		Kayma ölçümünün üstünlüğü, küçük bir kayma oranı seçilmesi koşuluyla, sürekli bir sürtünme kaydına yardım edebilmektedir. Bu yöntemi kullanan deneyler çoğunlukla, pik sürtünme katsayısı bu aralıkta bulunabildiğinden, % 10 ve % 20 arasındaki kayma (α) ile yapılmaktadır. Bu ayrıca, kayma hızı (S), hız (V) ile kayma %'sinin bir çarpımı ($S = \alpha \cdot V$) olduğundan, düşük hızlı bir sürtünme ölçümü olmaktadır. Saab Sürtünme Ölçücü (Saab Friction Tester), Pist Sürtünme Ölçücü (Runway Friction Tester) ve Grip Tester bu yöntem ile tasarlanmıştır ve esasen pist denenmesinde kullanılmaktadır.	

Tablo 2.6 Düşük hızlı ölçüm aletleri

Deney İsmi	Standart	Ekipman ve Açıklamalar	
Stopping Distance Measurement (Duruş mesafe ölçümü)	ASTM E-445	64 km/saat hızla seyreden bir taşıtın önceden ıslatılmış bir zemin üzerinde frene basması ve duruş mesafesinin ölçümü ile tespit edilmesidir. Kayma direncini ölçmede en kolay yöntemdir ancak tekrarı zayıftır. Kaza analizlerinde kullanılır.	
Deceleration rate measurement (Yavaşlama ivme ölçümü)	ASTM E-2102	Kış koşullarında uygulanır. 32 ve 48 km/saat hızla giden bir taşıtın yavaşlama ivmesinin ölçülmesine dayanmaktadır.	
Portatif Yöntemler	ASTM E-303	British Pendulum (İngiliz Sarkacı) Standart nitelikte tırtıllı doğal kauçuk lastik yastık (pabuç) bir sarkaç kolunun ucuna monte edilmektedir. Bunun standart bir yol uzunluğu boyunca, standart bir yükseklikten sallanmasına izin verilmekte ve kayma direnci, sarkaç kolunun enerjisindeki kayıptan değerlendirilmektedir. Deney koşulları 50 km/saat'deki bir lastik kaymasının kayma direncini göstermek için tasarlanmıştır. Sonuçlar, İngiliz Sarkacı Sayıları (British Pendulum Number – BPN'ler) olarak ifade edilmektedir. Yöntem, bir yol yüzeyinin kayma direncini hızlı bir şekilde değerlendirebilen, ucuz yöntem olmasına karşın sonuçlar operatörden ve rüzgarlı ortamlardan etkilenir.	
	ASTM E-1911	Dinamik Sürtünme Ölçer: Bu yöntem, her aşamada tekrar edilebilme ve yeniden yapılabilme imkanı sunmakla birlikte, rüzgar, hatalı okuma gibi dış etkenlerden kesinlikle etkilenmemektedir. Cihazın kurulumu oldukça kolaydır. Böylelikle, ölçümler kısa bir sürede yapılmakta ve veriler anında değerlendirilebilmektedir. Ayrıca bu yöntem ile, yüksek hızlardaki sürtünme değerleri elde edilebilmektedir.	

Şekil 2.17’de yukarıda anlatılan deney yöntemlerinin yol üstünde uygulamasına ilişkin fotoğraflar yer almaktadır



Şekil 2.17 Kuru yüzeyde lastik ile sürtünme arasındaki ilişki (Clark, 1981)

2.3 Sürtünme İndeksi

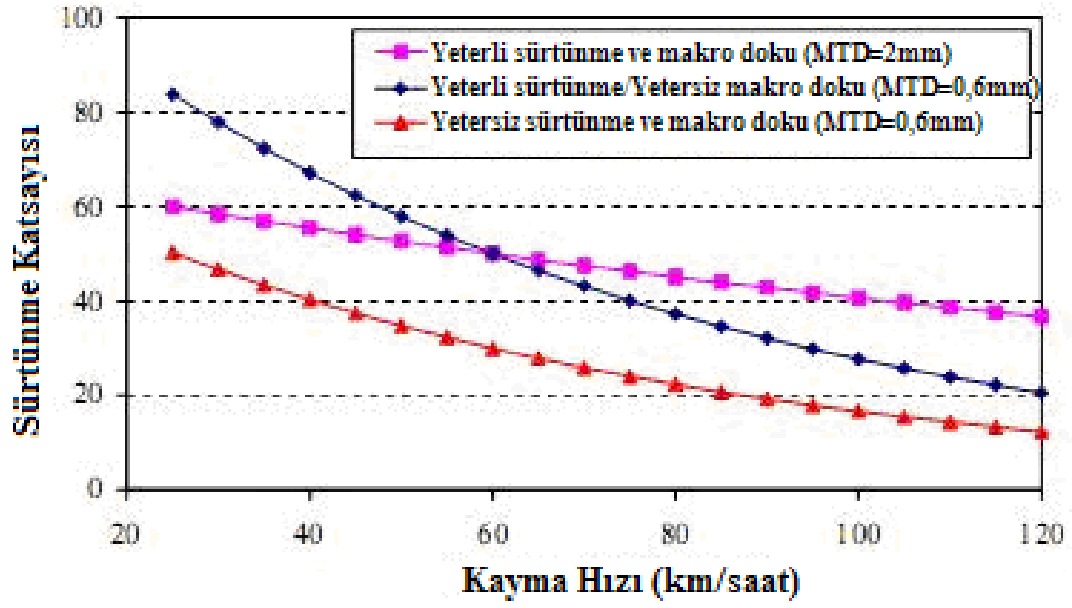
Sürtünme indeksleri yol mühendisliğinde uzun zamandır kullanılmaktadır. 1965 yılında, ASTM sürtünme sayısı-Skid number (ASTM E 274) terimini kullanmaya başlamıştır. 1990’lı yılların başında, PIARC uluslararası kayma indeksi (International Friction Index-IFI) kavramını ortaya çıkartarak farkı deney cihazları arasında bir harmonizasyon oluşturmuştur. (PIARC, 1995). Rado, kendi doktora çalışmasında bu modeli geliştirerek yeni modeli literatüre kazandırmıştır (Rado, 1994).

2.3.1 Uluslararası Sürtünme İndeksi (IFI)

Ölçüm aletleri, ölçüm ve hesap yöntemlerinin birbirinden farklı olması nedeniyle, bir ülkede yapılan bir ölçümün diğer bir ülke araştırmacısı tarafından değerlendirilmesi çok zor olmakta, ilave maliyetler yaratmakta ve hatta bu durum, araştırmacının değerlendirme yapamamasına yol açmaktadır. Bu nedenle, Yol Kongreleri Daimi Birliği (PIARC) tarafından desteklenen ve farklı üye ülkelerdeki farklı tipteki yol yüzeylerinin, modern yol yüzey dokusu ve sürtünme direnci aletleri ile ölçümü planlanmış ve ölçümlerin sonuçları değerlendirilerek uluslararası sürtünme direnci indeksi oluşturma çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalar Amerika ve Avrupa'dan 51 farklı ölçüm sistemi içermektedir. Sürtünme direncini tespit etmek amacı ile kilitlenmiş tekerlek, sabit ve değişken kayma aletleri, dinamik sürtünme ölçer test cihazı ile bazı prototip cihazlar kullanılmıştır. Yol doku derinlikleri içinde kum yama, lazer profilometresi ve bazı optik sistemler kullanılmıştır.

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 değerinin hesaplanabilmesi için en az bir sürtünme ve bir doku derinliği ölçümü gerekmektedir. Doku derinliği ve sürtünmenin önemi Şekil 2.18'de gösterilmiştir.

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 (Rado ve diğer., 2006). 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 normalleştirilmiş sürtünme değeridir.



Şekil 2.18 Doku derinliği ve sürtünme arasındaki ilişki

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

$$Sp = a + b \times T \quad (2.5)$$

Burada; Sp = Hız sayısı (sabiti)

a, b = Sabit katsayılar.

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

T = Ortalama doku (MTD) veya profil (MPD) derinliği, mm.

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

$$FR(60) = FR(S) \times e^{\frac{S-60}{Sp}} \quad (2.6)$$

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

$FR(S) = S$ kayma hızındaki sürtünme değeri (dinamik sürtünme cihazı ile)

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

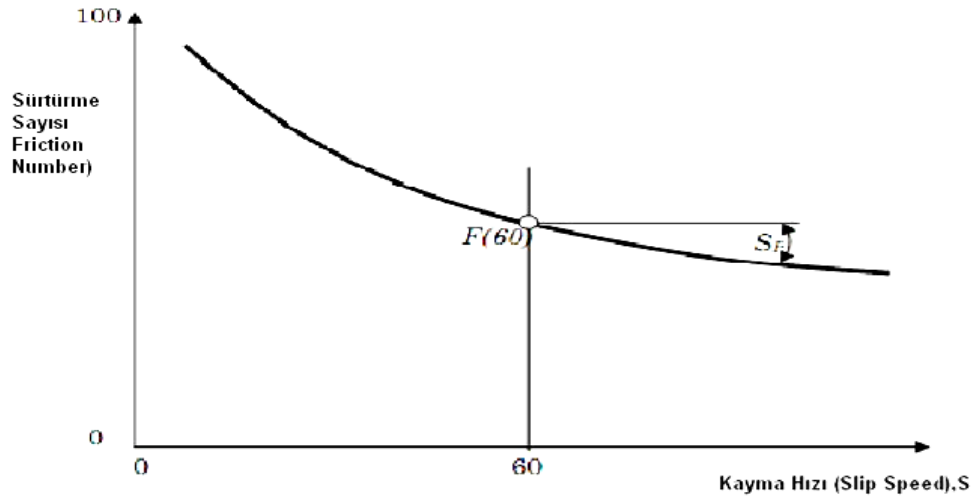
$$F(60) = A + B \times FR(60) \quad (2.7)$$

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

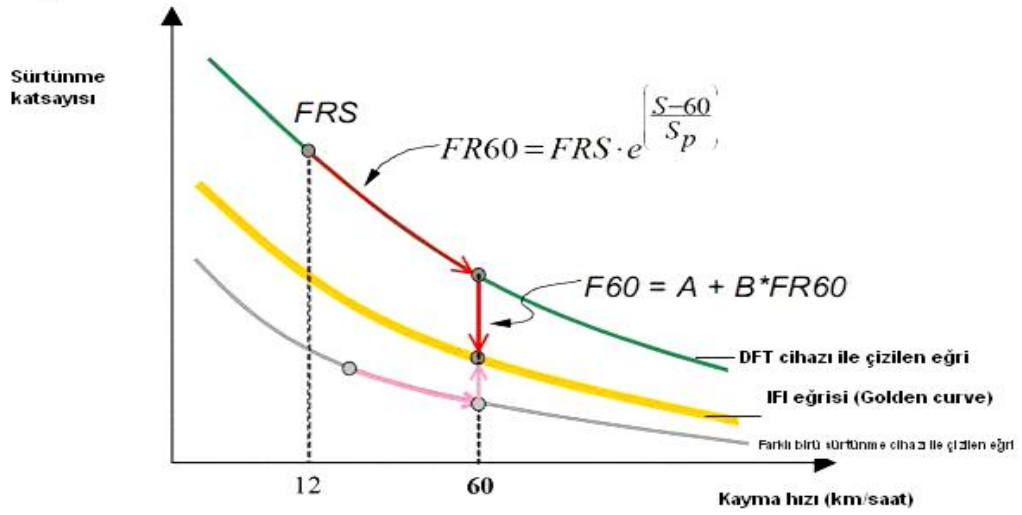
$A, B =$ Sürtünme ölçüm aletine bağlı kalibrasyon sabiti (Tez çalışmaları kapsamında DFT cihazı kullanıldığı için bu parameteler ilgili ASTM standardından alınacaktır)

Herhangi bir hızdaki sürtünme değerini tahmin etmek için kullanılan IFI model grafiği Şekil 2.19 ve Şekil 2.20 'de gösterilmiştir. Ölçülen Sp 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 Sp değerleri grafik üzerinden belirlenir.

$$FN(S) = FN_v \times e^{\frac{(S-v)}{Sp}} \quad (2.8)$$



Şekil 2.19 Uluslararası kayma indeksi modeli (IFI)



Şekil 2.20 Uluslararası kayma indeksi (IFI) modeli

2.3.2 Rado IFI Modeli

Pennsylvania State Üniversitesi'nde PIARC üzerine yapılan araştırmalarda değişken kayma ölçüm teknikleri ile logaritmik sürtünme modelini birleştirerek yeni bir model oluşturulmuştur. Bu yeni modele, Rado IFI Modeli adı verilmektedir. Üç parametrelili log-normal denkleminin uygulanmasıyla elde edilir. Bu model, lastik tasarımı ve malzemenin etkisine ek olarak doku, kayma hızı ve ölçüm hızının da etkisini dikkate almaktadır.

Sürtünme değeri şu şekilde hesaplanır:

$$\mu(S) = \mu_{peak} \times e^{\frac{-(\ln S / S_c)^2}{\hat{C}^2}} \quad (2.9)$$

Burada μ_{peak} , serbest dönmeden kilitlenmenin oluşmasına kadar kontrollü, doğrusal artan frenleme sırasındaki maksimum sürtünme katsayısı, S_c maksimum sürtünmenin olduğu andaki kayma hızı, $\hat{C}^2$ ise S_p hız sabitinden farklı doku ölçümleriyle ilgili şekil faktörüdür. Tüm bu üç model parametresi de ölçüm aletlerinin kullandığı değişken kayma ölçüm teknikleri kullanılarak ölçülen değerlerle belirlenir. Farklı kayma hızlarındaki sürtünme değerleri bu yöntemde rahatlıkla hesaplanabilmektedir.

PIARC ile Rado Modeli'nin arasında düşük kayma hızlarında bir fark bulunmaktadır. Frenleme henüz başladığında Rado Modeli'nde geçici bir aşama bulunurken, PIARC Model'de ise geçici aşama yoktur, direkt olarak hızla birlikte azalır.

BÖLÜM ÜÇ

TRAFİK AKIM KARAKTERİSTİKLERİ VE TRAFİK KAZALARI

Trafik akımı (q), bir şerit üzerinde yolun belirli bir kesitinden, belirli bir zaman aralığında geçen taşıt sayısıdır. Boyutu taşıt/saat-şerit'tir. Bir saatlik trafik akımı, trafik hacmi olarak ifade edilir. Trafik akımının özel değeri, akımın maksimum (q_m) değeridir ve bu değer kapasite olarak adlandırılır. Kapasite, hâkim yol, trafik ve kontrol şartlarında, bir yolun belirli bir kesitinden bir saat içinde geçirilebilecek en yüksek taşıt sayısı olarak tanımlanır. Trafik akım değişkenleri trafik akımı, akım hızı ve yoğunluktan oluşur (Şahin ve Akyıldız, 2004).

Trafik akımının ana elemanları:

1. Hız (u) (km/saat)
2. Yoğunluk (k) (araç/km/şerit)
3. Hacim (q) (araç/saat)

olarak yazılabilir. Trafik akımı değerlerinden biri biliniyor ise diğerlerine geçiş yapılabilir. Trafik akımının değişkenleri arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler birbirine bağlıdır.

a) Hız (v), trafiği meydana getiren taşıtların toplu halde oluşturdukları akımın birim zamanda aldığı yoldur. Buradaki birim zaman, genellikle, 1 saat veya 1 saniye olarak kullanılır. Trafik akım hızı (u), akımın ortalama sürati olarak tanımlanır ve km/saat olarak ifade edilir. Hız parametresinin iki özel değeri vardır. Bunlar, serbest akım hızı (u_f) ve optimum hız (u_o) değerleridir. Serbest akım hızı, trafik akım değerinin sıfıra yaklaştığı serbest akım koşullarında erişilen hızdır. Optimum hız ise maksimum akım koşullarında görülen hıza verilen addır.

Taşıtların tek tek hızlarından söz edilebileceği gibi, burada olduğu gibi trafik akımının hızından da bahsedilebilir. Temel değişkenlerden faydalananak $v = \frac{x}{t}$ olarak ifade edilir. Serbest akım hızı, trafik akım değerlerinin sıfıra yaklaştığı serbest akım

koşullarında erişilen hızdır. Optimum hız ise maksimum akım koşullarında görülen hızdır.

b) Yoğunluk (k), Trafik yoğunluğu (k), yolun birim uzunluğunda (genellikle 1 km) herhangi bir anda bulunan taşıt sayısı olarak ifade edilir. Boyutu $\frac{\text{Taşıt}}{\text{km-Şerit}}$ ’tir. İki adet özel yoğunluk vardır: Bunlar, tıkanma yoğunluğu (kj) ve optimum yoğunluktur (k0). Tıkanma yoğunluğu, trafik akım hızı sıfıra yaklaştığında oluşan yoğunluktur. Optimum yoğunluk ise maksimum akım koşullarına ulaşıldığında meydana gelen yoğunluktur. Trafik yoğunluğu değeri sıfırdan araçların tampon tampona durdukları aşamaya kadar değişik değerler alabilir. Bu üst sınıra ‘Tıkanma Yoğunluğu’ denir.

Tablo 3.1 Yoğunluk ve işgal yüzdesine dayanan trafik akım koşulları

Yoğunluk (taşıt/km-şerit)	Yolun İşgal Yüzdesi (%)	Hizmet Düzeyi	Akım Durumu	
0–8	0–5	A	Serbest Akım	Tıkanmamış Akım Koşulları
8–12	5–8	B	Kararlı Akım Başlangıcı	
12–19	8–12	C	Kararlı Akım	
19–26	12–17	D	Kararlı Akım Alt Sınırı	
26–42	17–28	E	Kapasite Akımı	Kapasitede Akım Koşulu
42–62	28–42	F	Zorlanmış Akım	Tıkanmış Akım Koşulları

c) Hacim (q), belirli bir yolun bir kesitinden birim zamanda geçen araç veya insan sayısıdır. Buradaki birim zaman genellikle 1 saat olarak kullanılır. Yolun belirli bir kesitindeki tüm şeritlerin toplamı veya bir şeridi için tanımlanabilir. Trafiğin temel değişkenleri kullanılarak $q = \frac{n}{t}$ olarak ifade edilir; burada, n taşıt sayısı ve t zaman olduğundan, hacim = araç /zaman birimi elde edilir. q (hacim) birimi taşıt/saat ‘dir.

$q = v * k$ bağıntısı ile elde edilir.

Bunların dışında değinilmesi gereken terimler;

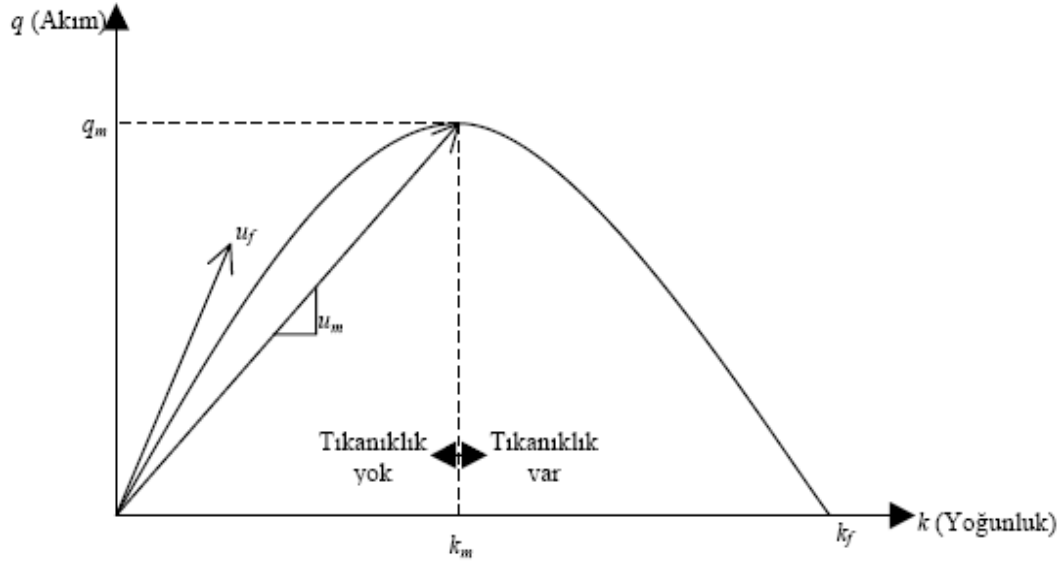
d) Kapasite: Mevcut koşullar altında yolun birim kesitinden birim zamanda geçen maksimum araç, insan ya da birim sayısıdır.

e) Talep: Yolun bir kesitinden geçmek isteyen araç veya insan sayısıdır. Kapasite noktasına kadar talep hacim değerine eşittir. Kapasite noktasını aştıktan sonra talep hacmi geçmeye başlar.

3.1 Akım Yoğunluk İlişkisi ve Yoğunluğun Elde Edilmesi

Yoğunluk iki kesit arasındaki taşıt sayısı olduğuna göre, yoğunluğu ölçmek için herhangi bir t anında x_1 ve x_2 kesitleri arasındaki yol kesiminin yukardan fotoğrafının çekilmesi gerekir. Bu fotoğraftan elde edilen kesitler arasındaki taşıt sayısı, kesitler arası mesafe ile birlikte yoğunluğu verecektir. Bir başka şekilde, (bir t anında) x_1 ve x_2 kesitleri arasındaki yol kesiminde bulunan taşıtların sayısının yığışımlı eğrisi, x_1 ve x_2 kesitleri arasındaki fiziksel mesafenin bir fonksiyonu olarak çizilebilir. Yoğunluk ölçümü yapılan uzunluk, bir taşıtın varlığı ile başlayıp bitiyorsa, yoğunluğu tanımlamak için kullanılan bu uzunluk, buna göre, taşıtların tek tek aralarındaki fiziksel mesafelerin toplamı olmaktadır. Böylece, yoğunluk, k , belirli bir t anında belirli bir karayolu kesiminde bulunan taşıt sayısı toplamının, tekil takip mesafelerinin toplamına bölünmesi şeklinde tanımlanır.

Şekil 3.1’de görüldüğü gibi yol tam kapasiteye erişinceye kadar akım ve yoğunluk birlikte artmaktadır. Ancak tam kapasiteden sonra yoğunluk artmaya devam etmekte, akım azalmaktadır. Bu durum araçların tampon tampona geldiği, yoğunluğun en büyük değerini aldığı (k_j -tıkanma yoğunluğu) tıkanma oluşana kadar devam eder. Grafikte herhangi bir noktayı orijinle birleştiren doğrunun eğimi, q/k oranından akım ilişkisini verir (Örn: u_m). Başlangıç noktasındaki teğetin eğimi (u_f) de “serbest hızı” verir (Şahin ve Akyıldız., 2004). Eğer yoğunluk sıfır ise, akım yoktur. Eğer hızın sıfır olduğu tıkanma durumu varsa, akım yine yoktur.

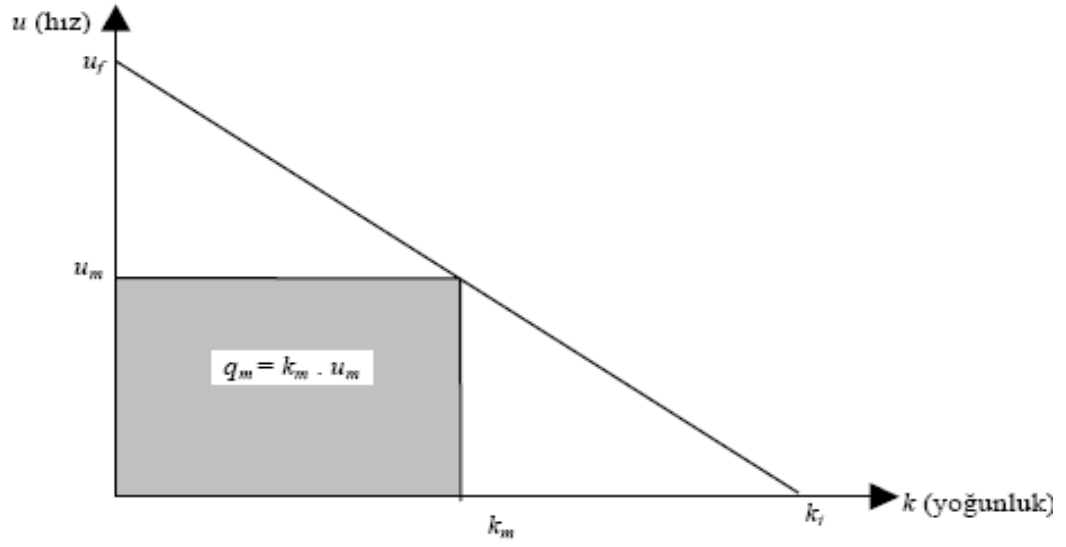


Şekil 3.1 Akım – yoğunluk ilişkisi

Yoğunluğun sıfır olduğu yer ile tıkanma yoğunluğu arasında pek çok gözlemlenebilir akım olduğundan, pek çok da maksimum akım noktası olmalıdır. Bazı araştırmacılar tek bir maksimum noktadan geçen eğri önerirken, bazıları da bir tanesi kararlı noktalardan geçen, bir tanesi de kararsız dağınık noktalardan geçen süreksiz eğriler önermektedir. Bu durumda her bir eğri için 2 adet maksimum noktası oluşmaktadır. Bütün modeller gösterir ki, kararlı akım eğrisindeki maksimum akım, kararsız akım eğrisindeki maksimum akımdan kayda değer biçimde büyüktür. İlginç olan taraf ise akımın kapasiteye yakın bir noktada kırılmasıdır (Highway Capacity Manual, 1985).

3.2 Hız–Yoğunluk İlişkisi

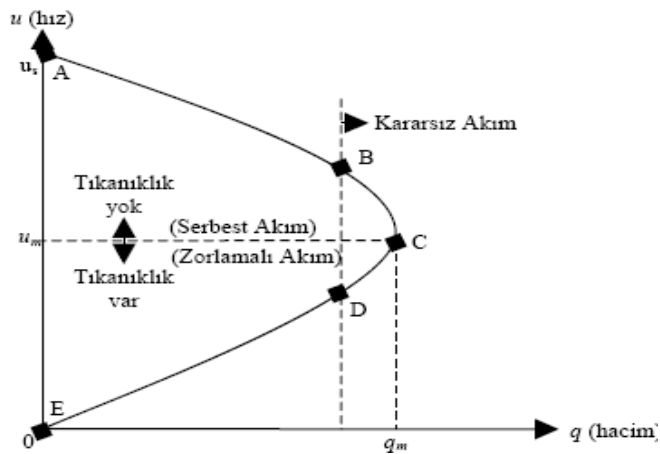
Şekil 3.2'de görüldüğü gibi hız ve yoğunluk arasında doğrusal ve ters bir ilişki vardır. Greenshields'de, yaptığı çalışmada gözlem verileriyle uyumlu ve avantajlı bir model oluşturan doğrusal ilişkiyi öngörmüştür. Greenberg de tek boyutlu akım durumuna dayalı bir ilişkiye gitmiştir ancak bu ilişki tıkanık yollar için uygun olup, düşük yoğunlukta hatalı sonuç vermiştir (Highway Capacity Manual, 1985). Buradaki u_f serbest hızdır. Grafik içerisindeki bir köşesi orijin bir köşesi de doğru üzerinde olan bir dikdörtgenin alanı akımı ya da hacmi verir (Şahin ve Akyıldız, 2004).



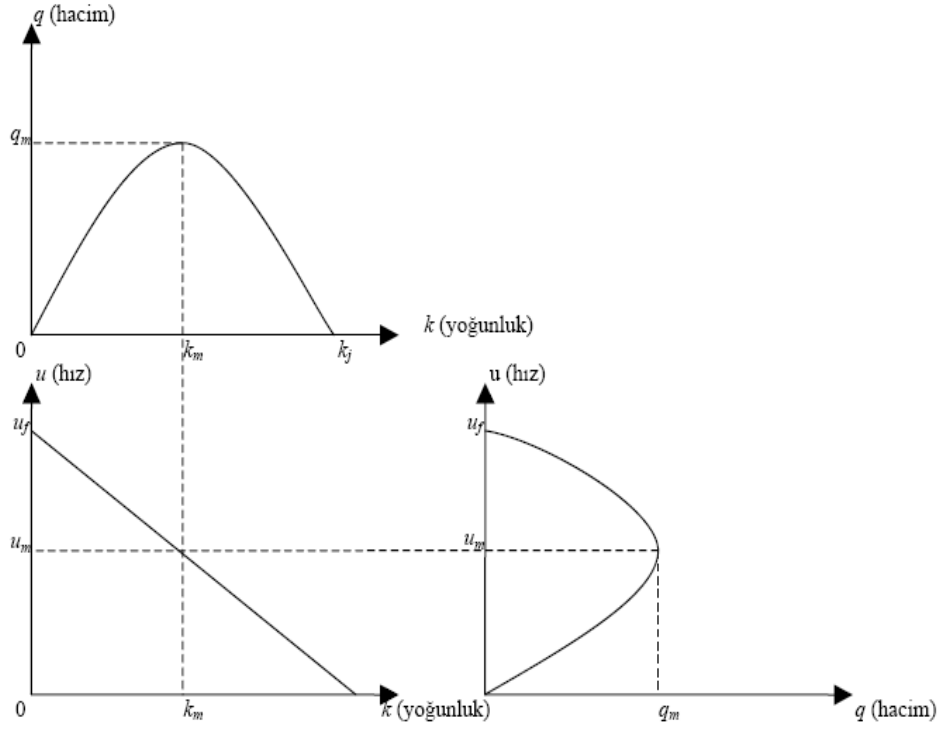
Şekil 3.2 Hız – yoğunluk ilişkisi

3.3 Hız–Akım İlişkisi

Şekil 3.3'de görüldüğü gibi tıkanıklığın olmadığı serbest akım bölgesinde akım arttıkça hız düşmektedir. Bu durum kapasiteye (q_m) erişinceye kadar devam eder. Kapasite aşıldıktan sonra hem akım hem de hız birlikte düşüşe geçerler. Kapasitenin hemen altında ve üstündeki bölgede trafik akımı kararsızlaşmakta, akımın, AB bölgesinde “serbest”, DE bölgesinde “zorlamalı” olarak aktığı bilinmektedir. Üç grafiğin birbirleriyle ilişkisi Şekil 3.4 'de gösterilmiştir.



Şekil 3.3 Hız–hacim ilişkisi



Şekil 3.4 Hacim – yoğunluk ve hız parametreleri arasındaki ilişkiler (Şahin ve Akyıldız, 2004)

3.4 Trafik Kazaları

Trafik kazaları; insan (sürücü veya yaya), araç, ve çevre (yol, tesis ve hava şartları) olmak üzere başlıca üç faktörden kaynaklanabilir.

Trafik kazalarına neden olan insan faktörü, sürücü ve yayaların her ikisini birden kapsamaktadır. Kaza tutanakları üzerinde yapılan istatistik çalışmaları, kazaların çok büyük kısmının sürücü hatalarından kaynaklandığını göstermektedir. Ülkemizde bu oranın, yabancı ülkelere kıyasla daha yüksek olduğu bilinmektedir. Ölümcül kazalar çoğunlukla aşırı hız, hatalı solama ve geçiş hakkı ihlali sonucu oluşurken, yaralanma kazaları ise geçiş hakkı ihlali, aşırı hız ve yakın takip sonucu oluşmaktadır. Kazaların büyük çoğunluğunu oluşturan hasarlı kazalar ise yaralanma ile sonuçlanan kazaların nedenleriyle hemen hemen aynıdır. Alkol, uyuşturucu ve ilaç kullanımı, yorgunluk, dikkatsizlik, acemilik, yaşlılık, sorumsuzluk, vb. gibi bir takım sürücü hataları da kazaların oluşumunda etki eden faktörlerdir.

Kazaların önemli bir kısmı otomobil sürücüleri tarafından yapılmaktadır. Yaya hataları çoğunlukla yaya geçişlerinde meydana gelmekte ve büyük kısmı da yaşlı yayalardan kaynaklanmaktadır. Park eden vasıtaların arasından çıkan yayaların yarattığı trafik kazaları daha çok çocuklar tarafından yaratılmaktadır.

Her ne kadar yol, araç ve çevresel şartların (görüş, meteorolojik ve yol yüzeyi) trafik kazaları üzerinde etkisi olsa da kaza istatistik sonuçlarına göre en ideal şartlarda (örneğin; açık hava ve kuru kaplama şartı, düz kesimli yollar, vb.) trafik kazalarının sayısı ve oranı, kötü şartlarda (örneğin; kaplama yüzeyi yağ veya karlı, çok dik eğimli ve keskin kurbulu, vb.) meydana gelen trafik kazalarından daha fazla olmaktadır. Bu durumun nedeni, ideal şartların bulunduğu gün sayısının çok olması olabileceği gibi, ideal şartlarda sürücülerin daha az dikkat sarf ederek daha hızlı sürmeye eğilimli olmaları ve dolayısıyla daha fazla kaza riski oluşması ile açıklanabilir. Yol ve trafik şartlarına göre sürücü davranışlarının modellenmesi ve sürücü karakteristiklerinin belirlenebilmesi trafik mühendisliğinin bilgi alanı dışında olup, disiplinler arası çalışmayı gerektirmektedir. Zaten son yıllarda ulaşım mühendislerinin de talep etmesi ile psikoloji biliminin içinde trafik psikolojisi alt bilim dalı da oluşmuş ve sürücü davranışları üzerinde çalışmalar yapılmaya başlanmıştır.

ABD’de yapılan geniş kapsamlı bir araştırmanın sonuçlarına göre, ölümcül kazaların %60 gibi büyük bir kısmı düz ve eğimsiz kesimlerde meydana gelmektedir (Fatality Analysis Reporting System [FARS], 1998). Bu değer her ne kadar ABD için geçerli olsa da, yol tasarım ilkeleri ve analiz için dikkate alınması gereken bir değerdir. Yine ABD’de yapılan başka bir çalışmada; arazi kullanımı, kavşak tipi ve yoldaki konumun ölümcül kazalar üzerindeki çarpıcı sonuçları verilmektedir (Tablo 3.2).

Tablo 3.2 Arazi kullanımı, kavşak tipi ve yoldaki konumun ölümcül kazalar üzerine etkisi (Institute of Transportation Engineers [ITE], 1993).

	Yolda	Banket	Refüj	Yol kenarı	Park şeridi	Diğer	Bilinmeyen	TOPLAM (%)
KENT DIŞI								
Kavşak dışında	35,4	55,3	43,9	61,4	8,5	68,2	26,4	45,9
Kavşakta	12,9	1,9	1,0	2,6	2,4	3,2	0,0	8,9
Yol bağlantısında	1,7	1,1	0,1	1,0	1,2	0,6	3,8	1,3
Demiryolu geçişi	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,7
Bilinmeyen	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	1,9	0,1
ALT TOPLAM	51,3	58,4	45,0	65,0	12,1	72,2	32,1	56,9
KENT İÇİ								
Kavşak dışında	27,2	36,5	47,8	29,0	85,4	23,5	54,7	27,9
Kavşakta	19,6	4,8	7,0	5,4	2,4	3,7	3,8	13,7
Yol bağlantısında	1,2	0,3	0,0	0,5	0,0	0,3	3,8	0,9
Demiryolu geçişi	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,4
Bilinmeyen	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	0,0
ALT TOPLAM	48,7	41,6	54,9	35,0	87,9	27,8	67,9	42,9
TOPLAM	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Örneğin; kent içi kavşaklardaki ölümcül kaza oranının kent dışı kavşaklardan daha fazla oluşu, kent dışı yollardaki yol kenarı sabit cisimlere çarpma şeklindeki ölümcül kaza oranının kent içi yollardan daha fazla oluşu ve buna benzer sonuçlar, yol güvenliği ile ilgilenen mühendisin iyileştirme taleplerine nasıl odaklanması gerektiğini göstermesi açısından önemlidir.

Kavşaklarda meydana gelen ölümcül kazaların arazi kullanımına ve trafik kontrol tipine bağlı olarak dağılımı Tablo 3.3'te verilmiştir.

Tablo 3.3 Arazi kullanımı ve trafik kontrol tipinin kavşaklardaki ölümcül kazalar üzerindeki etkisi (United States Department of Transportation Federal Highway Administration [FHWA], 2001)

Trafik Kontrol Tipi	Kent İçi (%)	Kent Dışı (%)	Bilinmeyen (%)	Toplam (%)
Kontrolsüz	35,9	35,8	54,5	35,9
Tek renkli trafik sinyali	35,7	7,3	13,6	24,5
Flaşörlü sinyal	1,9	3,7	0,0	2,6
Sinyalize	1,8	2,3	0,0	2,0
DUR işareti	23,8	49,0	31,8	33,7
YOLVER işareti	0,6	1,8	0,0	1,1
Diğer	0,0	0,1	0,0	0,1
Bilinmeyen	0,3	0,1	0,0	0,2
Toplam	100,0	100,0	100,0	100,0

Yine aynı çalışma kapsamında incelenen, yol yüzeyi ve atmosferik şartların ölümcül kazalar üzerindeki etkisi Tablo 3.4 'te sunulmaktadır.

Tablo 3.4 Yol yüzeyi ve atmosferik şartların ölümcül kazalar üzerindeki etkisi (FHWA, 2001).

Yüzey Şartları	Atmosferik Şartlar					Toplam (%)
	Normal	Yağmur	Kar/Buz	Sis	Bilinmeyen	
Kuru	82,1	0,0	0,0	0,9	0,0	83,1
Yaş	3,7	9,1	0,4	0,4	0,0	13,6
Kar	0,4	0,0	1,0	0,0	0,0	1,4
Buz	0,7	0,1	0,6	0,0	0,0	1,4
Kum ve diğeri	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
Bilinmeyen	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2	0,3
Toplam	87,2	9,2	2,0	1,3	0,2	100,0

Buraya kadar ölümcül kazalar ile ilgili verilen değerler her ne kadar ABD’de yapılan kapsamlı bir çalışmanın sonucu olsa da kaza oluşum nedenleri hakkında fikir vermesi açısından yararlı olacağı düşünülmektedir.

Araç faktörü trafik kazalarında ikinci derece rol oynamaktadır. Araç kusurlarından (fren arızası, yeterli aydınlatma, vb.) kaynaklanan kazaların oranı son derece düşüktür. Son yıllarda araçların teknik özelliklerinde (ABS sistem fren, hava yastığı, emniyet kemeri, yan koruyucu kirişler, koltuklarda baş yastığı, vb.) yapılan değişiklikler ölümcül kazaların azaltılmasını sağlamıştır. Kazaya karışan araçların yaklaşık %75’ini otomobiller, %21’ini kamyonlar, %1’inini otobüsler ve geri kalanını da diğer araçlar (motosiklet, bisiklet, iş makineleri, vb.) oluşturmaktadır. Ayrıca gece sürüşlerinde meydana gelen kazalarda otomobiller için bu oranlar artarken diğer araçlarda belirgin bir azalma görülmektedir.

Çevresel faktörler, uygun olmayan yol ve hava şartları olarak ele alınmaktadır. Bu faktörlerin trafik kazalarının oluşmasında az veya çok etkisi vardır. Yol şartlarından kaynaklanan, yol yüzey dokusu ile sürtünme karakteristiklerine bağlı kazalar ile ilgili çalışmalar Bölüm 5.2’de incelenecektir.

3.4.1 Trafik Kaza Etüdləri

Trafik kaza etüdləri; kaza oluşumuna neden olan faktörlerin, kaza oluş nedenleri ve sonuçlarının, kazaların yoğun olduğu kesimlerin belirlenmesi amacıyla yapılmaktadır. Dolayısıyla kazaya neden olan faktörlerin (insan, araç, çevre) kaza yerindeki detaylı planlarının saptanması, sonuçların (ölüm, yaralanma ve hasarların) tespiti, kara noktaların (kaza yoğunluk noktalarının) ve kaza risk bölgeleri

haritalarının hazırlanması ile kaza verileri saptanabilecektir. Bu veriler ile kazaların önlenmesi için alınacak gerekli mühendislik ve polisiye tedbirler belirlenebilecektir. Kaza etütleri ile elde edilen veriler ile belirli bir nokta veya kesim için kaza sonuçları belirlenerek kaza oluşum nedenleri ve kaza önleyici tedbirler saptanabilir. Bu amaçla belirli bir nokta veya kesimdeki kaza sonuçlarını:

- Kaza tipi ve şiddeti,
- Kaza sıklığı,
- Kazaya karışanlar,
- Çevresel şartlar,
- Zaman periyotları,

yönünden sınıflandırmak mümkündür. Kaza tipleri yönünden genel olarak:

- Arkadan çarpma,
- Yandan çarpma,
- Önden çarpma,
- Sol dönüş çarpması,
- Sabit bir nesneye çarpma,
- Yandan sürtme,
- Yaya ile ilgili,
- Yoldan çıkma,
- Parkeden araca çarpma,
- Bisiklet ile ilgili,

Şeklinde sınıflandırılmaktadır (Tunç, 2004). Bu sınıflandırmaların amacı alınabilecek uygun yol güvenlik tedbirlerinin seçimi içindir. Zira her bir güvenlik tedbiri kaza tipine bağlı olarak belirlenmek zorundadır. Tablo 3.5 'te farklı kaza tipleri için olası kaza nedenleri sunulmaktadır.

Tablo 3.5 Farklı kaza tipleri için olası kaza nedenleri

Kaza Tipi	Olası Kaza Nedenleri
Sol – Dönüşlerde önden çarpma	Sol trafik hacminin büyüklüğü Kısıtlı yanal görüş mesafesi Çok kısa sarı ışık süresi Özel sol dönüş şeridinin olmaması Kavşağa yaklaşımlarda aşırı hız
Sinyalize kavşaklardaki sağ dönüşlerde dik açılı çarpma	Kısıtlı yanal görüş mesafesi Aşırı hız Sinyalin iyi görünmemesi Uygun olmayan sinyal süreleri Yetersiz aydınlatma Aşırı trafik hacmi
Sinyalize olmayan kavşaklardaki sağ dönüşlerde dik açılı çarpışma	Kısıtlı yanal görüş mesafesi Aşırı trafik hacmi Aşırı hız Uygun olmayan aydınlatma Uygun olmayan kavşak uyarı levhası Uygun olmayan trafik kontrol araçları
Sinyalize olmayan kavşaklarda arkadan çarpma	Sürücü hatası (Sürücünün kavşaktan haberdar olmaması) Kaygan kaplama Aşırı dönüş yapan trafik hacmi Yetersiz hız Araçlar arasında yetersiz aralık Karşıdan karşıya geçen yayalar
Sinyalize kavşaklara arkadan çarpma	Kaygan kaplama Aşırı dönüş yapan trafik hacmi Sinyalin iyi görünmemesi Uygun olmayan sinyal süreleri Yetersiz aydınlatma
Araç – Yaya çarpışması	Kısıtlı yanal görüş mesafesi Yayaların yetersiz korunması Okul geçiş alanları Uygun olmayan sinyalizasyon Uygun olmayan sinyal fazı
Yaş kaplama	Kaygan kaplama Yetersiz veya uygun olmayan yer işaretlemesi
Yoldan çıkma	Aşırı hız Kaygan kaplama Yetersiz aydınlatma Trafik kontrol araçlarının iyi görünmemesi Uygun olmayan yol tasarımı Yetersiz banket Yetersiz yönlendirme tekniği
Sabit nesneye çarpma	Aşırı hız Kaygan kaplama Yetersiz aydınlatma Yetersiz veya uygun olmayan yer işaretlemesi Uygun olmayan yol tasarımı Sabit nesne yol içinde veya çok yakınında Uygun olmayan trafik kontrol cihazları ve bariyer
Park eden vasıtalarla çarpma	Aşırı hız Yetersiz veya uygun olmayan yer işaretlemesi Yolda yetersiz park açıklığı Açısız park etmiş araçlar Yasal olmayan park

Tablo 3.5 Farklı kaza tipleri için olası kaza nedenleri (devamı)

Kaza Tipi	Olası Kaza Nedenleri
Yandan sürtme veya önden çarpışma	Aşırı hız Yetersiz veya uygun olmayan yer işaretlemesi Uygun olmayan yol tasarımı Yetersiz yönlendirme tekniği Yetersiz kaplama bakımı Yetersiz düşey işaretleme
Yol ile ilgili kazalar	Aşırı dönüş yapan trafik hacmi Kısıtlı görüş mesafesi Aşırı hız Yetersiz aydınlatma Yol ekseninin uygun olmayan yerleşimi Sapmayan aşırı trafik hacmi
Gece kazaları	Trafik kontrol cihazlarının iyi görünmemesi Yetersiz aydınlatma Yetersiz işaretleme Yetersiz yönlendirme tekniği

Çalışma kapsamında 2009 yılı başında Trafik Kanunu'nda yapılan değişiklik nedeni ile anlaşma ile sonuçlanan ikili kazalar TRAMER'den; ölümlü, yaralanmalı, kamu araçlarının karıştığı kazalar ile tek aracın bulunduğu kazalara ait veriler Emniyet Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Tablolarda boş kısımlar TRAMER'den elde edilmiş verilere karşılık gelmektedir. Verilere ait açıklama indisleri ve istatistikler aşağıda ayrıntılı olarak gösterilmektedir.

Sürücü Kusurları:

1. Kırmızıda geçme.
2. Taşıt giremez trafik işaretinin bulunduğu karayoluna veya bölünmüş karayolunda karşı yönden gelen trafiğin kullandığı şerit, rampa ve bağlantı yollarına girme.
3. İki den fazla şeritli taşıt yollarında karşı yoldan gelen trafiğin kullandığı şerit veya yol bölümlerine girme.
4. Arkadan çarpma.
5. Geçme yasağı olan yerlerden geçme.
6. Doğrultu değiştirme manevralarını yanlış yapma.
7. Şeride tecavüz etme.
8. Kavşaklarda geçiş önceliğine uymama.
9. Kaplamanın dar olduğu yerlerde geçiş önceliğine uymama.

10. Manevraları düzenleyen genel şartlara uymama.
11. Yerleşim yeri dışındaki karayolunun taşıt yolu üzerinde zorunlu haller dışında park etme veya duraklama ve her durumda gerekli tedbirleri almama.
12. Park için ayrılmış yerlerde veya taşıt yolu dışında kurallara uygun olarak park etmiş araçlara çarpma.

Tablo 3.6 Hava durumu ve kaza ilişkisi

	Hava Durumu	Kaza İlgisi
1	Açık	ÇARP.: Çarpma
2	Bulutlu	SCÇAP.: Sabit Cisme Çarpma
3	Yağmurlu	D.A.Ç: Duran Araca Çarpma
4	Sisli	DEV: Devrilme
5	Karlı	YOL.ÇKM.: Yoldan Çıkma
6	Fırtınalı	YAYA: Yaya Kaynaklı Kaza
7	Tipili	

3.4.2 Trafik Kazaları- Sürtünme Direnci-Yol Dokusu İlişkileri

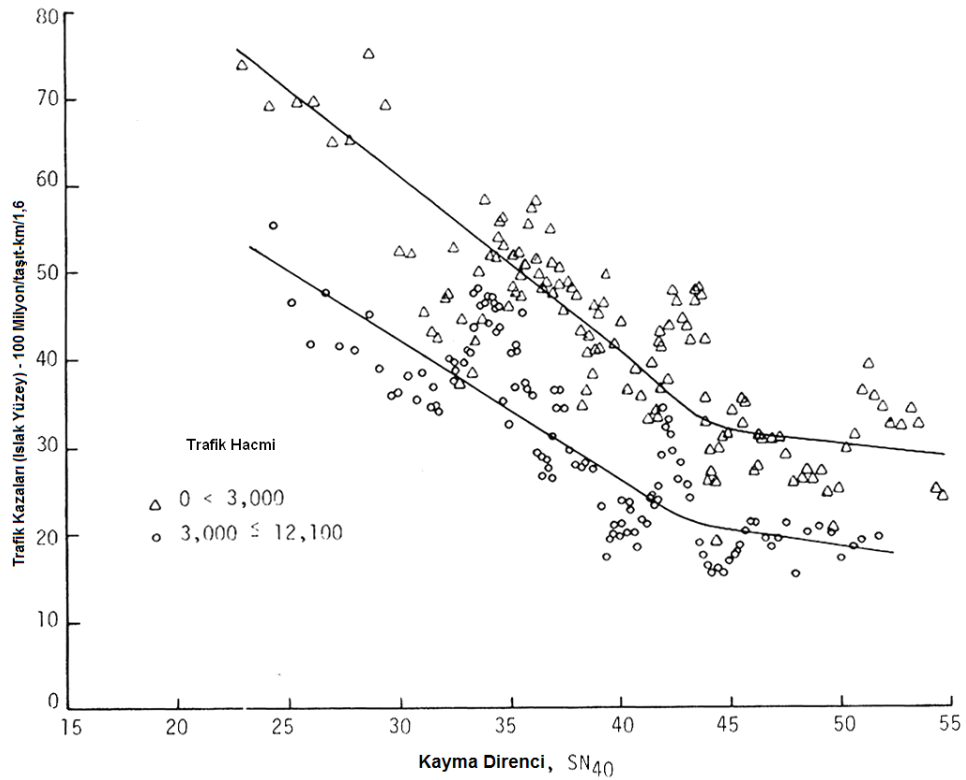
Taşıtların emniyetli duruş mesafesinde dolayısı ile trafik güvenliğinde taşıtın hızı yanında yolun yüzey dokusu ile sürtünme direncinin etkisi olduğu açıktır. Yol kuru ve temiz ise taşıt lastiği ile yol yüzeyi arasında yüksek sürtünme sağlanması mümkündür. Ancak kirli ve ıslak yol yüzeyleri için bazı olumsuzluklar ortaya çıkmaktadır. Bu olumsuzluklar taşıt lastikleri ile yol yüzey dokusuna bağlıdır.

Yol oldukça ıslak ve düz; taşıt yüzeydeki su filminin parçalanamayacağı kadar hızlı ise aderansın yok olması gibi çok tehlikeli bir durum ortaya çıkacaktır. Bu durumda taşıt, yolun yalnızca yatay reaksiyonları ile hareket eder ve gidişi güvenli değildir. Yol yüzeyi kuru olsa bile, taşıt hızı arttıkça sürtünme katsayısında hissedilir bir azalma görülür (Kalyoncu ve Tığdemir, 2000).

Trafik kazaları ile sürtünme arasındaki ilişkiyi kesin bir şekilde kurmak zor olmasına karşın, ampirik araştırmalar sonucunda elde edilen verilere göre, sürtünme azaldıkça yağışlı hava kazalarında artış belirlenmiştir. Günümüze kadar yapılan araştırmalar şu şekilde özetlenebilir:

Amerika Birleşik Devletleri'nin Kentucky kentinde yapılan bir çalışmada, genellikle şehirlerarası yollar ve otoparklardaki kaza ve kaplama yüzeyi sürtünme katsayılarına ait veriler incelenmiştir. SN 40 R, sürtünme katsayısı 64 km/saat (40 mi/hr) kilitlenmiş tekerlek deneyiyle elde edilen verilere göre sürtünme katsayısının 40'dan az olduğu, düşük ve orta seviye trafik hacimlerinde yağışlı hava kazalarını arttığı görülmüştür (Şekil 3.5).

Diğer bir araştırmada, aynı trafik hacmine ve fonksiyonuna sahip ve sürtünmeye bağlı kazaların sıkça yaşandığı yollar arasından rastgele seçilen 100 istasyon noktası için yapılan çalışmalar sonucunda sürtünme değerlerinin 60'ın üzerinde olduğu yollarda sürtünmeye bağlı kaza oranları düşükken, 50'nin altındaki istasyon noktalarında bir anda yükselmektedir (Cairney, 1997; Giles, Sabey ve Cardew 1962).



Şekil 3.5 Yağmurlu hava kazaları ile kayma direnci ilişkisi (Rizenbergs, Burchett ve Napier, 1973)

Texas, ABD'de yapılan bir çalışmada, sürtünme ile kazalar arasındaki ilişkinin belirlenmesi için 571 farklı istasyondan alınan kaza ve sürtünme değerleri incelenmiştir. Büyük oranda kazaların düşük sürtünme değerleri olan noktalarda

yoğunlaştığı belirlenmiştir. 48 km/saat (30 mi/hr) hız için gereken minimum sürtünme katsayısı 0,40 olarak belirlenmiştir (Mc Cullough ve Hankins, 1966).

İngiltere’de yapılan başka bir araştırmada, M4 otoyolunun bakım gördükten sonraki ve bakım görmeden önceki sürtünme değerlerinin kazalar üzerine etkileri araştırılmıştır. Yenileme yapılmadan iki yıl öncesine kadar ve yenileme yapıldıktan iki yıl sonrasına kadar alınan verilere göre kuru havalarda meydana gelen kazalarda %28 oranında, yağışlı havalarda ise %68 oranında azalma gözlenmiştir (Miller ve Johnson, 1973).

Ontario, Kanada’da tehlikeli olarak nitelendirilen ve sürtünme değerlerinin çok düşük, buna bağlı olarak yağışlı hava kazalarının sıklıkla meydana geldiği bir otoyol ağında yenilenen kaplama üzerinde yapılan deneysel çalışmalarda, yenilemeden sonra kavşaklarda kazaların %46, kuru hava koşullarında %21, yağışlı hava koşullarında ise %71 oranında azaldığı saptanmıştır. Karayollarında ise, kuru hava koşullarında meydana gelen kazalarda azalma %16, yağışlı hava koşullarında ise %59 oranında kazalarda azalma olduğu tespit edilmiştir (Kamel ve Gartshore, 1982).

Otoyol yüzey özelliklerinin arasındaki neden sonuç ilişkilerinin belirlenmesi amacıyla yapılan üç farklı çalışmada; 1) Yanal kuvvet katsayısı (SFC) 0,50’nin altında olan kesimlerde SFC değerinin 0,60’ın üzerinde olan kesimlerdeki göre yağışlı havalardaki kaza oranı en az %50 artmıştır, 2) SCF değerinin 0,05 düşmesi, kaza riski ve şiddetinde yaklaşık %50 oranında artışa sebep olmaktadır (Gothie, 1996).

Yağışlı havalarda meydana gelen kazaların nadiren yaşandığı 40 ayrı noktada yapılan başka bir çalışmada kaplamalar tamamen yenilendikten sonra 740 tekrarlı kazanın önemli ölçüde azaldığı görülmüştür (Bray, 2002).

İngiltere’deki şehirlerarası otoyolların bakım öncesi ve sonrasının değerlendirildiği bir projede, kaplamadaki sürtünme katsayısının artmasına rağmen kaza oranlarında da artış olduğu saptanmıştır. Bunun sebebi sürüş kalitesini arttırdıkça yol kullanıcılarının seyahat sırasındaki hızlarını arttırma eğiliminde

olmaları ile açıklanabilir. Yani yolun standartları arttıkça kaza riski de artmaktadır (Mc Lean, 1995).

Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü'nün (OECD) araştırmasına göre ABD'deki kazalar ile sürtünme katsayısı arasında doğrusal bir ilişki kurulamamıştır (OECD, 1984).

1990'ların başında Porto Riko'da minimum Mu – metre kayma sayısı ile ıslak–kuru kaza oranı arasında istatistiksel olarak oldukça önemli bir ilişki olduğu saptanmıştır. Doğrusal regresyon kullanılarak, bu iki değişken için R^2 değeri 0.55 olarak hesaplanmıştır. Diğer bağımlı değişkenler toplam kazalardaki yağışlı hava kazaları içinde değerlendirilmiştir. Ortalama sürtünme katsayısının minimum sürtünme katsayısına göre kazalar üzerinde daha etkili olduğu görülmüştür (Gandhi, Colucci ve Gandhi, 1991).

Sürtünme ile kaza oranlarının değerlendirildiği bir çalışmada, yine artan sürtünme katsayısının kaza oranlarını düşürdüğü tespit edilmiştir (Wallman ve Astrom, 2001). Çalışma kısaca Tablo 3.7 'de özetlenmiştir:

Tablo 3.7 Sürtünme kaza oranı ilişkisi (Wallman ve Astrom, 2001)

Sürtünme Aralığı	Kaza Oranı (yaralanmalar/milyon araç km)
<0,15	0,80
0,15 – 0,24	0,55
0,25 – 0,34	0,25
0,35 – 0,44	0,20

Fransız araştırmacıların Bordeaux kentinde yaptıkları çalışmalarda yanal sürtünme katsayısının 0,60'dan 0,50'ye düşmesiyle birlikte kaza riskinin beş kat arttığı görülmüştür. Bu çalışmada ayrıca, doku derinliğinin 0,40 mm'den az olması halinde yağışlı hava kazalarının riskinin artacağını vurgulanmıştır (Larson, 1999).

Ülkemizde yol yüzey durumuna ilişkin kaza oranları Tablo 3.8 'de sunulmuştur. Yol yüzeyinin durumu doğrudan iklim şartlarından etkilenen bir özelliktir. Bu değerlere göre su, kar ya da buzun kazalar üzerinde fazla etkisinin olmaması, kuru

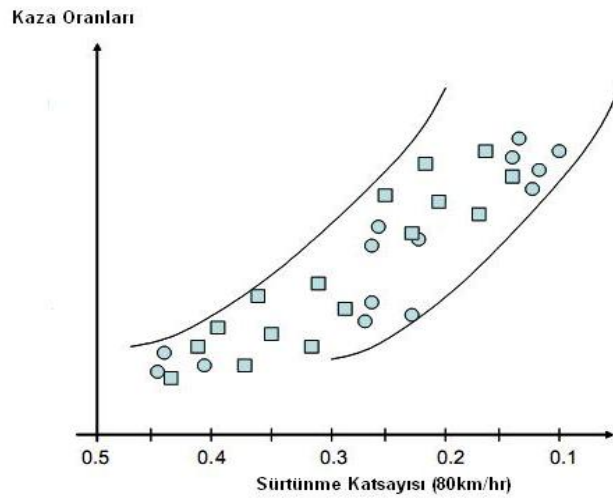
yol yüzeyinde meydana gelen kazaların sürücü faktörüne bağlı dikkatsiz araç kullanımı yani risk alma eğiliminin artması ile ilgili olabileceği düşünülmektedir.

Tablo 3.8 Türkiye’de yol yüzey durumuna bağlı kaza oranları (Kalyoncu ve Tığdemir, 2000)

Yüzey Durumu	Toplam Kaza Oranı
Kuru	75,95
Islak	22,16
Çamurlu	0,35
Karlı	0,61
Buzlu	0,75
Tuzlu	0,18
Toplam	100

Pennsylvania Ulaştırma Enstitüsü’ndeki araştırmacılar, trafik kazalarını tahmin etmek için iki bulanık mantık modeli geliştirmişlerdir. Kayma sayısı (SN), hız, ortalama günlük trafik (OGT), kaplama ıslaklık süresi ve sürüş güçlükleri gibi kayma kazalarında risk oluşturan faktörleri değişken olarak kullanmışlardır. Sonuçlar, SN değerinin 33,4’ten 48’e çıkmasıyla yağışlı hava kazalarında %60 oranında azalma olduğunu göstermiştir (Xiao, Kulakowski ve El-Gindy, 2000).

Yağışlı hava kazaları ile sürtünme katsayısı ilişkisi Şekil 3.6’da gösterildiği gibidir. Almanya’da yapılan yağışlı hava güvenliği etkisinin incelendiği çalışmada, yine kaplama yüzeyindeki sürtünme katsayısının düşmesi ile kaza oranının arttığı görülmüştür.



Şekil 3.6 Yüzey kayma direnimi ile kaza oranları (Schulze, Gerbaldi ve Chavet, 1976)

Görüldüğü üzere trafik kazalarını çok yönlü değerlendirmek gerekmektedir. Ancak ülkemizde tutulan kaza tutanaklarından elde edilen verilerde, yol yüzey özelliklerinden kaynaklanan kaza oranlarının gelişmiş ülkelere oranla çok az olduğu görülmektedir. Çoğu kez, yol kusurlarından dolayı meydana gelen kazalar sürücü kusuru olarak kayıtlara geçmekte, dolayısı ile yol kusurundan kaynaklanan veriler çok düşük değerlerde kalmaktadır. Kaza tutanaklarında yol koşulları ile ilgili bölümler bulunmasına rağmen, raporlama sırasında bilgiler dikkate alınmamakta ya da gerekli önem verilmeden rapora işlenmesi kaza nedeni hakkında yanıltıcı sonuçlar vermektedir. Benzer durumda TRAMER'den elde edilen kaza tutanakları için de geçerlidir. Kazaya karışan sürücüler arasında tutulan raporlar yol kusuru haricinde kendi menfaatleri doğrultusunda oluşturulduğu dolayısı ile sağlıklı sonuçlar vermediği için güvenilirlikten uzaktır.

Yukarıda bahsi geçen sebeplerden dolayı yol kusuru ile ilgili kaza bilgileri neredeyse yok denecek kadar az olması sebebi ile tez kapmasında kazalar bir bütün olarak ele alınmıştır.

BÖLÜM DÖRT

İSTASYON NOKTALARININ BELİRLENMESİ

İzmir, Türkiye'nin batısında Ege Bölgesi'nin en büyük, ülkemizin de üçüncü büyük ilidir (2008 yılı nüfusu: 3.401.994 kişi) (Türkiye Cumhuriyeti Başbakanlık Türkiye İstatistik Kurumu [TÜİK], 2012). İlin yüzölçümü 12.012 km², nüfus yoğunluğu 283 kişidir (TÜİK, 2012). Kuzeyinde Balıkesir, doğusunda Manisa, güneyinde Aydın illeri ile sınır komşusudur (Şekil 4.1). İzmir'den çeşitli yönlerde uzanan karayolları (İzmir-Çanakkale, İzmir-Aydın, İzmir-Ankara ve İzmir-İstanbul karayolları) ile Türkiye'nin her bölgesine ulaşmak mümkündür. Şehirlerarası otobüs terminali kentin 11 km doğusundadır. Ayrıca kent merkezinden, Aydın ve Çeşme'ye otoyol bağlantısı vardır.

İzmir'i çevre illere bağlayan bu ulaşım hatları dışında, kent içinde ise Üçyol-Bornova arasında metro, körfezi dolaşan vapur ve feribotlar, kent içi ulaşımı sağlayan büyükşehir belediyesine ait otobüsler hizmet vermektedir. İzmir, Ege Bölgesi'ndeki 6.657 km'lik karayolunun % 27'sine (1.788 km) sahiptir (İzmir Ticaret Odası [İZTO], 2008). Çevresindeki tüm illere direk karayolu ile bağlanma imkânına sahip olan ilde karayolu ağı verilen T.C. Ulaştırma Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) tarafından hazırlanmış haritada görülmektedir. İzmir kuzeyde Dikili'den güneyde Selçuk'a kadar uzanan 629 km'lik bir kıyı şeridinde sahiptir. Bu kıyı şeridi üzerinde Dikili, Çeşme ve İzmir kent merkezinde önemli deniz giriş kapıları bulunmaktadır. İzmir-Alsancak deniz yolcu limanı, dış ve iç hat tarifeli seferleriyle birçok yere deniz yolu ile ulaşımı sağlamaktadır. Diğer taraftan Ege Bölgesi Türkiye'nin en fazla demiryolu ağına sahip bölgesi olmakla birlikte; İzmir merkezli demiryolları, tüm Ege'yi sarmaktadır. Muğla dışındaki tüm illere ve önemli merkez ilçelere İzmir'den demiryolu ile ulaşmak mümkündür. İzmir'de uluslararası sivil hava meydanı niteliğinde Adnan Menderes Havalimanı, Hava Kuvvetleri Komutanlığı'na bağlı Çiğli Tuzla'da bulunan Kaklıç Askeri Havalimanı ve Selçuk'ta bir stoal tipi havalimanı bulunmaktadır. İzmir kentinde günlük 1 milyon kişinin hareket etmesi neticesinde aylık 30 milyon kişilik ulaşım hareketinin ortaya çıktığı tahmin edilmektedir. Bu 30 milyon kişiden, toplu ulaşım araçlarını

kullanıcıların sayısının aylık yaklaşık 26 milyon civarında olduğu tahmin edilmektedir (İZTO, 2008).



Şekil 4.1 İzmir ili ve çevresini birbirine bağlayan karayolu ağı (Türkiye Cumhuriyeti Ulaştırma Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü [KGM], 2008)

İstasyon noktaları başlangıçta aşağıdaki genel başlıklar altında değerlendirilmiştir;

- İzmir kent merkezi ile çevresindeki arazi ölçüm ve gözlemleri için istasyon noktalarının belirlenmesi,
- Belirlenen istasyon noktalarındaki yol kaplaması malzeme özelliklerinin belirlenmesi,
- Belirlenen istasyon noktalarında yüzey dokusu ile sürtünme dirençlerinin ölçülerek Uluslararası Sürtünme İndeksinin tayini,
- Belirlenen istasyon noktalarında trafik kaza tutanaklarının incelenmesi ve kaza oluşumlarının incelenmesi,
- Belirlenen istasyon noktalarında araç kompozisyonunun belirlenmesi, trafik sayımlarının yapılması ve hacim-hız-yoğunluk parametrelerinin saptanması,
- Genel değerlendirme yapılması.

Tez çalışmaları kapsamında tüm ölçümlerin ve gözlemlerin yapılabilmesi için İzmir Emniyet Müdürlüğü ve Karayolları 2. Bölge Müdürlüğü desteği ile İzmir ili ve

evre yollarında ölçüm noktaları belirlenmiştir. Bu istasyon noktaları hizmet ettikleri trafiğin ve bulundukları bölgenin özelliklerine göre 4 farklı grup içinde değerlendirilmişlerdir.

- a) Otoyol ve evre yolu niteliği taşıyan yollar
- b) şehirlerarası yollar
- c) Transit yollar
- d) şehir içi yollar

İzmir ili kapsamında ele alınan yolların isimleri, yerleri ile şerit sayıları Tablo 4.1’de sunulmuştur.

Tablo 4.1 Yol sınıfları ile istasyon noktaları

Yol Sınıfları	İstasyon Adı	İstasyon Adresi	şerit Sayısı
Otoyol ve evre Yolu Niteliği Taşıyan Yollar	Karşıyaka Tünelleri	Kuzey evreyolu	2x3
şehirlerarası Yollar	İzmir – Menderes – Torbalı ayrımı (Kısıkköy) İzmir – Yeni Foça ayrımı İzmir- Eski Foça Ayrımı	Menderes – İzmir – Aydın Devlet Yolu İzmir – Çanakkale Devlet yolu İzmir – Çanakkale Devlet yolu	2x2 2x2 2x2
Transit Yollar	Altınyol Özkanlar st geçit Yeşildere	Altınyol Ankara Caddesi Yeşildere Cad	2x3 2x3 2x3
şehir İçi Yollar	Göztepe Vapur İşk. stgeit Yeni Girne Cad. Özkanlar Migros n Manavkuyu Köprülü Kavşak Bağlantısı Menderes Caddesi	M. Kemal Sahil Bl. Yeni Girne Cad. M. Kemal Cad. Ankara Asfaltı Buca Heykel	2x3 2x3 2x3 2x2 2x2

Bu yol kesimleri belirlenirken İzmir ili ve çevresindeki yolları temsil edecek şekilde istasyon seçimi yapılması hedeflenmiştir. Bununla birlikte seçim sırasında incelemeye alınan istasyonlara ait yol kaplama tipi ve satıh durumları da göz önüne

alınmıştır. Tez çalışmaları süresi içinde yol sathı üzerinden kesintisiz olarak (sathı yenileme veya yama imalatlarının olmayacağı) veri sağlanabilecek yollar seçilmeye çalışılmıştır. İstasyon seçiminde bir diğer parametre ise trafik güvenliği açısından ölçülmesi planlanan istasyon noktaları üzerinde ölçümler sırasında trafiğin yönlendirilebilme olanağıdır.

İlerleyen bölümlerde de açıklanacağı gibi ölçümler sırasında güvenlik ve trafik yönlendirilme sıkıntıları sebebi ile bazı istasyonlar gözlem dışı bırakılmış, bazılarında ise yalnızca bir şerit üzerinden veri sağlanabilmiştir. 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.

İstasyon noktaları üzerinde arazi çalışmaları üçer aylık periyotlar arasında yapıldığından elde edilen veriler:

2009 yılı için Birinci dönem (2009/1),

İkinci dönem birinci ve ikinci ölçüm (2009/2.1) ve (2009/2.2);

2010 yılı için Birinci dönem birinci ve ikinci ölçüm (2010/1.1) ve (2010/1.2);

İkinci dönem birinci ve ikinci ölçüm (2010/2.1) ve (2010/2.2);

2011 yılı için Birinci dönem birinci ve ikinci ölçüm (2011/1.1) ve (2011/1.2)

İkinci dönem birinci ölçüm (2011/2.1)

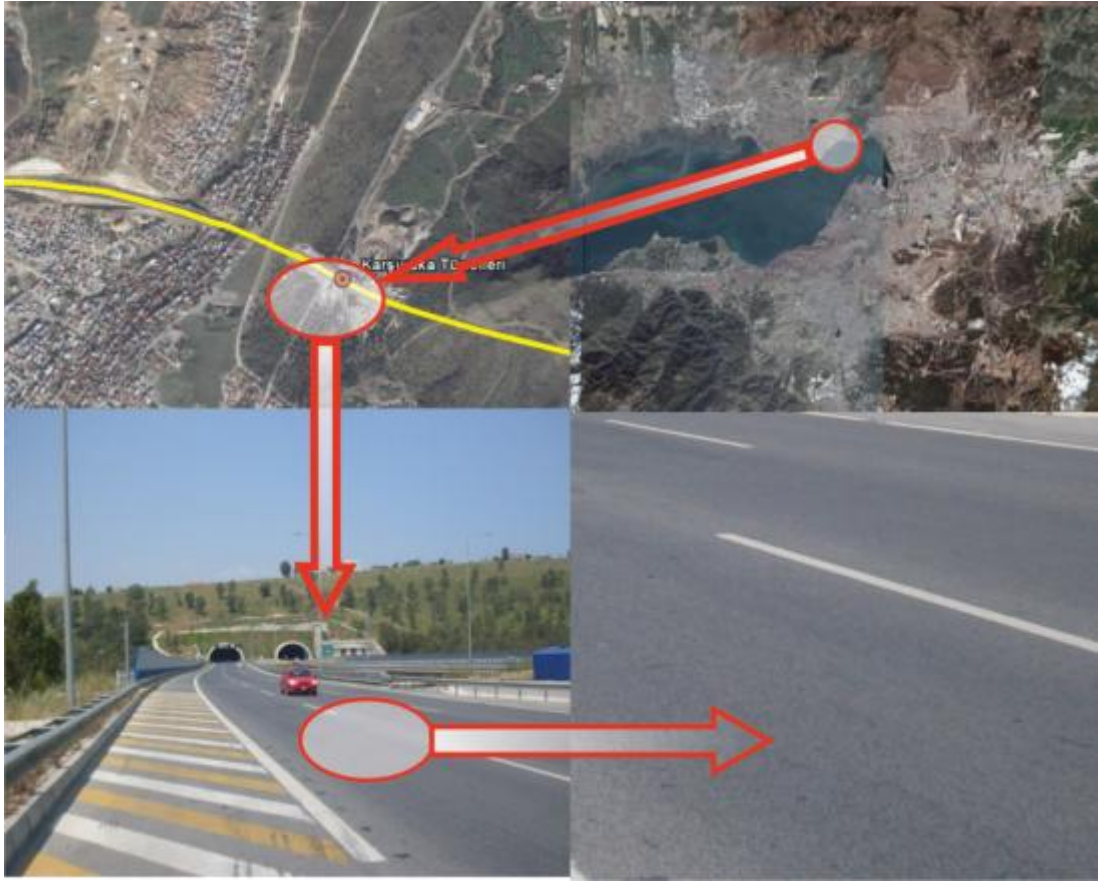
olarak gruplandırılmıştır.

Aşağıda incelemeye alınan istasyon noktaları ile ilgili genel bilgilerle birlikte sathı durumları ve genel görünimleri sunulmaktadır.

4.1 Otoyol ve Çevre Yolu Niteliği Taşıyan Yollar

4.1.1 Karşıyaka Tünelleri

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. Karşıyaka Tünelleri’ne ait, genel görünüm, ölçüm yapılan yer ve yol sathının durumu Şekil 4.2 'de gösterilmiştir.

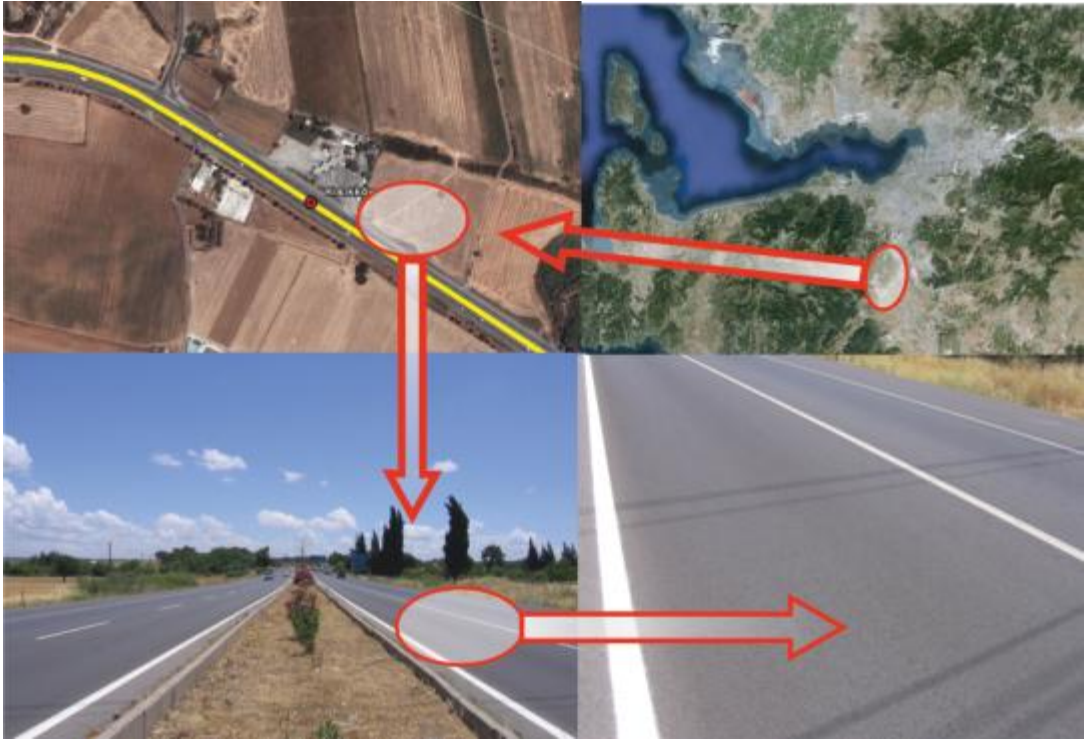


Şekil 4.2 Karşıyaka Tünelleri, ölçüm yapılan yer ve yol sathının durumu.

4.2 Şehirlerarası Yollar

4.2.1 İzmir – Menderes – Torbalı Ayrımı (Kısıkköy)

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–Menderes–Torbalı ayrımına (Kısıkköy mevki) ait genel görünüm, ölçüm yapılan yer ve yol sathının durumu Şekil 4.3'de gösterilmiştir.



Şekil 4.3 İzmir-Menderes-Torbalı ayrımı (Kısıkköy), genel görünüm

4.2.2 İzmir – Yeni Foça Ayrımı

İzmir – Yeni Foça ayrımı, İzmir – Çanakkale Devlet yolu üzerinde olup, İzmir İli'nin kuzeyinde yer almaktadır. Çevresinde bir kaç önemli fabrika olmasından dolayı kaplama üzerinde ağır trafik yükü etkileri görülmektedir. Yol ikisi gidiş, ikisi geliş olmak üzere toplam dört şeritli olup genişlik yaklaşık 20 m.'dir. İzmir – Foça

ayırımı'na ait genel görünüm, ölçüm yapılan yer ve yol sathının durumu Şekil 4.4'de gösterilmiştir.



Şekil 4.4 İzmir-Yeni Foça ayrımı, ölçüm yapılan yer ve yol sathının durumu

4.2.3 İzmir – Eski Foça Ayrımı

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. İzmir – Eski Foça ayrımına ait genel görünüm, ölçüm yapılan yer ve yol sathının durumu Şekil 4.5'de gösterilmiştir.



Şekil 4.5 İzmir-Eski Foça ayırımına ait genel görünüm ve yüzey yapısı

4.3 Transit Yollar

4.3.1 Altınyol

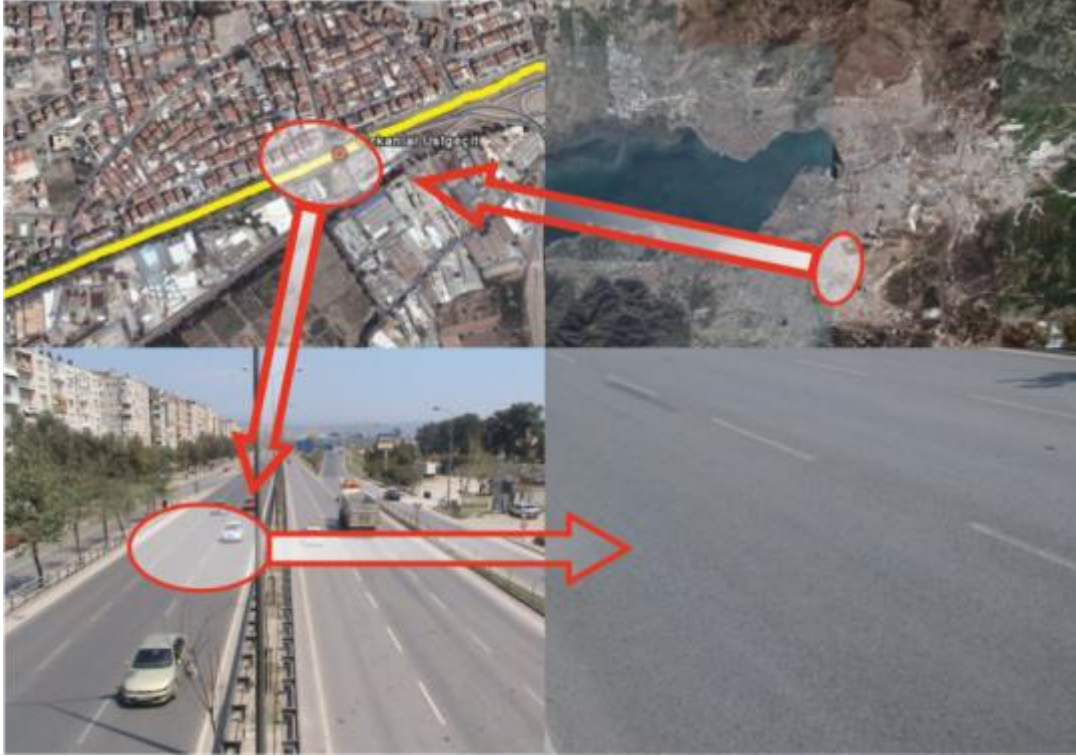
Altınyol Caddesi, İzmir–Çanakkale Karayolu’nun İzmir şehir için kesimine ait bir bölümü olup Anadolu Caddesi ile Mürselpaşa Caddesi arasında kalan kısımdır. Yol, İzmir ilinin Karşıyaka ilçesi ile en önemli bağlantısı olup, uzunluğu yaklaşık 3,5 km, genişliği ise yaklaşık 26 m’dir. Şubat 2007 tarihinde Çiğli–Bornova Çevreyolu’nun (Kuzey Otoyolu) hizmete girmesine kadar İzmir ilinin güney ve kuzeyini birbirine bağlayan tek yol olma özelliğini taşımıştır. Altınyol’a ait, genel görünüm, ölçüm yapılan yer ve yol sathının durumu Şekil 4.6’de gösterilmiştir.



Şekil 4.6 Altinyol, ölçüm yapılan yer ve yol sathının durumu.

4.3.2 Ankara Caddesi Özkanlar Üstgeçit

Ankara Caddesi, Altinyol ile Mürselpaşa Caddesi'nin kesiştiği yerden başlayıp, Bornova yönüne doğru, Ankara istikametine uzanan bir yoldur. Uzunluğu yaklaşık 6,7 km olan bu yol üç gidiş, üç geliş olmak üzere toplam altı şeritli ve bölünmüş bir yoldur. Bu yol İzmir ilini doğu yönlerine bağlayan en önemli yoldur. Ankara Asfaltı'na ait, genel görünüm, ölçüm yapılan yer ve yol sathının durumu Şekil 4.7'de gösterilmiştir.



Şekil 4.7 Ankara Caddesi (Özkanlar), ölçüm yapılan yer ve yol sathının durumu

4.3.3 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, ölçüm yapılan yer ve yol sathının durumu Şekil 4.8'de gösterilmiştir.



Şekil 4.8 Yeşildere genel görünüm, ölçüm yapılan yer ve yol sathının durumu

4.4 Şehir İçi Yollar

4.4.1 Mustafa Kemal Sahil Bulvarı

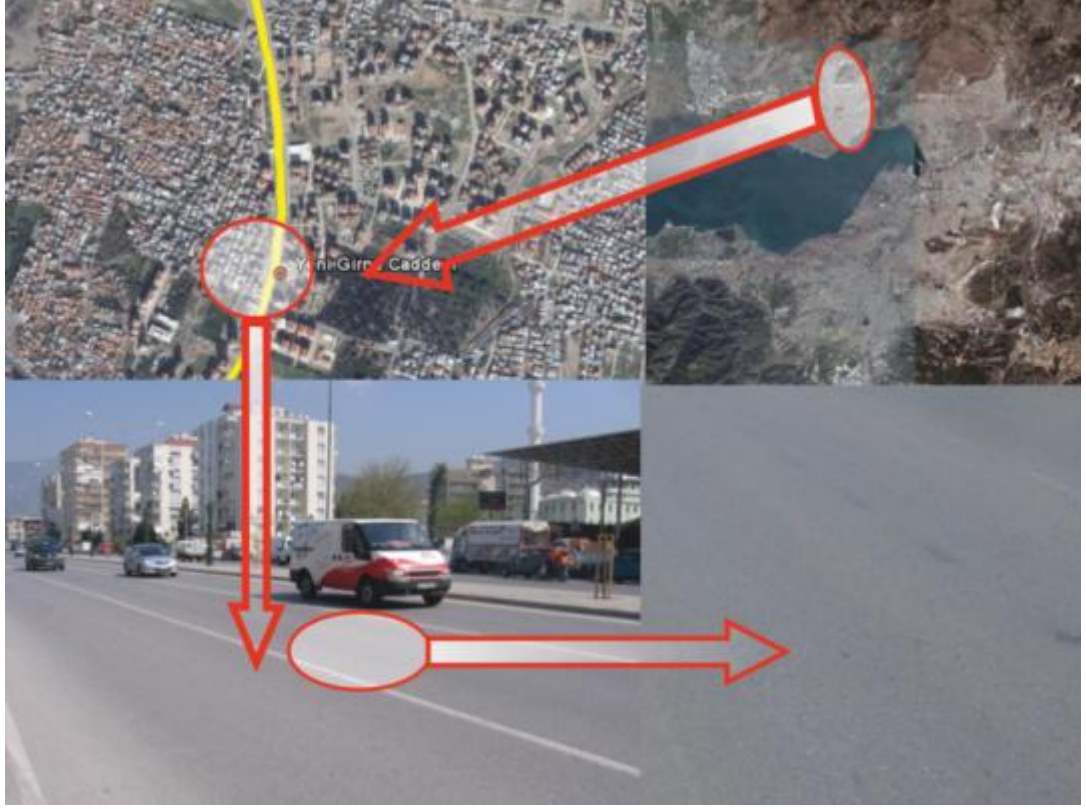
Mustafa Kemal Sahil Bulvarı, İzmir Körfezi'nin güney sahil şeridi boyunca devam eden, 6,2 km uzunluğunda ve yaklaşık 27 m genişliğinde bir yoldur. Bu yol, Cumhuriyet Bulvarı ile Fevzipaşa Caddesi'nin kesiştiği noktadan başlayarak, İzmir-Çeşme Otoyolu'na bağlanmaktadır. Yolun denizden uzaklığı yaklaşık 17 m'dir. M. Kemal Sahil Bulvarı (Göztepe vapur iskelesi üst geçit'i) istasyon noktalarına ait genel görünüm, ölçüm yapılan yer ve yol sathının durumu Şekil 4.9'da gösterilmiştir.



Şekil 4.9 M. Kemal Sahil Bulvarı, genel görünüm, ölçüm yapılan yer ve yol sathının durumu.

4.4.2 Yeni Girne Caddesi

10 Nisan Köprülü Kavşağı'ndan başlayarak Örnekköy yönünde Ali Alp Böke Caddesi'ne bağlanan yoldur. Üç şeridi gidiş, üç şeridi geliş olmak üzere toplam altı şeritlidir. Yeni Girne Caddesi'nin uzunluğu 2,5 km, genişliği ise 35 m'dir. Kuzey Çevreyolu'na (Çiğli – Bornova Otoyolu) bağlantısından dolayı toplayıcı yol niteliği taşımaktadır. Yeni Girne Caddesi'ne ait, genel görünüm, ölçüm yapılan yer ve yol sathının durumu Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



Şekil 4.10 Yeni Girne Caddesi, genel görünüm, ölçüm yapılan yer ve yol sathının durumu.

4.4.3 Mustafa Kemal Caddesi (Özkanlar Migros Önü)

Dumlupınar Caddesi ile Sakarya Caddesi'nin kesiştiği yerden başlayarak, Bornova Merkez'e kadar olan, üç şeridi gidiş, üç şeridi geliş olmak üzere toplam altı şeritli bir yoldur. Yolun uzunluğu yaklaşık 2,5 km, genişliği ise yaklaşık 25 m'dir. Mustafa Kemal Caddesi'ne ait, genel görünüm, ölçüm yapılan yer ve yol sathının durumu Şekil 4.11'de gösterilmiştir.



Şekil 4.11 Mustafa Kemal Caddesi (Özkanlar Migros önü ölçüm yapılan yer ve yol sathının durumu.

4.4.4 Manavkuyu Köprülü Kavşak Bağlantısı

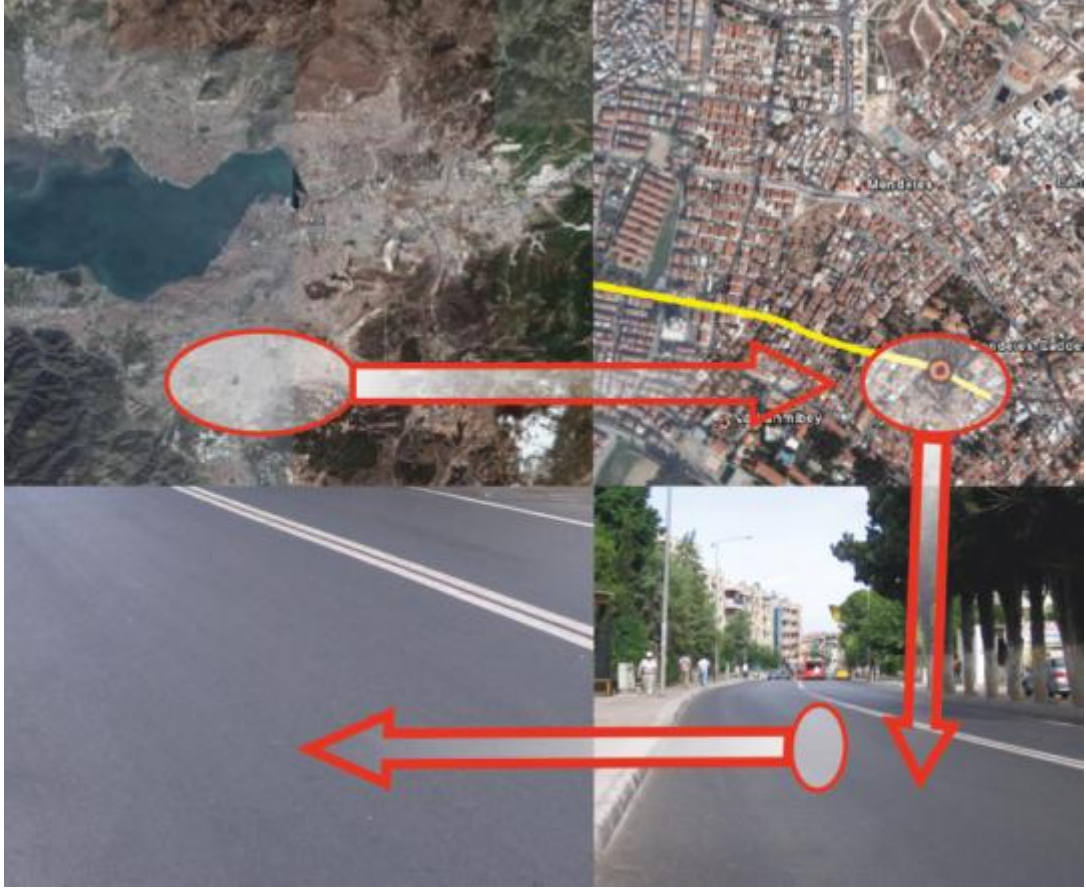
Kavşak, 2009 yılı içerisinde hizmete açılmış olup Ankara Asfaltından gelen trafiği Manavkuyu'ya yönlendirmektedir. Köprü üzerindeki yol, ikisi gidiş ikisi geliş olmak üzere toplam dört şeritlidir. Yol genişliği yaklaşık 17 m'dir. Manavkuyu Köprülü Kavşak Bağlantısı'na ait, genel görünüm, ölçüm yapılan yer ve yol sathının durumu Şekil 4.12'de gösterilmiştir.



Şekil 4.12 Manavkuyu Köprülü Kavşak Bağlantısı, ölçüm yapılan yer ve yol sathının durumu

4.4.5 Menderes Caddesi-Heykel/Buca

Menderes Caddesi, Şirinyer Mahallesi'ni Buca Merkez'e bağlayan, yüksek hacimli bir yoldur. Bu yol, ikisi gidiş, ikisi ise geliş olmak üzere toplam dört şeritli, bölünmemiş bir yoldur. Yolun genişliği yaklaşık 17'm'dir. Menderes Caddesi'ne ait, genel görünüm, ölçüm yapılan yer ve yol sathının durumu Şekil 4.13'de gösterilmiştir.



Şekil 4.13 Menderes Caddesi, ölçüm yapılan yer ve yol sathının durumu

4.5 Belirlenen İstasyon Noktalarındaki Yol Kaplaması Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi

İstasyon noktaları belirlendikten sonra kaplamanın yüzey özelliklerine doğrudan etkisi olduğu bilinen karışım malzemelerinin (agrega cinsi, yapısı ve gradasyonu, bitüm cinsi, vb) özelliklerinin tespiti gerekmektedir. Bu amaçla, İzmir şehir içi ve çevre yollarında kullanılan asfalt karışımı malzemelerinin özellikleri araştırılmıştır.

İzmir şehir içi yol kesimlerinde aşınma tabakası imalatları İzmir Büyükşehir Belediyesi'ne ait İzbeton A.Ş. tarafından yapılmaktadır. Karışımlarda kullanılan agrega, Tip-1 gradasyonunda olup İzmir Belkahve Taş Ocakları'ndan temin edilmektedir. Kullanılan agregaların fiziksel özellikleri Tablo 4.2'de özetlenmektedir. Karışımlarda kullanılan bitüm ise İzmir Aliğa Rafinerisi'nden temin edilmiş olan 50/70 penetrasyonlu bitümdür (AC). Bitümün (AC 50/70) özellikleri Tablo 4.3'de verilmiştir.

Manavkuyu Köprülü Kavşak istasyon noktasında Tablo 4.2 Kalker agregasına ait özellikler sunulan agrega ile birlikte modifiye bitüm kullanılmıştır. SBS Kraton Elastomer cinsi %5 polimer içeren modifiye bitüme ilişkin veriler Tablo 4.4'de sunulmuştur.

İzmir çevre yollarının yapım, bakım ve onarım işleri ise Karayolları 2. Bölge Müdürlüğü'nün sorumluluk sahasındadır. Bu kapsamda, belirlenen istasyon noktalarından 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 bitümdür. Agrega gradasyonu ve Karayolları Teknik Şartnamesi'nde belirtilen gradasyon limitleri Tablo 4.5'de verilmiştir.

Çalışma kapsamındaki istasyon noktalarında İzmir–Eski Foça ayrımı taş mastik asfalt (TMA) olup kaba agregası bazalt, ince agregası ise kalkerdir. Bazalt agregası, Yılmaz Beton'a ait Aliğa Çaltıldere Taşocağı'ndan, kalker agregası ise İzmir Pınarbaşı Ada–Çiftay Taşocağı'ndan elde edilmiştir. Karışım tasarımı Taş Mastik Asfalt (TMA) Tip–1 gradasyonu seçilerek yapılmıştır. Tasarıma ait bazalt ve kalker agrega gradasyonları ile gradasyon limitleri Tablo 4.6'da verilmiştir.

Tablo 4.2 Kalker agregasına ait özellikler

Deney Adı	Şartname	Sonuçlar	Şartname Değerleri
Özgül Ağırlık (Kaba Agregası)	ASTM C127		
Hacim		2,686	-
Doygun Yüzey Kuru		2,701	-
Zahiri		2,727	-
Özgül Ağırlık (İnce Agregası)	ASTM C128		
Hacim		2,687	-
Doygun Yüzey Kuru		2,703	-
Zahiri		2,732	-
Özgül Ağırlık (Filler)		2,725	-
Los Angeles Aşınma Deneyi (%)	ASTM C 131	24,4	maks. 45
Yassı ve Uzun Tane Oranı (%)	ASTM D 4791	7,5	maks. 10
Dayanıklılık Deneyi (%)	ASTM C 88	1,47	maks. 10 – 20
Köşellilik Tayini	ASTM C 1252	47,85	min. 40

Tablo 4.3 50/70 penetrasyonlu bitüme ait özellikler

Deney Adı	Şartname	Sonuçlar	Şartname Limitleri
Penetrasyon Deneyi (25°C;0,1mm)	ASTM D5, EN 1426	63	50 – 70
Yumuşama Noktası Deneyi (°C)	ASTM D36, EN 1427	49	46 – 54
Viskozite (135°C)-Pa.s	ASTM D4402	0,51	-
İnce Film Halinde Isıtma Deneyi (TFOT)	ASTMD1754, EN 12607-1		
Kütle Değişimi (%)		0,07	0,5 (maks.)
Kalıcı Penetrasyon (%)	ASTM D5 EN 1426	51	50 (min)
TFOT sonrası Yumuşama Noktası (°C)	ASTM D36 EN 1427	51	48 (min)
Düktilite (25°C),cm	ASTM D113	100	-
Parlama Noktası (°C)	ASTM D92 EN 22592	+260	230 (min)

Tablo 4.4 Modifiye bitüm özellikleri

Deney Adı	Şartname	Sonuçlar	Şartname Limitleri
Penetrasyon Deneyi (25°C;0,1mm)	ASTM D5 EN 1426	48	50 – 70
Yumuşama Noktası Deneyi (°C)	ASTM D36, EN 1427	67	46 – 54
Viskozite (135°C)-Pa.s	ASTM D4402	1,20	-
İnce Film Halinde Isıtma Deneyi (TFOT)	ASTMD1754, EN 12607-1		
Kütle Değişimi (%)		0,07	0,5 (maks.)
Kalıcı Penetrasyon (%)	ASTM D5 EN 1426	21	50 (min)
TFOT sonrası Yumuşama Noktası değişimi (°C)	ASTM D36 EN 1427	3	48 (min)
Düktilite (25°C),cm	ASTM D113	100	-

Tablo 4.5 Karışımlarda kullanılan kalker agregası gradasyonu

Elekler	Şartname	Gradasyon (%)	Şartname Limitleri
¾"	ASTM C 136	100	100
½"		90,5	83 – 100
⅜"		80,5	70 – 90
No. 4		47,3	40 – 55
No. 10		33	25 – 38
No. 40		13,5	10 – 20
No. 80		9	6 – 15
No. 200		5,3	4 – 10

Tablo 4.6 Bazalt ve kalker agregası gradasyonu ile tolerans değerleri

Kullanım Oranı	% 60	% 13	% 23	% 4	Karışım Gradasyonu	KTŞ TMA Tip-1 Şartmane Limitleri			
Elek Açıklığı	10-15 mm (Bazalt)	3 - 10 mm (Bazalt)	0 - 3 mm (Kalker)	Filler (Kalke r)		% Geçen		Tolerans	
						Min.	Maks	Min.	Maks
¾"	100	100	100	100	100	100	100	100	100
½"	84,8	100	100	100	90,4	90	100	90	94,9
⅜"	47,4	100	100	100	68,4	50	75	64,4	72,4
No. 4	1,1	61,5	100	100	35,6	25	40	32,6	38,6
No. 10	0,4	26,9	81,9	100	26,6	20	30	23,6	30
No. 40	0,3	7,2	43	100	15,0	12	22	12	18
No. 80	0,0	4,3	33,9	100	12,4	9	17	9	15,4
No. 200	0,0	0,2	25,4	83,7	9,2	8	14	8	11,2

Altınyol Caddesi ile İzmir–Eski Foça ayrımında satıh yenilemesi nedeniyle bu noktalara ait yol yüzey özelliklerinin başlangıç arazi ölçüm değerleri direkt olarak sağ şerit çizgisinden 50 cm uzaklıkta banket üzerinden alınmıştır. Diğer istasyon noktalarında ise Ege Asfalt A.Ş. plantinde Tablo 4.2-Tablo 4.3'te özellikleri verilen malzemelerle üretilen sıcak asfalt karışımı ile 5 cm kalınlığında aşınma tabakası deneme kesimi hazırlanarak ilerleyen bölümlerde ayrıntıları ile ele alınacak Kum-yama, British Pendulum (İngiliz Sarkacı), Metris Lazer tarama ve Dinamik Sürtünme (DFT) deneyleri uygulanmıştır. Bu değerler, aynı karışım malzemelerinin kullanıldığı yol kesimleri için başlangıç değerleri olarak kabul edilecektir.

4.6 Belirlenen istasyon noktalarına ait trafik akımının genel özellikleri

Trafik kazalarının analizinde, kazaların meydana geldiği yol kesimlerine ait trafik akım özelliklerinin bilinmesinde büyük yarar vardır. Bu şekilde kazaların oluşumunda etkili olabilecek tüm parametrelerin daha sağlıklı bir şekilde ele alınarak değerlendirilmesi mümkün olabilecektir. Bu amaçla, yapılan trafik etütlerinden öncelikli olarak aşağıdaki verilerin elde edilmesi amaçlanmalıdır:

- Trafik hacim ve trafik akım değerleri,
- Trafik kompozisyonu,
- Araç hızları.

Bu verilerin elde edilebilmesi için kullanılan çeşitli yöntemler mevcuttur. Bunlardan bazıları; kısa süreli gözlemler için kullanılan Seyyar Sayım Sistemleri, uzun süreli sayımlar için (örneğin yıl boyunca) kullanılan Sabit Sayım Sistemleri ve özel talepleri karşılamak amacıyla kullanılan Özel Sayım Yöntemleri olarak sıralanabilir. Çalışmada iki ana sayım yöntemi kullanılmıştır:

- a) Otoyol ve çevre yolu niteliği taşıyan yollarla şehirlerarası yollarda, KGM tarafından gözlem yapılan noktalara yerleştirilmiş olan sabit trafik sayaçlarından yararlanılmıştır.
- b) İzmir’de bulunan transit yollar ile şehir içi arterlerde ise video kamera kullanılarak detaylı veri toplanması amaçlanmıştır. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Ulaştırma Anabilim Dalı bünyesinde hazırlanmış olan sayaç programı kullanılmıştır. Bu programın görünüşü Şekil 4.14’da verilmektedir.



Şekil 4.14 Sayaç programının genel görünüşü

Otoyol ve çevre yolu niteliği taşıyan yollarla şehirlerarası yollardan, uzun süreli (seçilmiş olan standart bir hafta için saatlik bazda yedi günlük, şeritlere göre ayrılmış) ve araç kompozisyonu ve hız verilerinin de bulunduğu veri grupları elde edilebilmiştir. Transit yollar ile şehiriçi yollarda ise video kamera ile yapılan çekimler, hafta içi seçilen standart bir iş gününde (Salı, Çarşamba veya Perşembe) sabah ve/veya akşam zirve saatlerinde gerçekleştirilmiştir. Bu verilerden yine şerit bazında, araç sayıları, araç kompozisyonları ve araç hızlarının elde edilmesi mümkün olmuştur. Elde edilen veriler, analiz dönemlerine göre tablolaştırılmıştır. Tablo 4.7'de video kamera ve sayaçlardan elde edilmiş olan günlük trafik hacmi, araç kompozisyon yüzdeleri, ortalama hız ve hızların standart sapmaları verilmektedir. Tablo 4.8'de ise, dönemler arasında meydana gelen değişim yüzdeleri gösterilmiştir.

Tablo 4.8 Analiz dönemlerine ait verilerin değişim yüzdeleri

yol tipi	İstasyon Adı	Gözlem Dönemi	Sol Şerit						Şerit Tipi Sağ Şerit						Orta Şerit			
			GT	%Minibüs	%Otobüs	%Kamyon	Hız	St.sapma Hz	GT	%Minibüs	%Otobüs	%Kamyon	Hız	St.sapma Hz	GT	%Minibüs	%Otobüs	%Kamyon
Şehir içi yollar	Bornova Migros	2009/1																
		2009/2.1	-0,11	0,40	0,00	0,00	-0,27	-0,15	-0,07	0,50	1,67	0,00	-0,23	-0,25				
		2009/2.2	-0,12	0,29	1,00	-0,50	-0,37	-0,18	-0,08	0,39	0,63	-0,25	-0,30	-0,33				
		2010/1.1	0,51	0,33	-0,50	3,00	1,17	0,10	-0,73	0,48	0,62	-0,33	0,27	1,02				
		2010/1.2	-0,15	0,17	0,00	-0,25	0,07	-0,38	0,42	0,30	0,14	1,00	0,37	0,00				
		2010/2.1	0,00	0,14	0,00	-0,33	0,00	-0,12	0,30	-0,04	0,04	0,00	0,19	-0,17				
		2010/2.2	0,01	0,13	1,00	0,00	-0,29	-0,27	0,23	0,07	0,08	0,00	-0,10	-0,96				
		2011/1.1	-0,29	0,11	0,00	0,00	0,14	1,10	0,23	-0,10	0,00	0,00	-0,31	20,11				
		2011/1.2	0,41	-0,37	-0,31	0,13	0,03	-0,45	0,36	-0,02	-0,04	-0,25	0,64	-0,32				
	2011/2.1	-0,07	0,60	0,27	0,04	0,04	-0,28	-0,43	0,33	0,32	0,19	-0,10	-0,10					
	M.Kemal Sah. Bulv. Asansör	2009/1																
		2009/2.1	-0,02	0,50			-0,09	-0,06	-0,07	0,11	0,00	-1,00	-0,15	0,61	-0,02	0,40		-0,50
		2009/2.2	-0,02	0,33			-0,10	-0,06	-0,07	0,10	0,33		-0,17	0,38	-0,02	0,29		-1,00
		2010/1.1	0,00	-0,50			-0,04	0,39	0,05	-0,09	-0,25		0,29	-0,43	-0,36	-0,22		
		2010/1.2	0,03	2,25			-0,12	0,16	0,16	1,50	1,67		-0,19	-0,31	0,64	1,86	-1,00	
		2010/2.1	0,04	-0,08			0,04	0,33	0,18	-0,76	-0,50	0,00	0,24	0,60	0,05	-0,50		-1,00
		2010/2.2	0,06	0,08			0,17	0,30	0,22	0,17	0,25	0,00	0,07	0,09	0,21	0,10	-1,00	
		2011/1.1	0,07	0,10			0,07	-0,26	0,23	-0,03	-0,14	-1,00	0,07	1,12	-0,26	-0,09		-1,00
		2011/1.2	0,08	0,06			-0,16	0,30	-0,08	0,64	0,40		-0,33	-0,62	0,13	0,37		
	2011/2.1	-0,04	0,14			-0,03	0,08	0,07	-0,14	0,01	0,04	0,23	0,62	0,02	0,06	0,07	2,17	
	M.Kemal Sah. Bulv. Göztepe	2009/1																
		2009/2.1	-0,19	-0,37			-0,01	0,30	-0,16	-0,25	0,00	0,00	-0,17	-0,29	-0,13	-0,25		-0,33
		2009/2.2	-0,23	-0,58			-0,01	0,23	-0,18	-0,33	-0,08	-0,50	-0,20	-0,42	-0,15	-0,40		-0,50
		2010/1.1	-0,25	0,00			-0,17	0,09	-0,16	-0,10	0,27	-1,00	0,45	1,07	-0,19	-0,22		-1,00
		2010/1.2	0,49	2,60			0,23	-0,04	0,34	1,89	-0,07	-0,02	-0,08	0,41	1,29	1,00		
		2010/2.1	0,25	-0,33			0,01	-0,07	0,21	-0,31	0,08		-0,03	-0,05	0,19	0,06	0,00	0,00
		2010/2.2	0,39	-0,17			0,08	-0,17	0,33	0,00	0,00	-1,00	0,08	-0,06	0,31	-0,18	0,00	1,00
		2011/1.1	0,09	0,16			-0,05	-0,30	0,10	-0,08	-0,08		-0,03	0,28	0,05	0,00	0,00	-0,50
		2011/1.2	-0,13	-0,17			-0,12	0,47	-0,10	0,14	0,13	-0,75	-0,08	-0,23	-0,55	-0,07	0,39	-0,32
	2011/2.1	0,05	-0,01			0,09	-0,01	0,05	0,00	0,00	-0,67	0,08	0,07	0,69	0,00	0,13	-0,23	
	Manavkuyu Köprülü Kavşak	2009/1																
		2009/2.1	0,12	0,00		1,00	-0,16	-0,20	-0,01	-0,17	-1,00	-0,20	-0,14	-0,15				
		2009/2.2	0,11	0,00		0,50	-0,19	-0,25	-0,01	-0,20		-0,25	-0,16	-0,17				
		2010/1.1	-0,18	0,14		-1,00	-0,07	0,16	0,07	0,50		-0,33	-0,11	0,40				
		2010/1.2	0,05	0,75			0,39	0,39	-0,15	0,50	0,00	-0,50	0,35	0,09				
		2010/2.1	0,16	-0,36			-0,23	-0,16	-0,07	-0,33	0,00	2,00	0,12	-0,14				
		2010/2.2	-0,04	0,00		-1,00	0,09	-0,06	-0,09	0,00	-0,50	-0,33	0,08	-0,02				
		2011/1.1	0,02	0,00			0,17	-0,55	-0,18	0,00	0,00	0,50	0,11	0,05				
		2011/1.2	0,02	0,19		-0,57	-0,17	0,58	0,06	0,35	0,71	-1,00	-0,08	0,01				
	2011/2.1	0,02	0,04		-0,36	-0,02	-0,09	-0,08	-0,07	0,08		0,03	0,01					
	Has Güvenlik	2009/1																
		2009/2.1	0,15	0,71	3,00	-0,25	-0,16	-0,25	0,07	2,50	0,67	-0,40	-0,24	-0,23				
		2009/2.2	0,13	0,50	0,50	-0,50	-0,19	-0,33	0,07	0,71	0,60	-0,67	-0,31	-0,30				
		2010/1.1	-0,17	-0,61	-1,00	-0,67	0,38	0,07	-0,82	-0,08	3,63	-1,00	0,38	0,50				
		2010/1.2	0,16	1,14		2,00	-0,17	0,22	-0,18	0,09	0,65		-0,29	0,49				
		2010/2.1	0,03	0,07	0,00	0,33	-0,08	0,41	0,54	-0,04	-0,33	0,00	0,68	0,56				
		2010/2.2	0,03	0,13	-0,25	-0,25	-0,06	0,45	-0,32	0,13	0,22	0,50	-0,33	0,49				
		2011/1.1	0,03	-0,26	0,05	0,33	0,20	-0,39	1,46	0,02	0,04	0,33	-0,48	-0,71				
		2011/1.2	0,00	0,41	0,18	-0,68	-0,07	0,26	-0,36	0,04	0,04	0,23	-0,71	5,64				
	2011/2.1	0,05	0,01	0,00	-0,06	-0,09	0,01	0,31	0,18	0,31	-0,80	1,25	-0,33					
	Yeni Gıme	2009/1																
		2009/2.1	0,65	0,00			0,10	-0,05							0,25	-0,08	0,00	0,00
		2009/2.2	0,39	-0,07			0,09	-0,05							0,20	-0,05	-1,00	0,00
		2010/1.1	0,06	-0,31			-0,34	0,67	0,12	-0,40	-0,75		-0,12	0,49	0,30	-0,43		0,00
		2010/1.2	-0,02	0,56		0,00	-0,49	-0,54	0,73	-0,06	1,00	5,00	-0,50	-0,70	-0,20	0,50		2,00
		2010/2.1	-0,13	0,00		0,00	0,73	0,84	0,28	-0,18	0,50	-0,50	1,58	2,76	-0,06	0,22	0,00	-0,50
		2010/2.2	-0,29	0,00		0,00	0,43	-0,08	-0,21	0,14	0,00	-0,33	0,13	0,31	-0,24	0,14	0,00	-0,33
		2011/1.1	-0,41	-0,06		-1,00	-0,12	-0,10	0,22	0,44	-0,13	0,20	0,03	-0,38	0,20	-0,18	-1,00	0,36

Tablo 4.8 Analiz dönemlerine ait verilerin değişim yüzdeleri

Yol Tipi	İstasyon Adı	Gözlem Dönemi	Serit Tipi															
			Sol Serit								Sağ Serit							
			GT	%Minibüs	%Otobüs	%Kamyon	Hız	St.sapma Hz	GT	%Minibüs	%Otobüs	%Kamyon	Hız	St.sapma Hz	GT	%Minibüs	%Otobüs	%Kamyon
Kent içi Çevreyolu	Örkanlar Üst Geçit	2009/1																
		2009/2.1	0,16	0,17		-0,50	-0,07	-0,14	-0,33	0,30	0,00	1,00	-0,15	0,32	0,04	0,40	0,00	0,00
		2009/2.2	0,14	0,00	0,00	-0,50	-0,08	-0,17	-0,48	0,23	0,00	0,50	-0,17	0,25	0,04	0,43	0,00	-0,07
		2010/1.1	-0,20	0,29	0,00	1,00	-0,06	0,03	0,10	-0,31	5,00	-0,48	0,25	-0,29	-0,17	0,00	-1,00	-0,15
		2010/1.2	0,26	-0,11	1,00	-0,50	0,21	0,70	0,27	-0,36	-0,83	0,55	0,19	0,84	0,68	-0,20		0,09
		2010/2.1	-0,07	-0,13	0,00	1,00	-0,07	-0,29	0,63	0,43	0,00	-0,29	-0,03	-0,21	-0,11	0,00	0,00	0,08
		2010/2.2	-0,04	0,00	-0,50	0,00	0,00	0,00	0,60	-0,20	1,00	-0,33	-0,05	-0,17	0,07	0,13	0,00	0,00
		2011/1.1	-0,06	0,04	0,00	-0,50	-0,03	0,02	-0,38	0,34	-0,07	0,61	-0,02	0,05	-0,03	-0,10	0,00	-0,01
		2011/1.2	0,15	0,08	0,71	-0,14	-0,03	0,04	0,11	-0,28	0,23	-0,06	-0,02	0,41	0,11	0,31	-0,07	-0,07
		2011/2.1	-0,01	0,00	0,08	-0,26	0,01	0,00	0,04	-0,01	0,01	0,00	0,06	-0,06	0,05	-0,04	0,01	0,00
	Altınyol	2009/1																
		2009/2.1	0,00	0,00			-0,02	0,09	0,13	0,00	0,00	0,00	0,04	0,06	0,17	0,00		0,00
		2009/2.2	0,00	0,00			-0,02	0,08	0,12	0,00	0,00	0,00	0,04	0,06	0,14	0,00		0,00
		2010/1.1	-0,14	-0,38			-0,19	2,05	0,61	0,00	1,50	-0,50	-0,20	1,08	0,02	-0,58		0,00
		2010/1.2	0,00	0,80		1,00	0,28	-0,02	0,04	0,09	1,00	17,00	0,09	0,47	-0,03	1,60	1,50	1,50
		2010/2.1	0,09	-0,11	0,00	0,00	-0,04	-0,52	0,04	-0,08	-0,80	-0,72	-0,06	-0,24	-0,09	-0,08	-0,40	-0,60
		2010/2.2	0,18	0,13	0,00	4,00	0,13	-0,38	0,04	0,00	0,00	-0,20	-0,01	0,06	-0,17	0,00	-0,33	0,00
		2011/1.1	0,08	-0,13	0,00	-0,90	-0,08	0,79	-0,21	0,00	0,79	0,21	-0,04	-0,26	-0,19	-0,07	-0,14	0,21
		2011/1.2	-0,18	0,07	0,36	4,43	-0,11	0,28	-0,02	0,02	0,32	0,82	0,07	0,75	0,84	0,01	1,42	0,18
		2011/2.1	0,08	0,00	0,14	0,14	0,08	0,01	0,33	0,00	0,01	0,01	-0,09	0,01	-0,20	0,00	0,02	0,00
	Yeşildere	2009/1																
		2009/2.1	0,03	0,10	-0,50	-1,00	-0,04	0,35	0,80	0,73	-0,14	-0,33	-0,02	-0,06	0,24	0,70	-0,43	0,00
		2009/2.2	0,03	0,09	-1,00		-0,05	0,26	0,44	0,42	-0,33	0,00	-0,02	-0,07	0,19	0,35	-1,00	0,00
		2010/1.1	0,00	-0,08			0,30	1,22	-0,08	-0,22	-0,50	1,00	0,31	0,04	-0,11	-0,26		1,00
		2010/1.2	0,00	-0,45			-0,25	-0,59	0,22	0,29	0,50	0,50	0,04	-0,26	0,08	-0,41		0,25
		2010/2.1	-0,02	0,83	1,00	0,00	0,05	-0,08	-0,08	0,07	0,67	0,17	-0,11	0,25	-0,13	0,10	1,00	-0,60
		2010/2.2	-0,03	0,00	-0,50	0,00	0,05	-0,20	-0,13	-0,10	0,00	-0,29	-0,04	0,03	-0,20	-0,36	0,50	0,00
		2011/1.1	0,04	-0,06	0,00	-0,43	0,07	0,49	-0,25	-0,12	-0,09	-0,17	0,09	0,01	0,52	0,94	-0,54	0,36
		2011/1.2	0,00	-0,04	0,00	0,75	-0,05	0,03	0,51	0,41	-0,28	0,69	0,05	-0,13	-0,19	-0,36	0,45	0,16
		2011/1.3	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,04	0,01	-0,01	0,01	0,03	0,00	0,08	-0,02	0,01	0,00
Şehir içi yollar	Kısıkköy	2009/1																
		2009/2.1	-0,12	-0,19	0,00	-0,50	0,05	0,10	0,35	-0,04	0,00	0,00	0,06	-0,32				
		2009/2.2	-0,14	-0,23	0,00	0,00	0,05	0,09	0,26	0,00	0,00	0,00	0,05	-0,48				
		2010/1.1	0,03	0,00	4,00	0,00	-0,02	0,09	-0,08	-0,36	11,00	0,14	-0,02	0,27				
		2010/1.2	-0,08	-0,20	-0,60	0,00	0,02	-0,04	-0,16	0,57	-0,83	-0,13	0,01	-0,04				
		2010/2.1	-0,04	0,00	0,00	0,00	0,02	0,03	-0,01	0,00	0,50	0,14	-0,03	0,38				
		2010/2.2	-0,03	-0,13	0,50	0,00	0,01	0,02	-0,10	0,00	-0,33	-0,13	-0,02	0,24				
		2011/1.1	-0,03	-0,14	-0,29	0,00	-0,01	-0,08	0,12	-0,05	0,57	0,04	0,03	-0,18				
		2011/1.2	-0,13	-0,34	0,60	-0,25	0,04	0,16	0,03	-0,02	0,36	0,04	0,07	-0,20				
		2011/1.3	-0,08	-0,32	0,01	-0,11	0,01	0,00	-0,01	0,00	0,01	0,00	-0,03	-0,01				
	Eski Foça Ayrımı	2009/1																
		2009/2.1																
		2009/2.2																
		2010/1.1	1,42	-0,14	-0,63	0,33	0,09	0,57	0,55	0,00	-0,50	0,27	0,11	0,95				
		2010/1.2	-0,10	0,33	1,33	0,50	-0,11	-0,16	-0,07	0,16	1,80	0,06	-0,17	-0,33				
		2010/2.1	-0,12	-0,06	-0,14	-0,17	0,05	-0,01	-0,07	-0,09	-0,07	-0,11	0,10	0,08				
		2010/2.2	-0,13	0,07	0,00	-0,20	-0,01	-0,02	-0,08	0,00	0,08	-0,06	-0,01	-0,02				
		2011/1.1	-0,11	0,00	0,00	0,10	0,01	0,01	-0,07	0,00	-0,20	0,06	-0,01	0,02				
		2011/1.2	0,19	0,06	-0,05	0,20	-0,03	0,06	0,09	0,04	0,43	0,04	-0,01	0,05				
		2011/2.1	0,00	0,04	0,00	0,01	0,01	0,00	-0,01	0,00	0,01	0,00	-0,01	0,00				
	Yeni Foça Ayrımı	2009/1																
		2009/2.1	0,57	-0,08	0,00	-0,20	-0,02	-0,43	-0,10	-0,06	0,00	-0,07	-0,08	-0,03				
		2009/2.2	0,36	-0,09	-0,50	0,00	-0,03	-0,76	-0,12	-0,13	0,00	-0,04	-0,09	-0,03				
		2010/1.1	-0,12	-0,20	3,00	0,25	0,01	7,08	-0,11	-0,93	1,67	0,11	0,08	-0,39				
		2010/1.2	-0,25	0,50	-0,50	0,00	-0,06	-0,15	-0,04	-0,15	11,00	0,00	-0,13	-0,09	0,38			
		2010/2.1	-0,03	0,00	0,00	0,00	0,07	5,30	-0,16	-0,17	0,13	0,38	-0,05	-0,05				
		2010/2.2	-0,19	0,00	0,00	0,00	0,01	0,21	-0,20	-0,10	0,22	0,33	-0,05	-0,05				
		2011/1.1	-0,01	-0,08	0,07	-0,06	0,02	0,23	-0,08	0,00	-0,36	-0,46	0,02	0,15				

Tablolar incelendiğinde beklenildiği gibi, özellikle kentiçi yollarda sağ şeritlerin trafik hacimlerinin, yol kenarında park eden araçlar ve bunların hareketleri, otobüs durakları ve bu şeritleri ağır araçların daha fazla kullanmaları sebebiyle orta ve sol şeritlerden daha düşüktür. Buna göre, trafik hacminin ve kapasitenin sol şeritlerde diğer şeritlere oranla daha yüksek olması beklenebilir. Yine aynı şekilde bu sol şeritlerin serbest hızlarının da diğer şeritlere oranla daha yüksek olması beklenen bir durumdur.

Üç şeritli bir arterde, trafik etkileşiminin en fazla olduğu şeridin orta şerit olması beklenir. Bu etkileşim aşağıdaki şekillerde gerçekleşebilir:

- Sol şeritteki sürücüler, aynı şeritte çok daha yüksek hızlarda seyreden taşıtlar sebebiyle orta şeride geçmek zorunda kalabilirler,
- Orta şeritteki sürücüler, aynı şeritte daha düşük hızlarda seyreden taşıtları geçmek için kısa süreli olarak sol şeridi kullanabilirler.
- Sol şeritteki sürücüler, bir sonraki kavşaktan çıkış yapabilmek veya yol kenarındaki park alanlarını kullanabilmek için orta şeritten geçiş yapmak zorundadırlar.
- Sağ şeritteki sürücüler, aynı şeritteki daha yavaş seyreden veya aynı şeritte durmuş olan bir aracı geçmek için orta şeride kayabilirler.
- Sağ şeritteki sürücü, park ettiği şeritten yeni çıkmış veya kavşağa bir önceki kavşaktan artere yeni katılmış olabilir. Bu sürülerin tercihi orta veya sol şeritte seyahat etmek olabilir.

Çalışmada belirlenmiş olan ölçüm noktalarındaki trafik sayımlarına ait değerlendirmeler Bölüm 7’de arazide yapılan ölçüm sonuçları da dikkate alınarak yorumlanmıştır.

BÖLÜM BEŞ

YOL YÜZEY DOKUSU VE SÜRTÜNME DİRENCİ ÖLÇÜMLERİ

Bu bölümde, belirlenmiş olan istasyon noktalarında yapılan sürtünme direnci ölçüm yöntemleri ile arazi uygulamalarından elde edilen sonuçlar üzerinde durulacaktır.

5.1 British Pendulum (İngiliz Sarkacı) Deneyi:-AASHTO T 278-90 /ASTM E303-93

Bu deney, belirli bir yükseklikten yol yüzeyine serbest düşmeye bırakılan ve yol yüzeyi üzerinde kayan sarkaç pabucunun yol ile sürtünmesinden dolayı kinetik enerjisindeki değişimini tayin etmektedir. Kinetik enerjideki azalma, sürtünme kuvvetine dönüştürülmekte dolayısı ile kaplamanın kayma direnimi (sürtünme kuvveti) ile ilgili bilgi vermektedir.

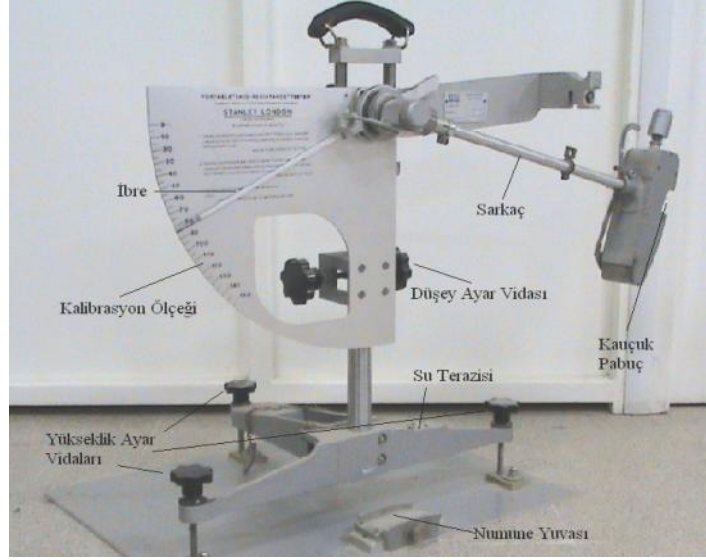
Deney yönteminde, kaplamanın sürtünme özelliklerinin tayini için standart kauçuk pabuçlu sarkaç tipi bir deney aleti kullanılmaktadır. Deneyden önce kaplama yüzeyi temizlenir ve tamamen nemlendirilir.

Deneye başlanmadan önce sarkaç, pabuç kısmı deneyin yapılacağı yüzeye hemen değecek şekilde konumlandırılarak, pabucun kaplamaya teması sağlanır. Daha sonra sarkaç ilk bırakılacağı yerdeki yuvasına yerleştirilir. Düşmeye basılarak sarkaç serbest bırakılır ve British Pendulum Sayısı (BNP) okunur. Deney uygulandığı sırasındaki hava sıcaklığı da mutlaka kayıt edilmelidir.

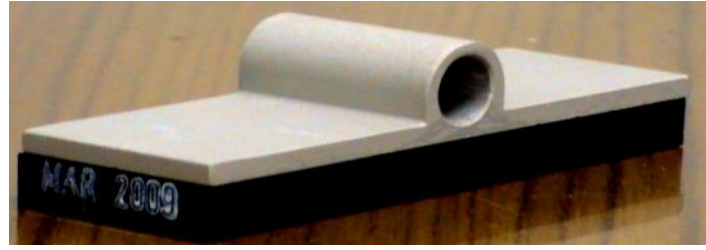
Pabuç ile kaplama yüzeyi arasındaki sürtünme ne kadar yüksekse, BPN de o kadar yüksektir. Şekil 5.1 ve Şekil 5.2’de British Pendulum Deney Cihazı ve kullanılan kauçuk pabuç gösterilmiştir.

Deney uygulandıktan sonra cihazda kullanılan kauçuk pabucun sıcaklığa bağlı esnekliğindeki (sertliğindeki) değişimleri göz önüne alınmalıdır. Bunun için ELE

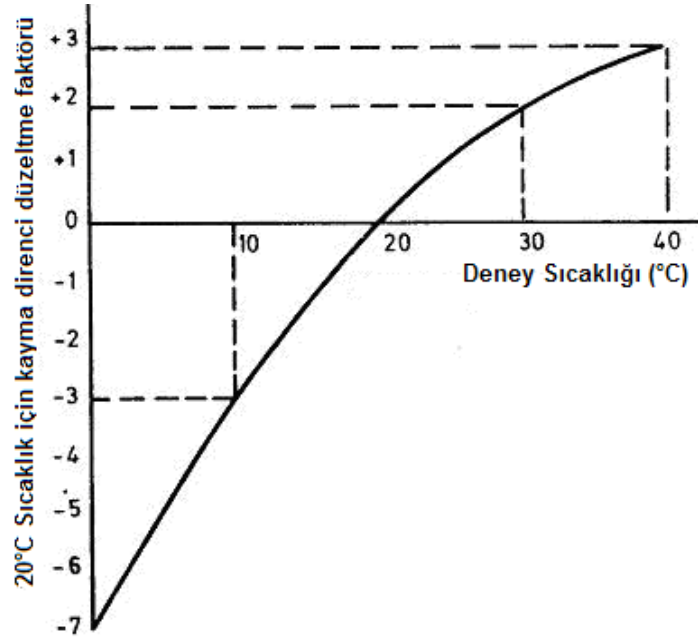
International Friction Tester 42-6000 Manual’da açıklanan sıcaklık kalibrasyon faktörleri elde edilen ölçüm değerleri üzerinde uygulanmalıdır (Şekil 5.3).



Şekil 5.1 British pendulum deney cihazı



Şekil 5.2 British pendulum deney cihazı kauçuk pabucu



Şekil 5.3 Kauçuk pabucun sıcaklığa bağlı sertlik değişim faktörleri (ELE International, 1999)

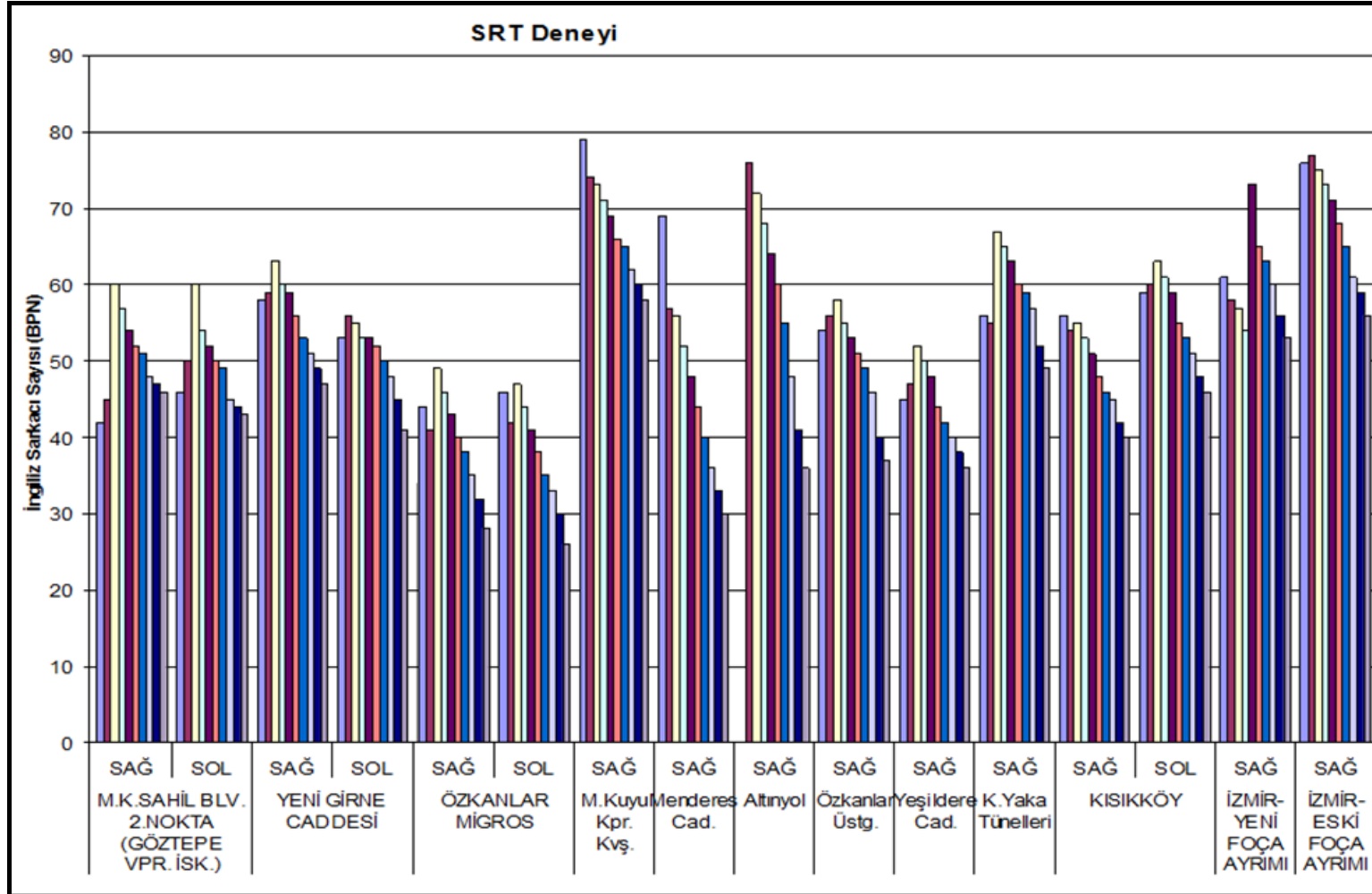
BPN sonuçları, yağmurlu hava koşullarında 50 km/saat hızla hareket ederken mekanik frenleme hareketinde bulunan araçlar için uygun sonuçlar vermektedir. 50 km/saat'ten daha yüksek hızlar için sonuçlar sağlıklı olmamaktadır.

Interlocking Pavement Institute, 45-55 BPN değerlerine sahip bir yolun normal hava ve trafik koşulları altında; 55'ten daha fazla BPN değerine sahip yolun özellikle çok yağışlı havalarda; 65'ten daha fazla BPN değerine sahip yolun ise tüm koşullarda kabul edilebilir bir sürtünme direncine sahip olabileceğini önermektedir (Interlocking Concrete Pavement Institute [ICPI], 2011).

Kaplaması yenilenen Altınyol ve İzmir-Eski Foça Ayrımı İstasyon noktalarında yapılan BPN ölçümleri ortalaması ile diğer istasyon noktalarının ilk durumunu temsil etmek üzere Ege Asfalt Plentinde aynı karışım malzemeleri ve Tip 1 Aşınma gradasyonunda hazırlanan kaplama yüzeyine ait başlangıç değerleri aşağıda verilmiştir.

Altınyol Caddesi	= 76
İzmir Eski Foça Ayrımı	= 85
Diğer istasyon noktaları	= 80

Daha sonra, istasyon noktaları üzerinde üçer aylık dönemler halinde yapılan ölçüm sonuçları başlangıç değerleri ile birlikte Şekil 5.4 verilmiştir. Şekil incelendiğinde, beklenildiği üzere sağ şeritten elde edilen BPN verilerinin, sol şeritten elde edilen verilere göre daha düşük olduğu görülmüştür. Bu durum, ağır araçların sağ şeridi sol şeride oranla daha fazla kullanmalarıyla açıklanabilir. Sağ şeritte yavaş hareket eden ağır araçlar, kaplama üzerine uyguladıkları yük ile agregaları daha fazla aşındırarak cilalanmasına neden olmaktadır. Ancak Yeni Girne Caddesi, Özkanlar Migros Önü (M. Kemal Caddesi) istasyon noktalarında ölçülen BPN değerlerinden sağ şeride ait veriler, sol şeride göre daha yüksek olduğu göze çarpmaktadır. Bunun nedeni, şehir içi yollar sınıfındaki bu istasyon noktalarında, sağ şeritte parklanma olmasıdır. Bu noktalarda araçlar, seyir için sol şeridi tercih etmek zorunda kalmaktadır.



Şekil 5.4 BPN deney sonuçları

BPN sonuçlarının tüm ölçüm dönemleri boyunca ve tüm istasyon noktalarında çok farklı değerler aldığı görülmektedir. Şekilde sunulan veriler mevsimsel değişiklikleri ortaya çıkarmak için uygulanan ve trafik etkisinin olmadığı banketler üzerinden elde edilen BPN ölçüm sonuçlarının sunulduğu Tablo 5.1 ile açıklanabilir.

Tablo 5.1 Mevsimsel BPN deney sonuçları

Dönemler	Banketler	Sıcaklıklar	Banket No. 1	Banket No. 2	Banket No. 3
			BPN	BPN	BPN
2009/1	Banket No. 1	32	67	-	59
	Banket No. 2	-			
	Banket No. 3	29			
2009/2.1	Banket No. 1	20	72	80	64
	Banket No. 2	20			
	Banket No. 3	18			
2009/2.2	Banket No. 1	12	73	83	71
	Banket No. 2	9			
	Banket No. 3	10			
2010/1.1	Banket No. 1	14	73	82	70
	Banket No. 2	10			
	Banket No. 3	10			
2010/1.2	Banket No. 1	26	69	77	62
	Banket No. 2	25			
	Banket No. 3	24			
2010/2.1	Banket No. 1	26	68	76	61
	Banket No. 2	25			
	Banket No. 3	23			
2010/2.2	Banket No. 1	10	75	81	68
	Banket No. 2	16			
	Banket No. 3	16			
2011/1.1	Banket No. 1	15	73	80	66
	Banket No. 2	13			
	Banket No. 3	11			
2011/1.2	Banket No. 1	23	69	77	62
	Banket No. 2	22			
	Banket No. 3	23			
2011/2.1	Banket No. 1	27	66	75	60
	Banket No. 2	27			
	Banket No. 3	27			

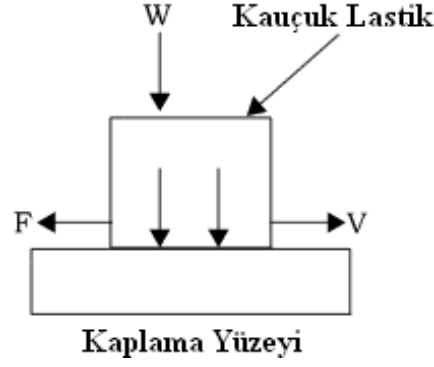
Tablo 5.1'de görüldüğü gibi SRT değerlerinin 2009/2.2 ölçüm dönemine kadar artan bir eğilim gösterdiği, ancak 2010/1.2 dönemi içinde azaldığı, ardından 2010/2.2 döneminde tekrar artış gösterdiği görülmektedir. Genel bir ifade ile sıcaklığa bağlı olarak sonuçların sinüzoidal bir değişim gösterdiği açıktır. Bunun nedenlerinden biri

kaplama dokusu boşluklarına rüzgar, taşıt lastiği vb. etkilerle gelen giren ince partiküllerin kış aylarında yağmur suları nedeni ile drene olarak kaplamanın dokusunda artış meydana getirmesidir. Dolayısı ile mevsimsel bazda trafik etkisinin olmadığı ortamlarda yapılan ölçüm sonuçlarından sinüzoidal bir eğilim beklenmesi gerektiği açıktır. Bir diğer ifade ile kış aylarında ve düşük sıcaklıklarda en yüksek değerler beklenirken, yaz aylarında ve yüksek sıcaklıklarda düşük BPN değerleri beklenmelidir.

BPN sonuçlarında sunulan değerler yukarıda ana hatları ile açıklanan mevsimsel değişiklik etkileri ile birlikte taşıt etkileri göz önüne alınarak değerlendirilmelidir. Tüm ölçüm dönemleri boyunca kümülatif taşıt etkileri, BPN değerlerinin azalmasına yol açmaktadır. Ancak kış mevsiminde yapılan ölçümlerde de BPN değerlerinin arttığı görülmektedir.

5.2 Dinamik Sürtünme Ölçer Testi

Bu yöntem ve elektronik olarak kontrol edilen donanım Japonya’da geliştirilmiştir (Şekil 5.5 ve Şekil 5.6). Dinamik sürtünme ölçer-(DFT), saha ve laboratuvar ölçümlerinde kalite kontrol/kalite güvencesi, proje ve araştırmalarda yararlanılmak üzere sürtünme verilerinin elde edilmesi için kullanılır. Deney yöntemi ASTM E 1911’de belirtilmiştir. Temel prensibi Kolomb’un sürtünme yasasına dayanır. Cihazda, üç kauçuk pabucun bağlı olduğu, kendi eksenini etrafında dönen ve hızı değiştirilebilen bir disk bulunmaktadır (Şekil 5.6). Test sırasında, disk istenilen hıza ulaştığında otomatik olarak kaplama yüzeyine dik bir şekilde alçalarak yola temas eder. Şekil 5.5’de 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 kuvveti kaplama ile kauçuk lastikleri arasındaki sürtünme kuvvetidir.



Şekil 5.5 Dinamik Sürtünme Ölçer (DFT) cihazında dönen diske etkiyen kuvvetler

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

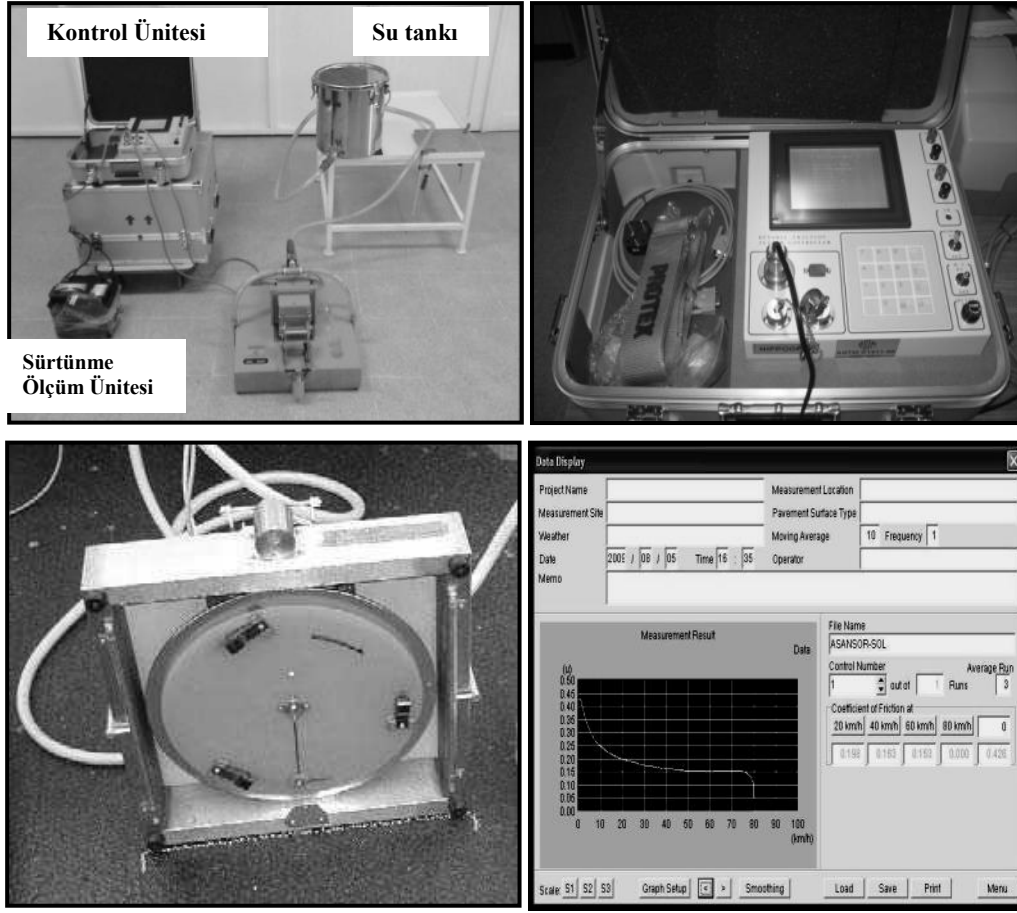
$$\mu = \frac{F}{W} \quad (5.1)$$

Yukarıdaki denklemde W değeri sabit tutularak, $1/W$ yerine (bir oran sabiti olan) K getirilirse aşağıdaki denklem elde edilir:

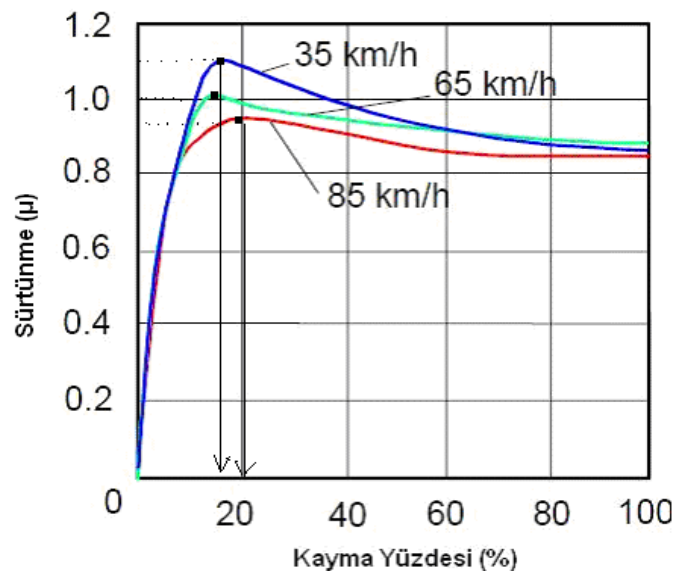
$$\mu = KxF \quad (5.2)$$

Denklemden de anlaşılacağı gibi μ katsayısı, F kuvveti ile doğru orantılı olarak değişkenlik gösterir. 20, 40, 60 ve 80 km/saat hız değerlerinde pik sürtünme ölçüm değerleri alınabilmektedir.

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. Ayrıca bu yöntem ile yüksek hızlardaki sürtünme değerleri de elde edilebilmektedir.



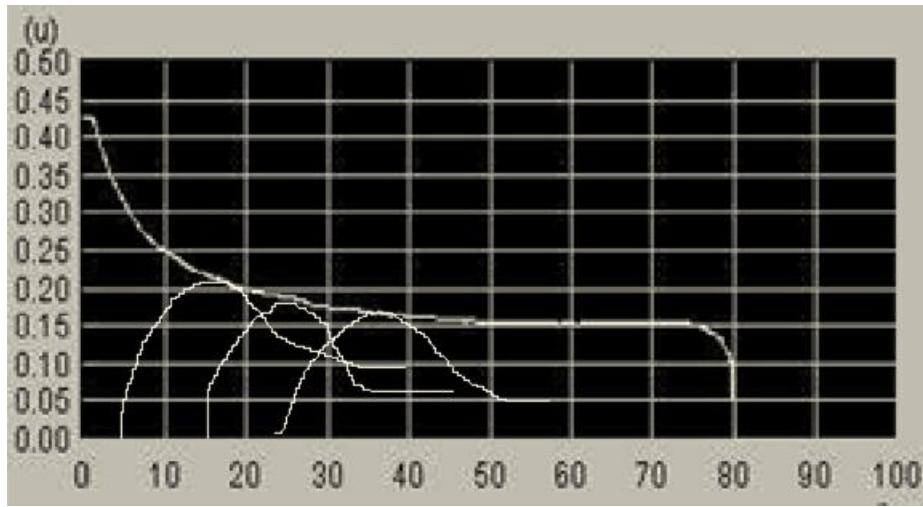
Şekil 5.6 Dinamik sürtünme ölçer test cihazı (Ölçüm Sistemi, Kontrol Ünitesi, Ölçüm Ünitesi Döner Disk, Veri transferi)



Şekil 5.7 Kuru yüzeyde lastik ile sürtünme arasındaki ilişki (Clark, 1981)

Şekil 5.7’de 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. Farklı hızlar ile hareket eden taşıt lastikleri, frenleme sırasında şekilde görüldüğü gibi yol kaplamasının duruma göre farklı maksimum sürtünme değeri almaktadırlar.

Dinamik sürtünme ölçer cihazı, tüm eğrileri tek bir sürtünme eğrisi olarak değerlendirmekte ve Şekil 5.8’de gösterildiği gibi hıza bağlı değişimi vermektedir.



Şekil 5.8 Hıza bağlı DFT değerinin genel değişimi

Diğer bir ifade ile sabit kauçukları barındıran deney cihazından elde edilen ana eğri, aşağısında veriler eğrilerin birleşimi olarak değerlendirilebilir. Birleşik eğrinin maksimum sürtünme değerine kadar olan bölümü direkt olarak taşıt lastiğinin durumu ile ilişkilidir. Pik noktası olarak adlandırılabilir maksimum sürtünme değerinden sonraki bölümü yol mühendisleri açısından önemlidir.

Kontrol ünitesi, DFT ana gövdesi ve su tankından oluşan deney seti kullanılarak yapılacak sürtünme katsayısı (μ) ölçümleri, aşağıda maddeler halinde verildiği şekliyle uygulanır:

- DFT kontrol ünitesindeki güç çıkışı kablosu, 12 V 60 Ah’lik güç kaynağına (otomobil aküsü) bağlanır.

- Koruma kutusundan dikkatlice çıkarılan DFT ana gövdesi ölçümün yapılacağı noktaya konularak, ilgili kabloları DFT kontrol ünitesindeki ilgili yerlere bağlanır.
- Su tankına ait hortum, su akışında herhangi bir sorun olmadığının kontrolünden sonra DFT ana gövdesine bağlanır.
- DFT kontrol ünitesinde bulunan açma – kapama düğmesiyle cihaz açılır.
- Programın başlatılmasından sonra, DFT ana gövdesindeki açma – kapama düğmesi kullanılarak ana gövde de çalıştırılır.
- DFT kontrol ünitesindeki başlangıç menüsünden deneye ilişkin ayrıntılı kurulum ayarları yapılır (Tekrar sayısı, disk dönme hızı ve DFT kontrol ünitesi – ana gövde arasındaki iletişim seçenekleri belirlenir.)
- Ölçüm moduna geçilerek deneyin yapılacağı istasyon noktası için istasyon ismi, kontrol numarası, ölçüm yöntemi (otomatik veya el ayarı ile), kayma hızı belirlenir.
- DFT kontrol ünitesindeki LCD ekranda bulunan “Execute” (uygula – çalıştır) tuşuna basıldıktan sonra ana gövdedeki manyetik kilit açılır ve deneye başlanır.
- İstenilen hıza gelen disk, kaplama ile temas ederek sürtünme hızını ölçer ve hız 0 km/saat olana kadar bu işleme devam eder. Diskin dönmesi sırasında DFT ana gövdesi, DFT kontrol ünitesinden gelen talimatla su tankından otomatik olarak su almaya başlar ve ölçüm süresince almaya devam eder.
- Diskin durmasıyla birlikte sürtünme katsayısı verileri (μ), kontrol ekranında kayma hızına bağlı olarak grafiksel bir şekilde gösterilir.
- LCD ekrandaki “Confirm” (onayla) tuşu ile veriler kaydedilir.
- Tekrar sayısı kadar ölçüm yapılır.
- Bu veriler daha sonra veri transferi yolu ile DFT kontrol ünitesinden bilgisayara aktarılır.

Görüldüğü gibi DFT değeri tekerlek ile yol yüzeyi arasındaki etkileşimi ifade etmektedir. Yüksek hızlarda (Şekil 5.8) seyreden bir aracın tekerleğinin yol yüzeyi ile olan teması azalacak ve dolayısı ile DFT değeri de yüksek hızlar için düşük değer olacaktır. Deney 0 ile 80 km/saat arasındaki hızlardan 20km/saat hıza karşılık gelen

DFT verisi esas alınmaktadır. Bu değer ileride de sunulacağı gibi IFI değerinin elde edilmesinde kullanılmaktadır.

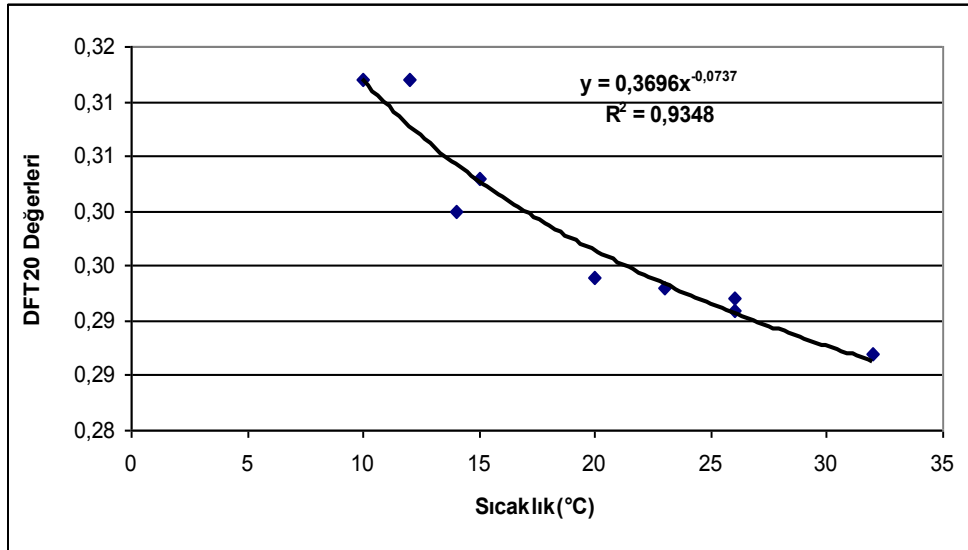
DFT20 değerinin ölçüm zamanları boyunca gösterdiği değişimler ile ilgili bilgilere geçmeden önce sıcaklık değişimlerinin DFT değerleri üzerindeki etkileri üzerinde durma gereği duyulmuştur. Mevsimsel değişimlerin (sıcaklık etkileri) kaplama üzerindeki etkilerinin belirlenmesi için istasyon noktalarından seçilen ve trafik etkisinin olmadığı bazı banketlerde (Banket No:1-3) DFT deneyleri uygulanmış, elde edilen DFT 20 verileri Tablo 5.2'de gösterilmiştir.

Tablo 5.2'de görüldüğü üzere, sıcaklıklardaki azalmaların kaplama yüzeyine ait sürtünme değerleri üzerinde oldukça önemli bir etkisi bulunmaktadır. Yaz aylarında havaların ısınmasıyla birlikte esnek üstyapılar visko-elastik davranış gösterdiklerinden, karışımındaki bitümün viskozitesinde yaşanan düşüş, DFT20 değerlerinde azalmaya neden olmaktadır. Bunun tersi kış ayları için geçerlidir. Kışın bitümün viskozitesindeki artış ile DFT20 değerlerinde de bir artış meydana gelmektedir.

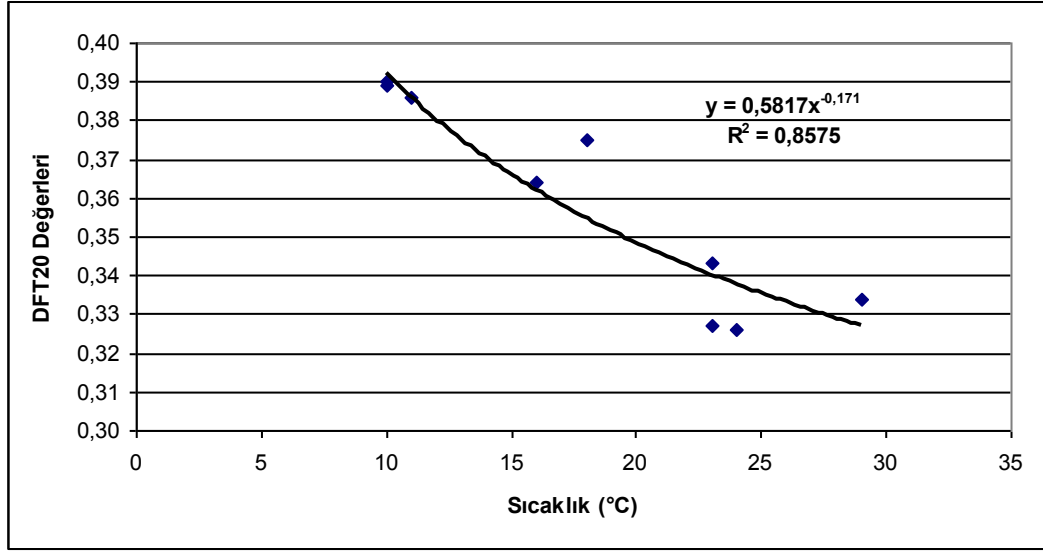
Bunlara ek olarak, yaz aylarında havanın kuru ve sıcak olması nedeniyle, kaplama yüzeyindeki agrega yüzeylerini ince toz partikülleri sarmaktadır. Bu durumda, kaplama üzerinden geçen araçlar agregaların daha kolay ve çabuk cilalanmasına neden olur. Sıcaklığa bağlı olarak tespit edilen DFT20 değerlerinin değişimleri her bir banket tipi için Şekil 5.9 ve Şekil 5.10 'da gösterilmektedir.

Tablo 5.2 Mevsimsel değişim etkileri için banketlerde yapılan DFT20 deney sonuçları

DÖNEMLER	Banketler	Sıcaklıklar	Banket No.1	Banket No.3
			DFT20	DFT20
2009/1	Banket No.1	32	0,287	0,334
	Banket No.3	29		
2009/2.1	Banket No.1	20	0,294	0,375
	Banket No.3	18		
2009/2.2	Banket No.1	12	0,312	0,390
	Banket No.3	10		
2010/1.1	Banket No.1	14	0,300	0,389
	Banket No.3	10		
2010/1.2	Banket No.1	26	0,292	0,326
	Banket No.3	24		
2010/2.1	Banket No.1	26	0,291	0,343
	Banket No.3	23		
2010/2.2	Banket No.1	10	0,312	0,364
	Banket No.3	16		
2011/1.1	Banket No.1	15	0,303	0,386
	Banket No.3	11		
2011/1.2	Banket No.1	23	0,293	0,340
	Banket No.3	23		
2011/2.1	Banket No.1	27	0,290	0,331
	Banket No.3	27		



Şekil 5.9 Banket No.1 DFT20-sıcaklık değişimi



Şekil 5.10 Banket No.3 DFT20-sıcaklık değişimi

Şekillerdeki bağıntılar yalnızca ölçüm dönemleri arasındaki trafik etkisinin olmadığı kabul edilen banketlerden elde edilen veriler ile sınırlıdır. Trafik etkisinin olmadığı durumlarda, sıcaklık artışı ile DFT20 değerlerinin azaldığı yukarıda belirtilen sebeplerden dolayı açıkça görülmektedir.

Sıcaklık etkisi farklı bir bakış açısı ile ortaya konulmaya çalışılmıştır. Yol sathının yeni olduğu, cilalanmanın çok fazla olmadığı bazı istasyon noktaları seçilmiştir. Bu istasyon noktalarından tüm ölçüm dönemleri boyunca DFT20, yıllık ortalama günlük trafik (YOGT) ve sıcaklık değerleri alınarak bir arada değerlendirilip birbirleri ile içsel bir ilişki kurulmaya çalışılmıştır.

Tablo 5.3 ve Tablo 5.4’de DFT20, YOGT ve hava sıcaklığı arasındaki ilişkilere ait elde edilen istatistik sonuçları sunulmaktadır.

Tablo 5.3 Tüm ölçüm dönemlerine ait DFT20, YOGT ve sıcaklık arasındaki ilişki

Korelasyon katsayısı	0,80483702
R kare	0,647762628
Düzeltilmiş R kare	0,547123379
Standard hata	0,031235978
Gözlem sayısı	44

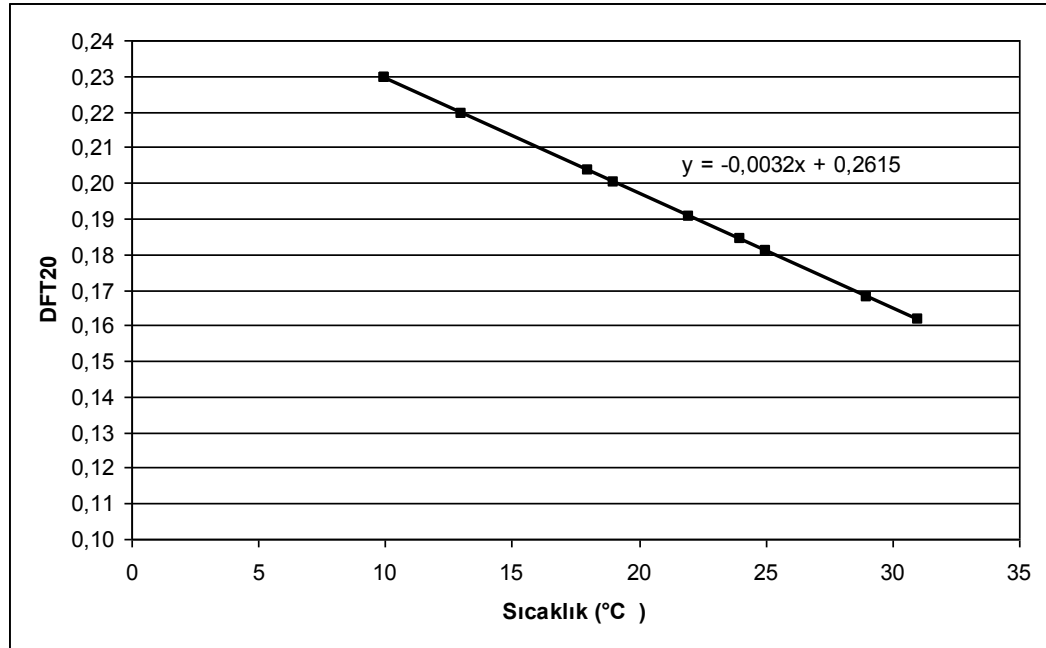
Tablo 5.4 Tüm ölçüm dönemlerine ait DFT20, YOGT ve sıcaklık arasındaki ilişki

	Katsayı	Standard Hata	t Stat	P-değeri
Sabit	0,333486271	0,034713959	9,606690756	2,7855E-05
YOGT	-1,17418E-05	4,18798E-06	-2,803696707	0,02638373
Sıcaklık	-0,003232845	0,001313237	-2,461738783	0,043354686

P değerinin küçük oluşu DFT20 değerinin sıcaklık ve YOGT değerlerine bağımlı olduğunun açık bir ifadesidir. Yukarıda sunulan bilgiler ışığında aşağıdaki denklem yazılabilmektedir.

$$DFT_{20} = 0,333 - 1,174 \times 10^{-5} \times YOGT - 0,00323 \times Sıcaklık \quad (5.3)$$

YOGT verileri sabit tutularak, yalnızca sıcaklık değişimine bağlı DFT20 değişimleri incelenmiştir. Elde edilen lineer değişim Şekil 5.11'de görülmektedir.

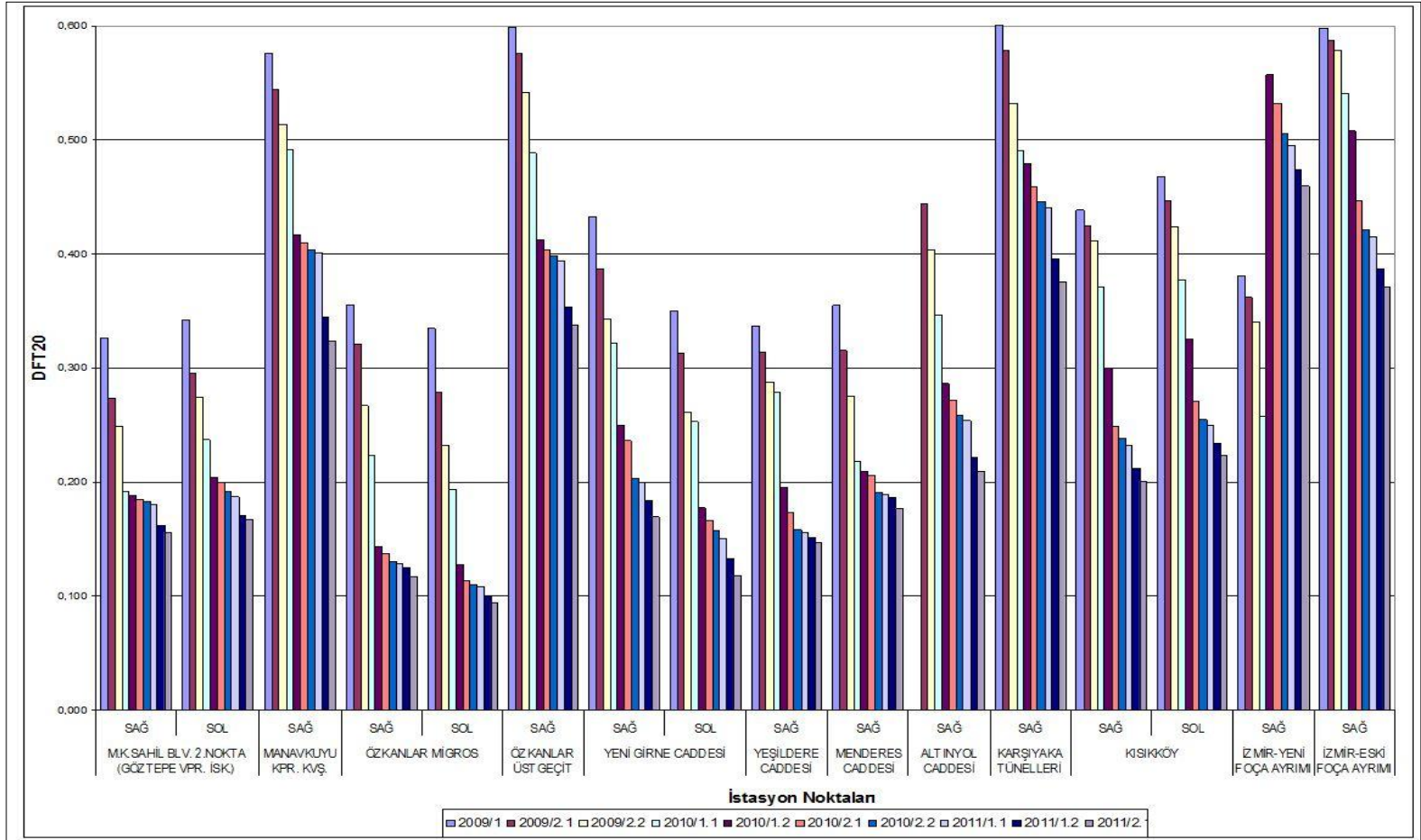


Şekil 5.11 Sıcaklığa bağlı DFT20 değişimleri

Grafikte görülen bağıntı çerçevesinde, farklı sıcaklıklarda dinamik sürtünme cihazı ile yapılan ölçümlerden elde edilen sonuçlar, aynı sıcaklık koşullarına dönüştürülerek, yalnızca trafik etkisini değerlendirmek mümkün olabilecektir.

Sıcaklığın DFT değerleri üzerinde etkisini araştıran çalışmalar özellikle 12°C ile 30°C arasında uygulanan DFT deneyi üzerinde sıcaklığın önemli bir etkisi olduğunu göstermiştir (Fuentes ve Gunaratne, 2010). Trafik etkisinin olmadığı, yalnızca sıcaklıktan kaynaklanan etkilerin değerlendirildiği Şekil 5.11'de sunulan bağıntı göz önüne alınarak, tüm ölçüm dönemleri boyunca farklı sıcaklıklarda elde edilen DFT20 değerleri tek bir sıcaklık düzeyine (25°C) getirilerek yalnızca trafik parametresinin değerlendirilebildiği bir karşılaştırma düzlemi yaratılmıştır.

Aşağıda istasyon noktalarında 25°C'ye kalibre edilen DFT20 değerlerinin ölçüm dönemleri boyunca değişimleri gösterilmektedir (Şekil 5.12).



Şekil 5.12 Ölçüm dönemleri boyunca DFT20 değişimleri

Şekil 5.12'de açıkça görüleceği gibi tüm ölçüm dönemleri boyunca 20km/saat hızla karşılık gelen sürtünme değeri DFT20 azalma eğilimindedir. Bu durum doğrudan trafiğin etkisi ile açıklanabilmektedir.

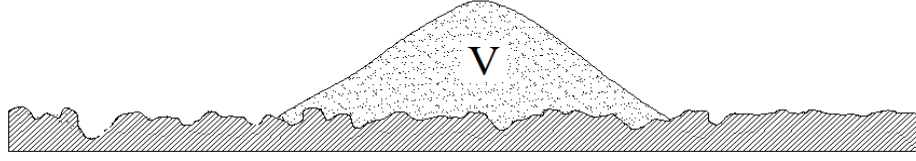
Beklenildiği üzere birçok istasyon noktasında sağ şeritlere ilişkin sürtünme karakteristiklerinin sol şeride göre daha az olduğu görülmektedir. Bu durum, sağ şeritteki trafik hızının sol şeride oranla daha az olmasından kaynaklanmaktadır. Sağ şeridi kullanan ağır tonajlı araç sayısının fazla olması kaplama üzerinde daha yoğun bir baskıya yol açtığından sürtünme dirençlerinin azalmasına neden olur. Buna karşın sol şeritten hızla geçen araçlar, kaplama yüzeyinde elastik tepkilere yol açarlar.

Elde edilen değerler, uluslararası sürtünme direnci ilişkilerinin bulunmasında kullanılacaktır.

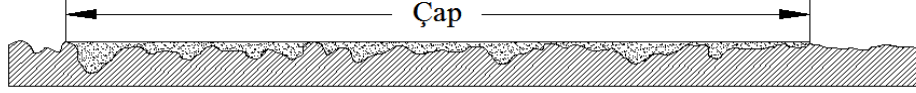
5.3 Kum Yama Yöntemi ASTM E 965-96

İngiltere’de geliştirilen bu deneyin amacı, yol yüzey doku derinliğini belirlemektir. Boyutları standartlaştırılmış ve hacmi bilinen bir miktar kum (British Standard 598’e göre 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. Elde edilen değerler 0,5 ve 5,0 mm arasında değişmektedir. Kum yama yöntemi çoğunlukla kullanılmakla birlikte, bu yöntem ile ilgili bazı sınırlamalar ve ulusal farklılıklar mevcuttur. Bunlar, yöntemin ıslak koşullar altında kullanımının zor olması, zayıf üretilebilirlik, kullanılan kum dane dağılımı, kumun yayılma şekli vb. şeklinde sıralanabilmektedir. Deney prensibi Şekil 5.13 ve Şekil 5.14’de gösterilmektedir.

Yola dökülen ve hacmi bilinen düzgün tanecikli kum



Girintileri dolduracak ve çıkıntıları aşmayacak şekilde dairesel olarak yayılmış kum



Şekil 5.13 Kum yama deneyi

$$MTD = \frac{40 \times V}{\pi \times D^2} \quad (5.4)$$



Şekil 5.14 Kum yama yönteminde kullanılan cam kürecikleri, ve yöntemin uygulanması

Kum yama yöntemi oldukça basit olmasına karşın doku derinliği az olan yollarda doğru sonuçlar vermediği bilinmektedir. 3. bölümde de belirtildiği gibi bu deneyden

elde edilen veri yüzeyin “ortalama doku derinliği-mean texture depth” değeridir. İstasyon noktaları üzerinde üçer aylık dönemler arasında uygulanan kum yama deneyi sonuçları Tablo 5.5'de gösterilmiş ve Şekil 5.15'de özetlenmiştir. Tabloda sunulan değerler, aynı istasyon noktası ve aynı şerit üzerinden alınan 5 farklı doku örneklerinin ortalamasıdır.

Ortalama doku derinlikleri için başlangıç değerleri:

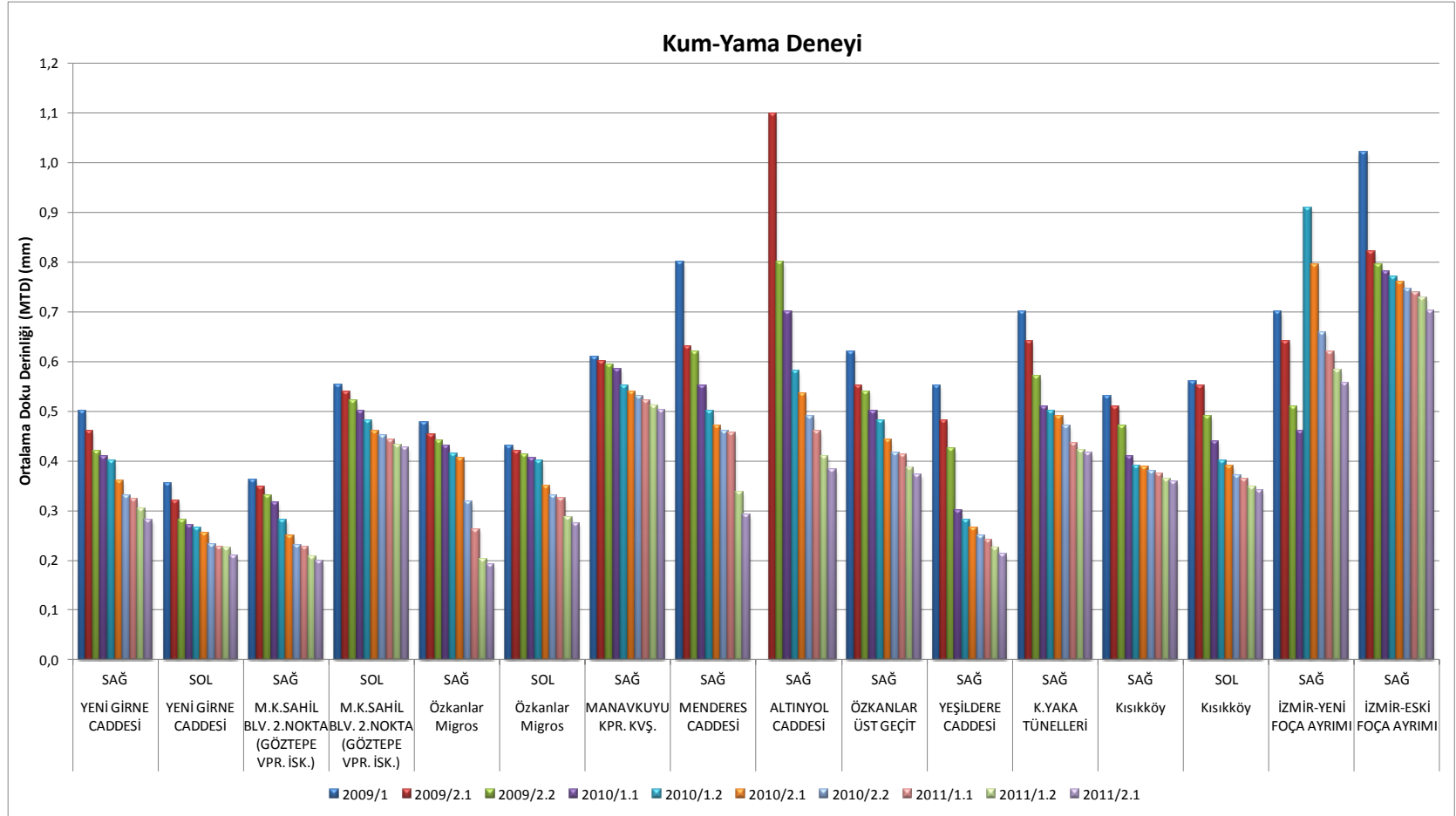
Altınyol Caddesi = 1,10 mm

İzmir Eski Foça Ayrımı = 1,02 mm

Diğer istasyon noktaları = 0,80 mm

Tablo 5.5 Ölçüm dönemlerine ait ortalama doku derinlikleri (MTD)

İSTASYONLAR	ŞERİTLER	2009/1	2009/2.1	2009/2.2	2010/1.1	2010/1.2	2010/2.1	2010/2.2	2011/1.1	2011/1.2	2011/2.1
		HS1	HS2	HS2	HS2	HS2	HS2	HS2	HS2	HS2	HS2
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
M.K.SAHİL BLV.(GÖZTEPE VPR. İSK.)	SAĞ	0,361	0,348	0,330	0,316	0,280	0,250	0,230	0,227	0,208	0,199
	SOL	0,553	0,540	0,522	0,500	0,480	0,460	0,450	0,443	0,432	0,428
YENİ GİRNE CADDESİ	SAĞ	0,500	0,460	0,420	0,410	0,400	0,360	0,330	0,324	0,304	0,280
	SOL	0,353	0,320	0,280	0,270	0,264	0,256	0,233	0,227	0,224	0,209
ÖZKANLAR MİGROS	SAĞ	0,478	0,452	0,441	0,430	0,414	0,405	0,317	0,260	0,202	0,191
	SOL	0,430	0,420	0,413	0,406	0,400	0,350	0,330	0,326	0,286	0,274
MANAVKUYU KPR. KVŞ.	SAĞ	0,610	0,600	0,593	0,585	0,550	0,540	0,530	0,521	0,512	0,502
MENDERES CADDESİ	SAĞ	0,800	0,631	0,620	0,550	0,500	0,470	0,460	0,455	0,338	0,291
ALTINYOL CADDESİ	SAĞ	-	1,100	0,800	0,700	0,580	0,537	0,490	0,459	0,410	0,383
ÖZKANLAR ÜSTGEÇİT	SAĞ	0,620	0,550	0,540	0,500	0,480	0,444	0,416	0,412	0,386	0,372
YEŞİLDERE CADDESİ	SAĞ	0,550	0,480	0,426	0,300	0,280	0,265	0,250	0,241	0,224	0,212
KARŞIYAKA TÜNELLERİ	SAĞ	0,700	0,640	0,570	0,510	0,500	0,490	0,470	0,437	0,422	0,417
KISIKKÖY	SAĞ	0,530	0,510	0,470	0,410	0,390	0,387	0,378	0,374	0,362	0,357
	SOL	0,560	0,550	0,490	0,440	0,400	0,390	0,370	0,362	0,348	0,342
İZMİR-YENİ FOÇA AYRIMI	SAĞ	0,700	0,640	0,510	0,460	0,910	0,796	0,658	0,620	0,582	0,555
İZMİR-ESKİ FOÇA AYRIMI	SAĞ	1,020	0,820	0,795	0,782	0,770	0,760	0,745	0,739	0,728	0,703



Şekil 5.15 Kum yama deneyi ile ortalama doku derinlikleri (MTD)

Tablo 5.5 incelendiğinde, her ölçüm dönemi içinde ve birçok istasyon noktasında sağ şeritlere ait ortalama doku derinliklerinin sol şeritten elde edilenlere göre daha az olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum, sağ şeritteki trafik hızının sol şeride oranla daha az olmasından kaynaklanmaktadır. Sağ şeridi kullanan ağır araç sayısının fazla olması, kaplama üzerinde daha fazla baskıya ve tekerlekle yol yüzeyi arasındaki sürtünme kuvvetinden dolayı aşındırıcı etkilerin doğmasına yol açtığından, pürüzlülüğün azalmasına neden olur. Buna karşın sol şeritten hızla geçen araçlar, kaplama yüzeyinde daha elastik tepkilere yol açarlar.

Yeni Girne Caddesi ve Özkanlar Migros önü (M. Kemal Caddesi) için sağ şeritteki parklanmalar nedeniyle yukarıda bahsi geçen durumun tam tersi bir özellik görülmektedir. Bu istasyon noktalarından geçen araçlar sol şeridi daha çok kullanıldığından ve bu şerit fazla yüke maruz kaldığından pürüzlülüğün sağ şeride oranla daha az olduğu saptanmıştır.

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.

Şekilde sunulan çubuk verilerde ilk ölçüm dönemine ait bazı verilerin (Altinyol, Eski Foça vb.) çok yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir. Bu değerler yol kaplamalarının yenilenmiş olmasından kaynaklanmaktadır. Diğer istasyon noktalarındaki yolların trafiğe açılış tarihleri ile ilgili kesin bir bilgi olmadığı için yalnızca dönemler arası bir değerlendirme yapılabilecektir. İzmir Yeni Foça ayrımı istasyon noktasında 2010/1.2 döneminde satılacak yenilemesi olduğu için kum yama değişimi bir önceki döneme göre marjinal bir değişim göstermiştir.

Değişimlere genel bir yorum getirmek gerekirse, kum yama değerlerinde bazı istasyon noktalarında yüzey cilalanması en alt seviyeye geldiği için değişim ancak üçüncü basamak duyarlılığında gözlenebilmektedir (Örn: M. Kemal Sahil Bulvarı).

5.4 Lazer Tarama Sistemiyle Ortalama Profil Derinliğinin Belirlenmesi

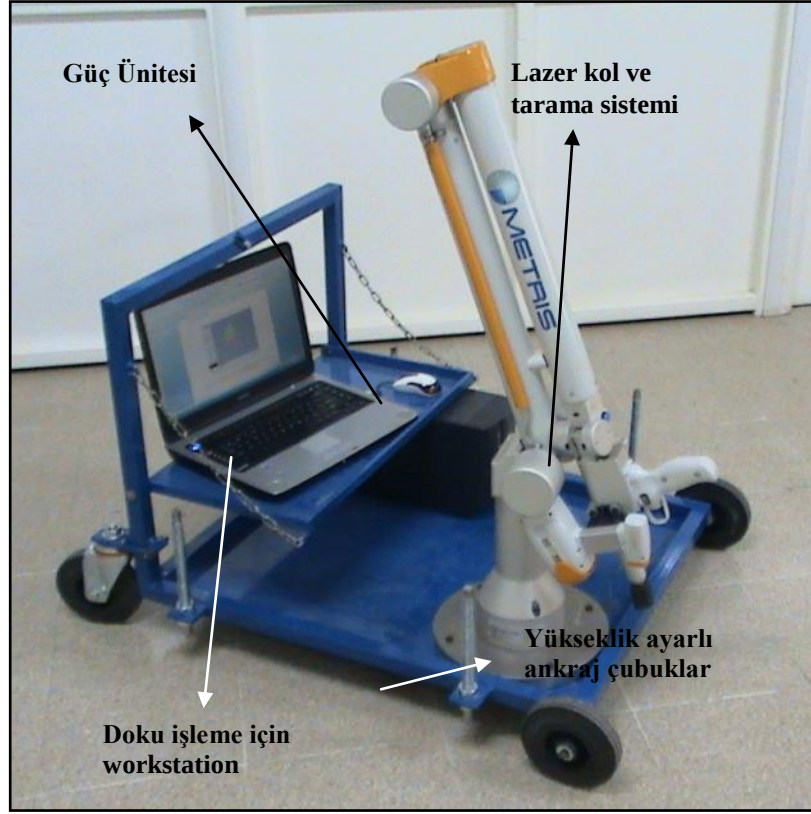
5.4.1 Metris Lazer Tarama Sistemi

Lazer tarama sistemi, oldukça yeni ve teknolojik açıdan üstün bir yöntemdir. Sistemin genel görünüşü Şekil 5.16’da verilmektedir.



Şekil 5.16 Metris lazer tarama sistemi

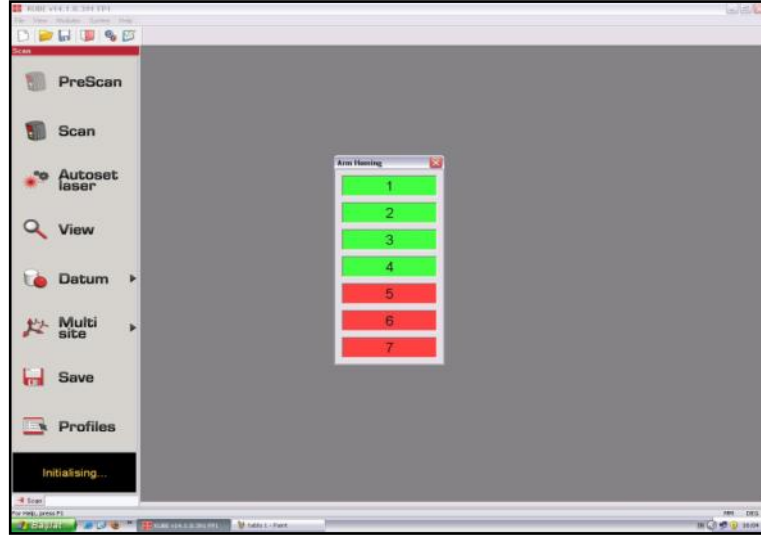
Sistem laboratuvar şartlarında çalışılmak üzere tasarlandığından, arazi ölçümlerinin rahatça yapılabilmesi için Şekil 5.17’de gösterildiği gibi bir taşıma aparatı hazırlanmıştır.



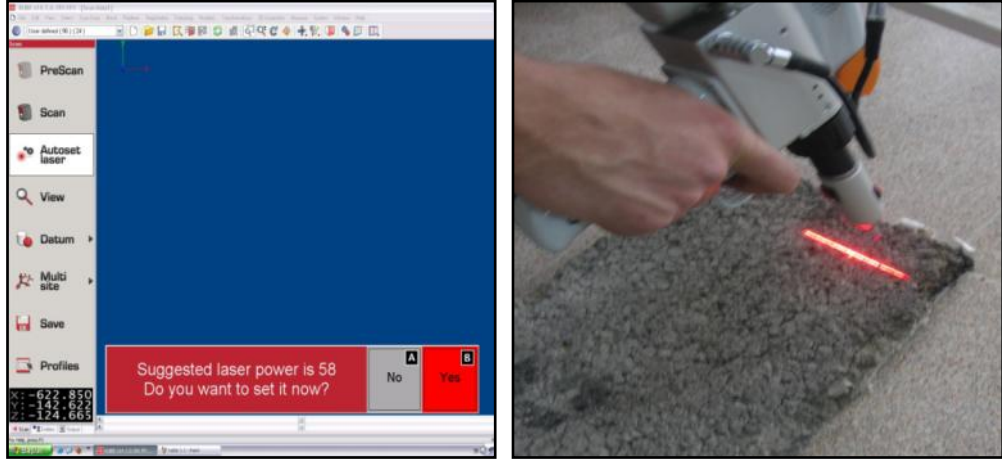
Şekil 5.17 Lazer tarama sistemi ve yazılımı için geliştirilen taşıma aparatı

Lazer tarama sistemiyle ortalama profil derinliğinin (MPD) belirlenmesinde uygulanan adımlar aşağıda ana hatlarıyla anlatılmıştır. Öncelikle, lazer kol ve buna bağlı bilgisayar açılarak öncelikle lazer kola ait 7 eksen Şekil 5.18'de gösterildiği gibi tanıtılır. “Autoset Laser” komutuyla lazer şiddeti, Şekil 5.19'da gösterildiği gibi, ortamın ışık seviyesine bağlı olarak en uygun taramayı yapmak üzere ayarlanır.

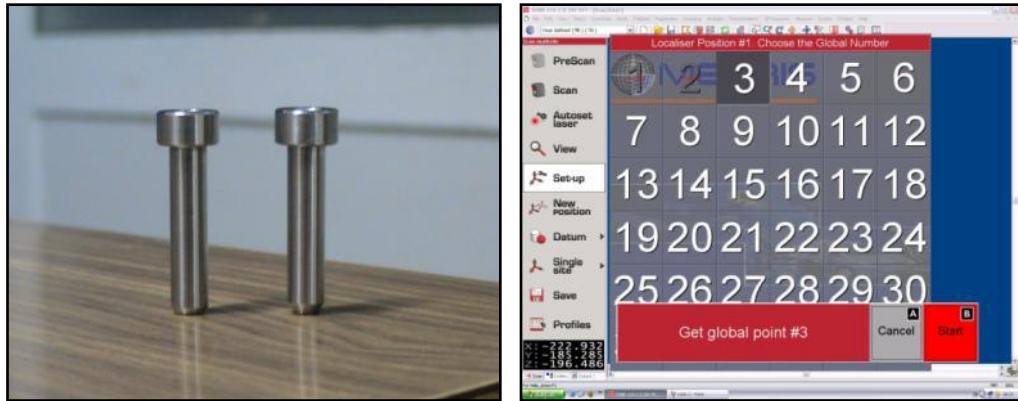
Daha sonra “Multisite” menüsü içerisindeki “Set up” komutuna girilerek önceden taramanın alınacağı yerlere sabitlenmiş olan ve Şekil 5.20'de gösterilen her bir Lazer Probe İşaretçisine (Marker) dokunularak lokasyonlar yazılıma tam olarak tanıtılır Bu işlem diğer periyotlarda yapılacak arazi çalışmalarında ölçümlerin daima aynı noktadan alınabilmesini sağlamaktadır. Böylece, yüzey dokusu değişimleri aynı en kesitler için incelenebilecektir.



Şekil 5.18 Lazer kola ait eksenlerin yazılıma tanıtılması



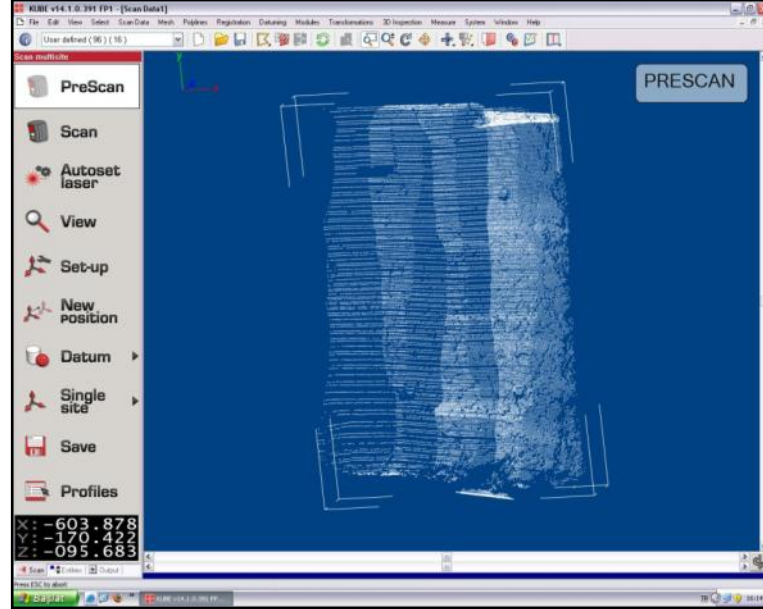
Şekil 5.19 “Autoset Laser” komutuyla lazer şiddetinin ayarlanması



Şekil 5.20 Lazer probe işaretçisi (marker) ve yerlerin yazılıma tanıtılması

İşlemlerin ardından “Prescan” komutuyla tarama yapılacak yerin alanı, hacmi ve sınırları Şekil 5.21’deki gibi belirlenir. Scan” komutuna geçilerek gösterildiği gibi

incelenecek olan kaplama yüzeyinden tarama alınır. Bu işleme, yol yüzeyinden azami sayıda veri alınıncaya kadar devam edilir.

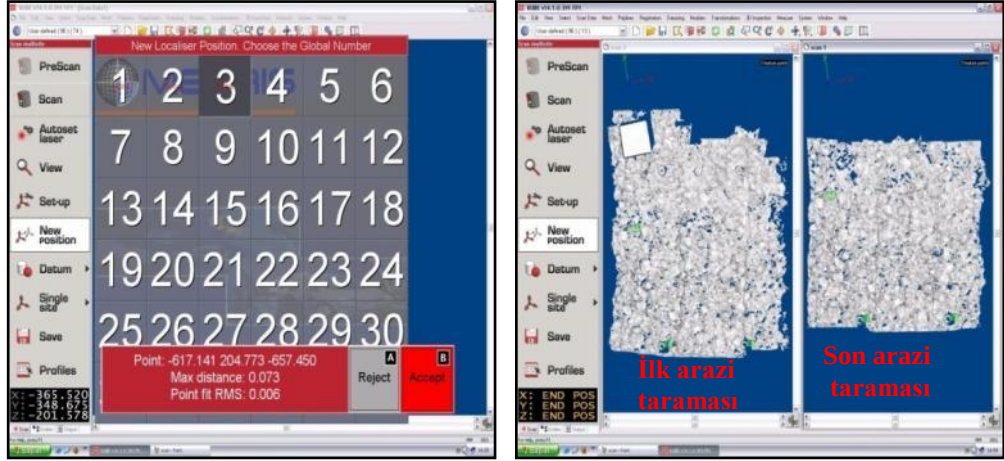


Şekil 5.21 “Prescan” komutuyla tarama yapılacak yerin alanı, hacmi ve sınırlarının belirlenmesi



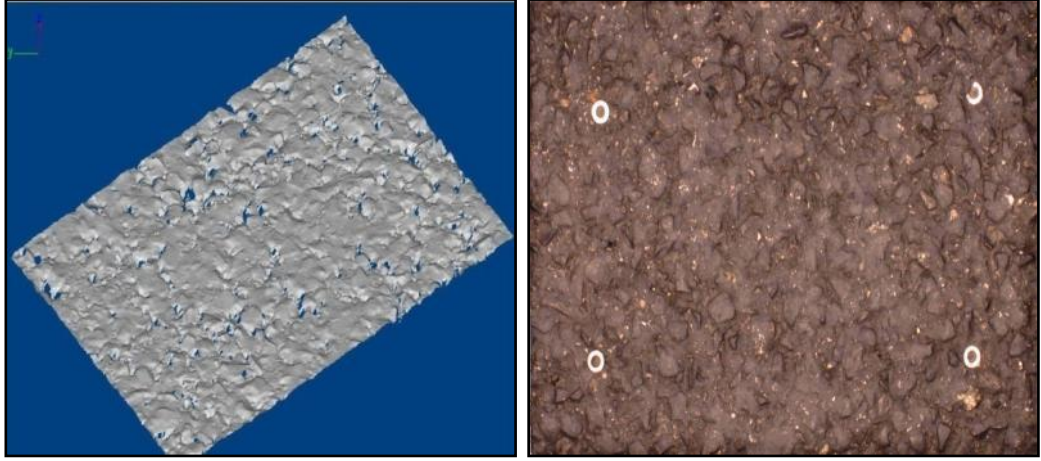
Şekil 5.22 Lazer tarama sistemiyle yüzeyden veri alınması

Sonraki taramalarda yine aynı yerin taranabilmesi için “Multisite” menüsü içerisindeki “New position” komutuyla Şekil 5.23 de gösterildiği gibi işaretçilerin yerleri sisteme yeniden tanıtılır. Araziden alınan “.sab2” uzantılı tarama verileri, yazılım kullanılarak, “.stl” uzantılı dosyalara çevrilir ve elde edilen veriler arasında Şekil 5.23 'de görüldüğü gibi karşılaştırmalar yapılabilmektedir.

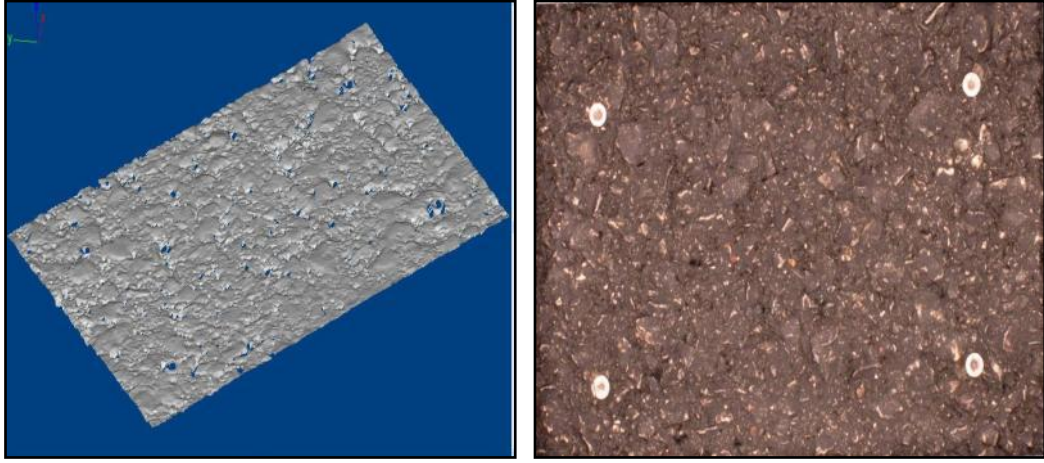


Şekil 5.23 İşaretçinin yerlerinin sisteme tanıtılması ve veri karşılaştırılması

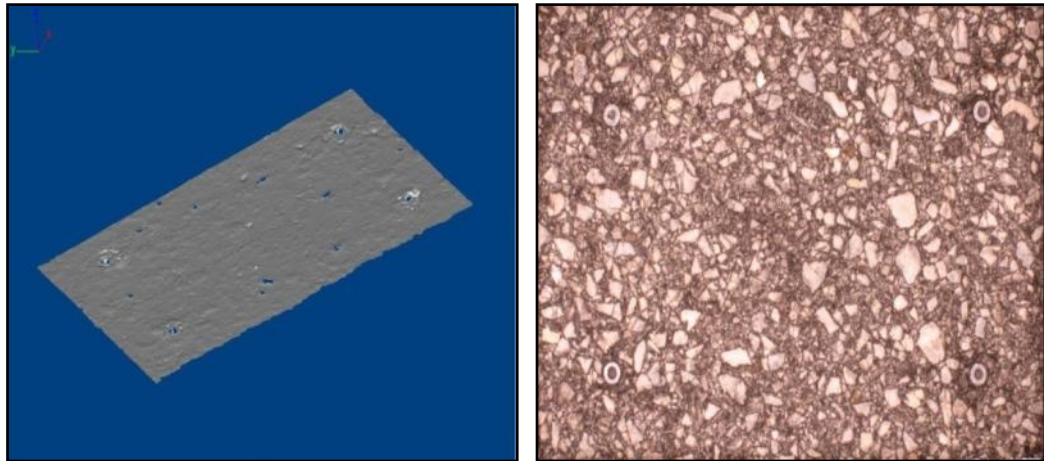
KUBE Programında elde örnek görüntüleri Şekil 5.24 a-b-c’de görüldüğü gibidir. Şekil 5.24 a-b-c’deki görüntülerde sırasıyla en yüksek, orta ve en düşük profil derinliklerini veren İzmir-Eski Foça Ayrımı (TMA-Taş Mastik Asfalt), Altınyol ve M.Kemal Sahil Bulvarı istasyon noktalarındaki yol yüzeylerinin 3 boyutlu simülasyonları ile fotoğrafları görülmektedir. Üç boyutlu (3D) yüzey profillerinden TMA kaplamanın ve yeni hizmete açılan Altınyol ile yine trafik hacminin ve kaza sıklığının yüksek olduğu bilinen ve uzun zaman önce aşınma tabakası yenilenen M.Kemal Sahil Bulvarı’na göre yüzey derinliklerindeki farklılıklar gözle bile ayırt edilebilmektedir.



a- İzmir-Eski Foça ayrımı (TMA) (Sağ Şerit)



b- Altınyol (Sağ Şerit)



c- M.K.Sahil Bulvarı (Sağ Şerit)

Şekil 5.24 Metris Lazer Tarama Sistemi alınan bazı yüzey profillerinin 3 boyutlu simülasyonu ile yol yüzey görüntüleri

Şekil 5.24 değerlendirildiğinde, İzmir-Eski Foça Ayrımı (TMA) kaplaması, yolun yeni hizmete açılmış olması nedeniyle agrega yüzeyleri hala bitüm filmi ile kaplı haldedir. TMA karışımlarındaki iri agrega yüzdesinin fazla olması, asfalt yüzey dokusunun da daha pürüzlü olmasına neden olmaktadır. Altınyol istasyon noktası, yeni asfalt kaplaması yapılmış olması nedeniyle Tez çalışmaları kapsamına sonradan dahil edilen bir yol kesimidir. Aşınma Tip-2 gradasyonunda (yoğun gradasyonlu) hazırlanan karışımda yol yüzey pürüzlülüğü çok iyi durumda ve agregalar bitüm filmi ile kaplı haldedir. Ancak TMA kaplamasına göre yüzey pürüzlülükleri daha düşük mertebelerdedir. Bunun nedeni TMA kaplamalarında iri agrega yüzdesi ve gradasyonun farklı olmasıdır. M.Kemal Sahil Bulvarı istasyon noktasında ise yolun BSK Tip-2 gradasyonunda yapılmış olmasına rağmen, uzun yıllardır serviste olması (yaklaşık 7 yıl), ve yüksek trafik hacmi nedeni ile agrega taneleri tamamen cilalanmış ve yol yüzeyinde tamamen görünür haldedir.

5.4.2 Ortalama Profil Derinliğinin (MPD) Hesaplanması ve Ana Bileşen Tahlili ile Veri Normalizasyonu

Ana Bileşen Tahlili (ABT) (Principle Component Analysis (PCA)), veri noktalarının değişkenleri birbiriyle ilintili olan bir uzaydan, daha ilintisiz değişkenlerin oluşturduğu farklı bir uzaya aktarılmasını sağlar. Genellikle bu uzaydaki her bir eksen değişkenlerin dağılım miktarına göre sıralanmış olarak belirlenir ve değişim miktarının küçük olduğu boyutlar tümüyle göz ardı edilerek veri uzayını büyük bir kayıp olmadan orijinalinden çok daha küçük boyutta temsil etmek mümkün olur. Çok boyutlu verileri 3B ya da 2B hale getirerek görselleştirmek, ya da sınıflandırma uygulamalarında öznitelik vektörünü küçültmek ABT yönteminin başlıca uygulamalarındandır. Burada yapılan uygulamada veri uzayında boyut azaltma amacı olmamakla birlikte, aynı pencere içinde ölçülerek elde edilen her bir nokta bulutunun birbiriyle karşılaştırılabilir hale gelmesi için ABT yöntemi kullanılmıştır.

İlk aşamada 20x30 cm'lik bir pencereler içinde yer alan 3B nokta pozisyonlarının oluşturduğu nokta bulutu üzerinde ABT yöntemi uygulanarak ana bileşen yönleri tespit edilmiştir. Problemin doğası gereği ana bileşen yönleri sırasıyla 30 cm'lik

kenar yönü, 20 cm'lik kenar yönü ve yükseklik yönü şeklinde beklendiği gibi ortaya çıkmıştır. Ana bileşen yönlerinin hesaplanmasının ardından, veri noktalarının bu yönlerle karşılık gelen projeksiyonları alınmış ve bu şekilde tüm noktalar ölçümlerin yapılacağı normalize edilmiş yeni uzaya aktarılmıştır.

İlk olarak normalize edilmiş nokta kümesinin tümünden istatistiksel veriler elde edilmiştir. Bu uygulama sırasında bölgenin çok sayıda taramanın birleştirilmesi ile 3B taraması sırasında farklı taramaların çakıştırılmasında ölçülebilir bir hata olduğu gözlenmiştir. Bu durumdan kaçınmak için gerektiğinde sorunsuz bölgelerin seçilerek ikinci bir ABT normalizasyonu uyguladıktan sonra istatistiksel verilerin hesaplanması yoluna gidilmiştir. Sonrasında normalize edilmiş nokta kümesini örten yüzeylerin 2B bir grid üzerinde örneklenmesi ile 20 x 30 cm'lik bölge içinde 0,5 mm'lik aralıklarla her bir noktasının yükseklikleri hesaplanmıştır. 0,5 mm'lik grid boyu, tarama sırasında pozisyonu hesaplanan toplam 3B nokta sayısını yaklaşık olarak koruyacak şekilde belirlenmiştir. Yukarıda belirtilen bölge için 400 x 600 ya da 240.000 elemanlı 2B dizin taramada elde edilen yaklaşık 200.000 elemanlı nokta bulutunu temsil etmek için kullanılmıştır. Bu işlem sırasında standartlarda belirtildiği gibi yüksek frekanslı gürültünün azaltılması için 2,5 mm'lik bir pencere içinde ortalama değer hesaplanarak, alçak geçiren filtre uygulanmasıyla yeni bir dizin elde edilmiş bundan sonraki işlemler bu yeni dizin üzerinde yapılmıştır.

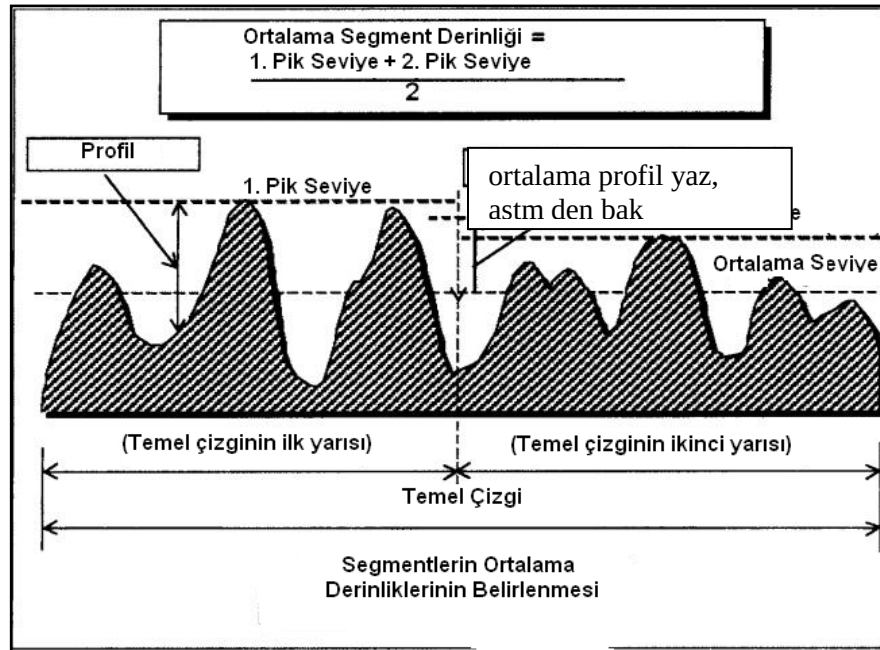
2B dizin üzerinden 10 mm aralıklarla seçilen profil kesitleri üzerinde ölçümler gerçekleştirilmiştir. Seçilen bir satır ya da sütun üzerinden alınan 1B dizin üzerinde tekrar ABT normalizasyonu yapılarak profilin eğimli olması durumunda, eğim yönünün yatay eksen olarak kabul edileceği yeni bir koordinat sistemine geçiş yapılmıştır. Normalize edilmiş her bir profil üzerinde istatistiksel veriler elde edilmiştir.

Kum yama yöntemi ile ilgili kısıtlamalar ve belirli sınırlamalar nedeni ile bu yönteme alternatif olmak üzere birçok yöntem geliştirilmiştir. Yeni tekniklerin sayısının artması ile birlikte, yüzey profilinden yol kaplaması yüzeyinin ortalama profil derinliğini hesaplamak için standart bir yöntem (ASTM E 1845-09) belirlenmiştir. Bu standardın esası, hacimsel kum yama yöntemi ile elde edilen

ortalama doku derinlikleri arasında ilişki kurarak, farklı profil ölçüm tekniklerini birbirine uyumlu hale getirmektir. Yüzey Ortalama profil derinliği–Mean Profile Depth (MPD) hesabından önce filtre edilmelidir. Filtreleme için iki alternatif yöntem vardır:

- 100 mm'den büyük dalga boylarını uzaklaştırmak için yüksek geçişli bir filtre uygulamak ve bunu takiben 2,5 mm'den küçük dalga boylarını uzaklaştırmak için düşük geçişli bir filtre uygulamak,
- 2,5 mm'den küçük dalga boylarını uzaklaştırmak için düşük geçişli bir filtre uygulamak ve bunu takiben profilden bir regresyon çizgisi çıkartılması ile profil eğimini önlemek.

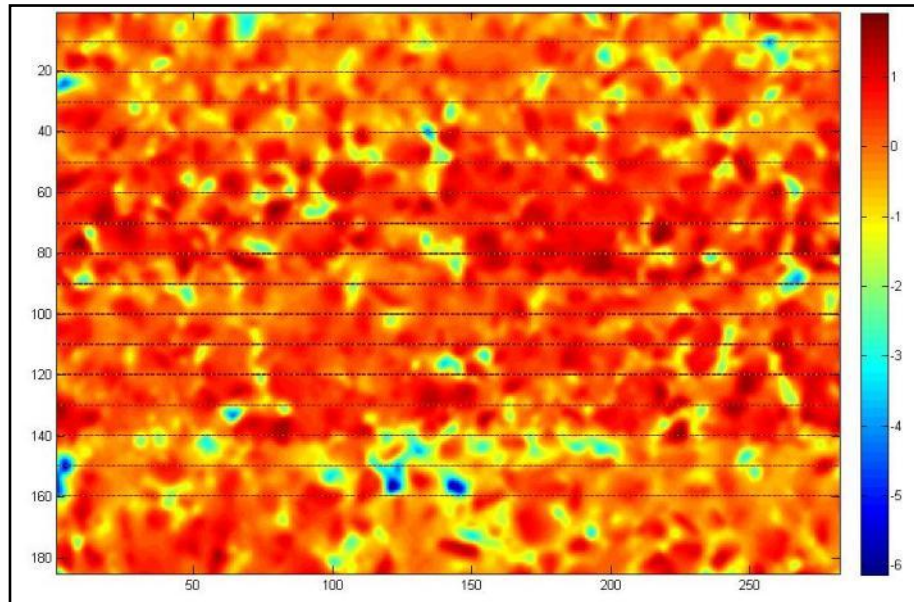
Ortalama profil derinliği, Şekil 5.24'de görüldüğü gibi iki eşit parçaya bölünmüş 100 mm genişliğindeki bir referans hattı üzerinden hesaplanır. Her bir parçadaki pik seviyeler belirlenir. İki pikin ortalamaları ve profil ortalaması arasındaki fark ortalama profil derinliği olarak isimlendirilir. Test farklı profil kesimlerinde tekrarlanır ve ortalaması örnek yol kesiminin ortalama profil derinliği olarak kaydedilir. Tahmini doku derinliği, ortalama profil derinliğinden ortalama doku derinliğini öngörmektir.



Şekil 5.25 Ortalama profil derinliği hesap işlemi (ASTM E 1845-09).

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 istasyon noktasından alınan yol yüzey görüntüleri düşeyde kesitler alınarak işlemler uygulanmıştır.

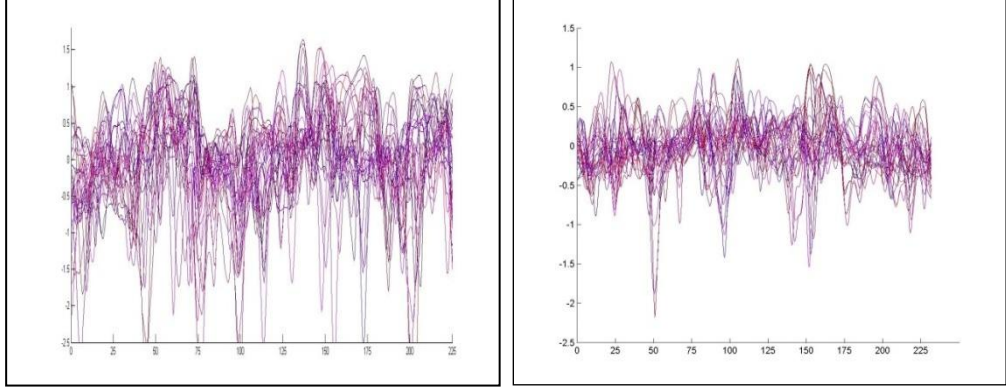
Şekil 5.26 Yol yüzeylerinden düşey kesitlerin çıkarılması'da örnek alınan bir istasyon noktasına ait doku değişimleri farklı renkte gösterilmektedir. Ele alınan yüzey üzerinden düşey kesitler alınarak ortalama profil derinlikleri tespit edilmiştir.



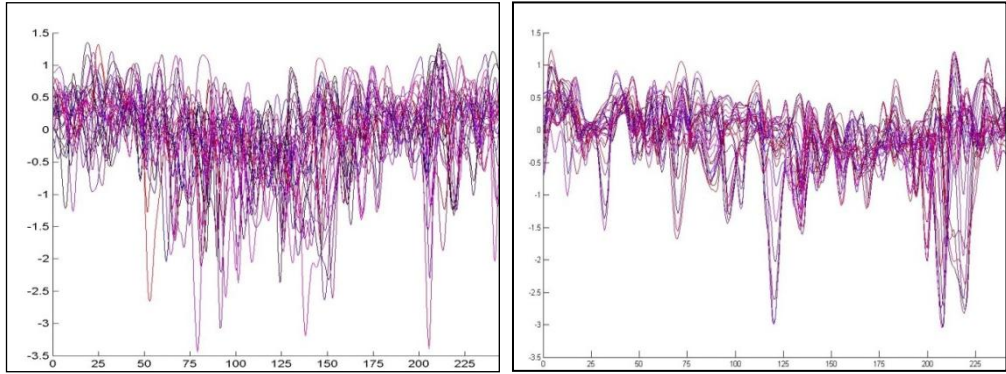
Şekil 5.26 Yol yüzeylerinden düşey kesitlerin çıkarılması

Altınyol ile Karşıyaka Tünelleri istasyon noktalarına ait yol yüzey profillerinin düşey düzlemdeki değişimleri karşılaştırmak amacıyla ilk dönem ile son dönem kesitleri sırası ile Şekil 5.27 ve Şekil 5.28'de sunulmaktadır.

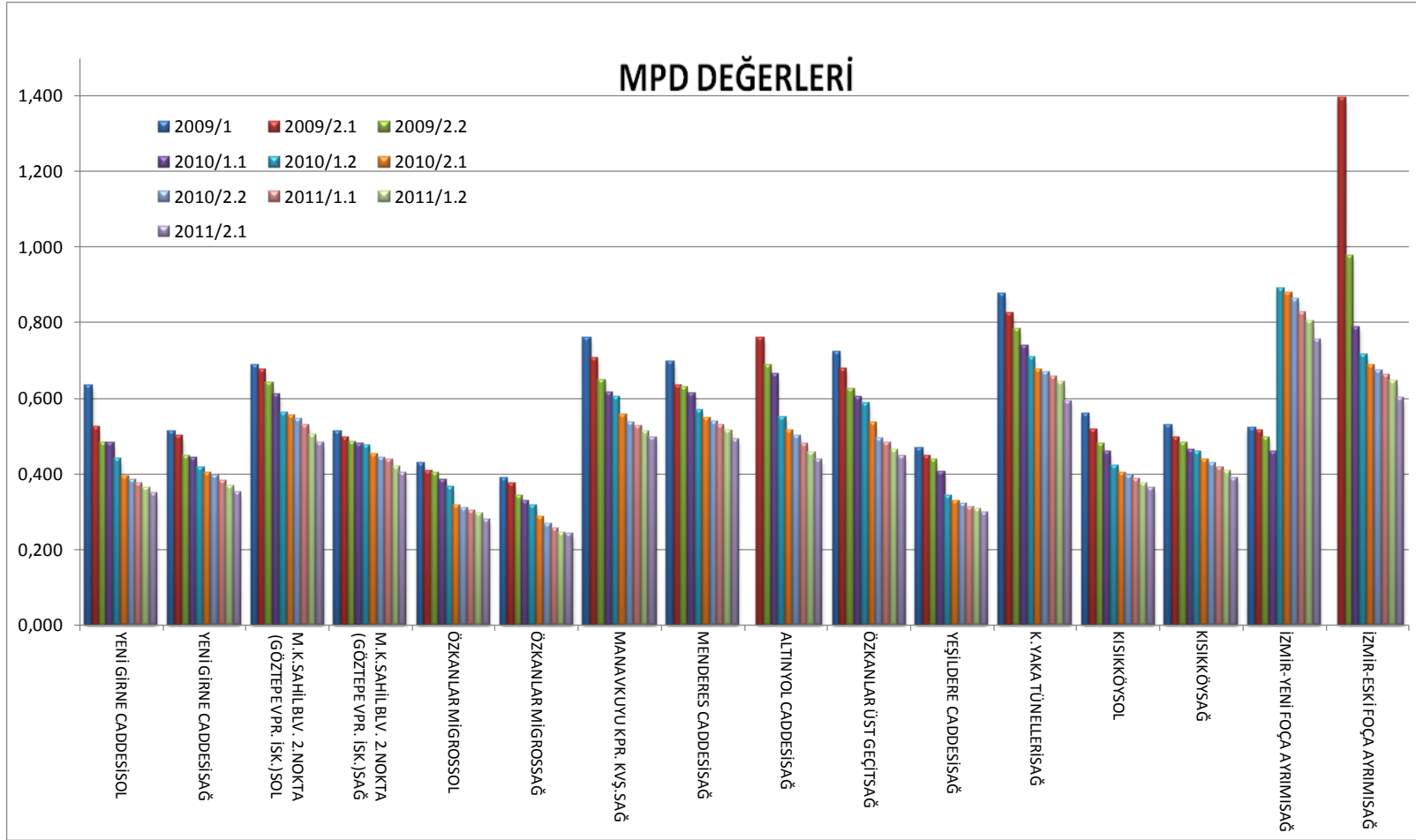
Şekil 5.29'da istasyon noktaları üzerinden Metris Lazer Tarama Sistemi ile ölçülen MPD değerlerindeki zamana bağlı değişim gösterilmektedir.



Şekil 5.27 Altınyol istasyon noktası yol yüzey profili



Şekil 5.28 Karşıyaka Tüneller yol yüzey profili

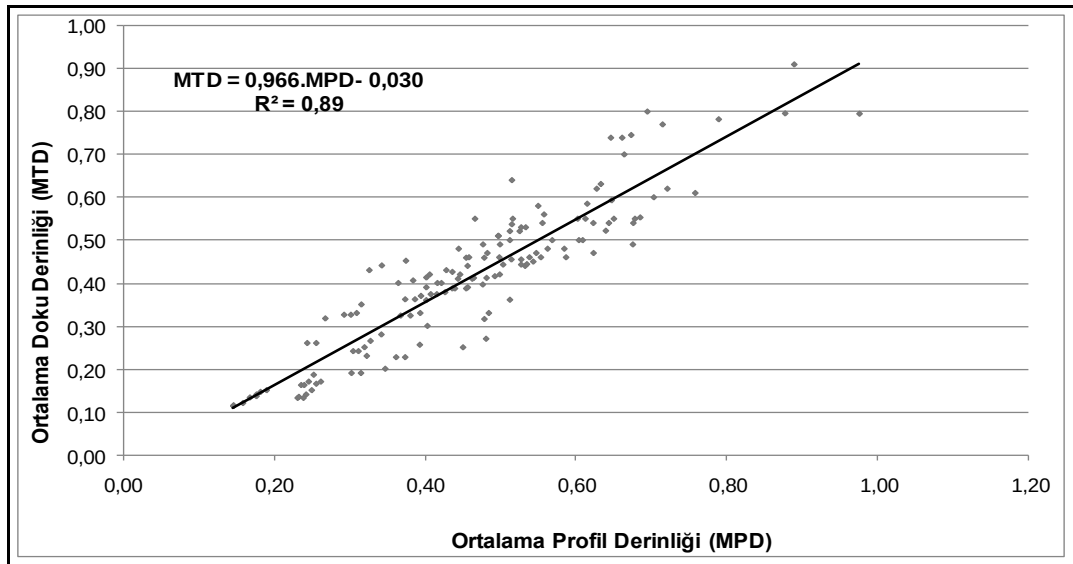


Şekil 5.29 İstasyon noktalarına ait ortalama profil derinlik değişimi

Şekil 5.29’da görüldüğü gibi tüm istasyon noktalarında sol seride ait ortalama profil derinlikleri sağ seride oranla daha fazladır. Bu durum ağır taşıtların sağ şeridi daha çok kullanmalarından kaynaklanmaktadır. Ancak sağ şeritte park eden araçlar nedeniyle sol şeridin daha fazla kullanıldığı Yeni Girne Caddesinde bu durum farklıdır. Ölçümler arası değerlere bakıldığında, derinliklerde tüm şeritler için zamanla bir azalma eğilimi söz konusudur.

5.5 Ortalama Profil Derinliği-Doku Derinliği (MPD-MTD) İlişkisi

Tüm istasyon noktalarından elde edilen MPD değişimleri (Şekil 5.29) ile kum yama deneyinden elde edilen MTD değişimleri (Şekil 5.15) ölçüm dönemleri boyunca bir arada incelenerek genel bir ilişki elde edilmeye çalışılmıştır (Şekil 5.30).



Şekil 5.30 MTD-MPD ilişkisi

Şekil 5.30'daki incelendiğinde kum yama deneyinden elde edilen MTD değerleri ile lazer sisteminden elde edilen MPD arasında iyi bir ilişki olduğu tespit edilmiş ve Denklem 5.5 ile ifade edilmiştir.

$$MTD = 0,966 MPD - 0,030 \quad R^2 = 0,89 \quad (5.5)$$

Konu ile ilgili olarak 2002 yılında ABE tarafından benzer bir çalışma yapılmıştır (Abe, Tamai, Henry ve Wambold, 2002). Eksenel sürtünme direnci cihazı kullanılarak gerçekleştirilen çalışmada aşağıdaki denklem elde edilmiştir.

$$MTD = 1,03 MPD + 0,15 \quad R^2 = 0,92 \quad (5.6)$$

2000 ve 2003 yıllarını kapsayan ve National Center for Asphalt Technology (NCAT)'de uygulanan benzer araştırma sonucunda sırasıyla aşağıdaki denklemler elde edilmiştir (Hanson ve Prowell, 2004)

$$MTD = 1,0094MPD-0,056 \quad R^2=0,94 \quad (5.7)$$

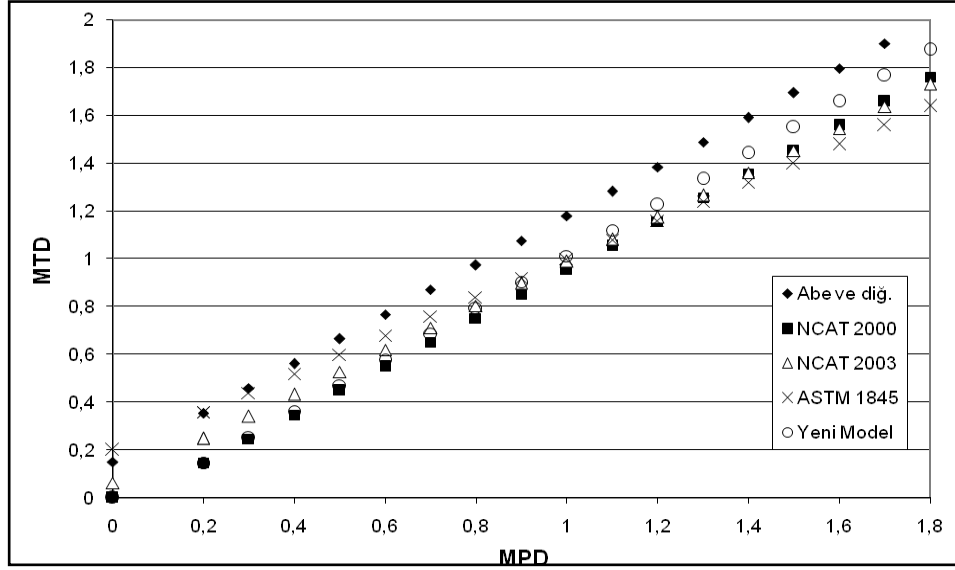
$$MTD = 0,9265MPD+0,0683 \quad R^2=0,99 \quad (5.8)$$

ASTM E 1845'de ise MTD ile MPD arasında aşağıda denklemde belirtilen bir ilişki olduğu belirtilmektedir.

$$MTD = 0,8 MPD + 0,2 \quad (5.9)$$

Tez çalışmaları kapsamında üretilen yeni model (Denklem 5.5) ile yukarıda bahsi geçen çalışmalardan elde edilen modeller birlikte değerlendirilip karşılaştırılmıştır (Şekil 5.31).

Şekil 5.31'de sunulan tüm modeller incelendiğinde ABE ve diğerleri tarafından önerilen modelin diğerlerine oranla daha büyük ortalama doku derinlik değerleri verdiği söylenebilir. Bununla birlikte Tez çalışmaları kapsamında önerilen modelin özellikle NCAT tarafından önerilen modellere yakınlığı modelin etkinliğini ön plana çıkarmaktadır.



Şekil 5.31 MTD-MPD modellerinin karşılaştırılması

5.6 Sürtünme İndeks Sonuçları

4. bölümde anlatıldığı gibi herhangi bir kaplamaya ilişkin o kaplamanın sürtünme özelliklerini dinamik sürtünme cihazı kullanarak hıza bağlı olarak karakterize eden bağıntı aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$FR(V) = DFT_{20} \times e^{\frac{-V+20}{Sp}} \quad (5.10)$$

Bağıntı incelendiğinde;

DFT_{20} = 20 km/saat 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 eşitlik ile hesaplanmaktadır.

$$Sp = a + b \times T \quad (5.11)$$

Görüldüğü üzere, Sp değeri a ve b katsayılarına bağlıdır.

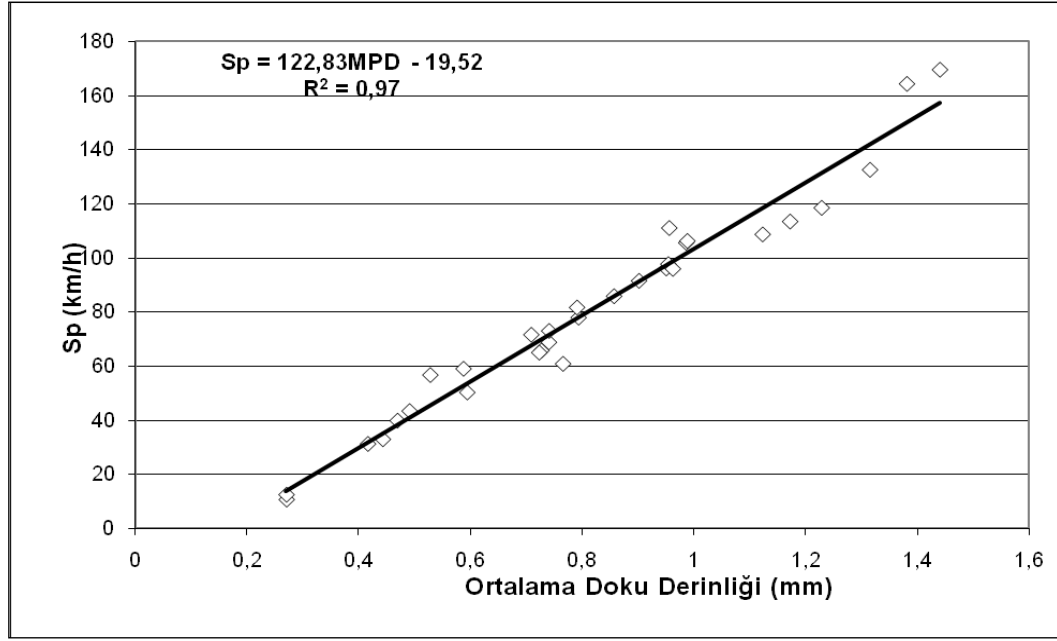
Bu katsayılar ASTM E 965 Kum yama yöntemi kullanılarak belirlenen ortalama doku derinliği (MTD) olarak ifade edilecek ise $a = -11,6$ ve $b = 113,6$ değerlerini almaktadırlar.

Tez çalışmaları kapsamında ele alınan Metris Lazer Tarama sistemi kullanılarak bu katsayıların MPD sonuçlarından elde edilmesi için bazı analizlere ihtiyaç vardır. Aşağıda ayrıntıları bulunan analizin uygulanmasının başlıca sebebi, ülkemizde benzer bir lazer tarama cihazının kullanılması durumunda sürtünme sabiti değerinin MPD cinsinden hesaplanabilmesi için “a” ve “b” katsayıları tespitine yöneliktir.

Bunun için Dokuz Eylül Üniversitesi kampüsü içinde deneme yol kesimi seçilmiştir. Bu yol kesimi üzerinde yol dokusunun değişim gösterdiği noktalar seçilmiş ve bu noktalar üzerinde öncelikle kum yama deneyi uygulanarak ortalama doku derinlikleri tespit edilmiştir. Bu değerler kullanılarak Sp değeri $a = -11,6$ ve $b = 113,6$ değerleri kullanılarak aşağıda denklem ile hesaplanmıştır.

$$Sp = -11,6 + 113,6 \times MTD \quad (5.12)$$

Ardından, aynı noktalar üzerinde Metris Lazer tarama sistemi kullanılarak MPD değerleri tespit edilmiştir. Denklem 5.11 ile hesaplanan Sp ile tayin edilen MPD arasında doğrusal bir ilişki kurularak yeni a ve b katsayıları Şekil 5.32'de elde edilmiştir.



Şekil 5.32 Lazer tarama sistemi ile tayin edilmiş “a” ve “b” katsayıları

Yukarıdaki şekilde de gösterildiği gibi lazer tarama sistemi ile tayin edilmiş Sp değeri Denklem 5.13 ile ifade edilmiş ve tez çalışmaları kapsamında MTD’ye bağlı olarak Sp değerlerinin hesaplanmasında kullanılmıştır.

$$Sp = -19,52 + 122,83 \times MTD \quad (5.13)$$

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

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

$$FR(60) = DFT_{20} \times e^{\frac{-60+20}{Sp}} \quad (5.14)$$

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

$$F(V) = A + B.FR(V) \quad (5.15)$$

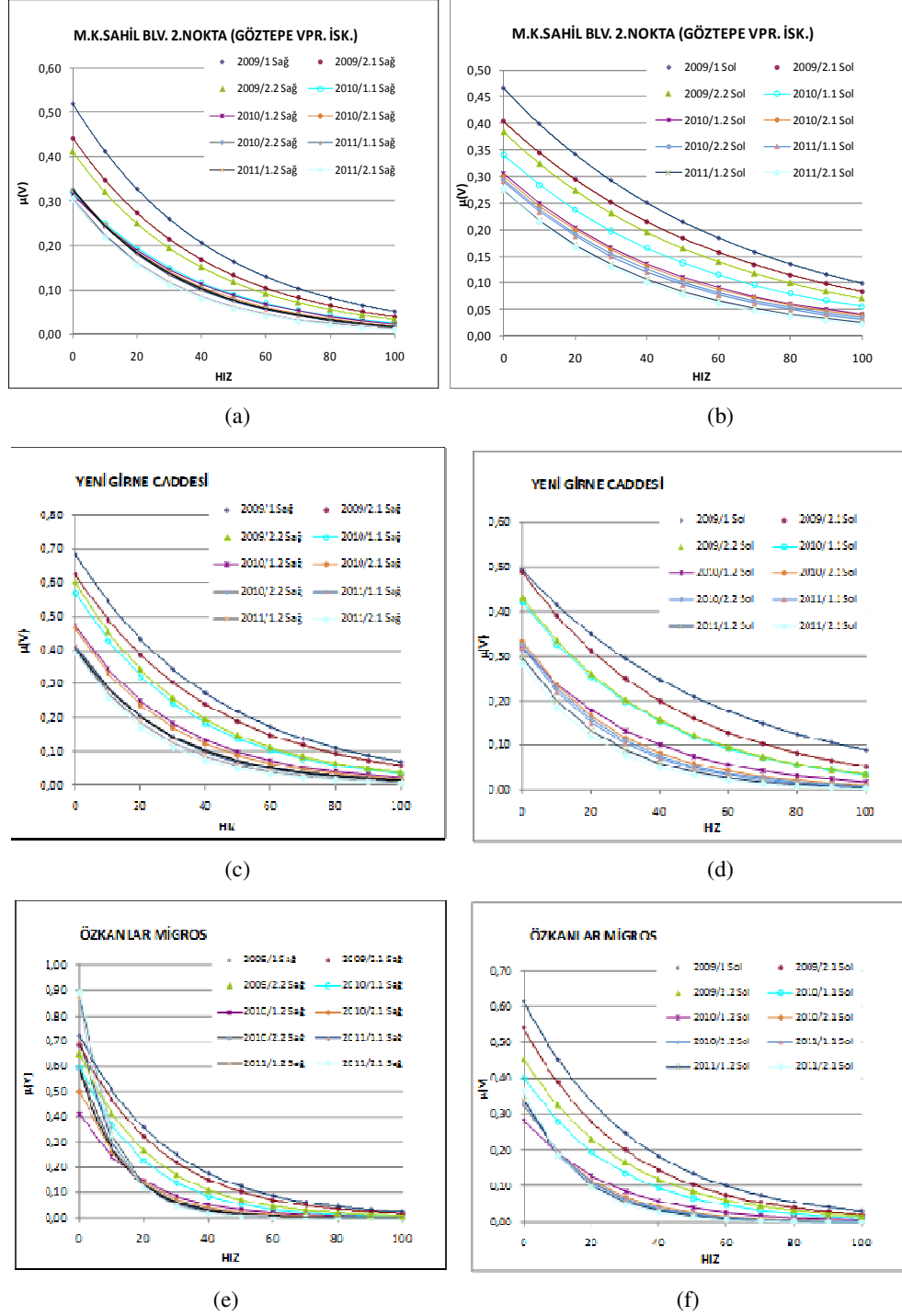
$$F(V) = A + B.DFT_{20} \times e^{\frac{-V+20}{Sp}} \quad (5.16)$$

A ve B katsayıları, DFT cihazı kullanılması durumunda kullanılacak korelasyon sabitleridir. A=0,11; B=0,66 olarak alınacaktır. Bu değerler Henry, Abe, Tamai ve Saito (2000) tarafından yazılmış “Determination of the International Friction Index using Circular Texture Meter and the Dynamic Friction Tester” isimli yayın göz önüne alınarak yukarıdaki değerlere güncellenmiştir. DFT cihazı ile tarafımıza eğitim veren Penn State Ünivesitesi öğretim elemanı Prof. Dr. Zoltan Rado’nun çalışmaları da bu değerin kullanılması yönündedir. IFI, bu iki değer ile karakterize edilmektedir. F(60) ve Sp değeri.

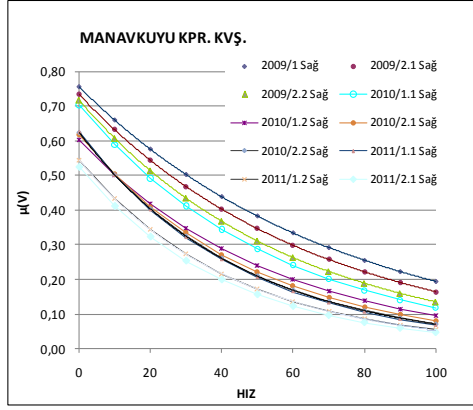
$F(V)$ = IFI’a ilişkin taşıt hızına bağlı sürtünme değeri

$F(60)$ = 60 km/saat değerine karşılık gelen IFI sürtünme değeri

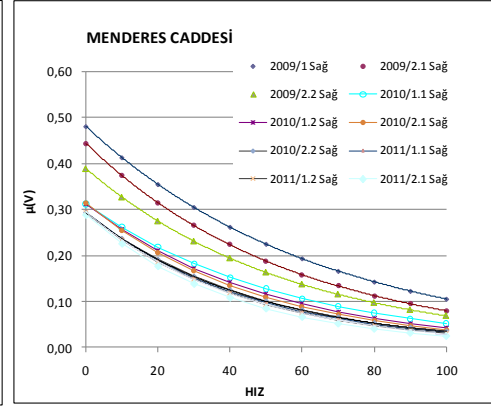
Aşağıda her bir istasyon noktası için hıza bağlı olarak çizilmiş sürtünme eğrileri $F(V)$ yer almaktadır (Şekil 5.33).



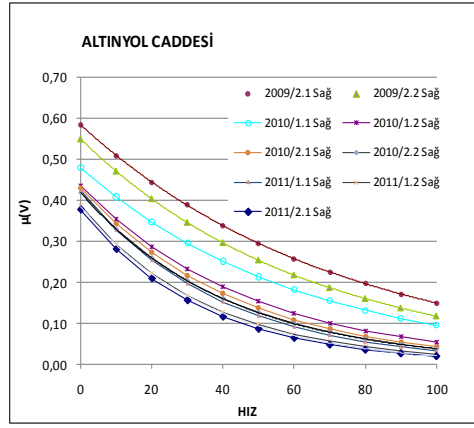
Şekil 5.33 İstasyon noktaları bazında uluslararası sürtünme indeks eğrileri



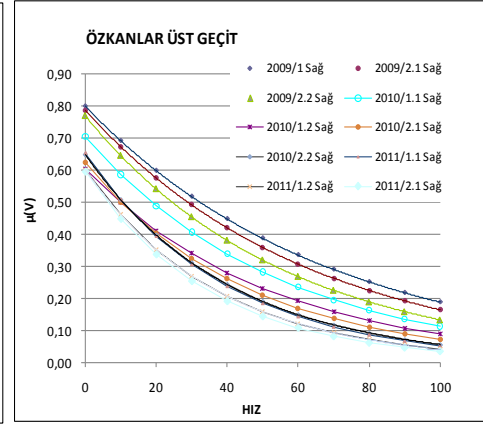
(g)



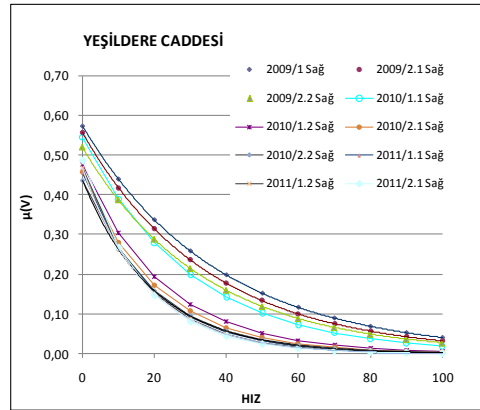
(h)



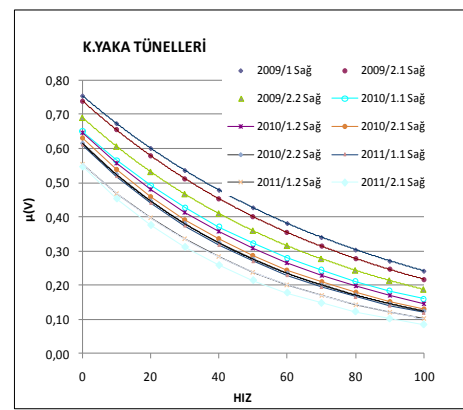
(i)



(j)

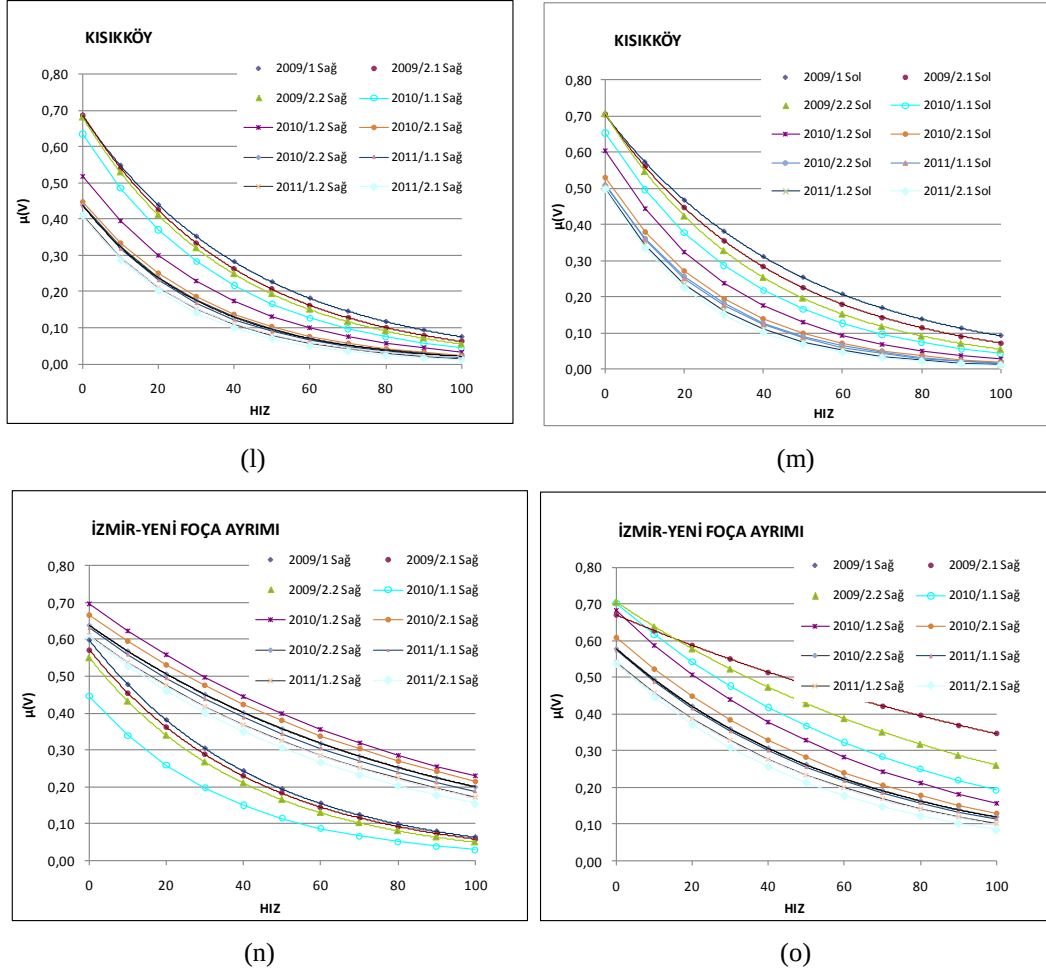


(k)



(l)

Şekil 5.33 İstasyon noktaları bazında uluslararası sürtünme indeks eğrileri(devam)



Şekil 5.33 İstasyon noktaları bazında uluslararası sürtünme indeks eğrileri(a-o)

Şekil 5.33 incelendiğinde tüm istasyon noktaları için beklenildiği üzere hız arttıkça sürtünme değerleri $F(V)$ azalmaktadır. Bu eğriler herhangi bir yoldan V hızı ile geçen aracın tekerlek ile kaplama yüzeyi arasındaki ilişkiyi vermesi bakımından önemlidir.

Sunulan şekillerden aynı trafik hızına karşılık gelen sürtünme değerlerinin (örneğin $FR(20)$) ölçüm dönemleri boyunca azalma eğilimi gösterdiği görülmektedir. Bu durum trafik etkisi ile ölçüm dönemleri boyunca MPD’de azalma ile birlikte lastik-taşıt etkileşimini ifade eden DFT20 değerlerindeki ($25^{\circ}C$ kalibre edilmiş DFT20) azalmaya bağlıdır.

Şekillerden, sol şeride ait $F(60)$ değerlerinin sağ şeride oranla daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Bu durum ağır araçların sol şeridi daha az kullanmaları ile

açıklanabilir. Sağ şeritteki ağır araç sayısının fazla olması, yüzeysel pürüzlülüğü düşürerek, tekerleklerle yol yüzeyi arasındaki etkileşim oranının da düşük olmasına neden olmaktadır.

BÖLÜM ALTI

KAZA ANALİZLERİ VE DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ

Tez çalışmaları kapsamında, Karayolları Genel Müdürlüğü ve Emniyet Genel Müdürlüğü'nden 2007, 2008, 2009, 2010 ve 2011 yıllarına ait kaza verileri temin edilmiştir. Analizi yapılan veriler kapsamında 2009 yılı başında Trafik Kanunu'nda yapılan değişiklik nedeni ile anlaşma ile sonuçlanan ikili kazalar Trafik Sigortaları Bilgi Merkezi'nden (TRAMER); aynı döneme ait ölümlü, yaralanmalı, kamu araçlarının karıştığı kazalar ile tek aracın bulunduğu kazalara ait veriler Emniyet Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Tablolarda boş kısımlar TRAMER'den elde edilmiş verilere karşılık gelmektedir.

İstasyon noktalarından elde edilen kaza verilerinin ardından sırasıyla istasyon noktasına ait 2007–2011 yıllarına ait kaza tiplerinin oranı, yine bu yıllara ait kaza sayıları, yağışlı hava kazaları ile Tez çalışmaları süresince meydana gelen kazaların karşılaştırmalı grafikleri yer almaktadır. Verilere ait açıklama indisleri ve istatistikler aşağıda ayrıntılı olarak gösterilmektedir.

Sürücü Kusurları:

1. Kırmızıda geçme.
2. Taşıt giremez trafik işaretinin bulunduğu karayoluna veya bölünmüş karayolunda karşı yönden gelen trafiğin kullandığı şerit, rampa ve bağlantı yollarına girme.
3. İki den fazla şeritli taşıt yollarında karşı yoldan gelen trafiğin kullandığı şerit veya yol bölümlerine girme.
4. Arkadan çarpma.
5. Geçme yasağı olan yerlerde geçme.
6. Doğrultu değiştirme manevralarını yanlış yapma.
7. Şeride tecavüz etme.
8. Kavşaklarda geçiş önceliğine uymama.

9. Kaplamanın dar olduğu yerlerde geçiş önceliğine uymama.
10. Manevraları düzenleyen genel şartlara uymama.
11. Yerleşim yeri dışındaki karayolunun taşıt yolu üzerinde zorunlu haller dışında park etme veya duraklama ve her durumda gerekli tedbirleri almama.
12. Park için ayrılmış yerlerde veya taşıt yolu dışında kurallara uygun olarak park etmiş araçlara çarpma.

Hava Durumu:

Kaza İlgisi

1. Açık
2. Bulutlu
3. Yağmurlu
4. Sisli
5. Karlı
6. Fırtınalı
7. Tipili

ÇARP.: Çarpma
SCÇAP.: Sabit Cisme Çarpma
D.A.Ç: Duran Araca Çarpma
DEV: Devrilme
YOL.ÇKM.: Yoldan Çıkma
YAYA: Yaya Kaynaklı Kaza

Aşağıda sunulan şekiller istasyon noktalarında sırası ile Tez çalışmaları başlangıcından 2011/2.2 dönemine kadar olan yıl bazında görülen kazalar, yağışlı hava kazaları ile 6 aylık dönemlerde görülen kazalar olarak gruplandırılmıştır. Bunlara ek olarak, gelişme raporunda olduğu gibi kazaların dönemsel olarak değişimleri Tablo 6.1’de verilmiştir. Elde edilen veriler genel değerlendirme sırasında 5. bölümdeki veriler ile birlikte genel değerlendirmeye alınacaktır. Gelişme raporlarında sunulan tablolar yerine grafik ifadelere yer verilmiştir.

6.1 Otoyol ve Çevre Yolu Niteliği Taşıyan Yollar

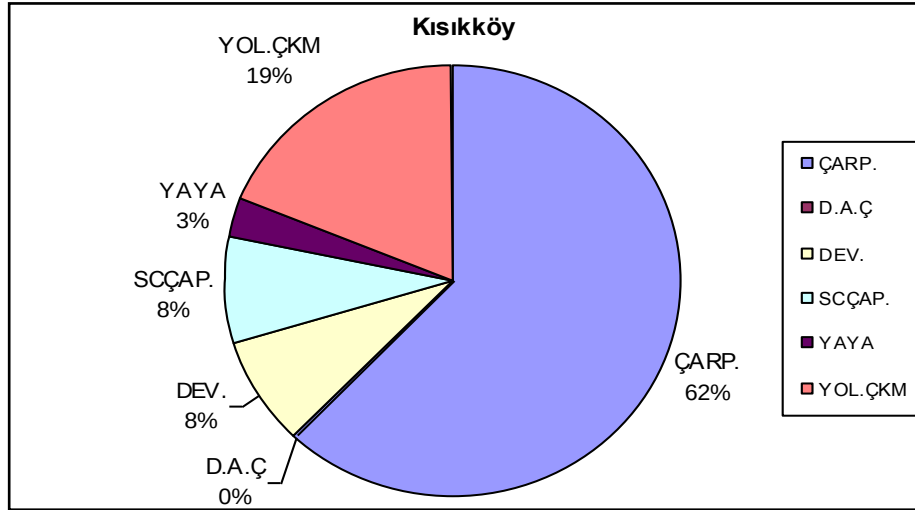
Bu yol sınıfı kapsamında ele alınan istasyon noktası Karşıyaka tünel istasyon noktasıdır. Bu noktada, modelle değerlendirilebilecek kazaya ulaşılamamıştır.

6.2 Şehirlerarası Yollar

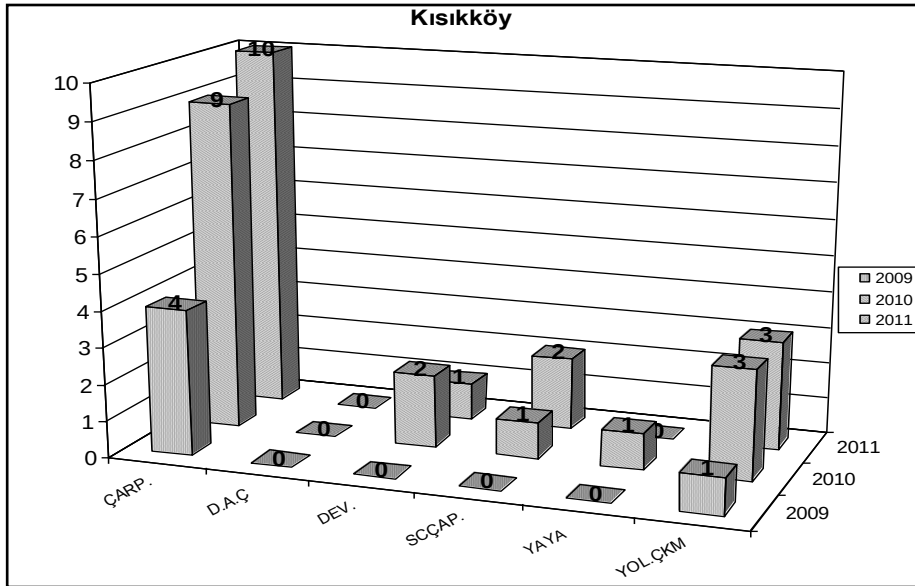
Trafik kaza verileri ile ilgili İzmir Emniyet Müdürlüğü tarafından şehirlerarası yollar için toplanmış olan kaza verilerinin, kazanın meydana geldiği noktalar ile ilgili

ayrıntılı verilere ancak 2009 yılı ikinci gelişme raporu kapsamında ulaşılabilmektedir. Elde edilen veriler 2009 Ocak ayından itibaren sınıflandırılabilmiş Şekil 6.1–Şekil 6.9’da verilmiştir.

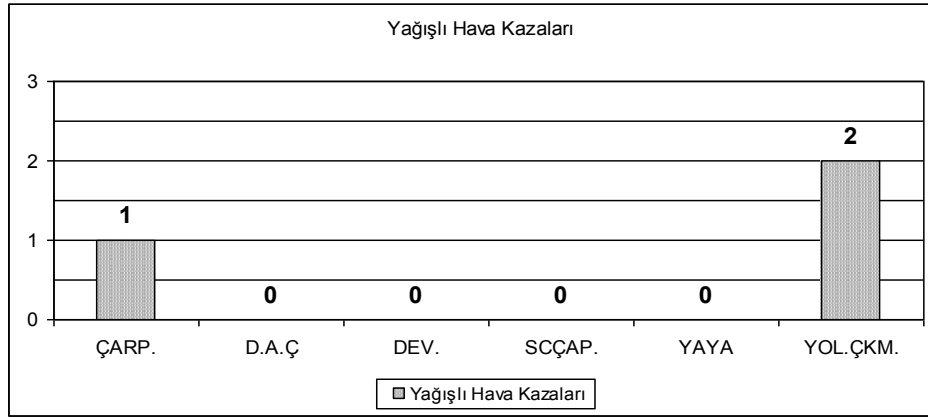
6.2.1 Kısıkköy



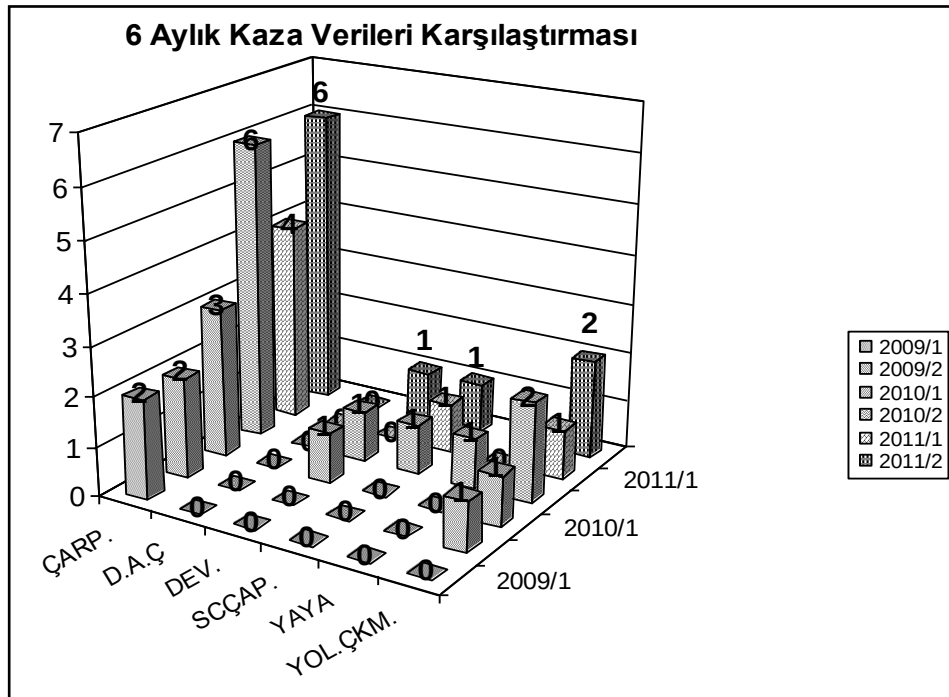
Şekil 6.1 Kısıkköy’e ait kaza şekilleri oranı



Şekil 6.2 Kısıkköy’e ait yıl bazında kaza şekilleri

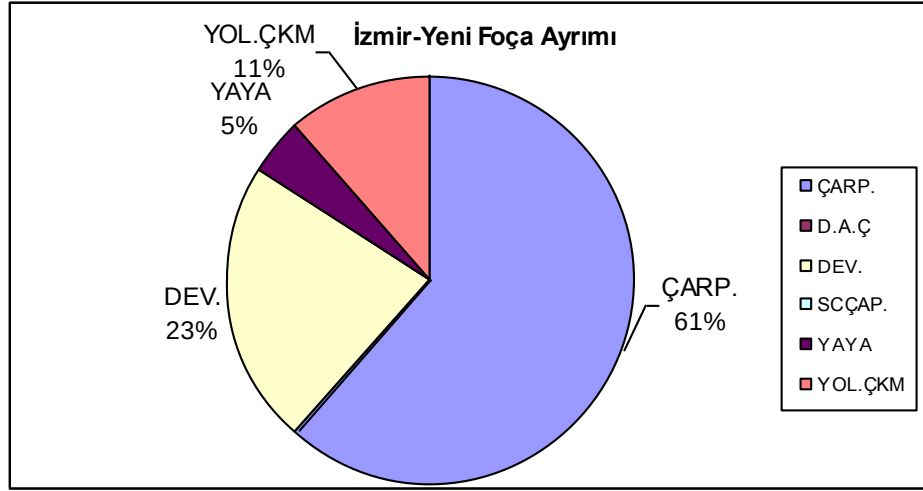


Şekil 6.3 Kısıkköy'e ait yağışlı hava kazaları

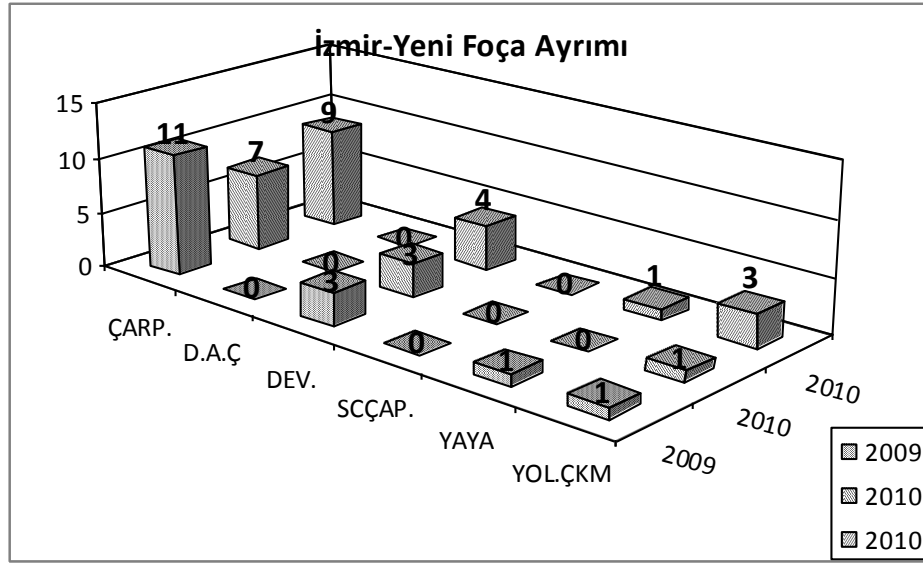


Şekil 6.4 Kısıkköy'e ait birinci, ikinci ve üçüncü dönem kaza şekilleri karşılaştırmaları

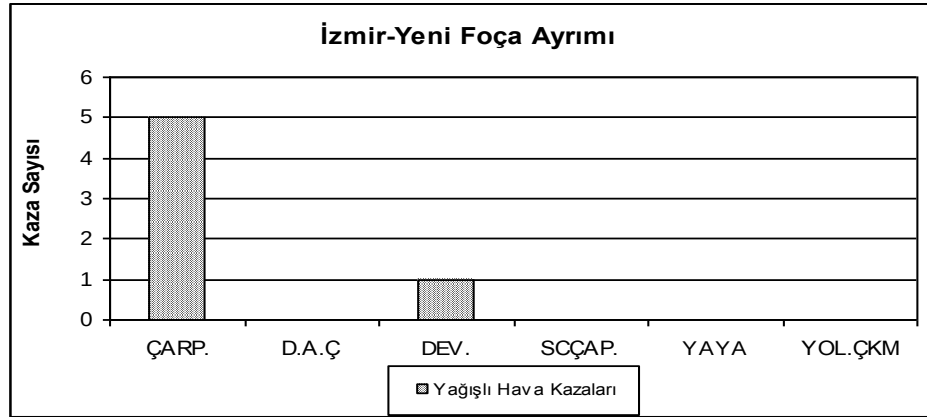
6.2.2 İzmir – Yeni Foça Ayrımı



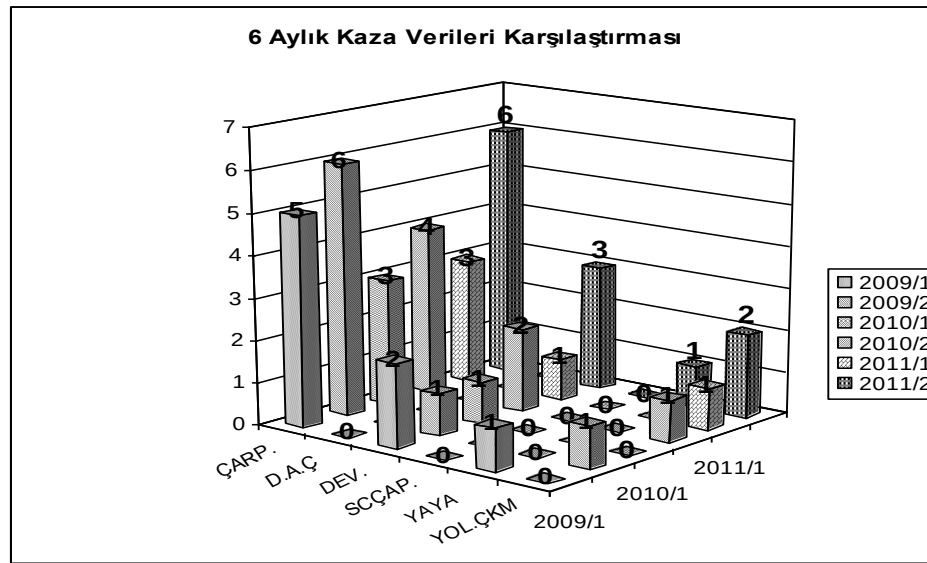
Şekil 6.5 İzmir – Yeni Foça ayrımına ait kaza şekilleri oranı



Şekil 6.6 İzmir – Yeni Foça ayrımına ait yıl bazında kaza şekilleri

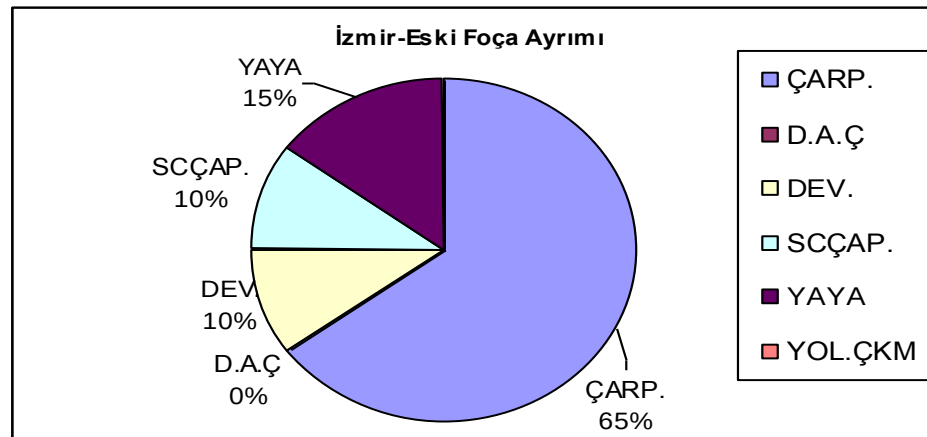


Şekil 6.7 İzmir – Yeni Foça ayrımına ait yağışlı hava kazaları

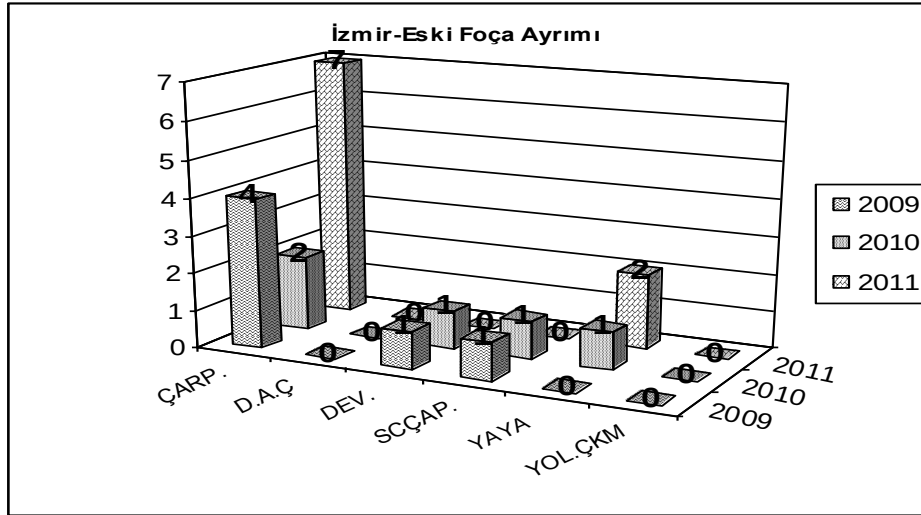


Şekil 6.8 İzmir – Yeni Foça ayrımına ait ölçüm dönemleri bazında kaza şekilleri karşılaştırmaları

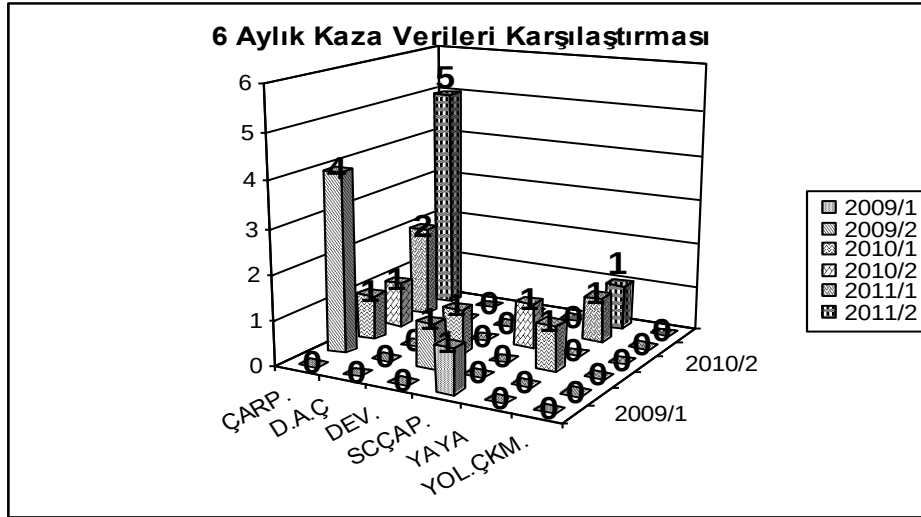
6.2.3 İzmir – Eski Foça Ayrımı



Şekil 6.9 İzmir – Eski Foça ayrımına ait kaza şekilleri oranı



Şekil 6.10 İzmir – Eski Foça ayrımına ait yıl bazında kaza şekilleri

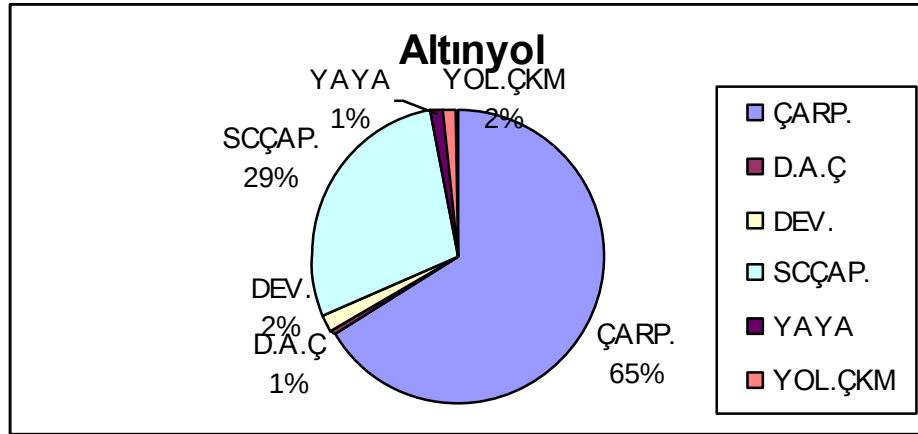


Şekil 6.11 İzmir – Eski Foça ayrımına ait ölçüm dönemleri bazında kaza şekilleri karşılaştırmaları

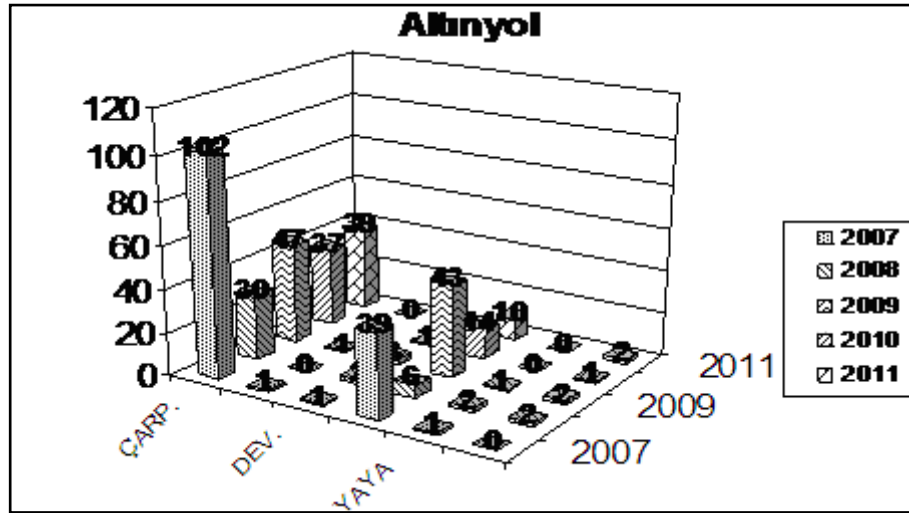
6.3 Transit Yollar

Transit yollara ilişkin kaza verilerinin ayrıntılı analizleri Şekil 6.12–Şekil 6.20 verilmektedir.

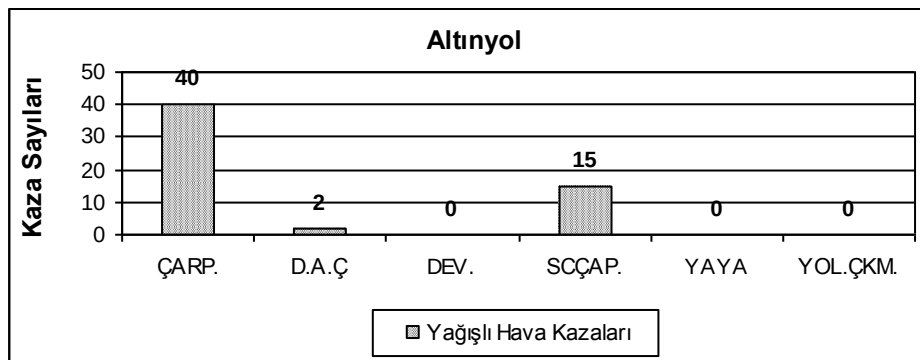
- Altınyol:



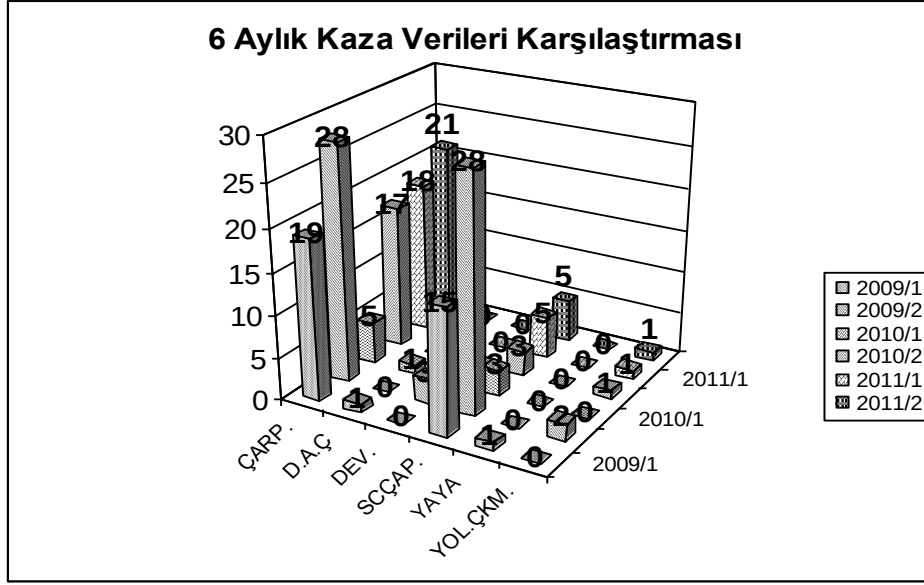
Şekil 6.12 Altınyol Caddesi'ne ait kaza şekilleri oranı



Şekil 6.13 Altınyol Caddesi'ne ait kaza şekilleri

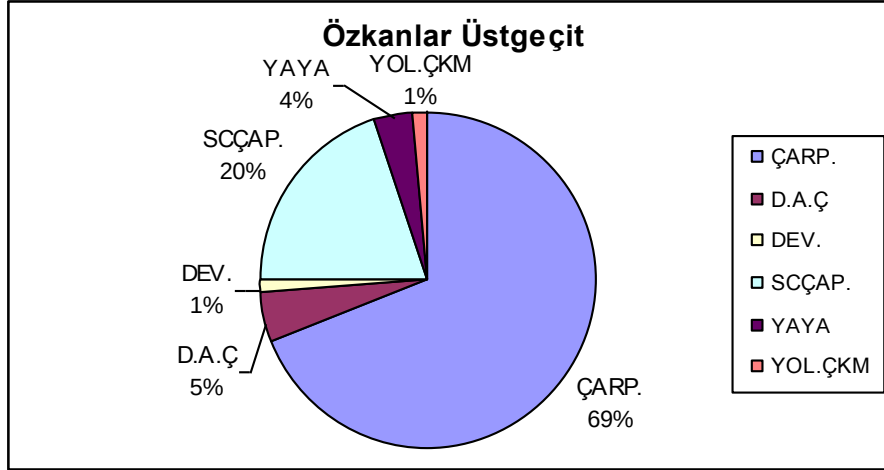


Şekil 6.14 Altınyol Caddesi'ne ait yağışlı hava kazaları

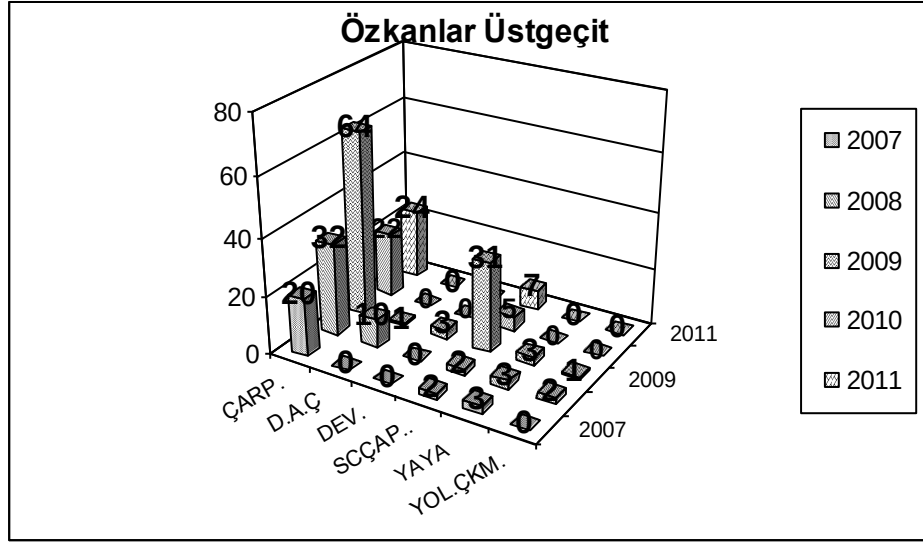


Şekil 6.15 Altınyol Caddesi'ne ait ölçüm dönemleri bazında kaza şekilleri karşılaştırmaları

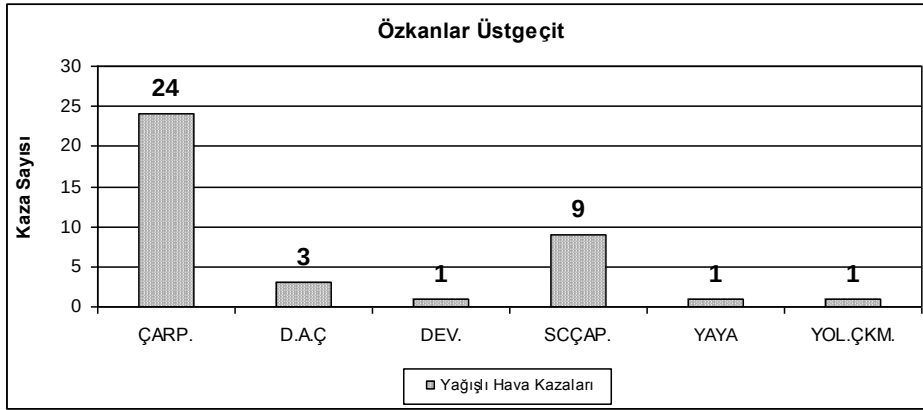
• **Ankara Caddesi Özkanlar Üstgeçidi:**



Şekil 6.16 Özkanlar Üstgeçidi'ne ait kaza şekilleri oranı



Şekil 6.17 Özkanlar Üstgeçidi'ne ait kaza şekilleri

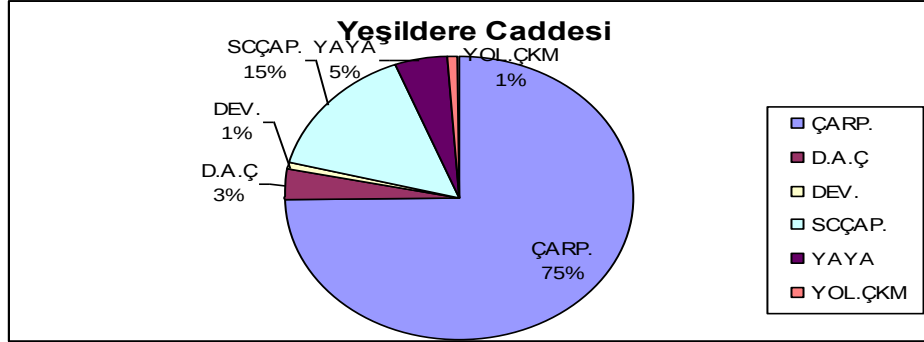


Şekil 6.18 Özkanlar Üstgeçidi'ne ait yağışlı hava kazaları

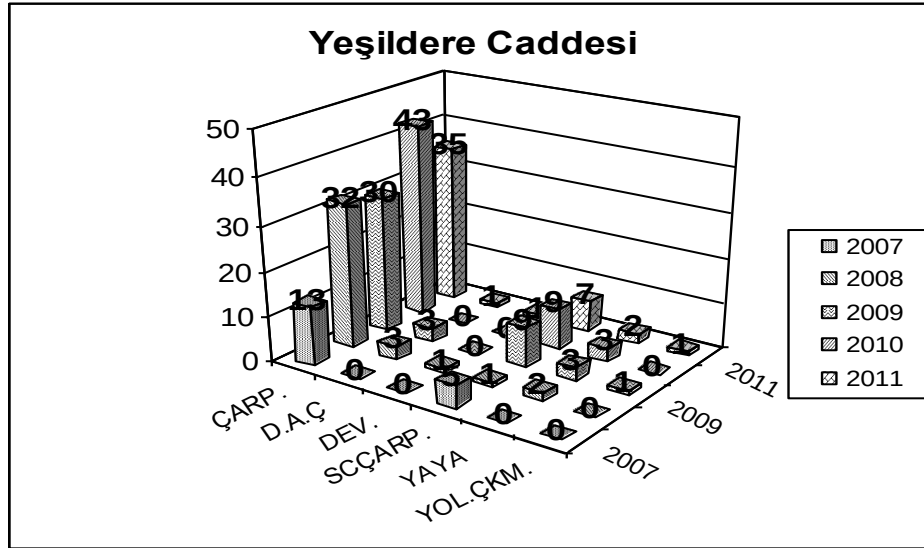


Şekil 6.19 Özkanlar Üstgeçidi'ne ait ölçüm dönemleri bazında kaza şekilleri karşılaştırmaları

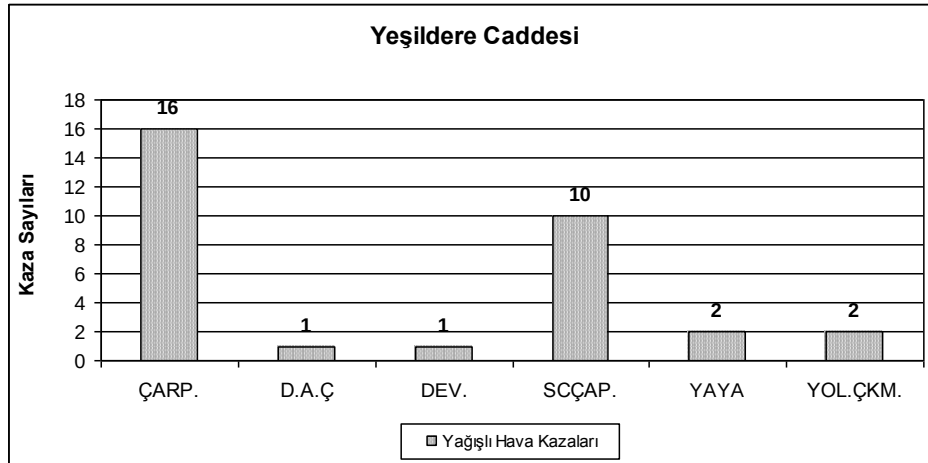
6.3.1 Yeşildere Caddesi



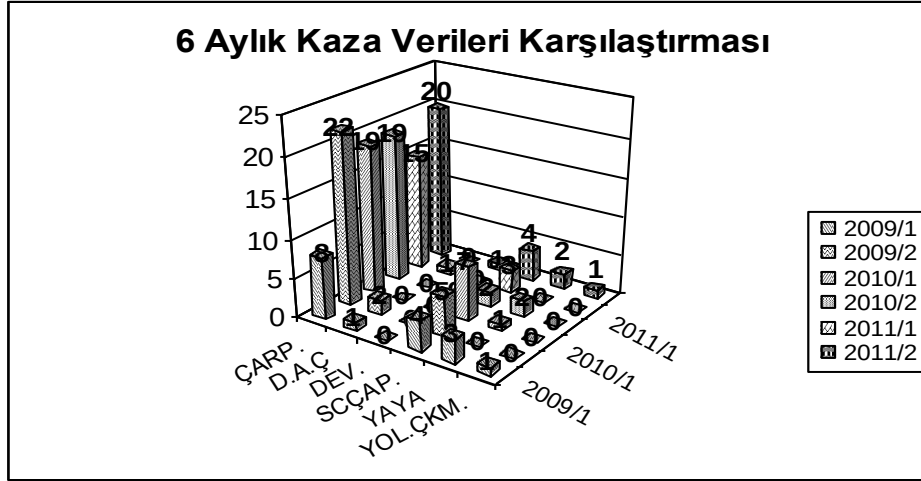
Şekil 6.20 Yeşildere Caddesi'ne ait kaza şekilleri oranı



Şekil 6.21 Yeşildere Caddesi'ne ait yıl bazında kaza şekilleri



Şekil 6.22 Yeşildere Caddesi'ne ait yağışlı hava kazaları

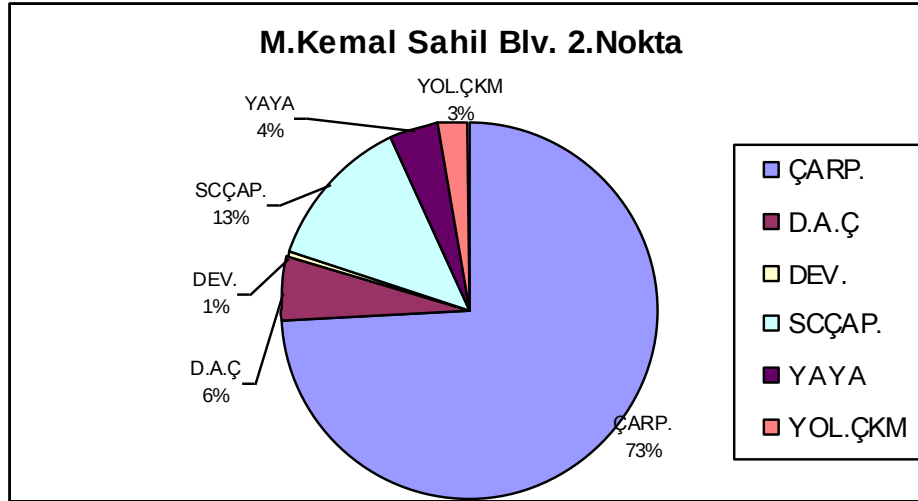


Şekil 6.23 Yeşildere Caddesi'ne ait ölçüm dönemleri bazında kaza şekilleri karşılaştırmaları

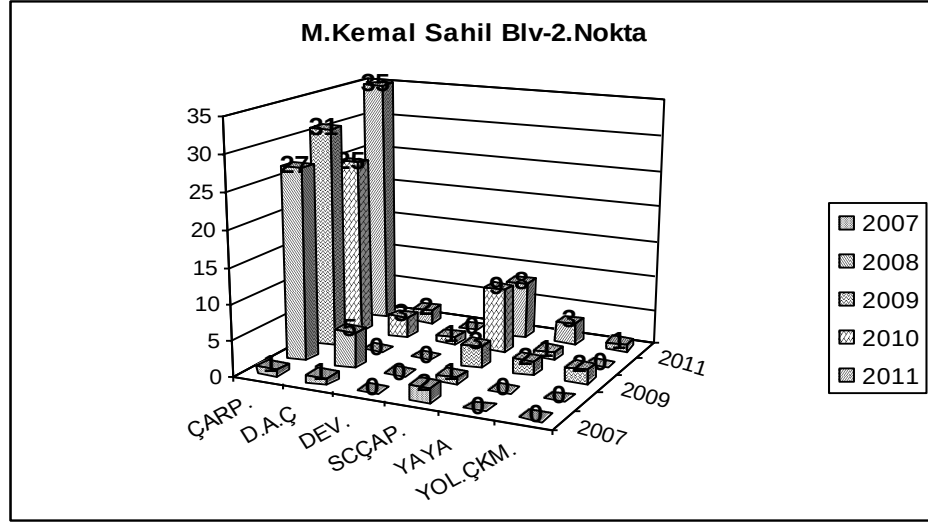
6.4 Şehir İçi Yollar

Şehir içi yol sınıflarında incelenen istasyon noktalarına ait kaza verilerinin analizleri Şekil 6.40 verilmektedir.

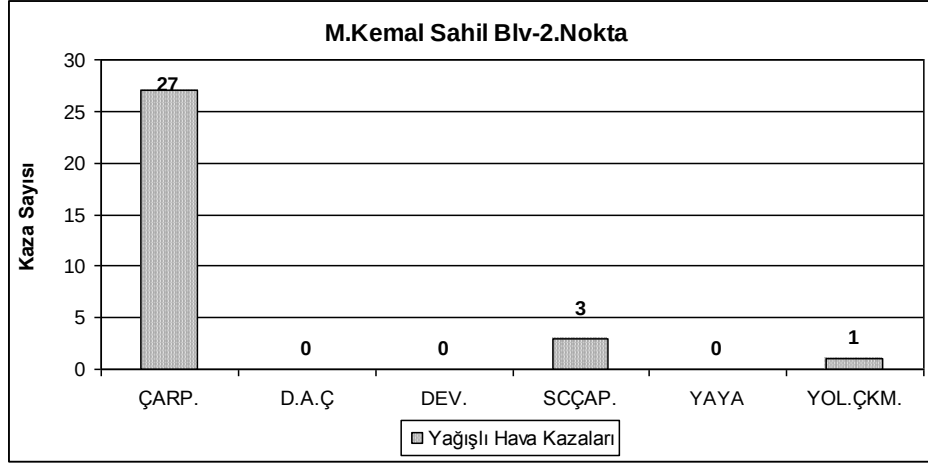
6.4.1 Mustafa Kemal Sahil Bulvarı (Göztepe Vapur İskelesi Üstgeçidi)



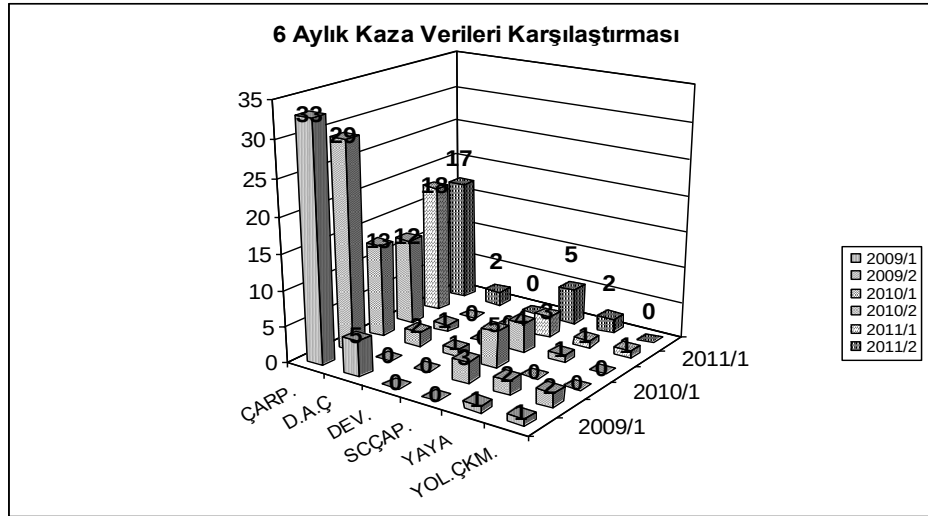
Şekil 6.24 M. Kemal Sahil Bulvarı'na ait kaza şekilleri oranı



Şekil 6.25 M. Kemal Sahil Bulvarı'na ait yıl bazında kaza şekilleri

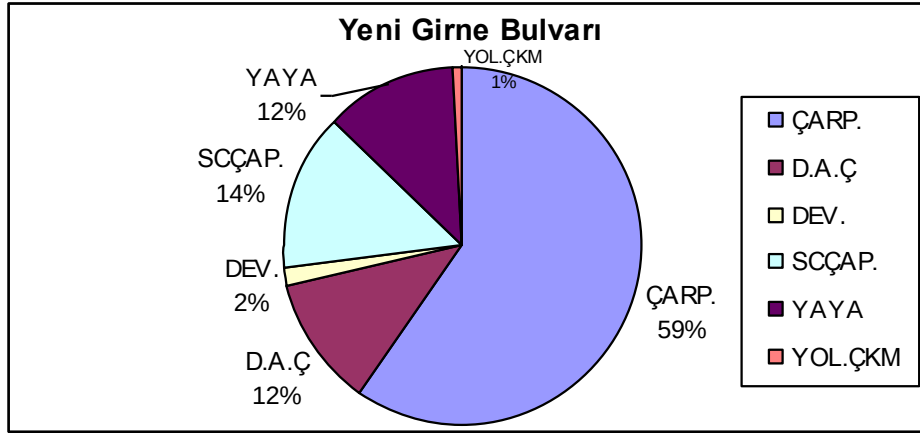


Şekil 6.26 M. Kemal Sahil Bulvarı'na ait yağışlı hava kazaları

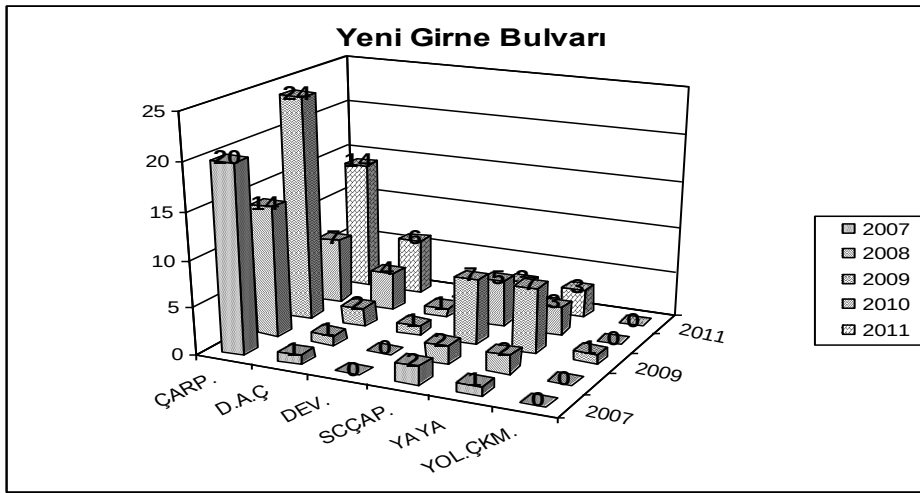


Şekil 6.27 M. Kemal Sahil Bulvarı'na ait dönemler bazında kaza şekilleri karşılaştırmaları

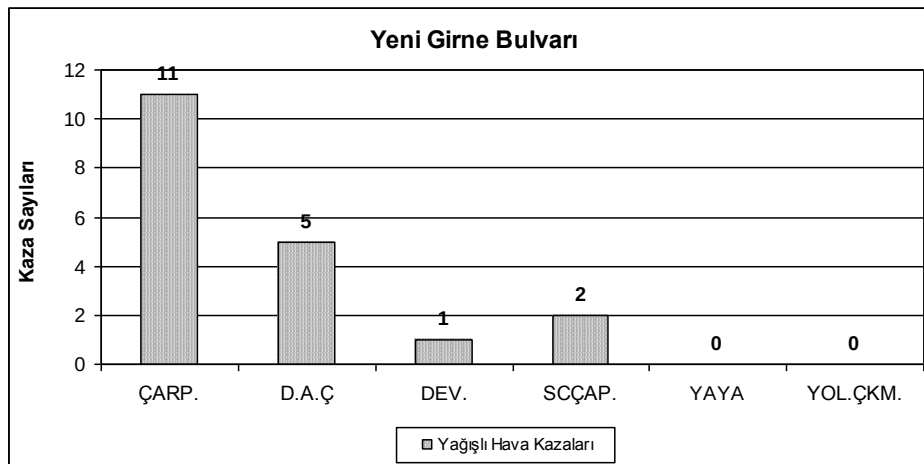
6.4.2 Yeni Girne Caddesi



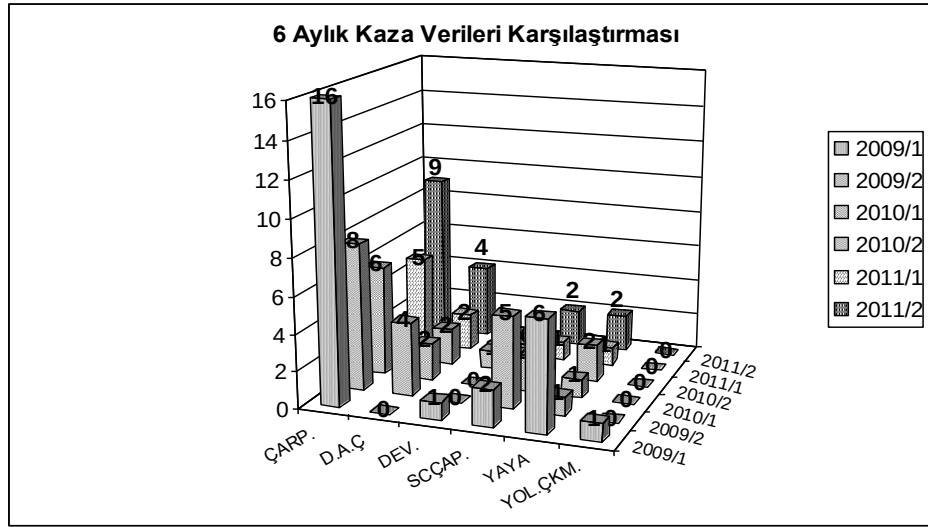
Şekil 6.28 Yeni Girne Caddesi'ne ait kaza şekilleri oranı



Şekil 6.29 Yeni Girne Caddesi'ne ait yıl bazında kaza şekilleri

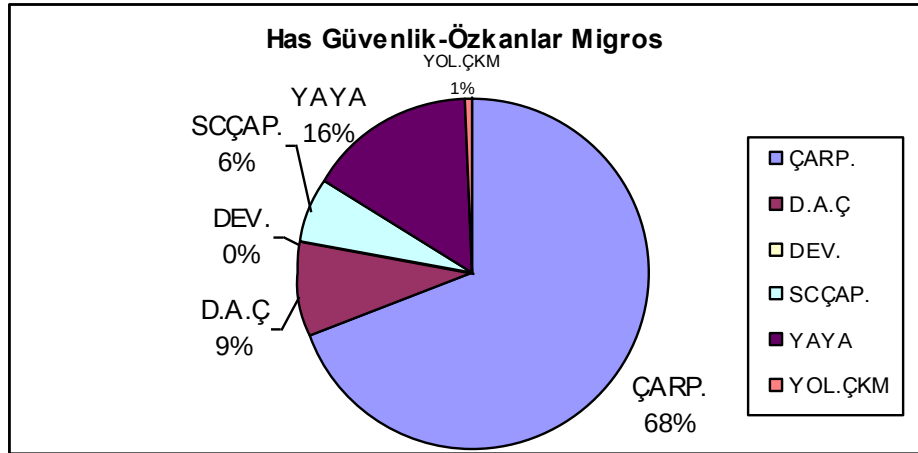


Şekil 6.30 Yeni Girne Caddesi'ne ait yağışlı hava kazaları

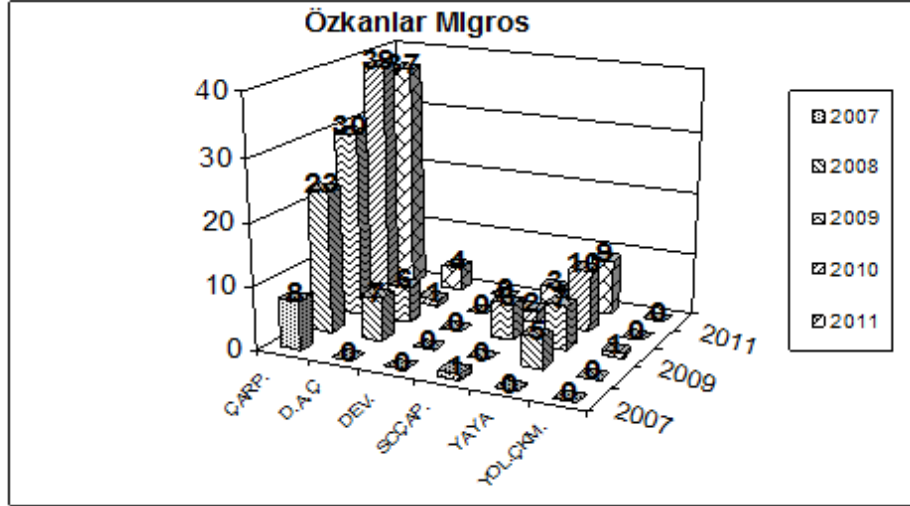


Şekil 6.31 Yeni Girne Caddesi'ne ait dönemler bazında kaza şekilleri karşılaştırmaları

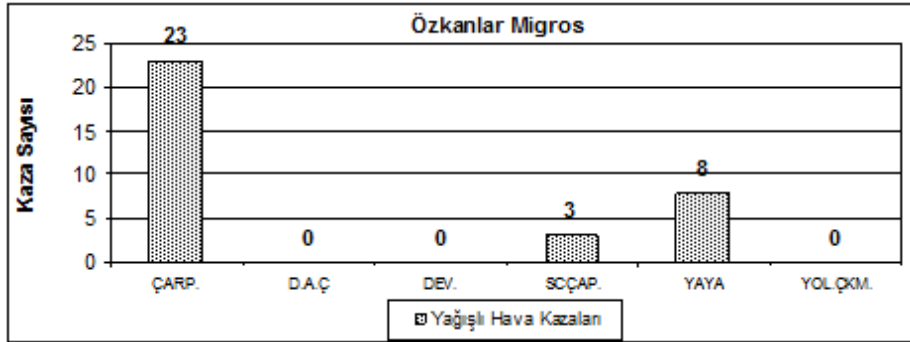
6.4.3 Özkanlar Migros Önü (M. Kemal Cad.)



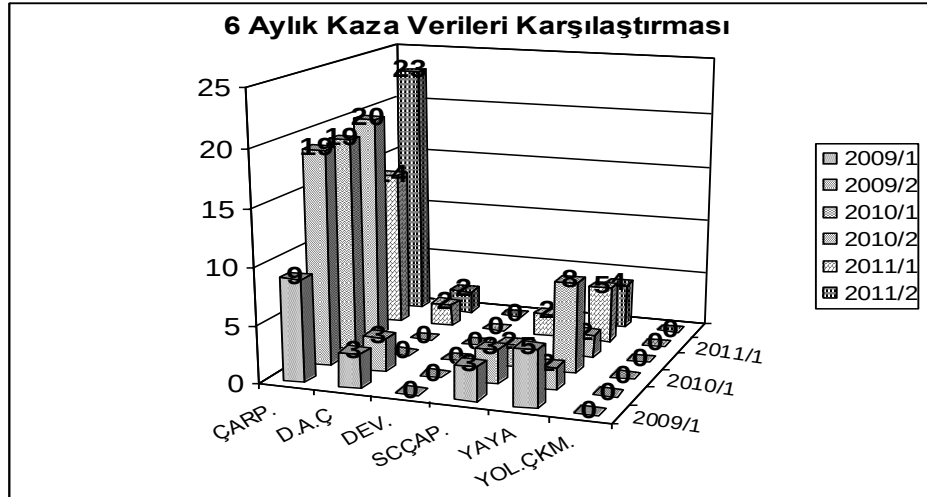
Şekil 6.32 Özkanlar Migros önüne ait kaza şekilleri oranı



Şekil 6.33 Özkanlar Migros önüne ait yıl bazında kaza şekilleri

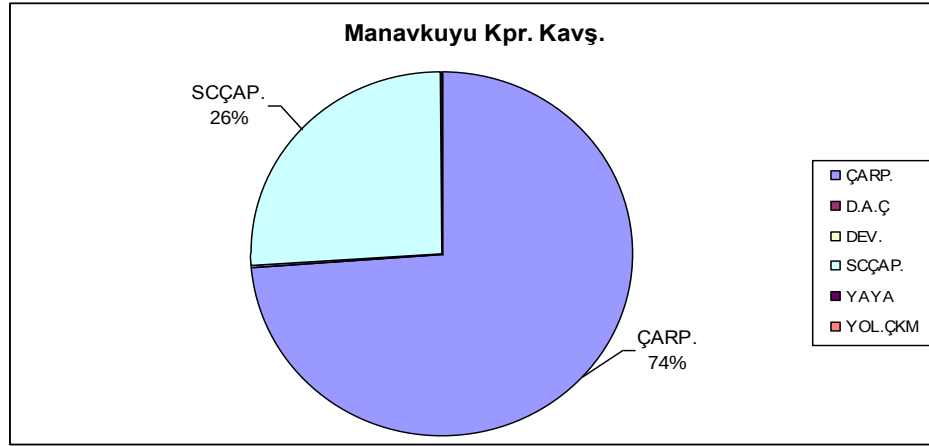


Şekil 6.34 Özkanlar Migros önüne ait yağışlı hava kazaları

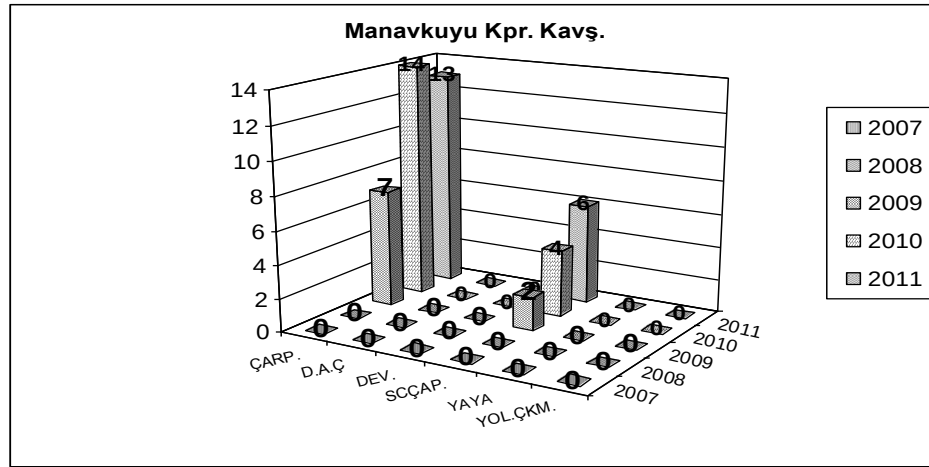


Şekil 6.35 Özkanlar Migros önüne ait dönemler bazında kaza şekilleri karşılaştırmaları

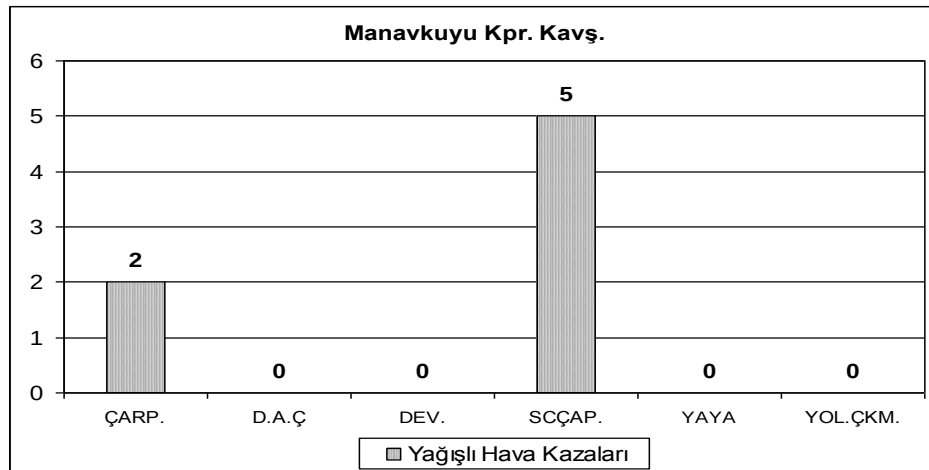
6.4.4 Manavkuyu Köprülü Kavşak Bağlantısı



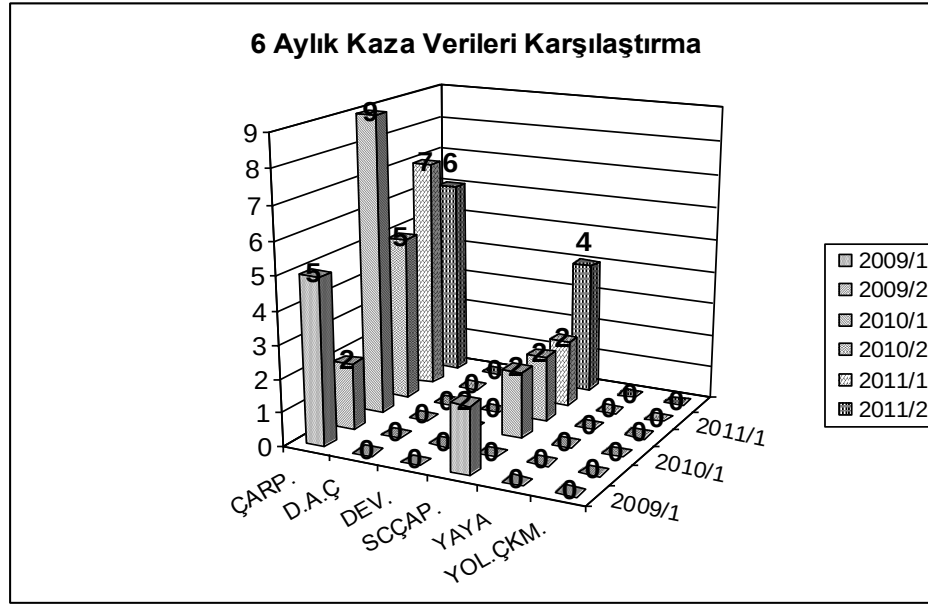
Şekil 6.36 Manavkuyu Köprülü Kavşağına ait kaza şekilleri oranı



Şekil 6.37 Manavkuyu Köprülü Kavşağına ait yıl bazında kaza şekilleri

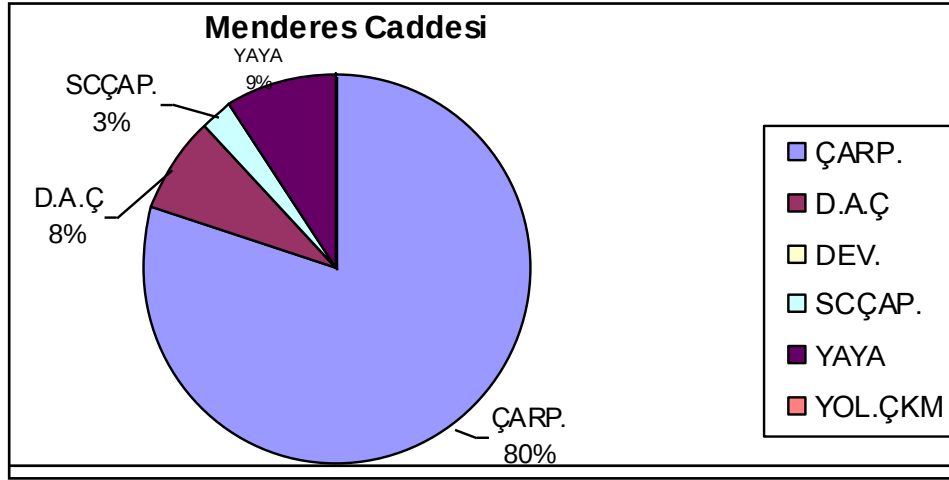


Şekil 6.38 Manavkuyu Köprülü Kavşağına ait yağışlı hava kazaları

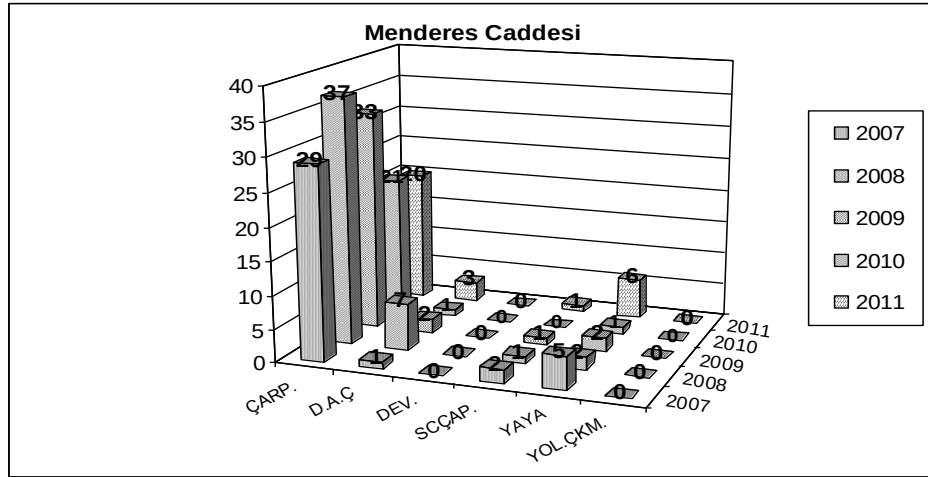


Şekil 6.39 Manavkuyu Köprülü Kavşağına ait dönemler bazında kaza şekilleri karşılaştırmaları

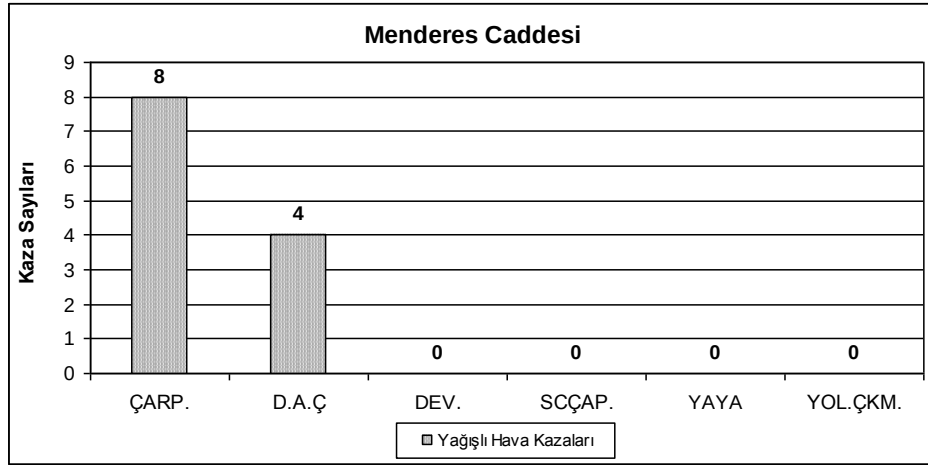
6.4.5 Menderes Caddesi



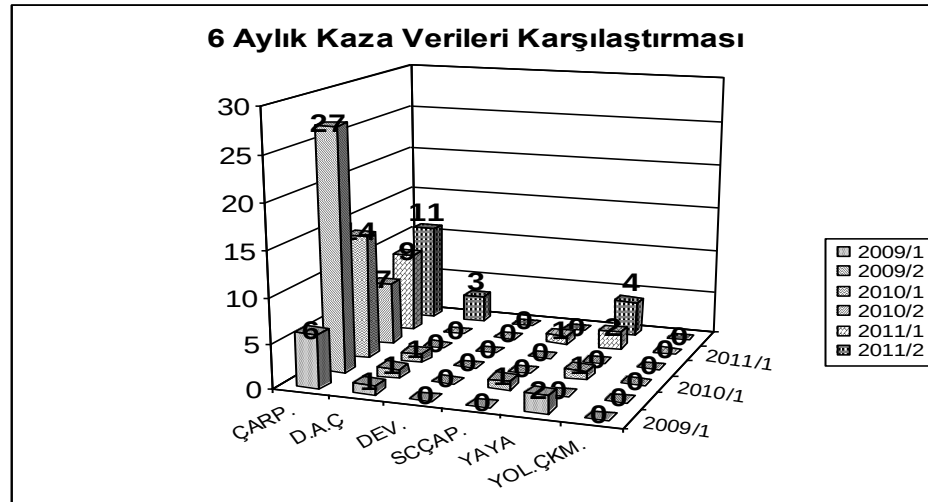
Şekil 6.40 Menderes Caddesi'ne ait kaza şekilleri oranı



Şekil 6.41 Menderes Caddesi'ne ait yıl bazında kaza şekilleri



Şekil 6.42 Menderes Caddesi'ne ait yağışlı hava kazaları



Şekil 6.43 Menderes Caddesi'ne ait dönemler bazında kaza şekilleri karşılaştırmaları

6.4.6 Dönemsel Kaza Değişimleri

Tablo 6.1 Dönemsel kaza değişimleri

Yol Tipi	İstasyon	Dönemler	ÇARP.	D.A.Ç	DEV.	SCÇAP.	YAYA	YOL.ÇKM.	TOPLAM
Şehirçi Yollar	Bornova MİGROS	2007	8	0	0	1	0	0	9
		2008	23	7	0	0	5	0	35
		2009/1	14	7	0	2	7	0	30
		2009/2	16	3	0	2	2	0	23
		2010/1	19	0	0	3	9	0	31
		2010/2	20	0	0	0	2	0	22
		2011/1	14	2	0	2	5	0	23
		2011/2	23	2	0	1	4	0	30
	Mustafa Kemal Sahil Bulvarı- Göztepe	2007	4	1	0	3	0	0	8
		2008	25	3	0	1	0	0	29
		2009/1	33	5	0	0	1	1	40
		2009/2	36	0	0	4	4	3	47
		2010/1	13	2	1	5	0	0	21
		2010/2	12	1	0	4	1	0	18
		2011/1	18	0	0	3	1	1	23
		2011/2	17	2	0	5	2	0	26
	Manavkuyu Köprülü Kavşağı	2007	0	0	0	0	0	0	0
		2008	0	0	0	0	0	0	0
		2009/1	5	0	0	2	0	0	7
		2009/2	5	0	0	4	0	0	9
		2010/1	9	0	0	2	0	0	11
		2010/2	5	0	0	2	0	0	7
		2011/1	7	0	0	2	0	0	9
		2011/2	6	0	0	4	0	0	10
	Yeni Girne	2007	20	1	0	2	1	0	24
		2008	14	1	0	2	2	0	19
		2009/1	16	0	1	2	6	1	26
		2009/2	8	4	0	5	1	0	18
		2010/1	6	2	0	2	1	0	11
		2010/2	1	2	1	3	2	0	9
		2011/1	5	2	0	1	1	0	9
		2011/2	9	4	0	2	2	0	17
	Buca Menderes Caddesi	2007	29	1	0	2	5	0	37
		2008	37	7	0	1	2	0	47
		2009/1	6	1	0	0	2	0	9
		2009/2	27	1	0	1	0	0	29
		2010/1	14	1	0	0	1	0	16
		2010/2	7	0	0	0	0	0	7
		2011/1	9	0	0	1	2	0	12
		2011/2	11	3	0	0	4	0	18

Tablo 7.6 Dönemsel kaza değişimleri (devam)

Yol Tipi	İstasyon	Dönemler	ÇARP.	D.A.Ç	DEV.	SCÇAP.	YAYA	YOL. ÇKM.	TOPLAM
Kentçi Eski Çevreyolu	Özkanlar Üstgeçit	2007	20	0	0	2	3	0	25
		2008	25	8	0	2	2	1	38
		2009/1	39	10	0	7	3	2	61
		2009/2	33	1	3	13	2	1	53
		2010/1	10	0	0	2	0	0	12
		2010/2	12	0	0	3	0	0	15
		2011/1	9	0	0	2	0	0	11
		2011/2	15	0	0	5	0	0	20
	Altınyol	2007	102	1	1	39	1	0	144
		2008	30	0	2	6	2	2	42
		2009/1	19	1	0	15	1	0	36
		2009/2	16	0	3	13	0	2	34
		2010/1	17	1	0	15	0	0	33
		2010/2	17	0	0	3	0	1	21
		2011/1	18	0	0	5	0	1	24
		2011/2	21	0	0	5	0	1	27
	Yeşildere	2007	13	0	0	5	0	0	18
		2008	32	3	1	1	2	0	39
		2009/1	8	1	0	4	3	1	17
		2009/2	22	2	0	5	0	0	29
		2010/1	21	0	0	8	3	0	32
		2010/2	19	0	0	2	2	0	23
		2011/1	15	1	0	3	0	0	19
		2011/2	20	0	1	4	2	1	28
Şehirlerarası Yollar	Kısıkköy	2007	0	0	0	0	0	0	0
		2008	0	0	0	0	0	0	0
		2009/1	7	0	0	0	0	0	7
		2009/2	2	0	0	0	0	1	3
		2010/1	5	0	1	0	0	1	7
		2010/2	4	0	1	1	1	2	9
		2011/1	4	0	0	1	0	1	6
		2011/2	6	0	1	1	0	2	10
	Eski Foça Ayrımı	2007	0	0	0	0	0	0	0
		2008	0	0	0	0	0	0	0
		2009/1	3	0	0	1	1	0	5
		2009/2	1	0	0	0	0	0	1
		2010/1	1	0	1	0	1	0	3
		2010/2	1	0	0	1	0	0	2
		2011/1	2	0	0	0	1	0	3
		2011/2	5	0	0	0	1	0	6
	Yeni Foça Ayrımı	2007	0	0	0	0	0	0	0
		2008	0	0	0	0	0	0	0
		2009/1	5	0	2	0	1	0	8
		2009/2	6	0	1	0	0	1	8
		2010/1	3	0	1	0	0	0	4
		2010/2	4	0	2	0	0	1	7
		2011/1	3	0	1	0	0	1	5
		2011/2	6	0	3	0	1	2	12

BÖLÜM YEDİ

DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde, ölçüm dönemleri boyunca (Mart 2009 – Aralık 2011) tüm istasyon noktalarından elde edilen yol yüzey özellikleri ve yol yüzey özellikleri ile kaza verileri birbirleriyle ilişkilendirilmeye çalışılmıştır. Bu noktada önemli bir iki hususu vurgulamakta yarar vardır. İzmir kentinde meydana gelen kaza verileri toplanırken genelde yola bağlı kaza tanımının yok denecek kadar az yapıldığı gözlenmiştir. Bunun sebepleri arasında, trafik polislerinin ve/veya kazaya karışarak tutanak tutan araç sahiplerinin kaza oluşumunda yol etkisini tam anlamıyla analiz edememelerinden, sürücü ve yaya kusurunun mutlak olduğu önyargılarından ileri gelmektedir. Bu sebeple toplanmış olan kaza verilerinin hangilerinin yol ve yüzey doku kusuru sebebiyle oluştuğunun sağlıklı bir şekilde belirlenmesi mümkün olamamıştır. Bu sıkıntı, yaralanmalı ve ölümlü kazaların haricindeki verilerin TRAMER tarafından 2010 yılından sonra toplanmasıyla daha da artmıştır.

Yapılan çalışmalar üç başlık altında toplanmıştır. Öncelikle tüm istasyon noktalarında yapılan ölçümlerin sonuçları verilmiş ve değerlendirmeler yapılmış, daha sonra bu noktalar arasından seçilen farklı istasyon noktaları aynı tip kaplamalar ve farklı tip kaplamalar için kendi aralarında değerlendirilmiştir.

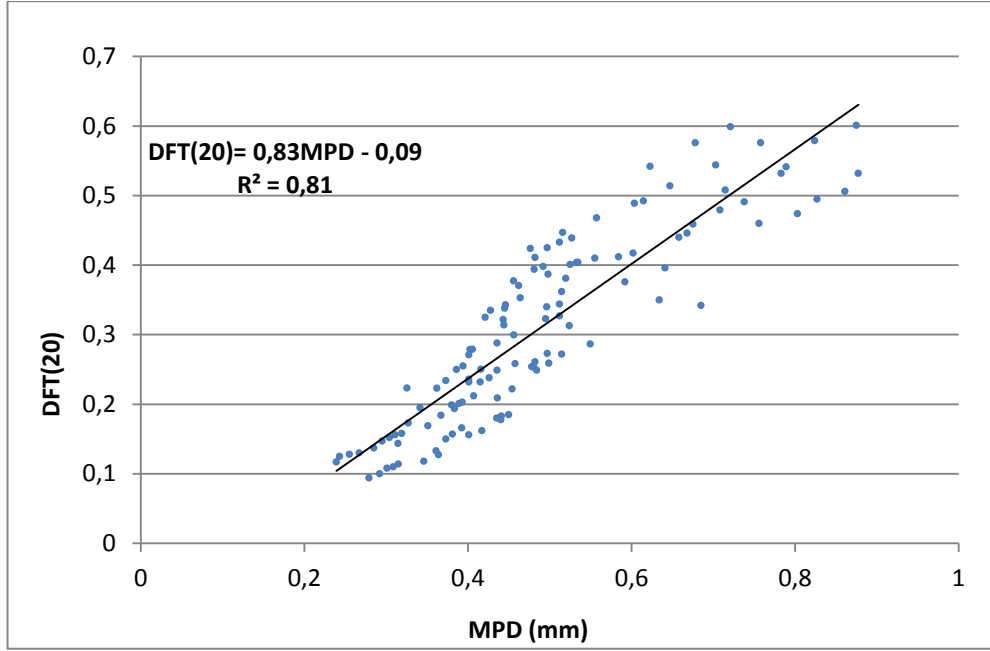
7.1 Deney Sonuçları

7.1.1 Tüm İstasyon Noktaları

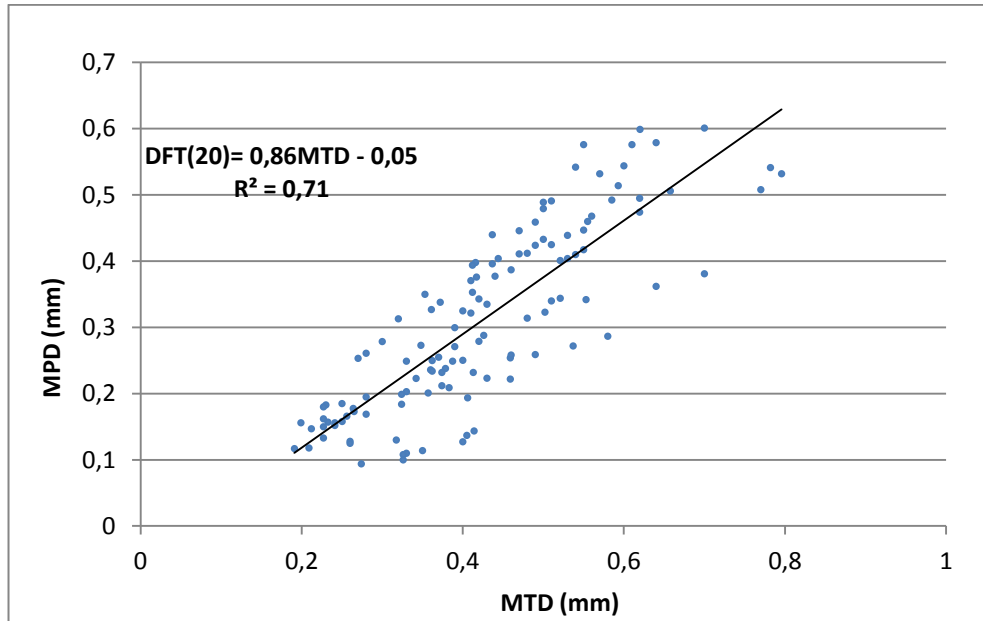
Elde edilen veriler öncelikle istasyon noktaları ayrımı gözetmeksizin (12 istasyon noktası için tüm veriler bir arada) değerlendirmeye alınmış daha sonrasında istasyon bazında değerlendirme yapılmıştır.

Şekil 7.1 ve Şekil 7.2 'de sırası ile ortalama profil derinliği (MPD) ile DFT(20) ve ortalama doku derinliği (MTD) ile DFT(20) ilişkileri sunulmaktadır. Her iki şekle ait R^2 değerlerinin yüksek oluşu yol yüzey doku özellikleri (ortalama profil ve ortalama

doku derinlikleri) ile DFT(20) değeri arasında sıkı bir ilişki olduğunu ifade etmektedir. MPD ile DFT(20) arasında MTD'ye göre daha yüksek bir korelasyon vardır. MPD değerlerinin yol yüzey mikro dokusunu da içermesi nedeni ile bu sonuç üzerinde etkili olduğu düşünülmektedir. Şekillerden sürtünme direncinin yüzey doku özellikleri ile ilişkisi ve özellikle ortalama profil derinliğine bağlı olduğu görülmektedir.

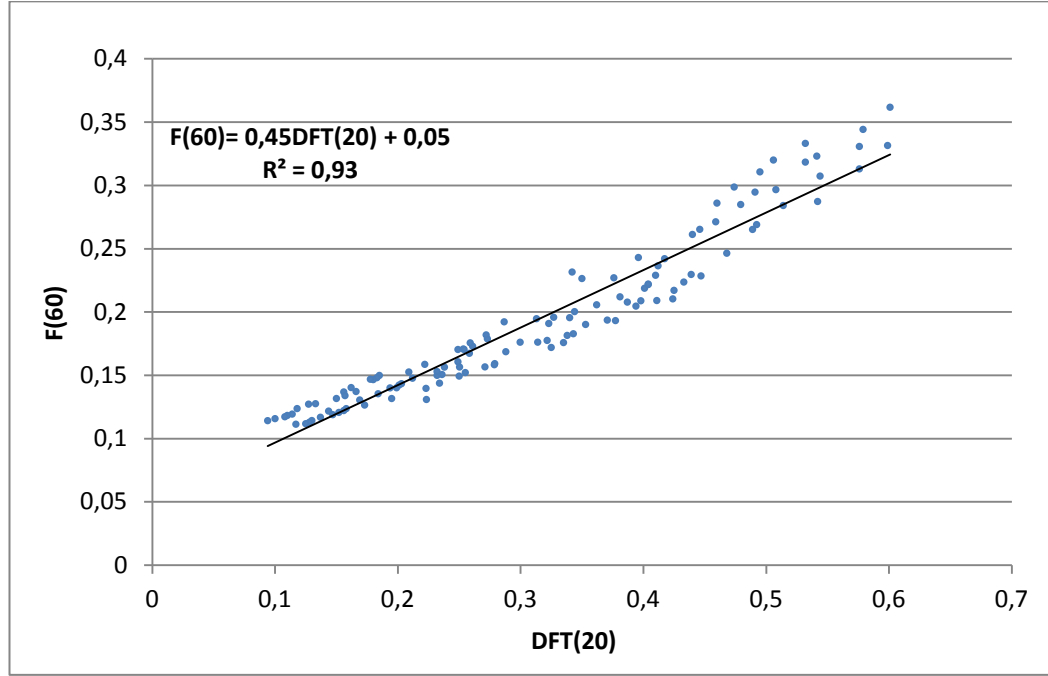


Şekil 7.1 Tüm istasyon noktaları için MPD – DFT(20) ilişkisi



Şekil 7.2 Tüm istasyon noktaları için MTD – MPD ilişkisi

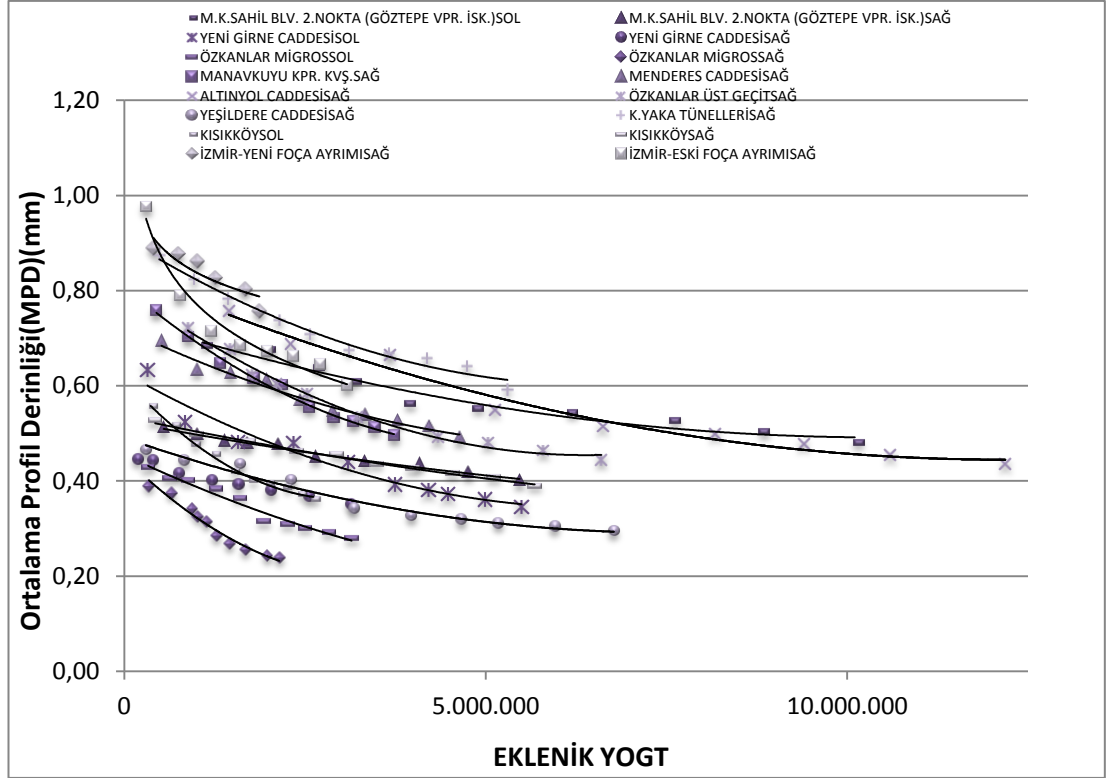
Şekil 7.3'de 20 km/saat hıza karşılık gelen dinamik sürtünme değeri(DFT(20)) ile uluslararası sürtünme indeksi terimini tanımlayan F(60) parametresi sunulmaktadır.



Şekil 7.3 Tüm istasyon noktaları için DFT(20) – F(60) ilişkisi

Denklem 5.14 de tanımlanan F(60) değeri hesabında da görüleceği gibi, F(60) değerinin DFT(20) ile MPD ye bağlı olarak hesaplanması dolayısı ile beklenildiği üzere regresyon katsayısının büyüklüğü, incelenen iki parametre arasında sıkı bir ilişki olduğunu doğrulamaktadır.

Seçilen istasyon noktaları gerek kaplama tipi, gerekse kaplamanın hizmete açılma tarihi itibarı ile birbirlerinden farklı özelliklerdedir. Aynı zamanda, kaplama üzerinden geçen araç trafiği hacmi ve taşıt kompozisyonları da farklılık göstermektedir. Tüm bu değişkenleri de içerecek şekilde kaplamanın davranışı hakkında genel bir değerlendirme yapabilmek amacı ile araziden alınan yol yüzey dokusu ölçümleri ile bu değişkenler Şekil 7.4 – Şekil 7.7'da ayrı ayrı değerlendirilmeye çalışılmıştır.



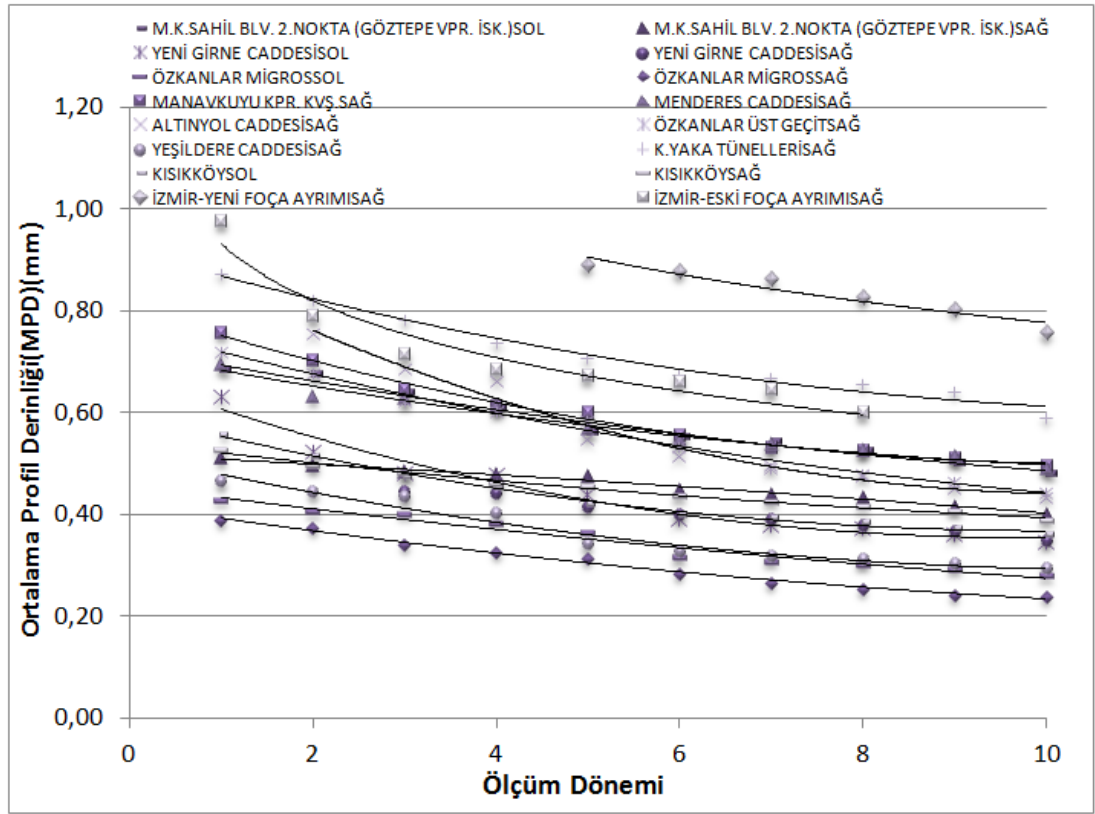
Şekil 7.4 Tüm istasyon noktaları için Eklenik YOGT – MPD ilişkisi

Şekil 7.4'de görüldüğü gibi, yol yüzey dokusundaki değişim büyük oranda yolu kullanan trafik hacmine bağlıdır. Şekil incelendiğinde, ölçüm dönemleri başlangıcında kaplama yenilemesi yapılan ve Binder tabakası olarak imal edilen Altinyol istasyonunun başlangıç MPD değeri 0,757 mm olup ölçüm dönemleri sonunda (2,5 yıl) MPD değeri yarıya yakın bir azalma ile 0,436 mm'ye düşmüştür. Bu istasyon noktasının en yüksek eklenik YOGT değerine sahip olmasına rağmen, MPD değeri diğer istasyon noktalarına göre değişim miktarı yüksek gözüktüğü de YOGT ile birlikte değerlendirildiğinde değişim yüzdesi (%43) daha düşüktür. Şehir içi istasyon noktalarından Özkanlar Migros'ta ise kaplama yaklaşık 2 yıl önce yapılmış olup, ölçüm dönemleri başlangıcında 0,389 mm olan MPD değeri ölçüm dönemleri sonunda 0,239 mm'ye (%39) düşmüştür. Ancak yüzey dokusu değerlerindeki değişimin sadece YOGT değerine bağlı olarak değerlendirilmesi uygun olmayacaktır. Yüzey dokusu değerlerindeki değişim, gözlem dönemi boyunca yolun incelenen kesiminden geçen toplam trafik hacmi ve araç kompozisyonu ile birlikte düşünülmelidir. Özkanlar Migros'ta Eklenik YOGT değeri Altinyol'un 1/6'sına karşılık gelmektedir. Altinyol'da YOGT değeri fazla olmasına rağmen

toplam trafik içindeki ağır araç oranı az (%9,5) ve ortalama hız daha yüksek (57 km/saat)'tir. Özkanlar Migros'ta ise ağır araç oranı daha fazla (%24) ve ortalama hız daha düşüktür (31 km/saat). YOGT ile MPD değerlerinin değişimi değerlendirirken, yolu kullanan toplam araç sayısından çok, araç kompozisyonu ve hızının daha etkili olduğu sonucu çıkmaktadır.

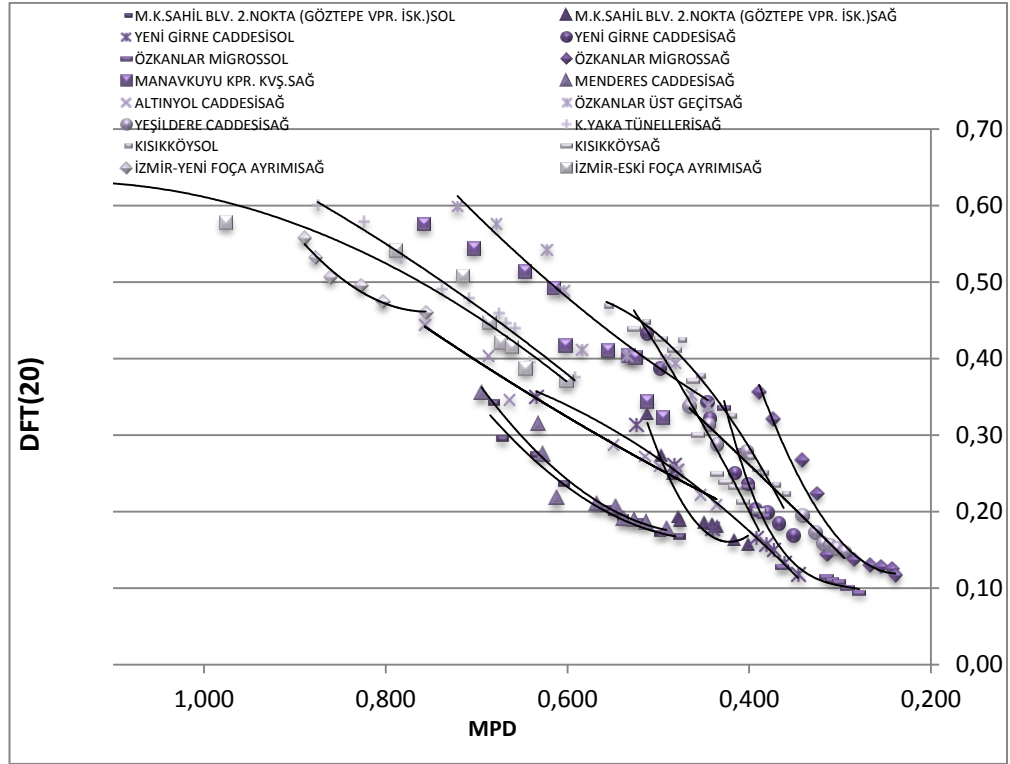
Özkanlar Migros istasyonu sol ve sağ şerit bazında değerlendirildiğinde, sol şeritte YOGT değeri daha fazla olmasına rağmen, sol şeritte daha çok hafif araç trafiğinin baskın olması ve seyir hızlarının sağ şeride göre daha yüksek olması nedeniyle MPD değerlerindeki değişim daha düşük gerçekleşmiştir. Aynı kaplama cinsi için yol yüzey dokusundaki değişim ağır araç trafiğinden daha çok etkilenmektedir.

İzmir Eski Foça istasyonu kaplaması 4. ölçüm dönemi sırasında yenilenmiş olup, ölçümler 5.dönemden itibaren grafiğe aktarılmıştır. İlk iki ölçüm arasındaki MPD değerlerindeki değişim hızı, trafik etkisi ile kaplamadaki boşluk oranının azalarak sıkışması (Gabrielle ve ark.2009) nedeniyle daha fazla gerçekleşmiş, sonraki ölçüm dönemlerinde ise kaplama daha kararlı bir hal aldığından değişim hızı azalmıştır. Bu durum, kaplama trafiğe açıldıktan sonra başlangıç yüzey doku derinliğinin fazla olmasına rağmen, değişimin ilk aylarda daha hızlı gerçekleştiği, trafik etkisi ile yüzeydeki agregaların boşluk oranı fazla olan kaplamaya yerleşmesi ile doku derinliğinin bu dönemde daha hızlı azaldığı sonucunu ortaya koymaktadır.



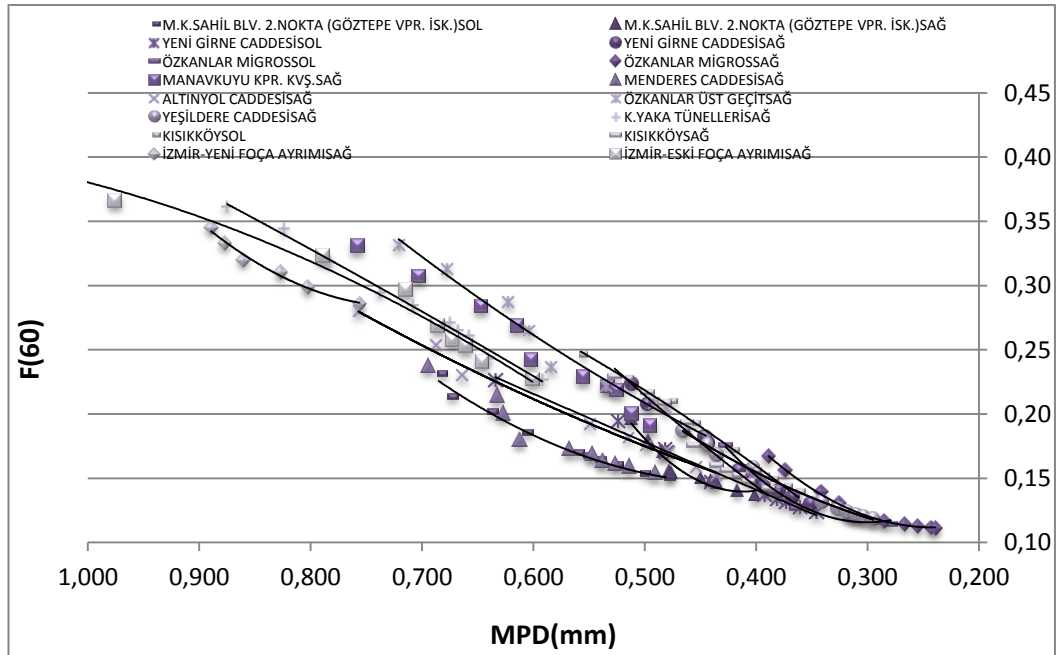
Şekil 7.5 Mpd'nin zaman içindeki değişimi

Bununla birlikte trafiğin zaman içinde kümülatif etkilerini değerlendirmek için MPD ile üçer aylık toplam trafik değerleri ilişkilendirilmeye çalışılmıştır (Şekil 7.5). Seçilen istasyon noktalarında, dönemler bazında eklenik araç sayıları MPD'nin azalmasına yol açmaktadır. R^2 değerinin yüksek oluşu trafiğin kaplama yüzey dokusu üzerinde olumsuz etkilerini açıkça göstermektedir.



Şekil 7.6 Tüm istasyon noktaları için MPD – DFT(20) ilişkisi

MPD ile sürtünme direnci ilişkileri incelendiğinde (Şekil 7.6) tüm istasyon noktaları için MPD'nin azalışı ile birlikte taşıt tekerlek–yol yüzeyi etkileşimini ifade eden DFT(20) değerleri de azalmaktadır.



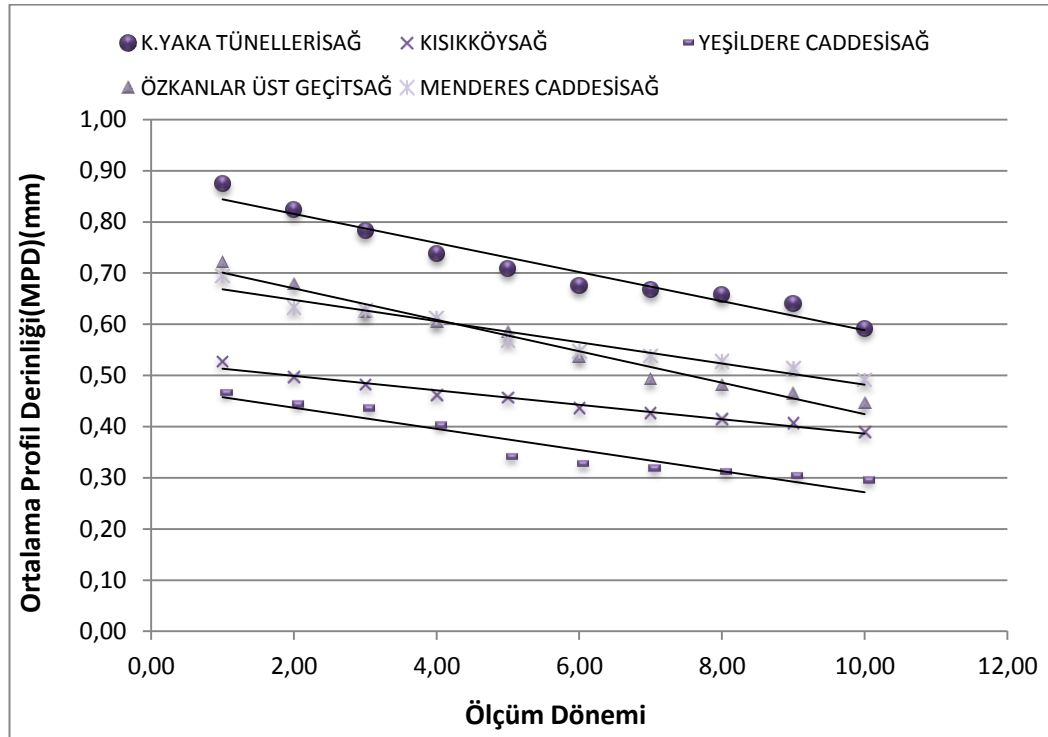
Şekil 7.7 Tüm istasyon noktaları için MPD – F(60) ilişkisi

Verilerin çokluğu nedeni ile aynı ve farklı kaplama şeklinde gruplandırılarak istasyon noktaları değerlendirilmesi uygun görülmüştür. Aşağıdaki sırası ile bu değerlendirmeler verilmektedir.

7.1.2 Aynı Tip Kaplamaların Değerlendirilmesi

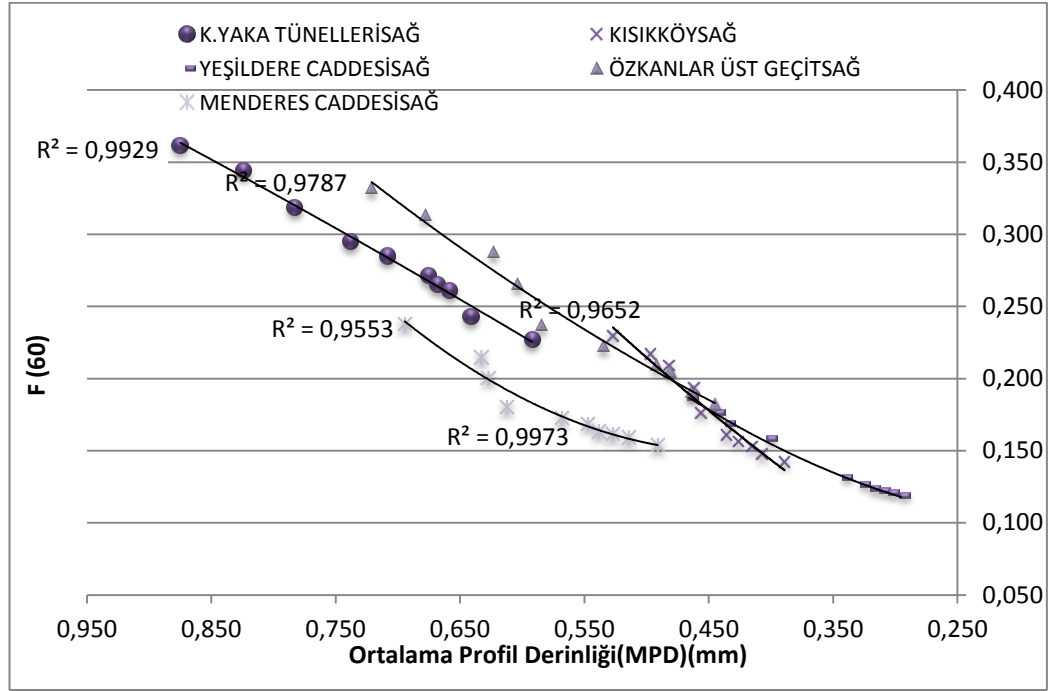
Seçilen istasyon noktalarında kaza oluşumları üzerinde etkili olduğu düşünülen en önemli parametrelerden birisi de MPD'dir. İstasyon noktalarında kullanılan malzeme ve üzerinden geçen taşıt karakteristikleri farklı olduğu için istasyon bazında incelenmiştir. Yol yüzey dokusunun değişimi aynı esnek kaplama tipleri için Karşıyaka Tünelleri, Kısıkköy, Yeşildere Caddesi, Özkanlar Üst Geçit, Menderes Caddesi istasyon noktaları göz önüne alınarak değerlendirilmeye çalışılmıştır.

Şekil 7.8'de öncelikle her bir ölçüm dönemi için yukarıda açıklanan istasyon noktaları üzerinden alınan MPD değerleri görülmektedir.



Şekil 7.8 Aynı tip kaplamalar için ölçüm dönemleri boyunca MPD'nin zaman içinde değişimi

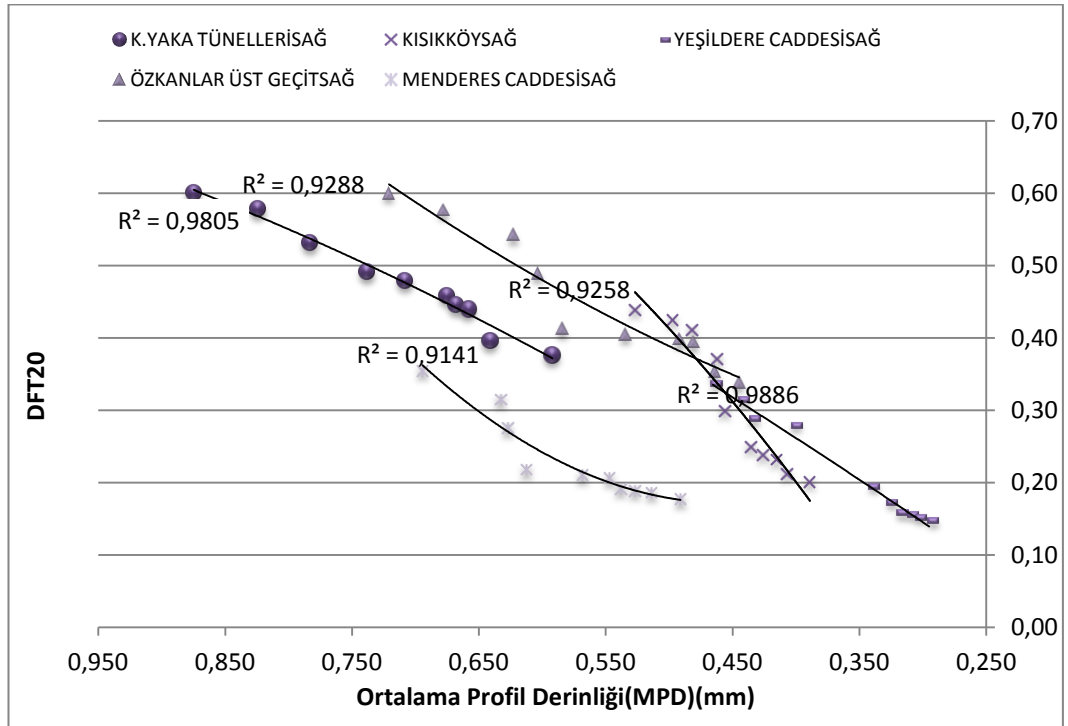
Beklenildiği üzere ölçüm dönemleri boyunca MPD değerleri azalmaktadır. Bu azalmaların hangi parametrelere bağlı olduğu daha ayrıntılı olarak MPD–F(60), YOGT–MPD VE MPD–DFT(20) grafikleri ile ilişkilendirilerek Şekil 7.9–Şekil 7.11 'de sunulmuştur.



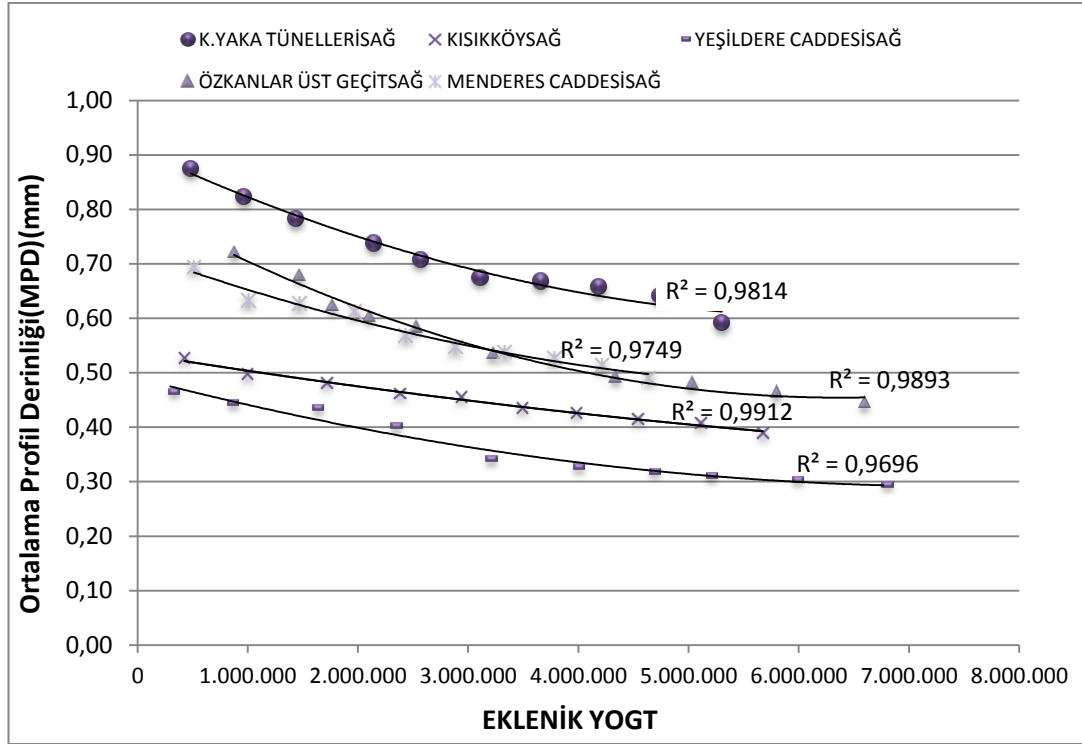
Şekil 7.9 Aynı tip kaplamalar için MPD – F(60) ilişkisi

Şekil 7.9 'da gösterildiği gibi uluslararası sürtünme indeksi terimini (IFI–International Friction Index – 60km/saat değerine karşılık gelen IFI sürtünme değeri) tanımlayan F(60) parametresi ile MPD (Ortalama Profil Derinliği) değeri birlikte değerlendirdiğinde tüm istasyon noktaları için iyi bir ilişki olduğu R^2 değerlerinden de görülmektedir. Menderes caddesi şehir içi yollar niteliğinde olup diğer istasyon noktaları ile kıyaslandığında aynı MPD değerleri için düşük F(60) değerleri vermektedir. Bu kaplama tasarımı ve kullanılan agreganın mikro dokusu ile ilişkilendirilebilir. Trafik akım hızının düşük olması, taşıt kompozisyonunda otobüs, kamyon gibi ağır vasıta trafiğinin bulunması ve yol kaplamasının yapım tarihinin daha eski olması; kaplamaya yavaş yükleme etkisi ve geçen araç sayısının fazla olması nedeni ile mikro dokusunun diğer kaplamalara göre azalmasından kaynaklanmaktadır.

MPD'nin 0,65 mm değeri için Menderes Cad.–Karşıyaka Tüneller ve Özkanlar üst geçit kıyaslanıldığında; Özkanlar Üst Geçitte en yüksek F(60) değeri gözlenmektedir. Burada mikro pürüzlülüğün ve kaplama tasarımının etkisi ön plana çıkmaktadır (Şekil 7.9). Mikro pürüzlülüğün etkisine dair gösterge Şekil 7.10 ile açıklanmaktadır. Şekilden de görüleceği gibi 0,65 mm MPD değeri için sürtünme direnci en düşük Menderes Caddesinde görülmektedir. Bu durum, bu istasyon noktasında uygulanan yol yüzey tabakasının dokusu ile yakından alakalıdır.



Şekil 7.10 Aynı tip kaplamalar için MPD – DFT ilişkisi



Şekil 7.11 Aynı tip kaplamalar için Eklenik YOGT – MPD ilişkisi

Aynı dönemde yapılan ölçümlerde Özkanlar üst geçitte F(60) – MPD – DFT azalışı diğer istasyona göre daha hızlı azalış eğilimindedir. Her ne kadar taşıt hızları yüksek olsa da, taşıt kompozisyonunda sağ şeritte ağır vasıta trafiğinin baskın olması ve YOGT nin yüksek olması bu sonucu doğurmaktadır.



Şekil 7.12 Agregat-tekerlek temas etkileşimi

Tekerlek ile temas halinde olan kaplama yüzeylerinde aşınma ilk olarak yüzey mikro dokusunu etkiler, sonrasında makro doku azalmaya başlar(Şekil 7.12). Agregat aşındıkça agreganın tekerlek ile temas eden yüzey alanı artar. Bu artış, yük etkisiyle kaplamadaki hava boşluklarında azalma ile birleşerek makro dokudaki azalma

eğilimini yavaşlatmaktadır. Şekil 7.11'e bakıldığında YOGT–MPD ilişkisinde bu durum net olarak gözlenmektedir.

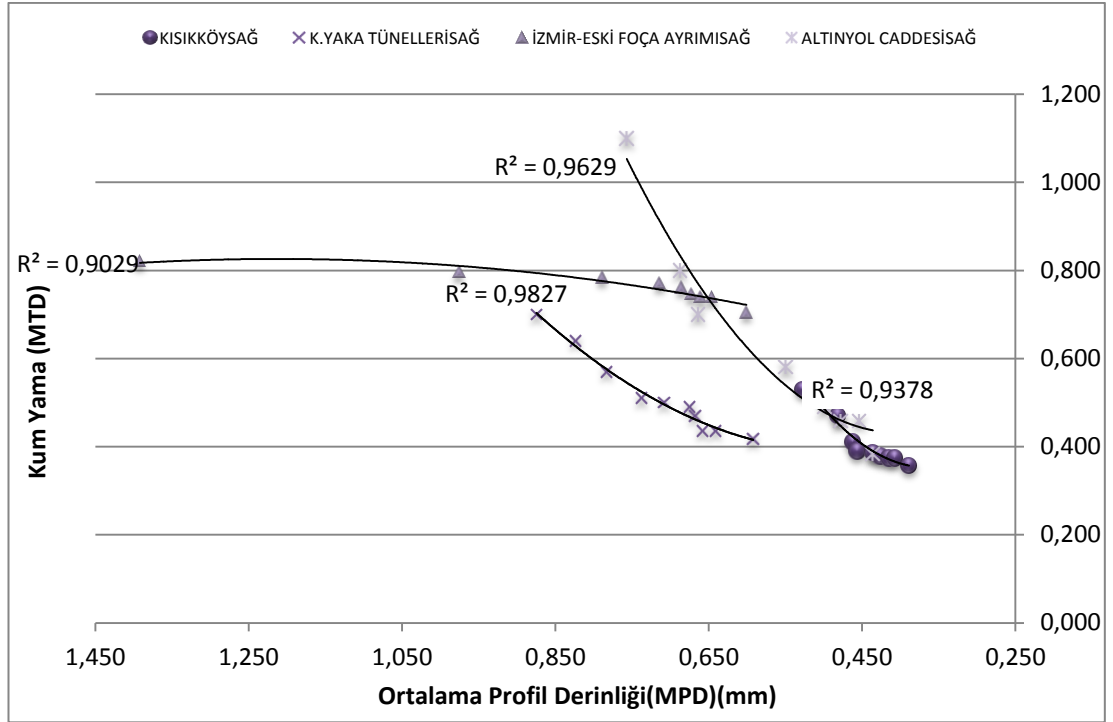
Trafığe açılış tarihi itibari ile daha eski kaplamalar olan Menderes–Yeşildere–Özkanlar gözlem istasyonlarındaki F(60)–YOGT ilişkilerine bakıldığında daha yeni kaplamalar olan Karşıyaka Tüneller ve Kısıkköy istasyonlarına göre YOGT artışına bağlı değişim eğrileri yataylaşma eğilimindedirler. Bunun nedeni, makro pürüzlülüğün azalma hızının kaplamanın hizmet süresi arttıkça yavaşlayarak azalmasıdır.

Dönemler boyunca artan taşıt etkilerinin Uluslararası Sürtünme İndeksi (IFI) parametrelerinden biri olarak değerlendirilen F(60) parametresi üzerinde etkisi de yukarıda sunulan grafiklerde açıkça görülebilmektedir

Taşıt sayısının asfalt dokusu üzerinde yarattığı olumsuz etkiler (MPD değerlerinde azalma ve buna bağlı olarak sürtünme direncinin yitirilmesi) beklenildiği üzere kaza oluşumu konusunda dikkate alınması gereken sebeplerin başında gelmelidir.

7.1.3 Farklı Tip Kaplamaların Değerlendirilmesi

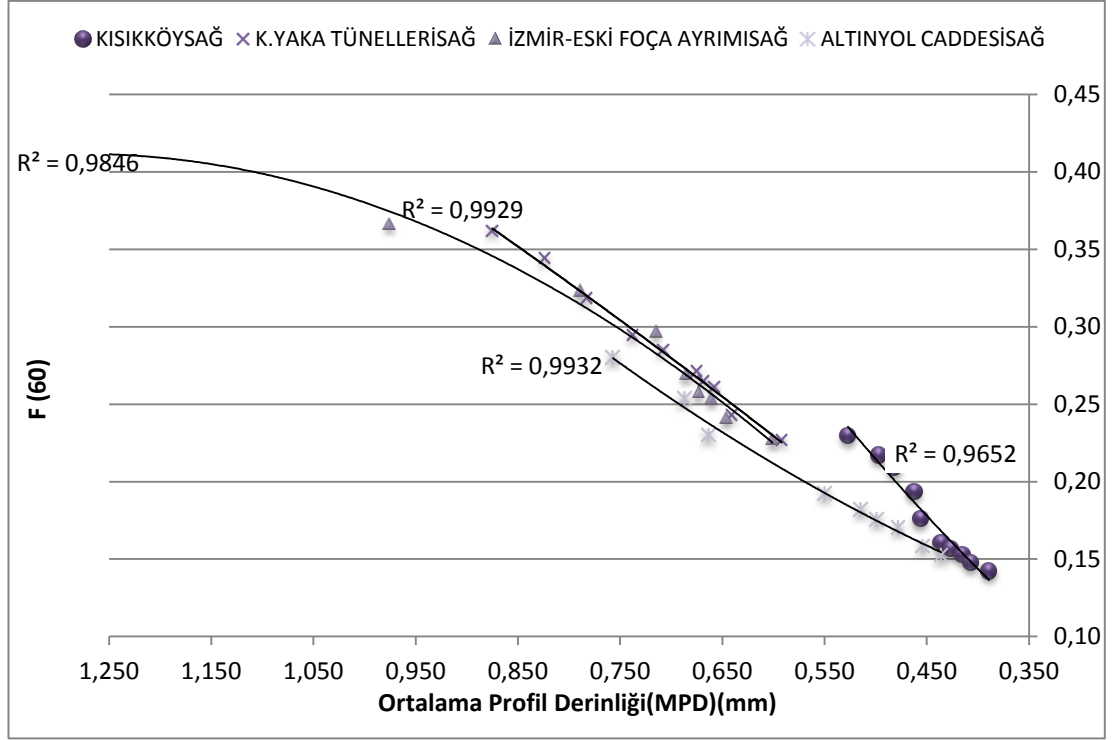
Ölçüm yapılan istasyon noktaları arasından farklı 4 kaplama tipi seçilerek kaplama tipinin değişmesi durumunda, kaplama üzerinden farklı ölçüm dönemlerinde alınan ölçüm değerleri arasındaki ilişkiler değerlendirilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla Bölüm 4'de tanımlanan istasyon noktalarından Kısıkköy (BSK), Karşıyaka Tüneller (BSK), İzmir–Eski Foça Ayrımı (TMA) ve Altinyol (Binder) istasyon noktalarının sağ şeritlerinde yapılan ölçüm sonuçları arasındaki ilişkiler Şekil 7.13 – Şekil 7.19 'da sunulmuştur. Bu kaplamalardan sadece Kısıkköy istasyonunun kaplaması, yapım tarihi itibari ile daha eski bir kaplamadır.



Şekil 7.13 Farklı tip istasyon noktaları için MPD – MTD ilişkisi

Şekiller incelendiğinde tüm istasyon noktalarında ortak olarak göze çarpan ilk ilişki Şekil 7.13'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 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 lazerle ortalama profil derinliği ölçüm yöntemi, ölçümün yapıldığı bölgedeki aşırı doku farklılıklarını dikkate almamaktadır. 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.

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.



Şekil 7.14 Farklı Tip İstasyon Noktaları İçin (MPD) – F(60) ilişkisi

Şekil 7.14 'de görülen MPD – F(60) grafiğindeki R^2 değerlerinden anlaşılacağı üzere, her iki parametre arasında sıkı bir ilişki olduğunu göstermektedir. 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.

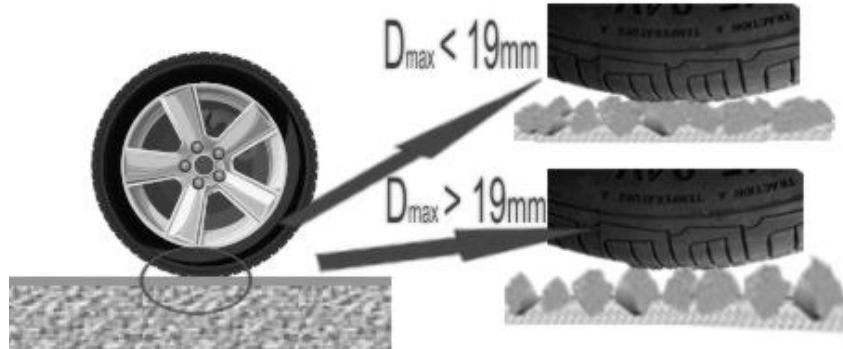
TMA olarak yapılan İzmir Eski Foça ayrımı istasyon noktasında ölçüm dönemleri boyunca MPD değerlerindeki değişim yüzdesi geniş bir aralıkta (%57) gerçekleşmesine rağmen, F(60) değerlerindeki değişim yüzdesi (%45) oran olarak daha düşüktür. Bunun nedeni, TMA kaplamalarda ortalama doku derinliğindeki hızlı 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 Altinyol 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 Altinyol 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-çıkıntılı olmakta ve tekerlek yol yüzeyi ile daha çok noktadan etkileşime girdiğinden F(60) değeri

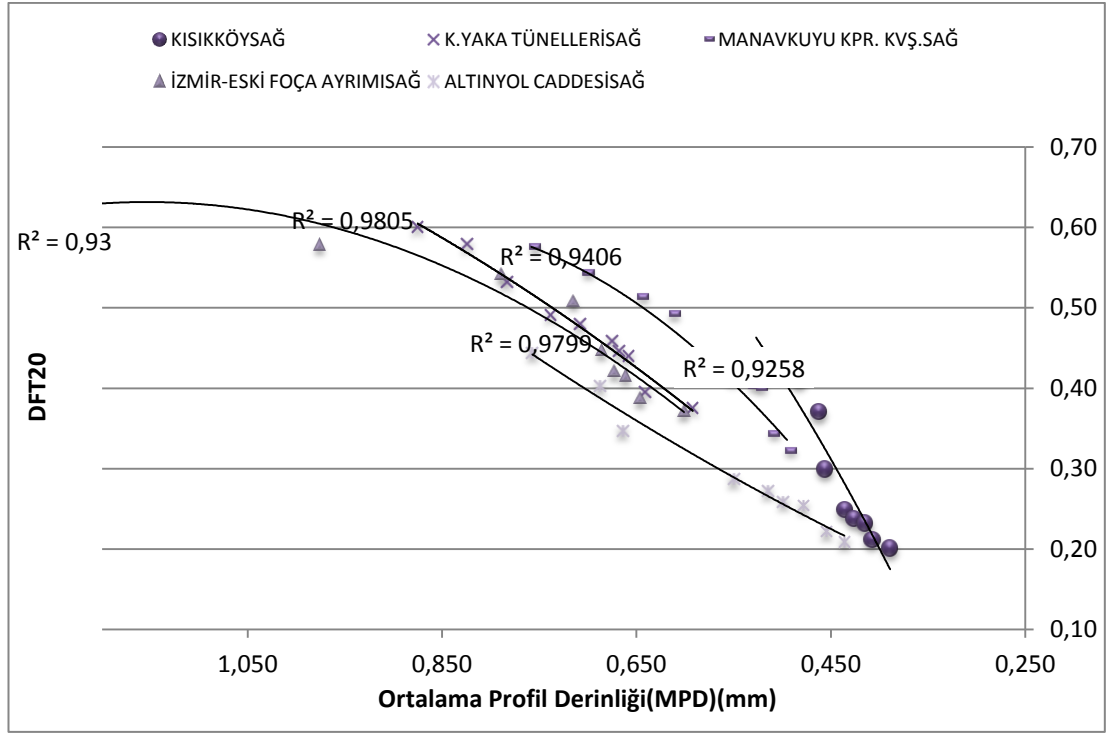
daha yüksek çıkmaktadır. Örneğin TMA gibi D_{max} 'ı 32 mm olan kaplamada ise aynı MPD değeri için kaplama yüzeyinde birim alana düşen agrega sayısı daha az olmakta bu nedenle de tekerlekle kaplama yüzeyi arasında etkileşim de azalmaktadır. Özellikle ıslak yol yüzeylerinde MPD değeri için aynı drenaj 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.

Kısıkköy istasyon noktası için MPD- $F(60)$ değerleri değişiminin eğilimine bakıldığında kaplamanın hizmete açıldığında 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.



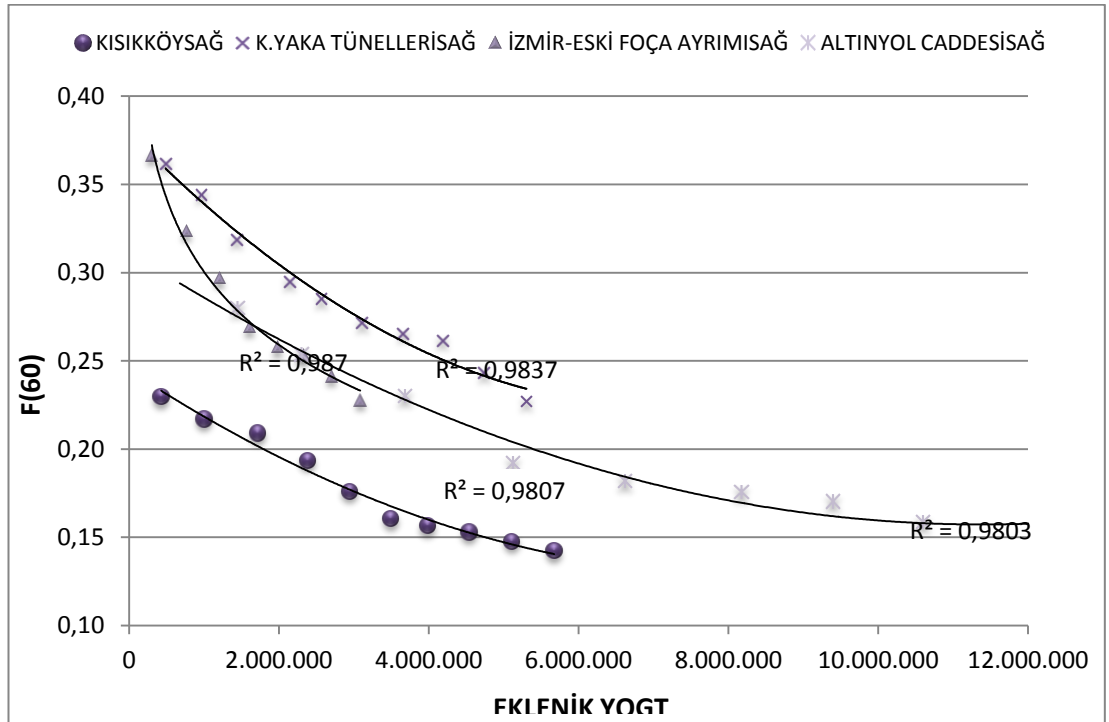
Şekil 7.15 Tekerlek ile kaplama yüzeyi arasındaki etkileşim

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.

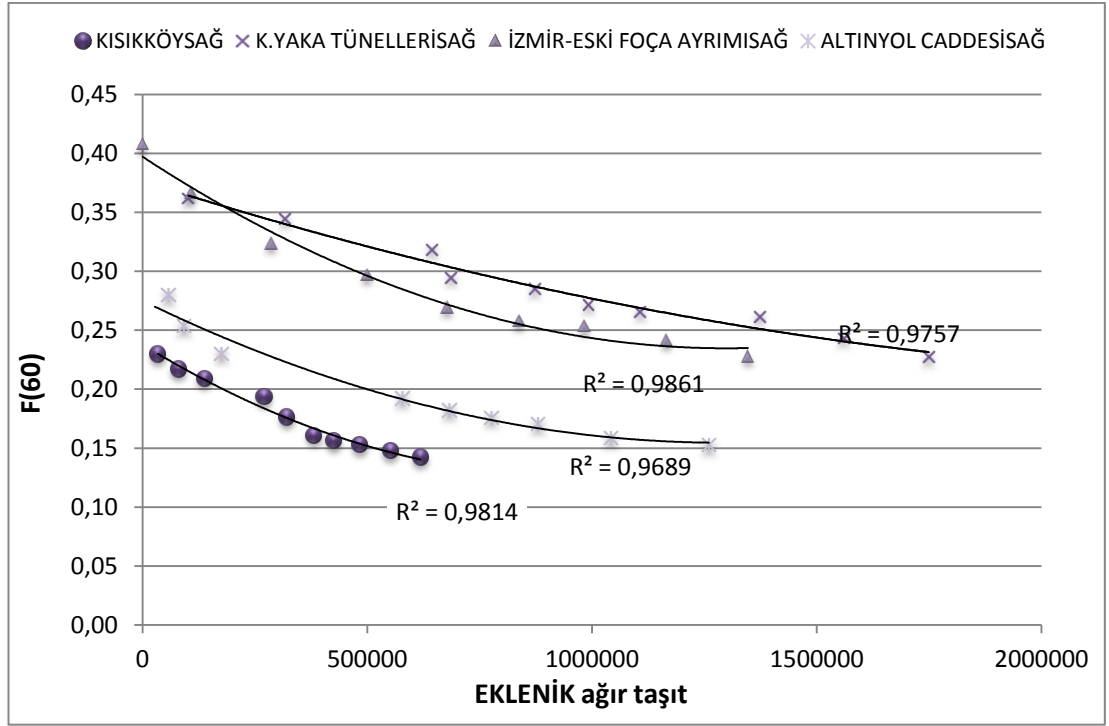


Şekil 7.16 Ortalama profil derinliği(MPD) – DFT(20) ilişkisi

Ortalama profil derinliği ile F(60) arasındaki ilişkinin benzeri Şekil 7.16 'da görülen MPD – DFT(20) arasında da gözlenmektedir.

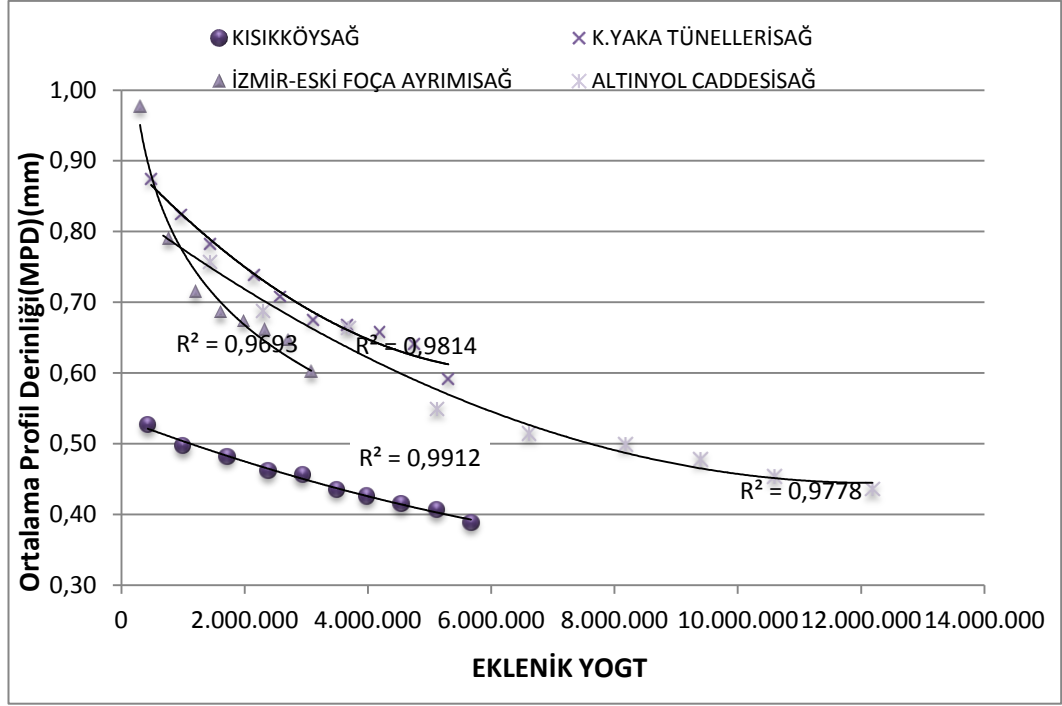


Şekil 7.17 Farklı tip istasyon noktaları için eklenik YOGT – F(60) ilişkisi



Şekil 7.18 Farklı tip istasyon noktaları için eklenik ağır taşıt – YOGT

Şekil 7.17 ve Şekil 7.18 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.

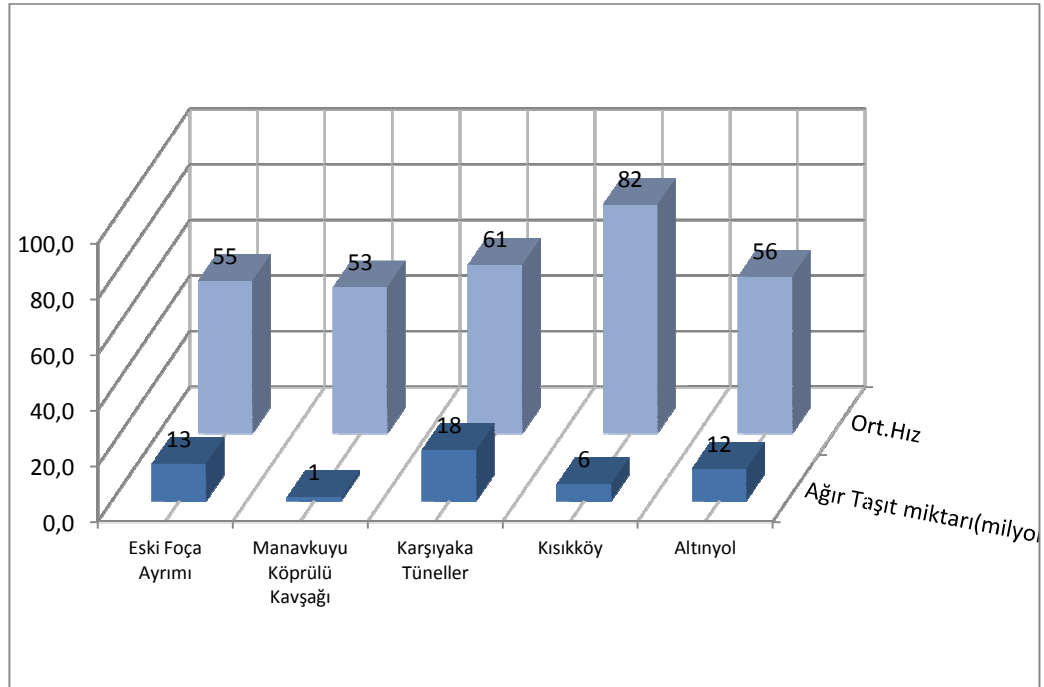


Şekil 7.19 Ortalama profil derinliği (MPD) – DFT(20) ilişkisi

Şekil 7.19'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 Tünelleri, 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 bakıldığında zaman Altınyol'daki ağır taşıt sayısının yine Kısıkköy'dekinin yaklaşık iki katı olduğu görülmektedir (Şekil 7.20). Yüzey dokusu değerlerindeki değişim sadece YOGT ile değil, aynı zamanda araç kompozisyonu (özellikle ağır araç trafiği) ve ortalama hız ile birlikte değerlendirilmeli gerekmektedir.



Şekil 7.20 İstasyon noktalarına ait ağır taşıt ve ortalama hızlar

7.2 Trafik akım özelliklerinin değerlendirilmesi

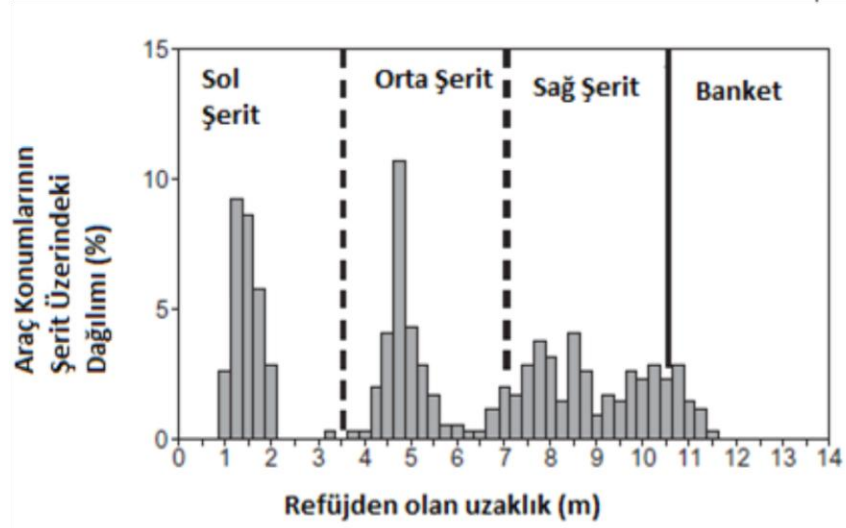
Yapılan gözlemler sonucunda, incelenen istasyon noktalarında genelde sol şeridin diğer şeritlere oranla daha fazla kullanıldığı görülmüştür (Tablo 7.1). Yine Tablo 7.1 ve Tablo 7.2 incelendiğinde, ağır araç oranının sağ ve orta şeritlerde daha fazla olduğu; sol şeritlerde genel olarak minibüslerin hakim ağır araç olarak kabul edilebilecekleri görülmektedir. Araçların yine beklenildiği gibi sol şeritte daha yüksek hızlarda hareket ettikleri anlaşılmaktadır.

Tablo 7.1 Gözlem noktalarına ait şerit kullanım oranları

İstasyon Adı	Sol Şerit Kullanım Oranı	Orta Şerit Kullanım Oranı	Sağ Şerit Kullanım Oranı
Bornova MİGROS	62%		38%
Mustafa Kemal Sahil Bulvarı-Göztepe	36%	44%	20%
Manavkuyu Köprülü Kavşağı	54%		46%
Yeni Girne	43%	43%	14%
Buca Menderes Caddesi			100%
Özkanlar Üstgeçit	42%	37%	21%
Altınyol	42%	31%	27%
Yeşildere	44%	34%	22%
Kısıkköy	34%		66%
Eski Foça Ayrımı	51%		49%
Yeni Foça Ayrımı	38%		62%
Karşıyaka Tüneller	34%	37%	29%

Tablo 7.2 sağ ve sol şeritlerde ölçüm yapılmış olan gözlem noktalarına ait dönemsel ortalama hız ve $f(60)$ değerleri görülmektedir. Tablo incelendiğinde, genelde sol şeride ait $f(60)$ değerlerinin daha yüksek olduğu söylenebilir. Ancak özellikle Göztepe'deki ölçümlerde bu farklılık daha belirgin olup; diğer ölçüm noktalarına ait değerler her iki şerit için birbirlerine yakın kabul edilebilir. Göztepe gözlenen bu farklılık, söz konusu noktalarda yol kenarında park eden araçların bulunması; otobüs ve/veya minibüs durağı veya sağa dönüş manevraları sebebiyle, sürücülerin platform yüzeyindeki yanal hareketliliklerinin yanı sıra ağır araç oranının (özellikle otobüs ve minibüs) yüksek olması da etken olarak kabul edilebilir. Çalışma dönemleri ilerledikçe, bu kesimlerdeki değerlerin de birbirlerine yaklaştıkları görülmektedir.

Tablo 7.2'de gösterilen sonuçlar, Tablo 7.1 ışığında yapılan yorumlarla farklılık göstermektedir. Bu noktada, şeritlerin kullanım dağılımlarının da etkisinin de olabileceği öngörülebilir. Günay (2004) tarafından İstanbul'daki bazı arterlerde yapılmış olan çalışmalar sonucunda, özellikle sağ şeridin araçlar tarafından dağınık olarak adlandırılabilir düzgün olmayan bir kullanıma sahip olduğu gösterilmiştir.



Şekil 7.21 Londra Asfaltı, Merter yakınları, İstanbul kesimine ait şerit kullanım grafiği (Günay, 2004)

Tablo 7.2 Sağ ve sol şeritlerde ölçüm yapılmış olan gözlem noktalarına ait dönemsel ortalama hız ve F(60) değerleri

İSTASYONLAR	ŞERİTLER	2009/1		2009/2.1		2009/2.2		2010/1.1		2010/1.2		2010/2.1		2010/2.2		2011/1.1		2011/1.2	
		ORT HIZ	f(60)	ORT HIZ	f(60)	ORT HIZ	f(60)	ORT HIZ	f(60)	ORT HIZ	f(60)	ORT HIZ	f(60)	ORT HIZ	f(60)	ORT HIZ	f(60)	ORT HIZ	f(60)
M.K.SAHİL BLV. (GÖZTEPE VPR.	SOL	51,270	0,232	50,000	0,214	50,630	0,202	41,700	0,186	51,220	0,170	51,550	0,167	55,448	0,164	52,490	0,161	46,276	0,154
	SAĞ	50,540	0,196	33,650	0,179	42,100	0,170	48,700	0,156	47,680	0,154	46,480	0,150	50,406	0,148	48,860	0,147	44,829	0,140
YENİ GİRNE CADDESİ	SOL	56,330	0,226	67,160	0,195	61,740	0,173	44,410	0,171	22,770	0,147	39,420	0,137	56,280	0,134	49,729	0,132	36,993	0,128
	SAĞ	50,680	0,224	43,060	0,208	21,530	0,183	37,690	0,177	18,950	0,157	48,890	0,151	55,390	0,143	57,020	0,140	58,784	0,135
ÖZKANLAR MİGROS	SOL	44,450	0,176	18,930	0,159	36,750	0,150	44,240	0,140	47,420	0,127	47,199	0,119	33,670	0,118	38,520	0,117	39,559	0,116
	SAĞ	35,110	0,167	20,000	0,157	28,460	0,140	24,060	0,131	33,000	0,122	39,490	0,117	35,420	0,114	24,370	0,113	40,000	0,112
KISIKKÖY	SOL	89,420	0,246	98,700	0,228	94,000	0,210	96,630	0,193	98,290	0,172	99,850	0,157	100,550	0,152	99,199	0,149	103,151	0,144
	SAĞ	76,600	0,230	85,130	0,217	80,860	0,209	83,290	0,194	83,750	0,176	81,140	0,161	79,380	0,156	81,450	0,153	86,945	0,148

Yukarıdaki grafiklerden de görülebileceği gibi, genelde sürücüler sol şeridi daha fazla kullanma eğilimindedirler. Bunun sebepleri arasında düşük ağır araç oranı ve nispeten daha yüksek hızlarla hareket etme olanağının bulunduğu söylenebilir. Ancak trafik sıkışmaya başladığı anlardan itibaren, daha az aracın kullandığı sağ şeride doğru bir kayma eğiliminin olduğu görülmektedir. Sol ve/veya orta şeritteki tıkanıklık azalmaya başladıkça sürücüler tekrar bu şeritlere yönelmektedirler. Bu durum, sinyal yaklaşımlarında veya çevre katılım ve/veya ayrılıklarında daha da belirgin bir hal almaktadır.

7.3 Kaza–Sürtünme İlişkisine Olasılık Temelli Yaklaşım

Trafik kazalarının oluşumunda sadece yol yüzey doku özellikleri etkin değildir. Sürücü davranışları başta olmak üzere, trafik kompozisyonu, hava koşulları v.b. birçok değişken de trafik kazalarının oluşumunda önemli bir role sahiptir. Trafik hacmi arttıkça, trafik kaza sayısının da artması beklenebilir.

Piyatrapoomi, Weligamage, Bunker (2008) tarafından önerilmiş olan “Olasılık Temelli Yaklaşım” yöntemi kullanılarak da bazı tanımlamalar yapılmaya çalışılmıştır. Piyatrapoomi ve diğer. (2008) tarafından yapılmış olan çalışmada veriler, 169.9 km’lik bir hat üzerinde alınan 3 km uzunluğundaki kesimlerden elde edilen verilere dayanmaktadır. Bu kesimlerde ölçülmüş olan kayma direnci değerleri ile yine bu kesimlerde meydana gelen kaza sayıları hakkında veriler elde edilmiştir. Bu veriler kullanılarak kayma direnci ve kaza sayıları arasında bir ilişki tanımlanmaya çalışılmıştır. Yöntemin aşamaları aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

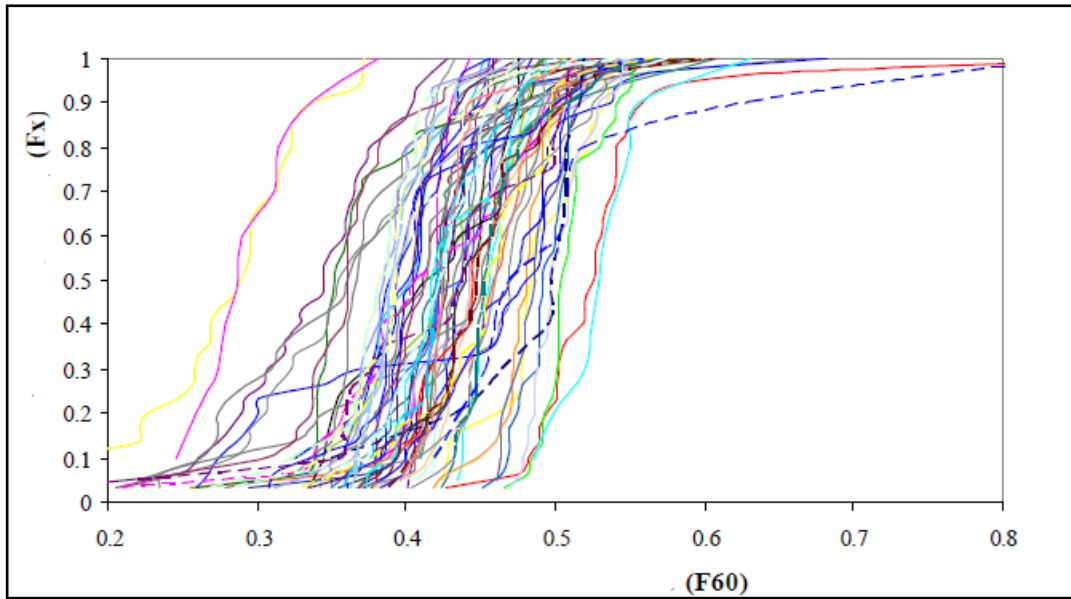
1.Adım: İncelenen yol kesimi geometri, trafik hacmi, kaplama cinsi gibi faktörlere bağlı olarak alt kategorilere ayrılabilir.

2.Adım: İncelenen yol kesimi ile ilgili geçmişe yönelik kaza verileri toplanmalıdır.

3.Adım: Eğer tek bir hat üzerinde çalışılıyorsa, hat küçük analiz kesimlerine ayrılmalıdır. Piyatrapoomi ve diğer. (2008) 3 km’lik kesimler oluşturmuşlardır.

4.Adım: Elde edilen kaza verilerinden incelenen yol kesimlerine ait olanları belirlenmelidir.

5.Adım: İncelemeye esas olarak alınan yol kesimlerinden elde edilen kayma direnci değerlerine ait bir olasılık dağılım fonksiyonu oluşturulmalıdır. Özellikle aynı kategoride olanların aynı grafik üzerinde gösterilmesi büyük önem taşımaktadır. Şekil 7.22 'de Piyatrapoomi ve diğer. (2008) tarafından yapılan arazi çalışmaları sonucunda her bir inceleme kesimi için çizilmiş olan gözlenen olasılık dağılım “F(x)” grafikleri görülmektedir.



Şekil 7.22 Piyatrapoomi ve diğer. (2008) tarafından yapılmış olan arazi verilerine ait olasılık dağılım grafikleri

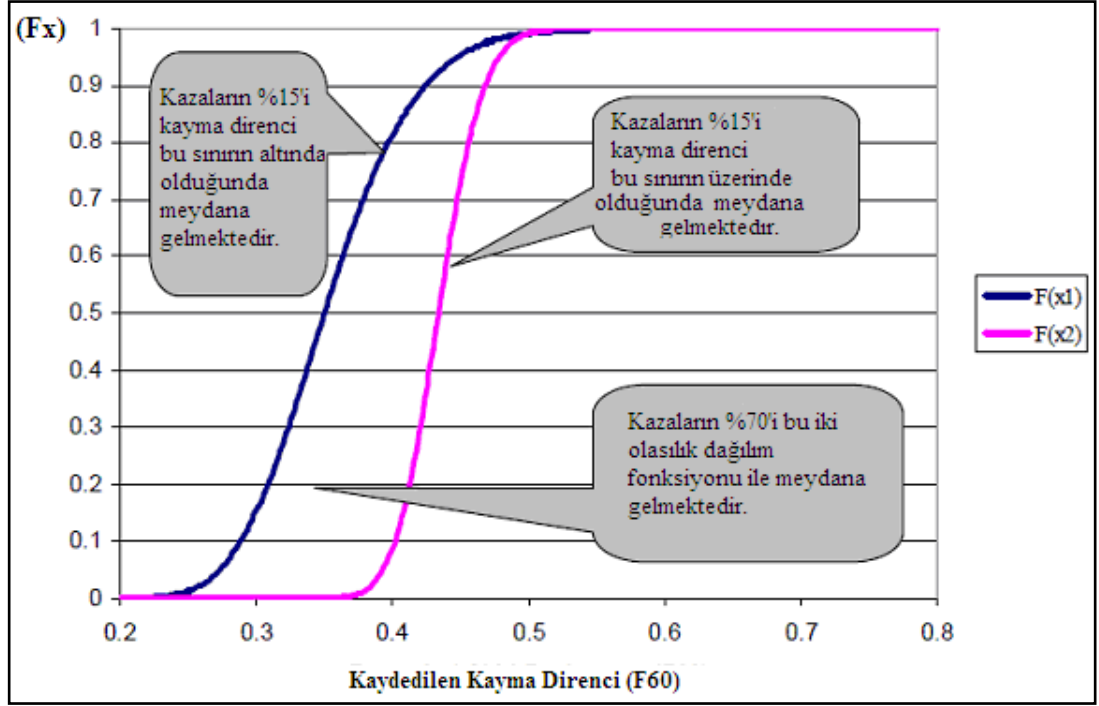
6.Adım: Araziden elde edilen kayma direnci değerlerine karşılık gelen kaza sayıları bir tablo haline dönüştürülür.

7.Adım: Kayma direnci değerlerine karşılık gelen kaza sayılarının, toplam kazalar içindeki oranları tespit edilir ve bu oranlara bağlı olarak olasılık dağılım değerleri elde edilir.

8.Adım: Kaza oranlarına ait kabul edilebilir alt ve üst sınır değerleri seçilmelidir. Piyatrapoomi ve diğer. (2008)'nin çalışmalarında, kazaların %70'inin içinde kaldığı %15'lik alt ve üst kayma direnci dağılımları belirlenmiştir (Şekil 7.22). Böylece hangi sınırlar arasında kaza olasılığının arttığı daha sağlıklı bir şekilde tanımlanabilmektedir.

Şekil 7.23'de %15 alt sınır eğrisi, bu değerlerden daha düşük kayma direnci değerleri görülmesi durumunda kazaların %15'inin bu kesimlerde meydana geleceğini göstermektedir. Bu sınır değerleri aslında mühendisler, yüzey pürüzlülüğünün iyileştirilmesi için mutlaka bir önlem alınması gerektiğini göstermektedir. %15'lik üst sınır ise, kazaların %85'inin bu değerlerden daha küçük kayma dirençlerinde meydana geldiğini göstermektedir. Daha yüksek kayma dirençleri için kaza oluşumunda diğer faktörlerin (sürücü ve/veya yol geometrik kusurları v.b.) daha fazla etkisi bulunduğu söylenebilir. Ancak burada dikkat edilmesi gereken husus, bu sınırın gözlem sonuçlarından elde edildiğidir. Uygulamada mühendislerin kayma direnci ile ilgili yorumlarında diğer unsurları da dikkate almalarında yarar olduğu düşünülmektedir.

9.Adım: %15'lik alt ve üst sınırlar için birer dağılım fonksiyonu uydurularak, sınırların bir anlamda formülize edilmesi uygun bir adım olacaktır.



Şekil 7.23 Piyatrapoomi ve diğer. (2008)'nin çalışmalarında %15'lik alt ve üst sınırların şematik gösterimi

7.3.1 Olasılık Temelli Yaklaşım İle Kaza–Sürtünme İlişkinin Değerlendirilmesi

Tez kapsamında, “Olasılık Temelli Yaklaşım” yöntemi uygulamasına yönelik bazı irdellemelerde bulunulmuştur. Öncelikli olarak tüm yol kesimleri sıcak karışım asfalt seçildiğinden, tüm veriler tek bir grup (kategori) olarak ele alınmış ve değerlendirmeler yapılmıştır.

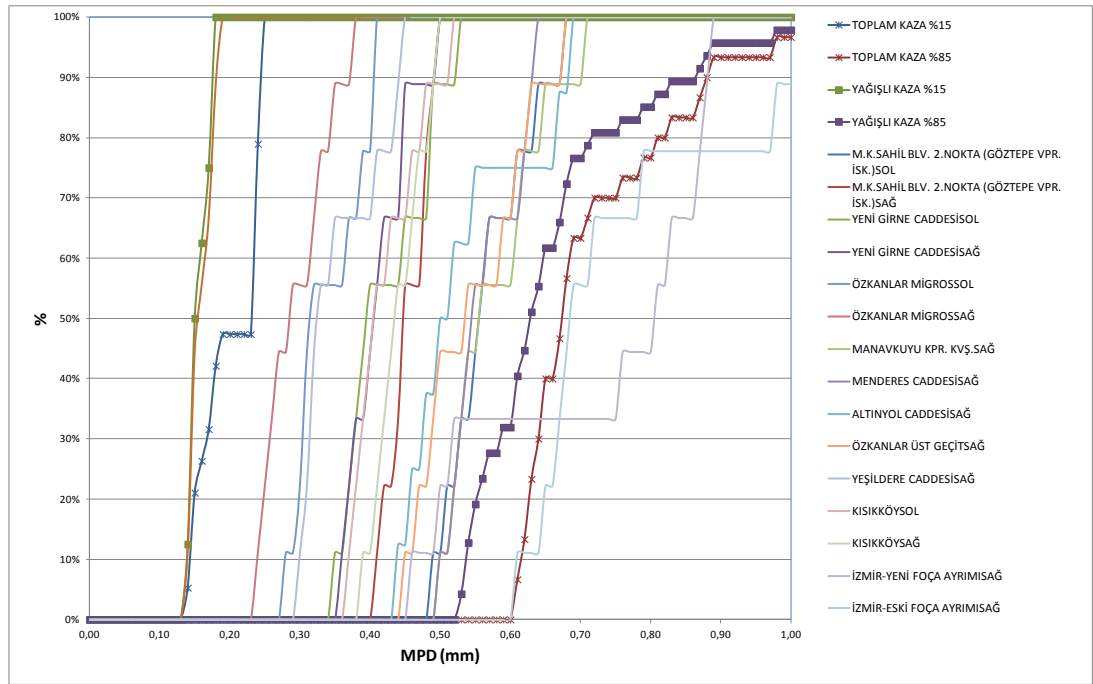
Tez kapsamında incelenen yol kesimleri, en fazla 500m’lik kısımlardan oluşmaktadır. Bu nedenle arazide yapılan ölçümler ile kaza verilerini “Olasılık Temelli Yaklaşım” yöntemi ile tanımlamada daha hassas sonuçlar elde edilebilmesinin mümkün olacağı düşünülmektedir.

İlk aşamada, tüm veriler birlikte değerlendirilerek, kazaların oluşumunun irdelenmesine çalışılmıştır. Şekil 7.24~ Şekil 7.28 arasında sırasıyla MPD, F(60), F(V), DFT(20) ve MTD değerleri için hazırlanmış olan grafikler sunulmuştur.

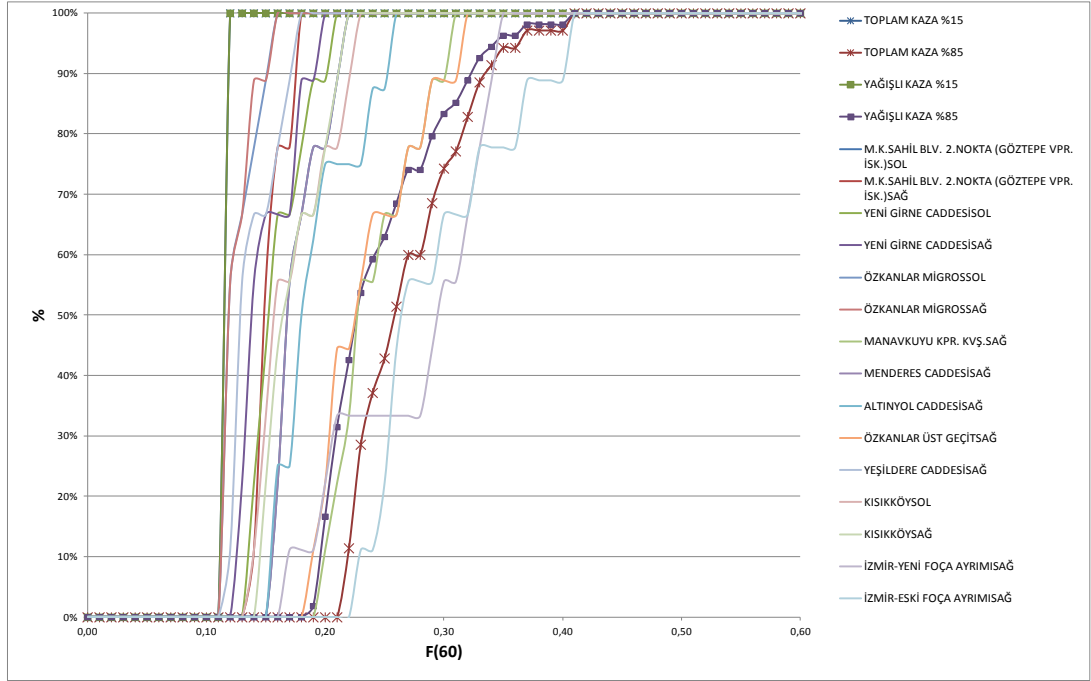
Tablo 7.3'te ise toplam kazalar ve yağışlı havada meydana gelen kazalara ait belirlenmiş üst ve alt sınırlara ait istatistiksel değerler verilmiştir. Şekil 7.32'de ise gözlenen üst ve alt sınırlara ait olasılık dağılım fonksiyon eğrileri ile bu eğrilerin normal dağılıma uygunluğu gösterilmeye çalışılmıştır. Grafikler incelendiğinde aşağıdaki hususlar ön plana çıkmaktadır:

- Tüm grafiklerdeki üst ve alt sınır eğrilerinin Normal dağılıma uyduğu söylenebilir.
- Toplam kazaların üst sınır değeri, beklenenin aksine yağışlı havada meydana gelen kazaların üst sınır değerlerinden daha yüksektir. Bu durum, sürücülerin kaza olabileceğini ön görerek yağışlı havalarda daha dikkatli araç kullandıklarını göstermektedir. Yağışsız havalarda ise kendilerini daha güvende hissettikleri için daha yüksek hızlarda hareket ettikleri sonucu çıkarılabilir.
- Tüm grafiklerde göze çarpan önemli hususlardan bir tanesi özellikle Eski Foça ve Yeni Foça'daki istasyon noktalarından elde edilmiş olan eğrilerin üst sınırların üstünde kaldığıdır. Her iki istasyon noktasındaki kaplamalar çalışma döneminde yeni imal edilmiştir. Bu sonuç, yüzey dokusunun kaza oluşumunda ne denli önemli olduğunun bir kanıtı olarak kabul edilebilir.
- MPD, F(60), F(V), DFT ve MTD değerlerine karşılık gelen kaza sayılarının, toplam kazalar içindeki olasılık dağılım değerleri incelediğinde, genel değerlendirme olarak kayma direncinin az olduğu “Mustafa Kemal Sahil Bulvarı” istasyon noktasında kaza oluşumuna yüzey dokusunun etkisinin çok fazla olduğu açıkça görülmektedir. Özellikle bu kesimde sürücüler yüksek hızlarda seyahat etmektedirler. Bu durum kaza olasılığını daha da arttırmaktadır. Bu istasyon noktasının kaplamasının en kısa zamanda yenilemesi gerektiği açıktır.
- Manavkuyu Köprülü Kavşak ve Özkanlar üst geçit istasyon noktaları yüzey doku derinliği açısından değerlendirildiğinde, ortalama değerlere sahip olmalarına rağmen, toplam kaza oluşumunda yüzey dokusunun ana etken olmadığı söylenebilir.
- Altınyol Caddesinin kaplaması, Yeni Foça ve Eski Foça istasyon noktalarına benzer şekilde çalışma dönemi içerisinde yenilenmiştir. Ancak şekiller incelendiğinde Altınyol'a ait eğrilerin üst ve alt sınırlarının ortalarında yer aldığı görülmektedir. Bu durum, yoğun taşıt trafiği, taşıt kompozisyonu ve şerit değiştirme

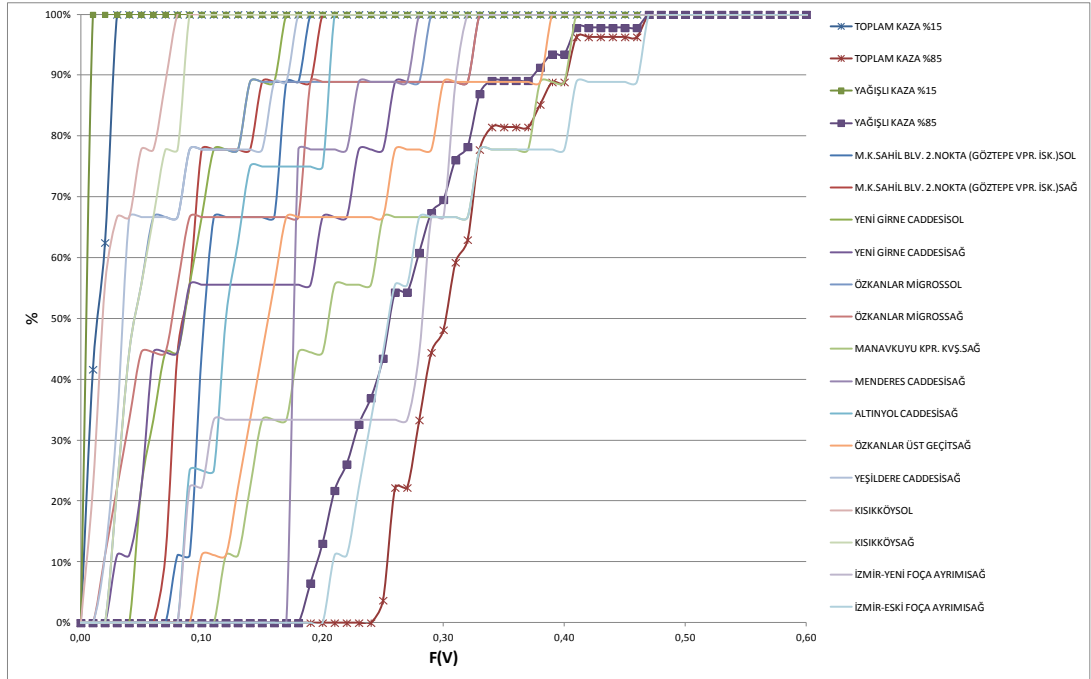
davranışlarının kaza oluşumundaki etkisini öne çıkarmaktadır. Buna bağlı olarak, alt ve üst sınır eğrileri arasında bulunan kazaların oluşumunda, yüzey dokusunun yanı sıra trafik karakteristiklerine ait diğer etkenlerin de detaylı bir şekilde incelenmesi gerektiği söylenebilir. Tez çalışmaları dönemi içinde, Altınyol caddesi kaplamasının yenilenmesi yanında hız tahdidinin yatay ve düşey işaretlemeler ile trafik hız kontrol uygulamalarıyla da desteklenmesi sayesinde kazaların büyük ölçüde azaldığı gözlemlenmiştir.



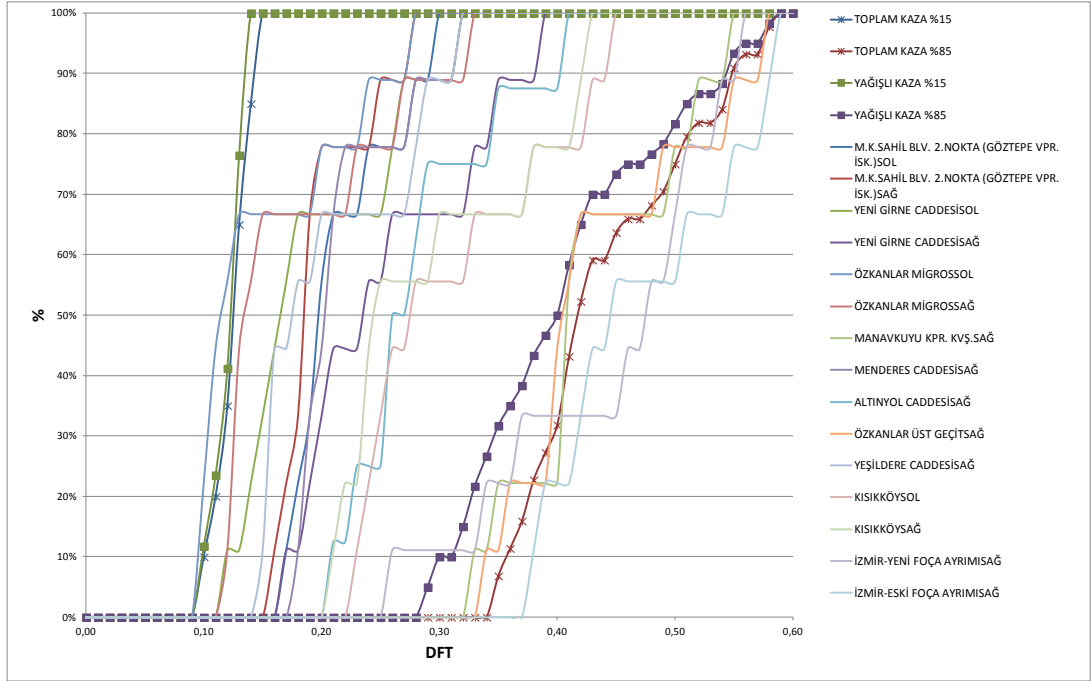
Şekil 7.24 MPD değerleri ile kazalar arasındaki ilişkiye ait olasılık dağılım grafiği



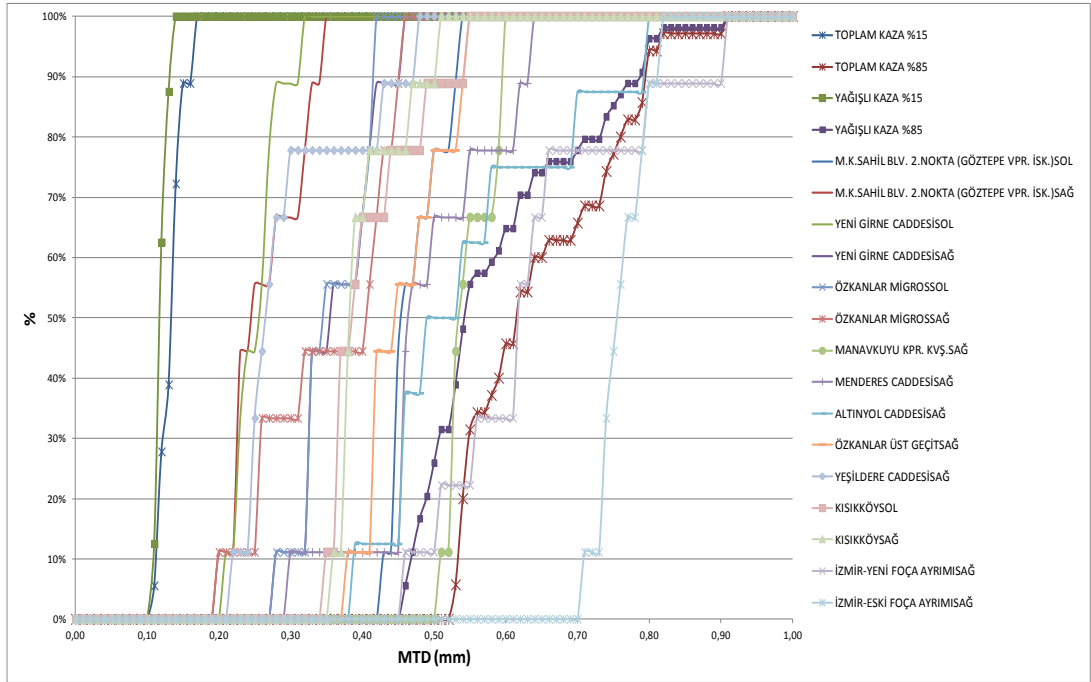
Şekil 7.25 F(60) değerleri ile kazalar arasındaki ilişkiye ait olasılık dağılım grafiği



Şekil 7.26 F(V) değerleri ile kazalar arasındaki ilişkiye ait olasılık dağılım grafiği



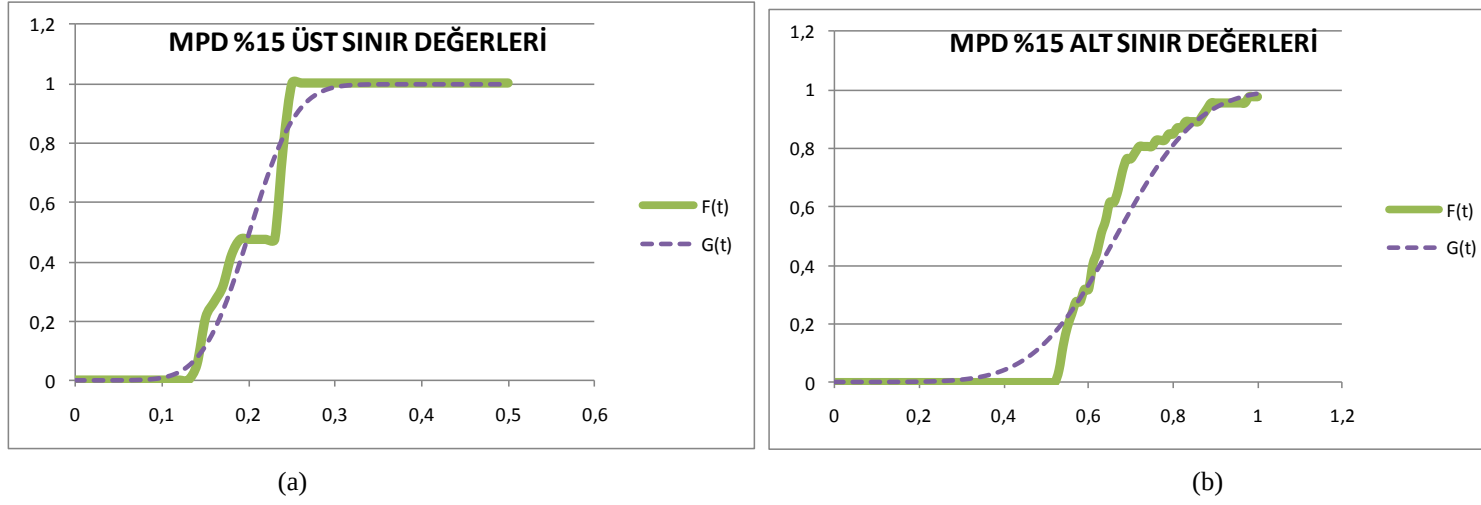
Şekil 7.27 DFT(20) değerleri ile kazalar arasındaki ilişkiye ait olasılık dağılım grafiği



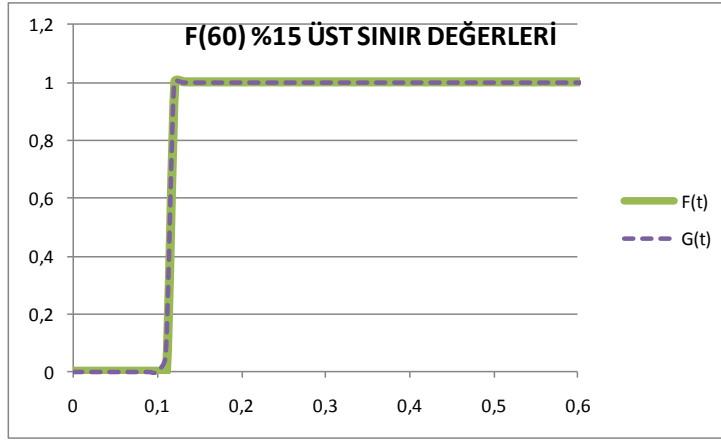
Şekil 7.28 MTD değerleri ile kazalar arasındaki ilişkiye ait olasılık dağılım grafiği

Tablo 7.3 MPD, F(60), F(V), DFT ve MTD değerleri için olasılık dağılım fonksiyonu değerlerinin istatistiksel özeti

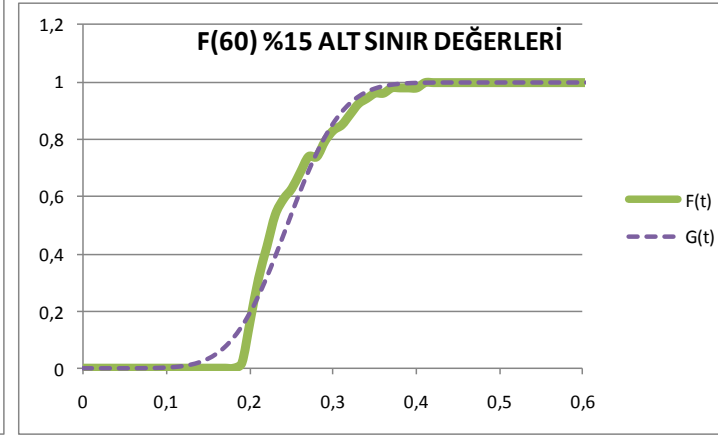
DEĞERLERİN TANIMI ÖZET İSTATİSTİK AÇIKLAMASI	MPD İçin %15 Üst Sınır Eğrisi Üstünde Kalan Değerler	MPD İçin %15 Alt Sınır Eğrisi Altında Kalan Değerler	F(60) İçin %15 Üst Sınır Eğrisi Üstünde Kalan Değerler	F(60) İçin %15 Alt Sınır Eğrisi Altında Kalan Değerler	F(V) İçin %15 Üst Sınır Eğrisi Üstünde Kalan Değerler	F(V) İçin %15 Alt Sınır Eğrisi Altında Kalan Değerler	DFT İçin %15 Üst Sınır Eğrisi Üstünde Kalan Değerler	DFT İçin %15 Alt Sınır Eğrisi Altında Kalan Değerler	MTD İçin %15 Üst Sınır Eğrisi Üstünde Kalan Değerler	MTD İçin %15 Alt Sınır Eğrisi Altında Kalan Değerler
Ortalama	0,201	0,665	0,113	0,245	0,015	0,269	0,124	0,407	0,133	0,592
Standart Hata	0,010	0,022	0,000	0,007	0,002	0,010	0,003	0,011	0,004	0,016
Ortanca	0,230	0,627	0,112	0,228	0,016	0,258	0,128	0,400	0,134	0,550
Kip	0,145	0,527	–	–	–	–	0,128	0,387	0,113	0,540
Standart Sapma	0,042	0,152	0,002	0,052	0,009	0,066	0,014	0,085	0,017	0,117
Örnek Varyans	0,002	0,023	0,000	0,003	0,000	0,004	0,000	0,007	0,000	0,014
Basıklık	–1,839	10,542	0,195	0,675	–1,482	0,602	–0,238	–0,708	–0,801	–0,220
Çarpıklık	–0,299	2,730	1,101	1,105	–0,091	0,903	–0,667	0,529	0,205	0,920
Aralık	0,107	0,865	0,006	0,222	0,027	0,282	0,048	0,305	0,055	0,450
En Büyük	0,138	0,527	0,111	0,186	0,001	0,183	0,094	0,282	0,107	0,460
En Küçük	0,245	1,392	0,117	0,408	0,028	0,465	0,142	0,587	0,162	0,910
Toplam	3,815	31,277	2,259	13,239	0,352	12,390	2,486	24,392	2,398	31,983
Veri Adedi	19	47	20	54	24	46	20	60	18	54
Normal Dağılım içim KI–KARE test sonucu	0,704	0,905	1,000	0,999	0,986	0,998	0,888	1,000	0,998	0,982



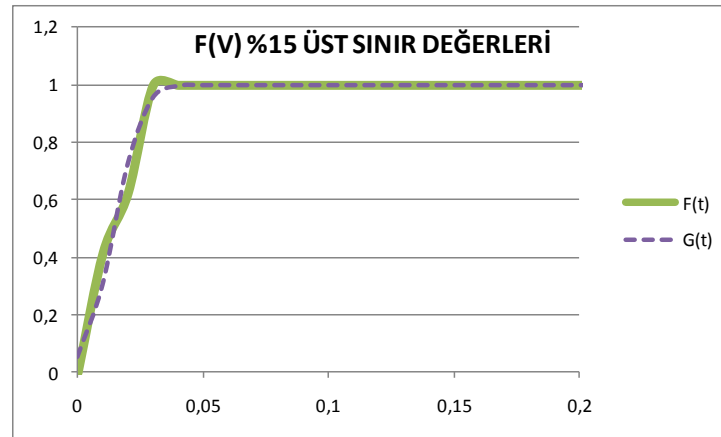
Şekil 7.29 MPD, $F(60)$, $F(V)$, DFT ve MTD olasılık dağılım fonksiyonunun sınır değer altında ve üstünde kalan değerlerin normal dağılım ile uyum grafikleri



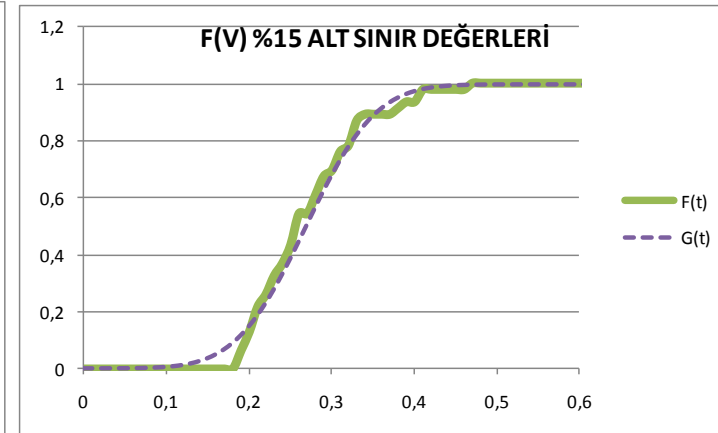
(c)



(d)

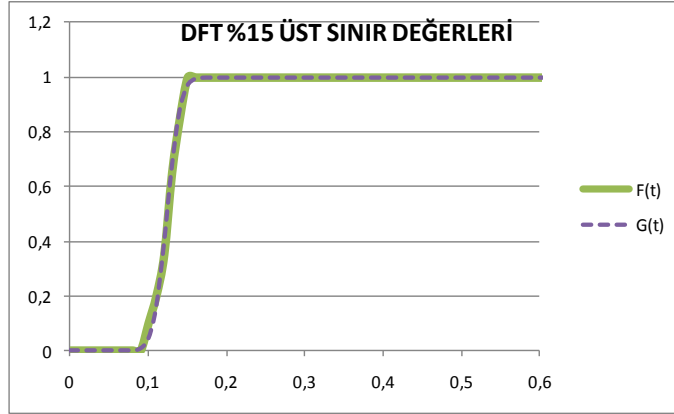


(e)

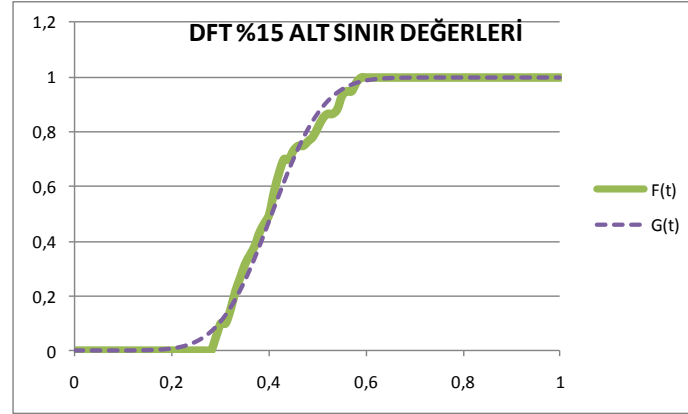


(f)

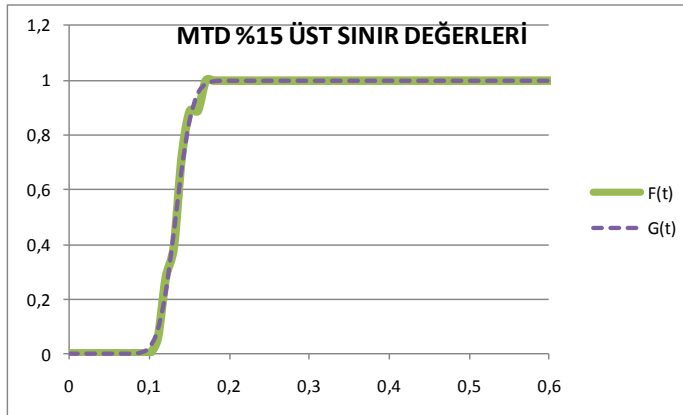
Şekil 7.30 MPD, F(60), F(V), DFT ve MTD olasılık dağılım fonksiyonunun sınır değer altında ve üstünde kalan değerlerin normal dağılım ile uyum grafikleri



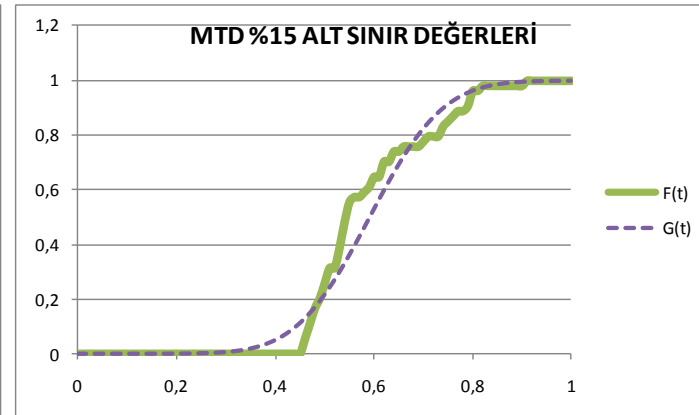
(g)



(h)



(i)

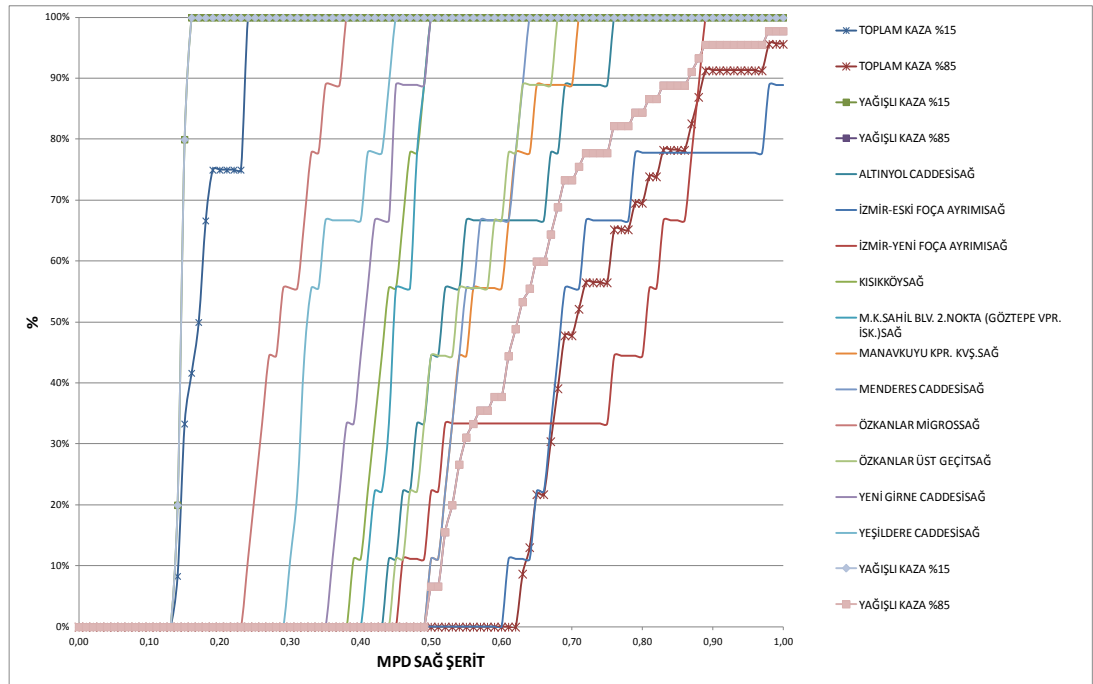


(j)

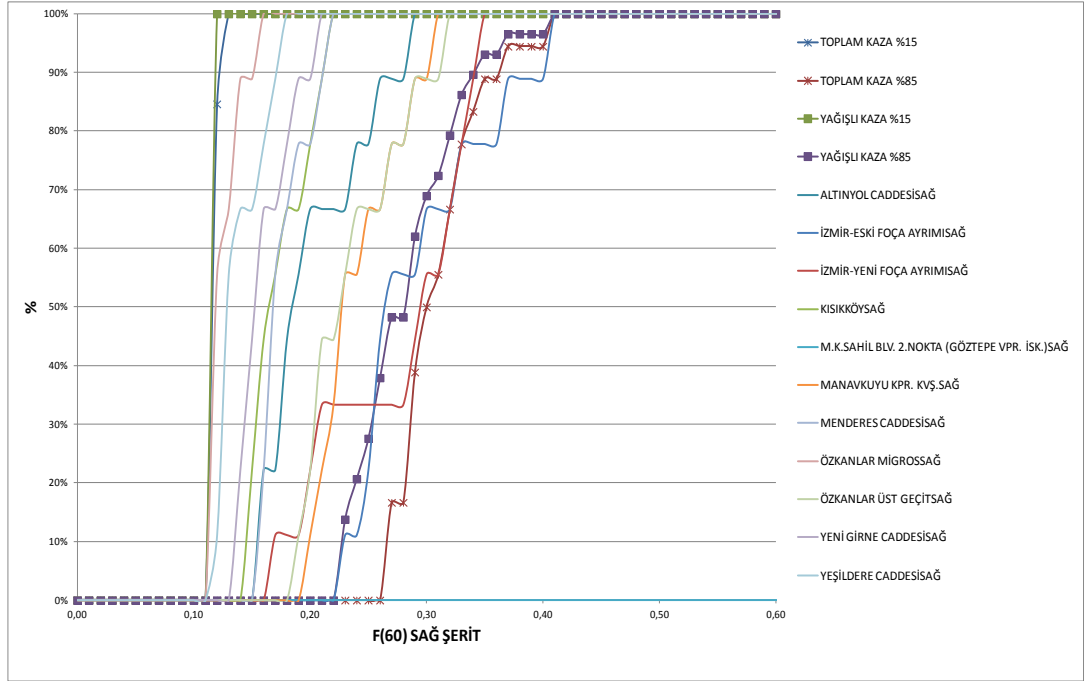
Şekil 7.31 MPD, $F(60)$, $F(V)$, DFT ve MTD olasılık dağılım fonksiyonunun sınır değer altında ve üstünde kalan değerlerin normal dağılım ile uyum grafikleri

7.3.2 Şerit Bazında Olasılık Temelli Yaklaşım İle Kaza-Sürtünme İlişkinin Değerlendirilmesi

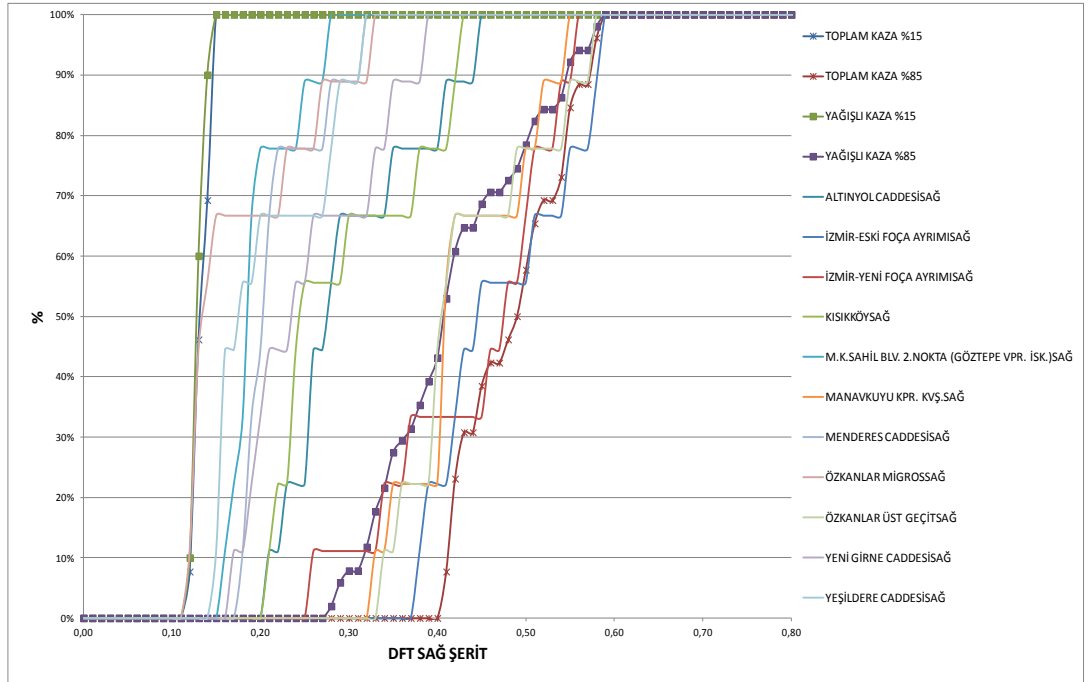
Çalışmalarda, ölçümler sırasında daha güvenli olması sebebiyle istasyon noktaları genelde sağ şeritte seçilmiştir. Bu sebeple, yukarıda yapılmış olan işlemler sadece sağ şerit bazında tekrar uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 7.32~Şekil 7.35 'de görülmektedir.



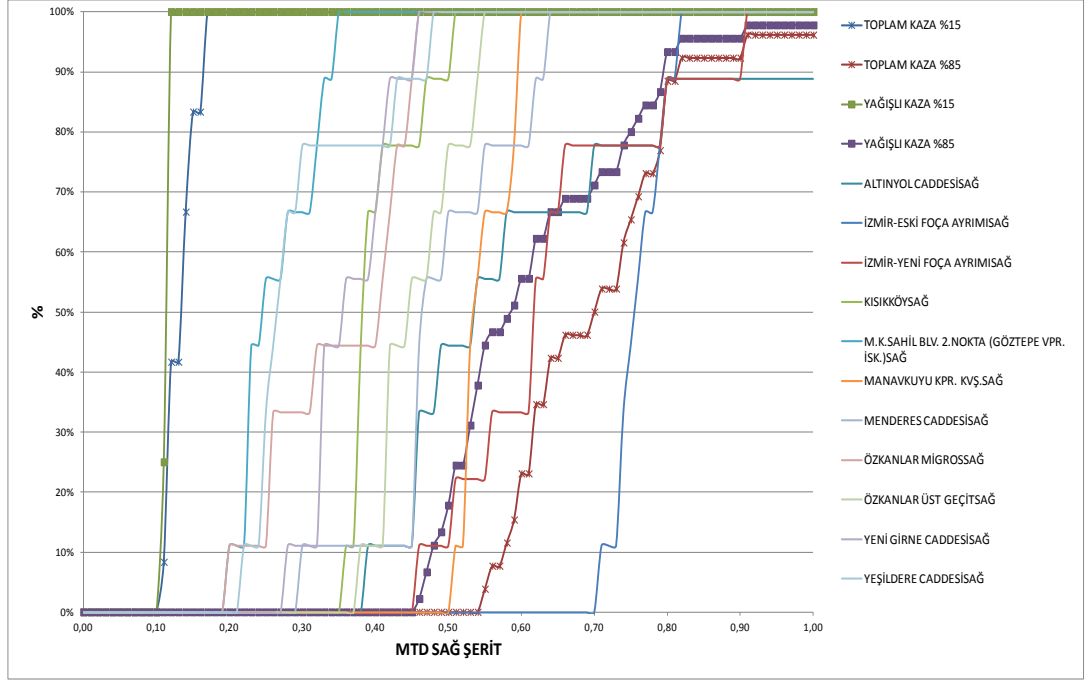
Şekil 7.32 Sağ şerit MPD değerleri ile kazalar arasındaki ilişkiye ait olasılık dağılım grafiği



Şekil 7.33 Sağ şerit F(60) değerleri ile kazalar arasındaki ilişkiye ait olasılık dağılım grafiği



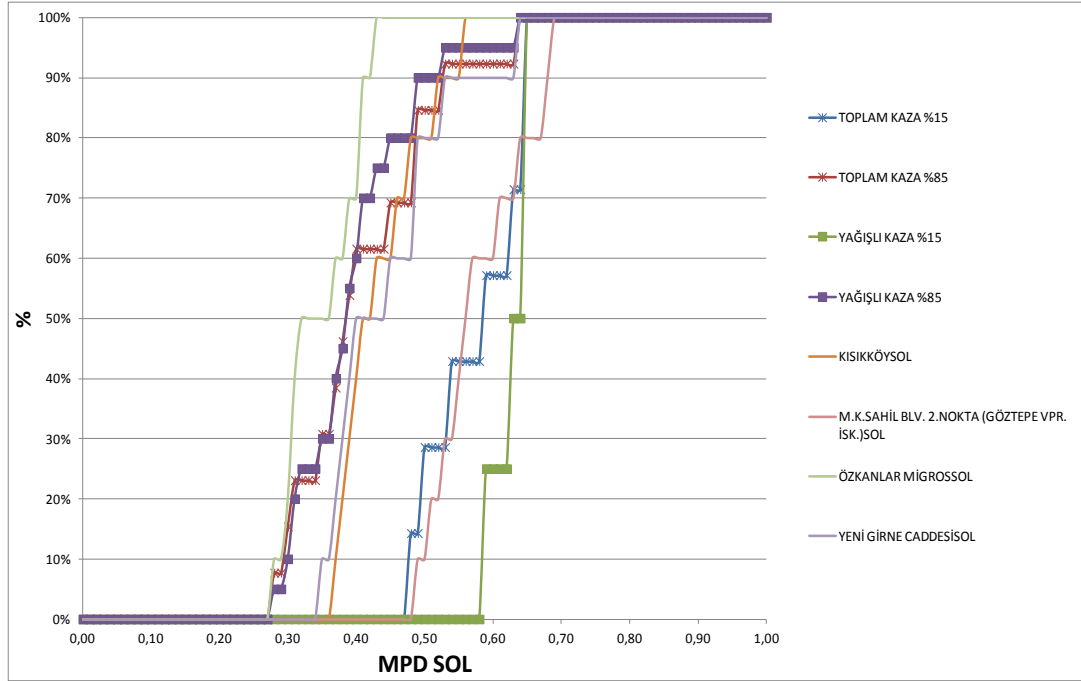
Şekil 7.34 Sağ şerit DFT(20) değerleri ile kazalar arasındaki ilişkiye dair olasılık dağılım grafiği



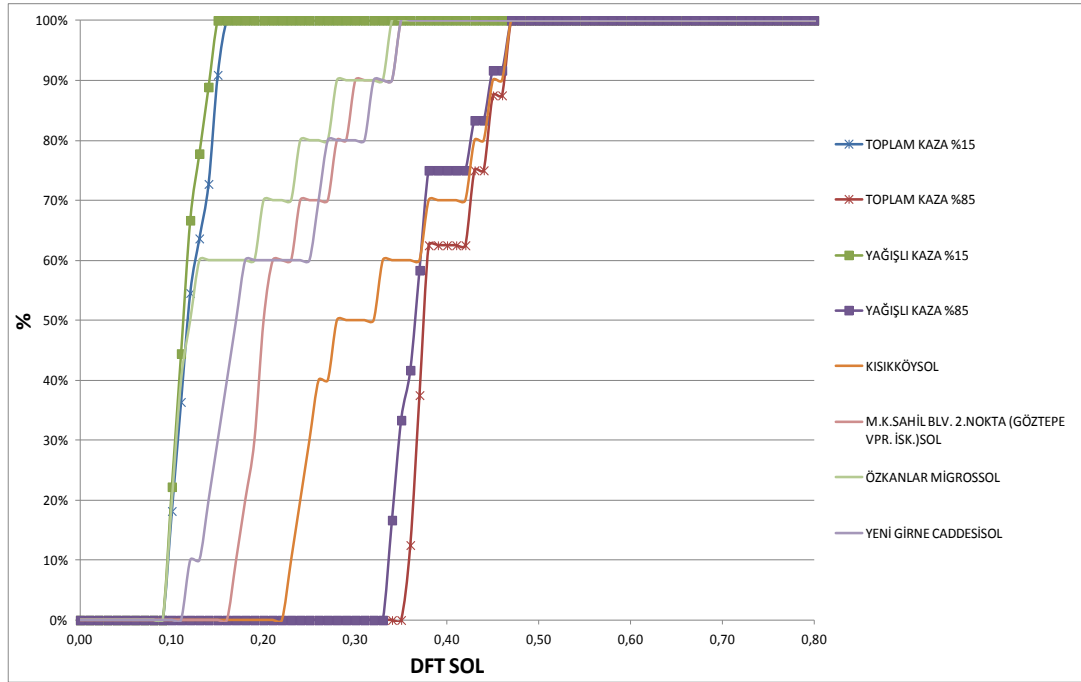
Şekil 7.35 Sağ şerit MTD değerleri ile kazalar arasındaki ilişkiye dair olasılık dağılım grafiği

Şekiller incelendiğinde, tüm veriler dikkate alınarak elde edilmiş olan grafiklerden farklı olarak Eski Foça ve Yeni Foça istasyon noktalarına ait eğrilerin büyük oranda üst sınıra yakın ve altında kaldığı görülmektedir. Bu durum, sağ şeridin genelde ağır araçlar tarafından kullanıldığı (her iki istasyon noktasının bulunduğu arter, İzmir-Çanakkale yolu üzerinde olup, özellikle Aliğa'dan İzmir yönüne gelen yüklü yakıt tankerleri sağ şeridi kullanmaktadırlar) ve buna bağlı yüzey dokusunun azaldığı şeklinde yorumlanabilir.

İstasyon noktası daha az olmakla birlikte, sol şeritte yapılmış olan ölçümler kullanılarak da bir irdeleme yapılmıştır (Şekil 7.36 ve Şekil 7.37). Şekiller incelendiğinde yağmurlu havada meydana gelen kazaların üst sınırının toplam kazalardan daha üstte yer aldığı görülmektedir. Bu da sol şeritteki sürücülerin daha hızlı araç kullanmalarının bir sonucu olarak kabul edilebilir.



Şekil 7.36 Sol şerit MPD değerleri ile kazalar arasındaki ilişkiye ait olasılık dağılım grafiği



Şekil 7.37 Sol şerit DFT(20) değerleri ile kazalar arasındaki ilişkiye ait olasılık dağılım grafiği

Ülkemiz ve diğer ülkelerde yapılan istatistikler 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. Çünkü bahsedilen faktörlerle ilgili tutulan istatistikler, en azından sayıları

ve içerikleri itibari ile sağlıklı değildir. Çoğu kez yol kusurundan meydana gelen kazalar sürücü kusuru olarak kayıtlara geçmekte ve böylece yol kusuru istatistik verilerde daha düşük oranda oluşmaktadır. 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.

Yol yüzey özelliklerinin doğrudan trafik güvenliği ve dolayısı ile kaza oluşumları üzerinde etkili bir faktör olduğu yukarıda ayrıntıları ile açıklanan nedenlerle açıkça görülmektedir. Dolayısı ile çalışma sonucunda gerek kaplama yenilenmesi, gerekse alınacak güvenlik tedbirleri ile insan hayatı ve kaza sonucu oluşan ekonomik kayıplar en aza indirilmiş olacaktır.

BÖLÜM SEKİZ

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 kurpta hareketi veya ani manevralar sırasında savrulmamasını mümkün kılmalıdır. Kaplama bu özelliği yeteri derecede sağlamadığı, sürücü fren tedbirine başvurduğunda güvenle duramadığı taktirde, 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 S_p 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. Ancak 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 kaplamada, 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 arttırılmalı, sonuçlar laboratuvar ve arazi deneyleri ile doğrulanmalıdır.

Otomatik sayaç sisteminin yaygınlaştırılması ve ölçüm istasyonu sayısı arttırılması ile araç sayısı ve kompozisyonuna dair sağlıklı veriler toplanarak,

kaplama üzerinden geçen trafiğın yarattığı dinamik etkilerin kaplama dokusu üzerindeki etkisi daha sağlıklı değeriendirilebilecektir. Aynı zamanda, yol yüzey dokusuna ilişkin ölçümlerin ileri teknolojik hassas cihazlarla yapılması durumunda mikro dokunun sürtünme üzerine etkisi de etkin bir şekilde ortaya konabilecektir.

Kaza verilerinin düzenli ve sağlıklı depolanması, trafik kaza tutanakların kaza oluşumunun maddi hasar odaklı değil, oluşum nedenini yansıtabilecek şekilde tutulması sağlanmalıdır. Bu sayede sağlıklı ve geniş çaplı araştırmaların yapılmasına olanak sağlanacaktır.

Tez kapsamında fotoğraf ile mikrodoku saptayabilmek için alternatif yöntemler geliştirilmeye çalışılmıştır fakat yetiştirilememiştir. Mikrodoku saptanmasına dair farklı disiplinlerle ortak çalışmalar yapılmalıdır.

Araç sürücülerinin ülkemiz ve dünyada sürtünmenin hız ile azalması, yağışlı havalarda sürtünmenin azaldığına dair bilinçlendirilmesi sağlanmalıdır. Bu bilinçlenme sürücülerin araç kullanırken daha tedbirli olması ve kaza sayısının azalmasına yardımcı olacaktır.

KAYNAKLAR

- Abe, H., Tamai A., Henry J.J. ve Wambold J.C. (2002). Measurement of pavement macrotexture with circular texture meter. *Transportation Research Record*, 1764, Washington, D.C., Transportation Research Board, National Research Council, 201-209.
- Ağar, E., Süttaş, İ. ve Öztaş, G. (1998). *Beton yollar (Rijit üst yapılar)*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Andersen, A. ve Wambold, J.C. (1999). *Friction fundamentals, concepts and methodology, TP 13837E*. Canada: Transportation Development Centre.
- American Standard of Testing Materials. (2005). *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.
- American Standard of Testing Materials. (2009). *ASTM E 1845–09, Standard practice for calculating pavement macrotexture mean profile depth*, ASTM International, Volume 04.03, West Conshohocken, Pennsylvania West Conshohocken, PA, United States.
- American Standard of Testing Materials. (2006). *ASTM E 965–96, 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.
- American Standard of Testing Materials. (2011). *ASTM E 1960–07, Standard Practice for Calculating International Friction Index of a Pavement Surface*, ASTM International, West Conshohocken, PA, United States.

- Bray, J. (2002). The role of crash surveillance and program evaluation: NYSDOT's Skid Accident Reduction Program (SKARP), *Presented at 28th International Forum on Traffic Records and Highway information Systems*, Orlando, Florida.
- Brengart, M. (1983). Drainoroute mesure du pouvoir drainant de la texture d'une surface routiere, *Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, Paris, 17-28.
- Cairney, P. (1997). Skid resistance and crashes – A review of the literature, Research Report No. 311, *ARRB Transport Research Ltd.*, Vermont South Victoria, Australia.
- Cheng, W., Barch, R. ve Dunn, P. (2002). A statistical roughness model for adhesion. *Proceedings of World Congress on Adhesion Related Phenomenon II*, Orlando, FL.
- Clark, S.K. (1981). Mechanism of pneumatic tires, *US Department of Transportation, National Highway Safety Administration*, Washington, DC.
- Choubane, B. (2007). *Pavement surface condition/Performance assessment: Reliability and relevancy of procedures and technologies*, STP 1486, ASTM International, Lancaster, PA.
- ELE. (1999). ELE international, British pendulum friction tester. *Operating Instructions Manual, No:42-6000*, England.
- Ergun, M., İyınam, Ş. ve İyınam, F. (2004). Kayma direnci için uluslararası indeks oluşturma çabaları. 3. *Ulusal Asfalt Sempozyumu*, Ankara, 368-377.
- Ergün, M. (1997). *Road surface micro and macro texture influence on skid resistance*, PhD Thesis, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Ergün, M., İyınam, Ş. ve İyınam, F. (2000). Karayolu üstyapılarının kayma direncinin değerlendirilmesi ve Türkiye karayolları için şartname önerisi. 3. *Ulusal Asfalt Sempozyumu*, Ankara, 204-213.
- Fatality Analysis Reporting System. (1998). National Highway Traffic Safety Administration.
- Fernandes, A. ve Nevres, J. (2011). Modelling road accidents using compound road environments. *3rd International Conference on Road Safety and Simulation*, September 14-16, Indianapolis, USA.
- Flintsch, G.W., Leon, E. De, McGhee, K.K. ve Al-Qadi, I.L. (2003). Pavement surface macro-texture measurement and application. *Transportation Research Board (TRB)*, Washington, D.C.
- Fuentes, L. ve Gunaratne M. (2010). Factors influencing frictional measurement using DFT. *Transportation Research Board*. National Research Council, 1-19.
- Gabrielle, B., Bernardo, C., Clara, C. ve Antonio A. (2009). Evaluation of the laboratory prediction of surface properties of bituminous mixtures. *Construction and Building Materials*, 23, 943-952.
- Gandhi, P.M., Colucci, B. ve Gandhi, S.P. (1991). Polishing of aggregates and wet-weather accident rates for flexible pavements. *Transportation Research Record 1300*, Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Giles, C.G., Sabey B.E. ve Cardew K.H.F. (1962). Development and performance of the portable skid resistance tester. *ASTM Special Technical Publication No. 326*, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pennsylvania.
- Glennon, J.C. (1996). *Roadway defects and tort liability*. Lawyers&Judges Publishing Company, Inc., Tucson, Arizona.

- Gothie, M., (1996). Relationship between surface characteristics and accidents. *Proceedings of 3rd International Symposium on Pavement Surface Characteristics*, Christchurch, New Zealand.
- Günay, B., (2004). An investigation of lane utilisation on Turkish highways. *ICE Journal of Transport*, 157 (1), 43-49.
- Hall, J.W., Smith, K.L, Glover L.T., Wambold, J.C., Yager, T.J. ve Rado, Z. (2009). *Guide for pavement friction*, NCHRP, Project No:01–43.
- Hanson, D. ve Prowell, B. (2004). Evaluation of circular texture meter for measuring surface texture of pavements. *NCAT Report No:04-05*, Auburn University.
- Harwood, D.W., Blackburn, R.R., Kulakowski, B.T., ve Kibler, D.F. (1987). Wet weather exposure measures, *Federal Highway Administration (FHWA), Report No. FHWA/RD-87/105*, Washington, D.C.
- Hayes, G.G., Ivey, D.L. ve Gallaway, B.M. (1983). Hydroplaning, hydrodynamic drag, and vehicle stability. *American Society for Testing and Materials (ASTM), Special Technical Publication 793*, Philadelphia, Pennsylvania.
- Highway Capacity Manual. (1985). *Transportation Research Board, National Research Council, Special Report 209* (3rd ed.) Washington D.C.
- Henry, J.J. (2000). Evaluation of pavement friction characteristics. *National Cooperative Highway Research Program (NCHRP), NCHRP Synthesis 291*, Washington, D.C.
- Henry, J.J., Abe, H., Kameyama, S., Tamai, A. ve Saito, K. (2000). Determination of the international friction index using circular texture meter and dynamic friction tester. *4th International Symposium on Pavement Surface Characteristics on Roads and Airfields*, Nantes, France, 109-121.

Hosking, J. K. (1987). Relationship between skidding resistance and accident frequency: estimates based on seasonal variations, *TRRL Report RR76*, Department of Transport, Crowthorne, UK.

International Organization for Standardization. (1997). *Characterization of pavement texture by use of surface profiles, Part 1: Determination of Mean Profile Depth*, ISO 13473-1.

Interlocking Concrete Pavement Institute (2010).(21 Mart 2011).
<http://www.icpi.org..>

ITE, The Traffic Safety Toolbox. (1993). *A primer on traffic safety 2nd Ed.*

İyınam, Ş., Ergun, M. ve İyınam F. (1998). Esnek yol üstyapılarında modern düzgünsüzlük ölçüm sistemleri. 2. *Ulusal Asfalt Sempozyumu*, 218-227, Ankara.

İzmir Ticaret Odası Web Sitesi (2008) (16 Haziran 2008) <http://www.izto.org.tr/IZTO/TC/IZTO+Bilgi/izmir/ekonomi/eko2.htm>.

Jayawickrama, P.W. ve Thomas, B. (1998). 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.

Kalyoncu, F. ve Tığdemir M. (2000). Yol yüzey karakteristiklerinin trafik güvenliğine etkisi. 3. *Ulusal Asfalt Sempozyumu*, 194-205, Ankara.

Kamel, N. ve Gartshore, T. (1982). Ontario's wet pavement accident reduction program. *ASTM Special Technical Publication 763*, American Society of Testing and Materials, Philadelphia, Pennsylvania.

Karayolları Genel Müdürlüğü. (2008). *2007 Trafik ve Ulaşım Bilgileri*, T.C. Ulaştırma Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara.

- Karayolları Teknik Şartnamesi. (2013). *T.C.Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü*, Ankara.
- Larson, R.M. (1999). Consideration of tire/pavement friction/texture effects on pavement structural design and materials mix design. *Federal Highway Administration (FHWA)*, Office of Pavement Technology, Washington, D.C.
- Mc Cullough, B.V. ve Hankins, K.D. (1966). Skid resistance guidelines for surface improvements on Texas highways. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 131, TRB, Washington, D.C.
- Mc Lean, J. (1995). The relationship between pavement condition and road safety. *Load-Pavement Interaction Workshop*, Newcastle.
- Meyer, W.E. (1982). Synthesis of frictional requirements research. *Federal Highway Administration, Report No. FHWA/RD-81/159*, Washington D.C.
- Miller, M.M. ve Johnson, H.D. (1973). Effects of resistance to skidding on accidents: surface dressing on an elevated section of the M4 motorway. *Transport and Road Research Laboratory, Report No. LR 542*, Berkshire, United Kingdom.
- Organization for Economic Cooperation and Development. (1984). OECD road surface characteristics—their interaction and their optimization, *OECD Scientific Expert Group, Road Transport Research*, Paris, France.
- Organization for Economic Cooperation and Development. (1995). Road infrastructure rehabilitation and safety strategies in central and eastern Europa, Paris, 11-15.
- Piyatrapoomi, N., Weligamage, J. ve Bunker, J. (2008). A probability- based approach for assessing the relationship between road crashes and road surface

conditions, *Australian Road Research Policing and Education Conference*, Melbourne.

World Road Association (PIARC). (1995). *International PIARC experiment to compare and harmonize texture and skid resistance measurements*. World Road Association, Paris.

Radlinski, R.W. ve Williams, S.F. (1985). Stopping capability of air-braked vehicles, *NHTSA Heavy Duty Vehicle Brake Research Program, Report No. DOT-HS-806-738*, National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), Washington, D.C.

Rado, Z. (1994). Analysis of texture models. *Pennsylvania Transportation Institute (PTI), Report No. 9510*, Penn State University, State College, Pennsylvania.

Rado, Z., Yager, T.J., Wambold, J.C. ve Hall, J.W. (2006). *Guide for pavement friction*, Final Report Prepared for NCHRP, Project No:1-43.

Rizenbergs, R.L., Burchett, J.L ve Napier C.T. (1972). *Skid resistance of pavements*, Report No. KYHPR-64-24, Part II, Kentucky Department of Highways, Lexington, Kentucky.

Sandberg, U. ve Ejsmont J.A. (2002). *Tyre/road noise reference book*, ISBN 91-631-2610-9, Informex, Kisa, Sweden.

Schulze, K.H., Gerbaldi, A. ve Chavet, J. (1976). Skidding accidents, friction numbers, and the legal aspects involved. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 623, TRB, Washington, D.C.

Şahin, İ. ve Akyıldız, G. (2004). Examination of traffic flows in Bosphorus bridge toll plaza in Istanbul, *Advances in Civil Engineering 2004, 6th International Conference*, Proceedings Book, 1839-1849.

- Şengöz, B., Tanyel, S., Görkem, Ç. ve Kaçmaz, B. (2010). İzmir şehir içi yolların kayma dirençlerinin trafik güvenliği açısından değerlendirilmesi, DEÜ Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt: 12 Sayı:1, 75–85.
- Tanyel, S. (2001). Türkiye’deki dönel kavşaklar için kapasite hesap yöntemi. Doktora Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tunç, A. (2004). *Yol güvenlik mühendisliği ve uygulamaları*, Asil Yayın Dağıtım, Ankara.
- T.C. Başbakanlık Türkiye İstatistik Kurumu (2008). (16 Nisan 2008). http://tuikrapor.tuik.gov.tr/reports/rwservlet?adnks=&report=turkiye_il_koy_sehir.RDF&p_il1=35&p_kod=2&desformat=html&ENVID=adnksEnv.
- Wallman, C.G. ve Astrom, H. (2001). Friction measurement methods and the correlation between road friction and traffic safety. *Swedish National Road and Transport Research Institute*, VTI Meddelande 911A, Linköping, Sweden.
- Xiao, J., Kulakowski B.T. ve El-Gindy, M. (2000). Prediction of risk of wet-pavement accidents: fuzzy logic model, *Transportation Research Record 1717*, Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Yager, T. J. ve Bühlmann F. (1982). 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.

EKLER

EK-1 KISALTMALAR

3B	: Üç boyutlu
3D	: Üç boyutlu
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation : Officials
ABS	: Kilitlenmeyen fren sistemi
ABT	: Ana bileşen tahlili(Principle Component Analysis (PCA))
AC	: Asfalt betonu
ASTM	: American Standarts of Testing Materials
BCC	: El ile pürüzlendirilmiş çimento betonu
BPN	: İngiliz sarkacı(British Pendulum)
BPN	: İngiliz sarkacı sayıları (British Pendulum Number)
BSK	: Bitümlü Sıcak Karışım
$\hat{C}^2$	: Doku ölçümleri ile ilgili şekil faktörü
CC	: Donatısız beton plaklar
CCC	: Mıhlanmış agregalı çimento betonu
CRCP	: Sürekli donatılı çimento betonu
CTM	: Dairesel Doku Metre
ÇARP.	: Çarpma
D	: Dairesel yayılan kumun ortalama çapı
D.A.Ç	: Duran Araca Çarpma
DEV	: Devrilme
DFT	: Dinamik sürtünme deneyi (Dynamic Friction Test)
DFT	: Dinamik sürtünme ölçer cihazı (Dynamic Friction Tester)
EOM	: Elektro-optik (Lazer) Yöntemi
F	: Teğetsel sürtünme kuvveti
F(V)	: IFI 'a ilişkin taşıt hızına bağlı sürtünme değeri
F(60)	: 60 km/saat hızdaki normalleştirilmiş sürtünme değeri
F_A	: Adezyon kuvveti
F_B	: Frenleme kayma kuvveti
F_g	: Zemin kuvveti
F_H	: Histerezis kuvveti
FHWA ROSAN	: Yüksek hızlı lazer doku ölçüm cihazları
F_R	: Serbest dönme direnç kuvveti
$FR_{(s)}$	: Kayma direnci değeri

F_s	: Yanal sürtünme
HS	: Kum yüksekliği
ICPI	: Interlocking Pavement Institute
IFI	: Uluslararası kayma indeksi (International Friction Index)
k	: Trafik yoğunluğu
KGM	: T.C. Ulaştırma Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü
k_j	: Tıkanma yoğunluğu
ko	: Optimum yoğunluk
KTŞ	: Karayolları teknik şartnamesi
LCD	: Sıvı kristal ekran(Liquid Crystal Display)
M_B	: Frenlemeden doğan ek moment
MPD	: Ortalama Profil Derinliği (Mean Profile Depth)
MTD	: Ortalama Doku Derinliği (Mean Texture Depth)
n	: Taşıt sayısı
NCAT	: National Center for Asphalt Technology
OECD	: Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü
OFM	: Outflow Metre
OGT	: Ortalama günlük trafik
P	: Merkezkaç kuvveti
PA	: Geçirimli kaplama
PCC	: Geçirimli çimento betonu
PD	: Profil Derinliği (Profile Depth)
PIARC	: Yol Kongreleri Daimi Birliği
q	: Hacim
qm	: Trafik akımı maksimum değeri
R	: Kurb yarıçapı, m
r	: Lastiğin ortalama yarıçapı (m)
S	: Kayma hızı (km/saat)
SC	: Maksimum sürtünme anındaki kayma hızı
SCÇAP.	: Sabit Cisme Çarpma
SCRIM	British Sideways Force Coefficient Routine Investigation Machine
SFC	: Enine sürtünme katsayısı (Sideway Force Coefficient)
SN	: Kayma sayısı (Skid Number)
SP	: Hız sayısı(Speed Number)
SPM	: Kum Yama Deneyi
SRT	: Kayma direnci ölçme testi(Skid Resistance Test)
SS	: Harç tipi kaplama
t	: Zaman
TD	: Doku Derinliği (Texture Depth)

TMA	: Taş mastik asfalt(Stone Mastic Asphalt (TMA))
TRAMER	: Trafik Sigortaları Bilgi Merkezi
TRRL	: Yüksek hızlı profilometre
u	: Trafik akım hızı
uf	: Serbest akım hızı
uo	: Optimum akım hızı
V	: Araç hızı, km/saat
V_p	: Lastiğin ortalama çevresel hızı (km/saat)
W	: Araç ağırlığı
YAYA	: Yaya Kaynaklı Kaza
YOGT	: Yıllık ortalama günlük trafik
YOL.ÇKM.	: Yoldan Çıkma
α	: Enine eğim (m/m)
μ	: Sürtünme kuvveti katsayısı
$\mu_{(s)}$	: Sürtünme değeri
μ_{peak}	: Maksimum sürtünme katsayısı
ω	: Lastiğin açısal hızı (derece/saniye)
F_w	: Düşey yük