



**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



DOKTORA TEZİ

**ŞEHİRİÇİ YOLLARDA ÜSTYAPI BAKIM YÖNETİM
SİSTEMİ KURULMASI, TÜRKİYE ÖRNEĞİ**

Ufuk KIRBAŞ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İnşaat Mühendisliği Programı

Danışman


Prof. Dr. Mustafa KARAŞAHİN


Aralık, 2013

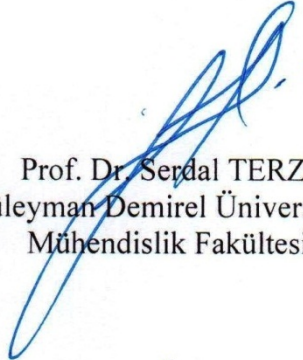
İSTANBUL


Bu çalışma 25 / 12 / 2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı İnşaat Mühendisliği Programında Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

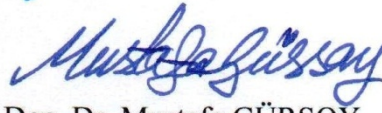
Tez Jürisi:


Prof. Dr. Mustafa KARAŞAHİN
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi


Prof. Dr. Ekrem MANİSALI
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi


Prof. Dr. Serdal TERZİ
Süleyman Demirel Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi


Doç. Dr. Murat ERGÜN
İstanbul Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi


Doç. Dr. Mustafa GÜRİSOY
Yıldız Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi

Bu alışma İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin 21794 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Ve Bitti! Hayatımın son döneminde önemli bir yer tutan bu tez çalışması, mühendisliğin yanında insanları da öğretti bana. Uzun ve sıkıcı bir hikayedir. Sonuçlarını paylaştığım bu çalışma için, ve hatta sırf bir doktora tezi bitirebilmek için çok emek harcadığımı dürüstçe söyleyebilirim. Halbuki, kader bana en başından değerli hocamla çalışma imkanını sunmuş olsaydı belki de bu emeği bu tarihlerde Doç.Dr. ünvanını almak için harcıyor olabilirdim. Fakat, bir büyüğümün dediği gibi “Farkında mısın Ufuk, büyüyorsun” sözü her şeyi açıkladı ve bana yetti. Büyümek böyle bir şeymiş demek ki. İnsanların yaşına hürmetim arttı. İnsan yaşadıkça ve insanları tanıdıkça zenginleşiyormuş meğerse. Her geçen gün zenginleşiyorum kanaatimce.

Doktora hikayem çok uzun sürse de, vücuda getirmeye çalıştığım bu doktora tezi yaklaşık iki yıl kadar sürdü. Yaptığım tüm çalışmalar boyunca çok kişiden yardım aldım, maddinin yanında manevi olarak da çok destek gördüm. Aslında, çok kişiye minnet borçluyum. Ama herkesten çok, ilk görüşmemizden itibaren bana güvenen, beni hep doğru yönlendiren, verdiği her türlü destekle bu çalışmayı tamamlamama vesile olan çok değerli hocam, tez danışmanım sayın Prof.Dr. Mustafa KARAŞAHİN’e çok ama çok teşekkür ederim. Ayrıca, beni elimden tutulmaya layık biri olarak gören, hocamla tanışmama vesilen olan, benim de tesadüf eseri tanıştığım büyüğüm, ağabeyim sayın İnşaat Yük. Müh. Ahmet Gürkan GÜNGÖR’e çok ama çok teşekkür ederim. Bu insanları tanımamış olmasaydım bu çalışmayı yapamazdım o kesin.

Çalışma sırasında çok kişi benim için mesai harcamıştır. Özellikle, farklı sürücü ağırlığındaki titreşimleri test etmek için beni kırmayarak kilometrelerce yol benimle gelen ve saatlerce araç süren değerli arkadaşlarım Görkem İĞCİ ve Mustafa VAR’a çok teşekkür ederim. Öte yandan, manevi desteklerinin yanında tüm çalışmalarım boyunca bana destek olan Fuat ÇİLİNGİR’e oda arkadaşların Sinan Araç ve Serdar BEKTAŞ’a teşekkürü borç bilirim.

Çalışma sırasında, Üniversiteyle iletişimimi sağlayan ve benim kahrımı çok çeken arkadaşım Arş.Gör. S.Cankat TANRIVERDİ’ye teşekkür ederim.

Tüm hayatım boyunca üzerimden maddi ve manevi desteğini esirgemeyen tüm aileme ve beni sabırla bekleyen canım Yasemin SEMERCİ’ye çok teşekkür ederim.

Aralık, 2013

Ufuk KIRBAŞ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİL LİSTESİ.....	iv
TABLO LİSTESİ	vi
SEMBOL LİSTESİ	viii
ÖZET.....	x
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL KISIMLAR	7
2.1. ÜYS KAVRAMI VE ÜSTYAPI DEĞERLENDİRMELERİ	7
2.2. ÜSTYAPI YÖNETİM SİSTEMİ	33
2.2.1. Üstyapı Yönetiminin Gerekli Özellikleri	34
2.2.2. Üstyapı Yönetim Düzeyleri ve Fonksiyonları.....	35
2.2.3. ÜYS Fonksiyonları.....	37
2.3. ÜYS'DE KULLANILAN VERİLER VE KULLANIM AMAÇLARI.....	42
2.3.1. Üstyapı Yönetiminde Veri İhtiyaçlarına Genel Bakış ve Sınıflandırma.....	42
2.3.2. Envanter Veri İhtiyaçları ve Tipleri	47
2.4. ÜSTYAPI PERFORMANSI	50
2.4.1. Üstyapı Düzensizliğünün Belirlenmesi	52
2.4.2. Düzensizlik Değerlendirmede Kullanılan Ekipmanlar	53
2.4.2.1. Üstyapı Profil Ölçüm Aygıtları (Profilometreler).....	54
2.4.2.2. Profilograflar	56
2.4.2.3. Tepki Tipli Aygıtlar (İvme Ölçerler)	57
2.5. ULUSLARARASI DÜZGÜNSÜZLÜK ÖLÇÜM STANDARTLARI	59
2.5.1. Çeyrek-araç Simülasyonu (Quarter-car simulation)	59
2.5.2. Karesel Ortalama Düşey İvmelenme (RMSVA).....	61
2.5.3. Eğim Varyansı (SV).....	63
2.6. ÜSTYAPININ YAPISAL KAPASİTESİ VE BOZULMALAR	63

2.6.1. Tahribatsız Yapısal Değerlendirme.....	63
2.6.2. Tahribatlı Yapısal Değerlendirme.....	69
2.7. YÜZEY BOZULMA ETÜDLERİ, PRENSİPLERİ VE BİLEŞENLERİ.....	70
2.7.1. Araştırma Metodolojisi	71
2.7.2. Üstyapı Bozulma Tipleri	71
2.7.3. Üstyapı Bozukluklarının Değerlendirilmesi için Kullanılan Ekipmanlar	74
3. MALZEME VE YÖNTEM	79
3.1. YÜZEY BOZULMA VERİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ	79
3.1.1. PAVER Sistemi Ağ Tanımlaması	80
3.1.1.1. Bölüm Tanımlama	80
3.1.1.2. Kesim Tanımlama	81
3.1.1.3. Diğer Kesim Sınıflamaları	84
3.1.2. PAVER Sistemi Üstyapı Performans Araştırma ve Oranlama Prosedürü ...	85
3.1.2.1. Üstyapının Örnek Alanlara Bölünmesi	86
3.1.2.2. Bozulma Verileri Toplanacak Örnek Alanların Belirlenmesi.....	87
3.1.2.3. Bozulma Verilerinin Toplanması	92
3.1.2.4. PCI Değerinin Hesaplanması	94
3.2. TİTREŞİM VERİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ	95
4. BULGULAR	104
4.1. YOL AĞI VE ÜSTYAPILARIN MEVCUT PERFORMANSI.....	105
4.2. TİTREŞİM DEĞERLENDİRMESİ	118
4.3. PCI TAHMİN MODELİ OLUŞTURULMASI.....	145
4.4. ÜYS KURULMASINDA İZLENECEK ADIMLAR	152
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	164
KAYNAKLAR	172
EKLER.....	178
EK 1. Asfalt Kaplamalı Üstyapılar için Örnek Alanda PCI Hesabı.	179
EK 2. Kesimlere Ait Değerlendirme Verileri.	183
ÖZGEÇMİŞ.....	187

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Yol değerlendirmesi ve yol düzgünsüzlüğü arasındaki sapma değerleri.	30
Şekil 2.2: Bir ÜYS'nin temel bileşenleri ve aralarındaki ilişki (Haas vd., 1994).	34
Şekil 2.3: Üstyapı yönetimi ve temel bileşenlerinin şeması (Haas vd., 1994).	36
Şekil 2.4: ÜYS alt sistemlerinin toplam maliyet üzerindeki etkileri (Haas vd., 1994). .	37
Şekil 2.5: Üstyapı değerlendirmesinde kullanılan çıktılar (Haas vd., 1994).	41
Şekil 2.6: Hizmet yeteneği (Sürüş konforu) bozulması (Haas vd., 1994).	50
Şekil 2.7: PSI belirlemede kullanılan form (Terzi, 2004).	52
Şekil 2.8: AASHO yol testi profilometresi şematik görünümü (Haas vd., 1994).	54
Şekil 2.9: Yüzey çubuğunun şematik görünümü (Haas vd., 1994).	55
Şekil 2.10: TRRL profilometresinin şematik görünümü (Haas vd., 1994).	55
Şekil 2.11: Eylemsizlik profili kavramı (Haas vd., 1994).	56
Şekil 2.12: Profilograf şematik görünümü (Haas vd., 1994).	57
Şekil 2.13: Maysmeter (Haas vd., 1994).	58
Şekil 2.14: Çeyrek simülasyon modeli (Haas vd., 1994).	60
Şekil 2.15: RMSVA için üstyapı profili gösterimi (Haas vd., 1994).	61
Şekil 2.16: Benkelman kirişi şematik gösterimi (Haas vd.,1994).	66
Şekil 2.17: Dynaflect'in gösterimi (Haas vd.,1994).	67
Şekil 2.18: FWD aleti'nin basit prensipleri (Haas vd.,1994).	68
Şekil 2.19: Dynatest FWD 8000 modeli'nin şematik gösterimi (Haas vd.,1994).	69
Şekil 2.20: Pasco Roadrecon sistemi (Haas vd.,1994).	76
Şekil 2.21: Gerpho otomatik fotoğraflama sistemi (Haas vd.,1994).	77
Şekil 2.22: Otomatik yol çözümleyicisi şematik gösterimi (Haas vd.,1994).	78
Şekil 2.23: Lazer yol yüzey test edici şematik gösterimi (Haas vd.,1994).	78
Şekil 3.1: Tipik üstyapı ağı bölüm örneği (Shahin, 2002).	81
Şekil 3.2: Tahribatsız defleksiyon testi kullanımı örneği (Shahin, 2002).	82
Şekil 3.3: Tipik üstyapı ağı kesim örneği (Shahin, 2002).	83
Şekil 3.4: Park alanı kesimlere ayırma örneği (Shahin, 2002).	84
Şekil 3.5: Bölgelere ayrılmış bir üstyapı ağı (Shahin, 2002).	85
Şekil 3.6: Örnek alanlara ayrılmış bir üstyapı kesimi örneği (Shahin, 2002).	86
Şekil 3.7: Minimum örnek alan sayısı belirleme grafiği (Shahin, 2002).	88
Şekil 3.8: Sistemik rasgele örnekleme örneği (Shahin, 2002).	90
Şekil 3.9: Üstyapı performansı inceleme sayfası örneği (Shahin, 2002).	93
Şekil 3.10: Mekanik titreşimlerde temel büyüklükler (Sabancı, 1999).	96
Şekil 3.11: İnsan vücudunun titreşime duyarlı olduğu frekans aralıkları (Çay, 2006)...	97
Şekil 3.12: İnsanı etkileyen titreşimlerin x, y ve z eksenleri (South, 2004).	97
Şekil 3.13: ISO standardına göre ivmeölçerin konumu (2 nolu nokta).	98
Şekil 3.14: Frekans ağırlık filtresi kazancının frekansa bağlı olarak değişimi.	100
Şekil 3.15: Grafik olarak aw gösterimi.	101
Şekil 3.16: MTVV şematik gösterimi.	102
Şekil 4.1: Samsun İline ait güncellenmiş yol ağı.	106

Şekil 4.2: Yüzey bozulma değerlendirmelerinin yapıldığı yollar (mavi çizgi).	106
Şekil 4.3: Arazi çalışma planı örneği.....	107
Şekil 4.4: PCI hesabı bileşenleri ve PCI ölçeklerinin karşılaştırılması.	109
Şekil 4.5: PAVER paket yazılımı kesim tanımlama ekranı.....	109
Şekil 4.6: PAVER paket yazılımı örnek alan tanımlama ve veri girişi ekranı.	110
Şekil 4.7: Kesimlerin belirlenmesi (Ör. 100. Yıl Bulvarı).	111
Şekil 4.8: Çalışmada değerlendirilen yollar.....	112
Şekil 4.9: Değerlendirme yapılan yolların Standart PCI Ölçeği değerlendirmesi.	112
Şekil 4.10: Standart PCI Ölçeği değerlendirmesi (1. Bölüm).	113
Şekil 4.11: Standart PCI Ölçeği değerlendirmesi (2. Bölüm).	113
Şekil 4.12: Değerlendirme yapılan yolların Geleneksel PCI Ölçeği değerlendirmesi.	114
Şekil 4.13: Geleneksel PCI Ölçeği Değerlendirmesi (1. Bölüm).	114
Şekil 4.14: Geleneksel PCI Ölçeği Değerlendirmesi (2. Bölüm).	115
Şekil 4.15: Değerlendirme Yapılan Yollara Ait Bozulma Türü Dağılımları.....	115
Şekil 4.16: 100. Yıl Bulvarı PCI değerleri CBS görünümü.	116
Şekil 4.17: Üstyapı bozulma tahmin modeli grafik gösterimi.....	117
Şekil 4.18: Araç içerisine yerleştirilen ivmeölçerlerin konumu.	119
Şekil 4.19: İvme ölçüm seti görünümü.....	120
Şekil 4.20: İvme ölçüm seti görünümü.....	120
Şekil 4.21: İvme ölçümünde kullanılan araç.	121
Şekil 4.22: Titreşim ölçümlerinin kesimlere ayrılması (CBS uygulaması).....	122
Şekil 4.23: İvme verilerinin kesimlere ayrılması (MATLAB uygulaması).....	122
Şekil 4.24: 100. Yıl Bulvarı 40 km/sa hızla ivmelenme değişimi.	124
Şekil 4.25: 100. Yıl Bulvarı düşey titreşim parametreleri.	127
Şekil 4.26: düz.aw - PCI logaritmik ilişkisi.....	128
Şekil 4.27: düz.aw / ln(Hız) - PCI logaritmik ilişkisi.....	129
Şekil 4.28: Sürücü koltuğu titreşim – PCI ilişkisi.	139
Şekil 4.29: Orta aks üzeri titreşim – PCI ilişkisi.	140
Şekil 4.30: Sağ ön koltuk titreşim – PCI ilişkisi.....	140
Şekil 4.31: Toplam ortalamalar titreşim – PCI ilişkisi.	141
Şekil 4.32: Sürücü koltuğu titreşim - hız - PCI ilişkisi.....	141
Şekil 4.33: Orta aks üzeri titreşim - hız - PCI ilişkisi.....	142
Şekil 4.34: Sağ ön koltuk titreşim - hız - PCI ilişkisi.....	142
Şekil 4.35: Toplam ortalamalar titreşim - hız - PCI ilişkisi.....	143
Şekil 4.36: PCI değerlerinin normal dağılım histogramı.....	147
Şekil 4.37: PCI değerleri arasındaki farklar.	148
Şekil 4.38: Bakım&Onarım ve yenileme stratejileri şematik gösterimi.....	159
Şekil 4.39: ÜYS kurulmasında izlenecek adımların şematik gösterimi.	163
Şekil Ek1.1: Timsah sırtı çatlaklar için sonuç değer grafiği (Shahin, 2002).	179
Şekil Ek1.2: m_i değeri grafiksel gösterimi (Shahin, 2002).	180
Şekil Ek1.3: Düzeltilmiş sonuç değeri eğrileri (Shahin, 2002).	181
Şekil Ek1.4: Örnek alana ait PCI hesaplama sayfası örneği (Shahin, 2002).	182

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1.1: Ülkemizde üstyapı yatırımları (asmud.org).....	2
Tablo 1.2: İstanbul İli için üstyapı yatırımları (İBB faaliyet raporları).....	2
Tablo 1.3: Samsun İli için üstyapı yatırımları (SBB faaliyet raporları).....	3
Tablo 2.1: Üstyapı verilerinin temel sınıfları ve bileşenleri (Haas vd., 1994).....	43
Tablo 2.2: Üstyapı yönetimine ait verilerin tipik kullanım amaçları (Haas vd., 1994).....	43
Tablo 2.3: Bozulma tanımlama kılavuzları (Cafiso vd., 2006).....	72
Tablo 2.4: LTPP bozulma sınıflandırmaları (Miller ve Bellinger, 2003).....	73
Tablo 2.5: ASTM bozulma sınıflandırmaları (ASTM D6433-11).....	74
Tablo 3.1: Kabul edilen Ağ düzeyi örnekleme kriterleri (shahin, 2002).....	90
Tablo 3.2: Eğri denklemine dayalı ağ düzeyi örnekleme kabulü (shahin, 2002).....	91
Tablo 4.1: ASTM bozulma sınıflandırmaları.....	108
Tablo 4.2: Değerlendirme yapılan yollar.....	110
Tablo 4.3: 100. Yıl Bulvarı PCI değerleri.....	116
Tablo 4.4: Üstyapı bozulma tahmin modeli ve parametreleri.....	117
Tablo 4.5: ISO 2631-1 standardına göre titreşim verileri ölçeği.....	119
Tablo 4.6: 40 km/sa hız için üretilen kalibrasyon parametreleri.....	126
Tablo 4.7: En uygun ölçüm hızının belirlenmesinde kullanılan veriler.....	127
Tablo 4.8: düz.aw – PCI doğrusal korelasyon ilişkisi.....	128
Tablo 4.9: düz.aw / ln(Hız) - PCI doğrusal korelasyon ilişkisi.....	129
Tablo 4.10: Kruskal-Wallis H testi istatistik anlamlılık değerleri.....	130
Tablo 4.11: Varyans homojenlik değerlendirmesi istatistik anlamlılık değerleri.....	131
Tablo 4.12: aw normal dağılıma uygunluk istatistik anlamlılık değerleri.....	132
Tablo 4.13: MTVV normal dağılıma uygunluk istatistik anlamlılık değerleri.....	132
Tablo 4.14: VDV normal dağılıma uygunluk istatistik anlamlılık değerleri.....	132
Tablo 4.15: ANOVA testi istatistik anlamlılık değerleri.....	132
Tablo 4.16: Kalibrasyon parametreleri ve t testi istatistik anlamlılık değerleri.....	134
Tablo 4.17: Titreşim parametresi – PCI doğrusal korelasyon ilişkisi.....	135
Tablo 4.18: Titreşim – Yükden kaynaklı bozulmaların korelasyon ilişkisi.....	136
Tablo 4.19: Titreşim – İklimden kaynaklı bozulmaların korelasyon ilişkisi.....	136
Tablo 4.20: Titreşim – Diğer Seb. kaynaklı bozulmaların korelasyon ilişkisi.....	136
Tablo 4.21: düz.aw titreşim parametresi ile korelasyonları anlamlı bozulmalar.....	137
Tablo 4.22: Titreşim – Muhtelif bozulmaların doğrusal korelasyon ilişkisi.....	138
Tablo 4.23: Titreşim – Hız - Muhtelif bozulmaların doğrusal korelasyon ilişkisi.....	138
Tablo 4.24: Doğru ve polinom değerlendirme korelasyon değerleri.....	143
Tablo 4.25: aw – PCI değerlendirme ölçeği.....	144
Tablo 4.26: MTVV – PCI değerlendirme ölçeği.....	144
Tablo 4.27: Modelleme çalışmasında kullanılacak parametreler ve korelasyonları.....	146
Tablo 4.28: PCI Tahmin Modeli istatistik verileri.....	149
Tablo 4.29: Sürücü koltuğu modeli istatistik verileri.....	150
Tablo 4.30: Orta aks üzeri modeli istatistik verileri.....	150

Tablo 4.31: Sürücü koltuğu ve Hız modeli istatistik verileri.....	151
Tablo 4.32: Orta aks üzeri ve Hız modeli istatistik verileri.....	151
Tablo Ek2.1: Değerlendirilen yollara ait aw verileri.....	183
Tablo Ek2.2: Değerlendirilen yollara ait MTVV verileri.....	185

SEMBOL LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
A	: İncelenen ilave örnek alanı sayısı
A₁	: Sabit (Esnek üstyapılar için -1.91 ve Rijit üstyapılar için -1.80)
B₁	: Sabit (Esnek üstyapılar için -1.38 ve Rijit üstyapılar için 0)
B₂	: Sabit (Esnek üstyapılar için -0.01 ve Rijit üstyapılar için -0.09)
C	: Sabit (Esnek üstyapılar için 5.03 ve Rijit üstyapılar için 5.41)
C_i	: i nolu üstyapı performans ölçümü değeri
C_s	: Şok önleyici sabiti
D₁	: Tekerlek izi yüzeyinin fonksiyonu
D₂	: Yüzey bozulmasının fonksiyonu (çatlak ve yamaların toplam miktarı)
e	: Hata terimi (PSR kullanılarak PSI değeri elde etmede kullanılır)
e	: Kesimin tahmin edilen PCI değerinde kabul edilebilir hata
ESD_i	: Örnek alan i için en büyük bireysel sonuç değeri
g	: Birleşik yıllık trafik artış oranı
K_t	: Tekerlek yay sabiti
K_s	: Süspansiyon yay sabiti
LEF	: Yük eşdeğerlik faktörü
m_i	: Örnek alan i için maksimum kabul edilebilir sonuç sayısı
M_u	: Yaysız kütle (Aks)
M_s	: Yaylı kütle
n	: Analiz periyodu yıl sayısı
N	: Üstyapı kesimindeki toplam örnek alan sayısı
PCI_s	: Üstyapı kesimine ait PCI değeri
PCI_r	: Örnek alanların PCI değerlerinin ortalaması
PCI_a	: İlave örnek alanların PCI değerlerinin ortalaması
RD	: Basit iz derinliği ölçer tarafından ölçülen verilerin ortalaması
R₁	: Düzgünlük profilinin fonksiyonu [log(1+SV)]
s	: Kesimde örnek alanlar arasındaki standart sapma
SV	: CHLOE profilometresinden elde edilen ortalama eğim varyansı
SF	: Şerit dağılım faktörü (2 şerit için 1, 4 şerit için 0.8)
T	: Ticari trafik
W_i	: i nolu üstyapı performans ölçümü için ağırlık faktörü
Δs	: Örnek uzunluk (iki nokta arasındaki yatay uzunluk)
X_i	: i. Eğim ölçümü
Y_i	: i noktasındaki profil kotu
Z	: Yol profili kot noktaları
Z_u	: Yaysız kütle kotu (Aks)
Z_s	: Yaylı kütle kotu (araç kütlesi)

Kısaltmalar	Açıklama
aw	: Ağırlıklandırılmış karekök ortalama (weighted root mean square) (m/sn^2)
düz.aw_{SK}	: Sürücü koltuğu düzeltilmiş aw parametresi (m/sn^2)
düz.aw_{OAU}	: Orta aks üzeri düzeltilmiş aw parametresi (m/sn^2)
düz.aw_{SoK}	: Sağ ön koltuk düzeltilmiş aw parametresi (m/sn^2)
düz.MTVV_{SK}	: Sürücü koltuğu düzeltilmiş MTVV parametresi (m/sn^2)
düz.MTVV_{OAU}	: Orta aks üzeri düzeltilmiş MTVV parametresi (m/sn^2)
düz.MTVV_{SoK}	: Sağ ön koltuk düzeltilmiş MTVV parametresi (m/sn^2)
düz.VDV_{SK}	: Sürücü koltuğu düzeltilmiş VDV parametresi (m/sn^2)
düz.VDV_{OAU}	: Orta aks üzeri düzeltilmiş VDV parametresi (m/sn^2)
düz.VDV_{SoK}	: Sağ ön koltuk düzeltilmiş VDV parametresi (m/sn^2)
MTVV	: Maksimum aktarılan titreşim değeri (the maximum transient vibration value) (m/sn^2)
VDV	: Titreşim miktarı değeri (the fourth power vibration dose value) ($m/sn^{1.75}$)

ÖZET

DOKTORA TEZİ

ŞEHİRİÇİ YOLLARDA ÜSTYAPI BAKIM YÖNETİM SİSTEMİ KURULMASI, TÜRKİYE ÖRNEĞİ

Ufuk KIRBAŞ

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Mustafa KARAŞAHİN

Üstyapı Yönetim Sistemi; sistem genelindeki tüm işlerin koordinasyonunu kurarak, temelde topluma ait olan bütçeyi en uygun biçimde yapılan harcamalarla düzgün, güvenli ve ekonomik olarak üstyapıların işletimini sağlamayı amaçlayan çalışmaların tamamına verilen genel isimdir. Ülkemizde, insanların ağırlıklı olarak yaşadığı belediye sınırlarında, ülke genelinde yılda yaklaşık 1 milyar 800 milyon TL asfalt yatırımının yapıldığı göz önüne alındığında, şehiriçi yolların üstyapılarını yöneten sistemin ya da sistemlerin bulunması zorunluluğu kaçınılmazdır.

Üstyapıların yönetimini sağlamak amacıyla kurulan bir sistemde en zor olan adımın üstyapıların mevcut performansını belirlemek olduğu bilinmektedir. Çalışmada esas amaç, şehiriçi yolların yönetiminde sıklıkla tercih edilen, ASTM D 6433-11 standardıyla tanımlanan PAVER üstyapı yönetim sisteminin, üstyapıların mevcut performansını belirlemede kullanılan yönteminin kolay hale getirilmesidir. Üstyapıların yapısal performansı ile sürüş konforu arasında güçlü bir ilişkinin olduğu yapılan birçok çalışmada saptanmıştır. Söz konusu bu prensipten yola çıkarak, PAVER sistemine ait üstyapıların mevcut performansının belirlenmesi işleminin, sürüş konforunu en iyi yansıttığı kabul edilen ve araç içinde oluşan düşey doğrultudaki titreşim değerleri ile yapılabileceği düşünülmüştür. Bu hedefle çalışmada, PAVER sisteminde kesimin mevcut durumunu (performansını) gösteren PCI değerleri ile düşey titreşim parametreleri arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Böylelikle üstyapının performansını belirlemede kullanılan PAVER sisteminin zor ve meşakkatli olan arazi çalışmaları minimuma indirilerek, ülkemizde belediyelerin üstyapı yönetiminde kullanabileceği hale getirilmeye çalışılmıştır.

Bu amaçla çalışmada, öncelikli olarak Samsun ili sınırlarında farklı türde belediyelerin sorumluluğunda olan, farklı hizmet (anaarter, arter, sokak vb) ve yönetim (büyükşehir belediyesi, ilçe belediyesi vb.) seviyelerindeki farklı türde ve yoğunlukta bozulmaların bulunduğu, üstyapısı Bitümlü Sıcak Karışım (BSK) olan 20 adet karayolu seçilmiştir. Seçilen bu yollarda PAVER sistemine göre önce kesimlere ayırma ve ağ oluşturma aşaması tamamlanmış daha sonra, kesimlerin üstyapılarının mevcut performansları belirlenmiştir. Her bir kesim için, PAVER sisteminin bir kesimin mevcut durumu değerlendirmek için kullandığı yüzey bozulma verileri kullanılarak Üstyapı Performans İndeksi (Pavement Condition Index – PCI) değerleri hesaplanmıştır. Sonrasında, PAVER sisteminde yolların ilk yapım tarihleri ve bugünkü durumları arasındaki farklar değerlendirilerek mevcut Bakım & Onarım stratejisini değiştirmeksizin BSK üstyapılı yolların gelecek performanslarının tahmin edilmesinde kullanılabilir bir üstyapı bozulma tahmin modeli geliştirilmiştir.

Çalışmanın sonraki aşamasında PAVER değerlendirmesi yapılan 20 adet yolda, üç adet ivmeölçer, bir adet GPS anteni ve bir adet veri toplama cihazından oluşan ivme ölçüm seti aracılığıyla, araç içerisinde sürücü koltuğu, orta aks üzeri ve sağ ön koltuk olmak üzere üç farklı noktada titreşim ölçümleri yapılmıştır. Kaydedilen titreşim verileri ISO 2631-1 kodlu standart kurallarına uyularak değerlendirilmiştir. Her üç noktada yapılan düşey titreşim ölçümleri için kesimlerin ISO 2631-1 kodlu standarda uygun olarak aw, MTVV ve VDV titreşim parametreleri hesaplanmıştır. Seçilen tüm yol ağının değerlendirmesine geçmeden önce bir pilot değerlendirme yolu seçilerek farklı hızlarda titreşim ölçümleri yapılmış, PCI değerleri ile arasındaki benzerlik ilişkileri araştırılmıştır. Öte yandan, farklı ağırlıklardaki sürücülerin sonuçlara etkilerini değerlendirmek amacıyla yüzeyi homojen ve PCI değeri en yüksek kabul edilebilecek bir yolda çok sayıda farklı hızlarda titreşim ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca, yapılan değerlendirmenin geliştirilmesi için araç kaynaklı düşey titreşimlerin etkisinden kurtulmak amacıyla her bir ölçüm noktası için kalibrasyon parametreleri üretilmiştir. Elde edilen bu kalibrasyon parametreleri kesimler için hesaplanan titreşim verilerinden çıkarılarak her bir ölçüm noktası ve her bir titreşim parametresi için düzeltilmiş titreşim parametreleri bulunmuştur. Yapılan tüm bu değerlendirmelerde, elde edilen veriler arasındaki benzerlik ilişkileri ve istatistik değerlendirmeler sonucunda ulaşılan sonuçlar kullanılarak en uygun ölçüm hızı belirlenmiş ve diğer kesimlerin titreşim ölçümleri bu ölçüm hızında tamamlanmıştır. Ölçülen titreşim verileri değerlendirilerek kesimlere ait titreşim parametreleri bulunmuş, kalibrasyon parametreleri çıkartılarak düzeltilmiş titreşim parametreleri elde edilmiştir.

Çalışmanın son aşamasında, elde edilen tüm bu titreşim parametreleri ile PAVER sistemi çıktıları karşılıklı olarak değerlendirilmiş, regresyon analizleri yapılarak gerek tek bir noktada yapılacak ölçümleri kullanarak gerekse geliştirilen ölçüm cihazı benzeri bir cihazla birden çok noktada ölçüm yapılarak elde edilen titreşim parametrelerini kullanarak PCI tahmini yapabilecek modeller geliştirilmiştir.

Yapılan bu çalışma ve üretilen modeller yardımıyla, herhangi bir belediyenin sorumluluğunda bulunan, üstyapıları bitümlü sıcak karışım türündeki yollardan oluşan bir şehiriçi karayolu ağında, Ağ Düzeyinde, üstyapı yönetim sistemi kurulmasının oldukça kolay ve işlevsel olacağı düşünülmektedir.

Aralık 2013, 188 Sayfa.

Anahtar kelimeler: Üstyapı yönetim sistemi, karayolu, üstyapı, asfalt, titreşim

SUMMARY

Ph.D. THESIS

**PAVEMENT MAINTENANCE MANAGEMENT SYSTEM DESIGN IN URBAN
ROADS, THE CASE OF TURKEY**

Ufuk KIRBAŞ

İstanbul University

Graduate School of Science and Engineering

Department of Civil Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Mustafa KARAŞAHİN

The term of “Pavement Management System” refers to the whole works that aim to operate the pavements properly, safely and economically with the general budget by coordinating the whole works within the system. Considering the fact that, approximately 1.800.000.000 TL is paid on pavement investment in municipalities where people densely live per year across the country, the availability of the system/systems that manage the pavements of urban roads are inevitable.

It is well known that the most difficult step in a system which was established to manage the pavements is to determine the current condition of the pavements. The main objective in this study is to facilitate the method used to determine the current status of pavements in PAVER pavement management system which is defined by ASTM D 6433-11 standard, a standard frequently preferred in the management of urban roads. As is known, several studies have revealed that there is a high correlation between the structural performance of the pavement and the driving comfort. On the basis of this principle, it was thought that the best way to determine the current status of pavements of PAV system is to evaluate the in-vehicle perpendicular vibration value that is considered to best reflect the driving comfort. In line with this objective, the relationships between PCI values indicating the current status (performance) of the segments in PAV system and perpendicular vibration parameters were investigated. Thus, the requirement of field studies of PAVER which is used to determine the performance of the pavement was minimized and the system was tried to be available for the management of pavement in various municipalities.

For this purpose, a total of 20 hot bituminous mixture (HBM) roads (main arterial, arterial, street etc.) showing deterioration in different types and intensity and being under the responsibility of different municipal authorities (metropolitan municipality, county municipality etc.) primarily in Samsun province were selected. In selected roads, segmentation and networking stages were completed according to PAVER system and then the current status of the segments and pavements were determined. For each segment, Pavement Condition Index (PCI) values were calculated by using pavement deterioration data which is utilized by PAVER system for the determination of the current status of one segment. Afterwards, deterioration prediction model which can be used for the prediction of the future state of hot bituminous mixture pavements without changing the current maintenance and repair strategies was developed by evaluating the differences between the current state of roads and that of in the year of construction in a PAVER system.

In the subsequent stage of the study, vibration measurements from three different points (driver's seat, above mid-axle and right front seat) were performed through an accelerometer kit consisting of three accelerometers, one GPS antenna and one data collection device on twenty roads. The recorded vibration data were evaluated in accordance with the standard rules coded ISO 2631-1. For perpendicular vibration measurements performed on all three points, a_w , $MTVV$ and VDV vibration parameters were calculated according to standard coded ISO 2631-1. Before evaluating the all selected road networks, a pilot evaluation study was conducted and vibration measurements were made at different speeds and similarity relations between PCI values were investigated. On the other hand, numerous vibration measurements at different speeds on the road with homogeneous surface and highest were performed to assess the influence of the drivers at different weights on the results. In addition, in an attempt to improve the evaluation, calibration parameters for each measurement point were generated to eliminate the influence of vehicle-induced perpendicular vibrations. Corrected vibration parameters for each measurement point and vibration parameter were calculated by subtracting these calibration parameters from vibration data which were calculated for segments.

In all these assessments, optimum measurement speed was determined by using the similarity relations between the data obtained and the results of the statistical evaluations and vibration measurements of other segments were completed at this measurement speed. Measured vibration data were evaluated and vibration parameters of the segments were calculated and corrected vibration parameters were obtained by excluding the calibrating parameters.

In the final stage of the study, the resulting vibration parameters and outputs of PAVER system were evaluated correlatively and regression analysis of these parameters were done and models enabling PCI estimation by using vibration parameters from either single measurement point via the measurement device were developed.

It was thought that establishing a network-level pavement management system of an urban road network (only for hot mix asphalt pavements) which is under the responsibility of a municipality is quite easy and functional with the help of these models.

December 2013, 188 Pages.

Keywords: Pavement management system, highway, pavement, asphalt, vibration

1. GİRİŞ

Ulaşım, insan yaşamının zorunlu ihtiyaçları arasında yer almaktadır ve artık modern ulaşım sistemleri olmaksızın yaşamın sürdürülebilmesi düşünülemez durumdadır. Ülkemizde hızlı nüfus artışı, köylerden kentlere doğru nüfus hareketliliği, çarpık kentleşme, altyapı yetersizliği ve insanların gelir düzeylerinin artmasına paralel olarak, ulaşım ve trafik problemleri de büyümüş ve özellikle büyükşehirlerimizin en önemli sorunlardan biri haline gelmiştir.

Ülkemizde şehiriçi ve şehirlerarası yollarda en temel ulaşım ağı olarak karayolu ağları kullanılmaktadır. Karayolu ağlarında güvenlik ve konforu sağlayan en önemli unsur karayolu üstyapısı olarak görülmektedir. Ülkemizdeki gelişmelere paralel olarak ortaya çıkan karayolu ihtiyacının artması ve yollardaki üstyapıların zamanla bozulmaya başlaması, daha fazla kaynağın üstyapı bakım ve onarım işlerine aktarılmasını zorunlu kılmıştır.

Yapılan pek çok gözlemin gösterdiği gibi 20 yıl olarak tasarlanan bir üstyapının ömrü bakım ve onarım yapılmaksızın ancak 10-12 yıl, bazen de daha az olabilmektedir (Haas vd., 1994). Bu durumdan da görüldüğü gibi bir üstyapıdan olması gerektiği gibi faydalanabilmek için, belirli periyotlarda planlı ve programlı bir şekilde bakım ve onarımlar yapmak şarttır.

Üstyapı, ulaştırma şebekesinin ucuz olmayan bir parçasıdır. Amerika'da yalnızca Bitümlü Sıcak Karışım (BSK) kaplamalı yollarda yapılan yatırımın yıllık ortalama 508 milyon ton, Avrupa'da ise 300 milyon ton olduğu bilinmektedir. Ülkemizde bu rakamın 2011 yılında 43.5 milyon ton olduğu saptanmıştır (asmud.org).

Üstyapı yatırımına harcanan rakamlar göz önüne alındığında, günümüz fiyatlarıyla, Ülkemiz genelinde, 2011 yılında yaklaşık 8.7 milyar TL üstyapı yatırımı yapılmışken sadece şehiriçi yollarda bu rakam yaklaşık 1.8 milyar TL olarak karşımıza çıkmaktadır. Metropol şehrimiz İstanbul'da bu rakam 2012 yılında yaklaşık 262 milyon TL olarak

görülmekte iken Samsun'da yaklaşık 17 milyon TL olarak saptanmıştır. Tüm bu veriler karayolu üstyapısı imalatlarına ayrılan yatırımın oldukça yüksek olduğunu vurgulamakla beraber, üstyapıların bakım, onarım ve yenileme çalışmalarının titizlikle yapılması gerektiğini göstermektedir (www.asnud.org, İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) ve Samsun Büyükşehir Belediyesi (SBB) faaliyet raporları).

Tablo 1.1: Ülkemizde üstyapı yatırımları (asnud.org).

		Bitümlü Sıcak Karışım (Ton)	Sathi Kaplama (m²)	Miktar (TL)
Karayolları Genel Müdürlüğü	2011 Yılı	29,400,000	172,200,000	5,741,400,000.0
	2010 Yılı	22,100,000	200,000,000	5,162,500,000.0
	2009 Yılı	14,900,000	180,000,000	4,022,500,000.0
	2008 Yılı	10,200,000	175,000,000	3,375,000,000.0
	2007 Yılı	4,900,000	164,000,000	2,580,500,000.0
Şehirçi Yollar (Mahalli İdareler)	2011 Yılı	13,600,000	5,600,000	1,767,200,000.0
	2010 Yılı	13,000,000	11,000,000	1,757,000,000.0
	2009 Yılı	7,900,000	9,000,000	1,095,500,000.0
	2008 Yılı	16,300,000	21,000,000	2,289,500,000.0
	2007 Yılı	16,900,000	18,000,000	2,328,500,000.0
Köy Yolları	2011 Yılı	460,000	99,400,000	1,250,300,000.0
	2010 Yılı	200,000	86,000,000	1,057,000,000.0
	2009 Yılı	300,000	40,000,000	517,500,000.0
	2008 Yılı	70,000	71,000,000	860,750,000.0
	2007 Yılı	310,000	158,000,000	1,934,750,000.0
Toplam	2011 Yılı	43,500,000	277,000,000	8,761,500,000.0
	2010 Yılı	35,300,000	297,000,000	7,976,500,000.0
	2009 Yılı	23,100,000	229,000,000	5,635,500,000.0
	2008 Yılı	26,600,000	267,000,000	6,529,000,000.0
	2007 Yılı	22,100,000	340,000,000	6,842,500,000.0

Tablo 1.2: İstanbul İli için üstyapı yatırımları (İBB faaliyet raporları).

	Bitümlü Sıcak Karışım (Ton)	Sathi Kaplama (m²)	Miktar (TL)
2012 Yılı	2,080,585	147,000	261,837,125.0
2011 Yılı	1,174,542	106,210	148,092,270.0
2010 Yılı	1,573,953	717,261	205,351,257.0
2009 Yılı	547,956	0	68,494,500.0
2008 Yılı	2,731,143	2,072,698	366,265,251.0

Tablo 1.3: Samsun İli için üstyapı yatırımları (SBB faaliyet raporları).

	Bitümlü Sıcak Karışım (Ton)	Sathi Kaplama (m²)	Miktar (TL)
2012 Yılı	100,000	350,000	16,700,000.0
2011 Yılı	125,000	181,000	17,797,000.0
2010 Yılı	98,444	279,500	15,659,475.0
2009 Yılı	92,250	185,000	13,751,250.0
2008 Yılı	149,698	187,500	20,962,250.0

Ülkemizde şehiriçi yolların yol yapım, bakım, onarım ve işletmesinden sorumlu olan kuruluşların belediyeler olduğu bilinmektedir. Genel olarak belediyelerde, üstyapı yapım, bakım ve onarım ile ilgili sorumluluklar ana arter ve daha yüksek önemdeki şehiriçi yollarda Büyükşehir veya İl Merkezi türü belediyelerde iken, önem düzeyi ana arterin altında olan yollarla Merkez İlçe veya İlçe türü belediyelerdedir.

Üstyapı yönetimi kavramı, mevcut kaynakların en iyi biçimde dağıtımını sağlamak amacıyla ilk olarak 1960'lı yıllarda ortaya atılmıştır. İlk yıllarda üstyapı performansını belirlemede kullanılan görsel değerlendirmeler, daha sonraki yıllarda yerini çeşitli tahribatlı deneylere bırakmıştır. Tahribatlı deneylerin zorluğu ve çeşitli sakıncaları nedeniyle, tahribatsız deneyler geliştirilmiş ve uygulanmaya başlanmıştır. Bu deneyler üstyapının taşıma gücü ve yapısal durumu hakkında fikir vermesine karşın, özellikle kullanıcıların sürüş konforunu yansıtan fonksiyonel durum hakkında fikir verememektedir.

Üstyapının fonksiyonel durumunun belirlenmesi için ilk olarak Amerikan Karayolu ve Ulaştırma Çalışanları Derneği (American Association of State Highway and Transportation Officials - AASHTO) panel oranlaması adı verilen ve üç üstyapı puanlayıcısının üstyapı üzerinde bir taşıtla seyahat ederken yaptığı puanlamaların ortalamasını kullanan bir gösterge önermişlerdir. Bu değerlendirmenin göreceli olması nedeniyle oluşan güvensizlik, üstyapı şirketleri ve kurumlarını daha güvenilir yöntemleri ortaya çıkarmaya ve kullanmaya zorlamıştır. Yine AASHTO tarafından 1960'lı yıllarda üstyapıdaki çatlak alanı, yama alanı, tekerlek izi derinliği ve çukur alanını kullanan ampirik bir formül geliştirilmiştir.

Sonraki yıllarda hizmet yeteneğinin üstyapı düzgünsüzlüğünün bir fonksiyonu olabileceği düşünülmüştür. Düzgünsüzlük ilk olarak AASHTO profilometresi kullanılarak ölçülmüştür. Daha sonra düzgünsüzlük ölçen aletlere ilaveten üstyapı bozulmalarını fotoğraf tekniğiyle toplayan ve görüntü işleme algoritmalarıyla değerlendiren sistemler geliştirilmiş ve tüm bu işlemlerin tamamını yapabilecek şekilde birleşik bir yapı haline dönüştürülmüştür.

Yapılan bu ilerlemeler birleştirilerek tüm ağı her yönüyle değerlendiren Üstyapı Yönetimi Sistemi (ÜYS) kavramı ortaya atılmıştır. ÜYS kavramına ilaveten, üstyapı bozulmaları verilerini toplayarak bozulma etüdü örnekleri geliştirilmiştir. ÜYS kurmuş ve yürütmekte olan kuruluşlar, bozulma etüdü işlemini ÜYS kapsamı içine almışlardır. Bu işlem, mühendislik kararlarına dayanan genel üstyapı performansını sınıflama işlemi için, özgün bozulma tiplerinin ayrıntılı planını çıkarma ve çok ayrıntılı ölçümlerden oluşmaktadır. Literatürde iki önemli bozulma etüdü olarak PAVER ve MTCO (Municipal Transportation Commission of Ontario) bozulma örnekleri verilebilir. Shahin ve Becker 1984 yılında PAVER sisteminin kullandığı üstyapı performans indeksi (PCI) adında bir model geliştirmişlerdir (Haas vd., 1994).

Ülkemizde ÜYS çalışmalarına, T.C. Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) tarafından 1994 yılında Kanada firması olan Pavement Management System Limited (PMSL) ile bu konuda işbirliği sağlanarak başlanmıştır. Amacı, ülke çapında Türkiye'nin şartlarına ve ihtiyaçlarına uygun, uygulanabilir ve geliştirilebilir bir program ortaya koymak ve bu konu ile ilgili teknoloji transferi sağlamak olan çalışma iki aşama olarak tasarlanmıştır. Birinci aşamada, Ankara ili çevresindeki devlet yollarında Ağ düzeyinde bir yönetim sistemi oluşturulmuştur, ikinci aşamada ise Dünya Bankası'ndan alınması düşünülen kredi ile ülke çapında oluşturulacak bir sistem tasarlanmış fakat yaşanan ekonomik krizlerden dolayı proje geçici süre ile iptal edilmiştir. Sonraki yıllarda merkezi Mersin'de bulunan KGM 5. Bölge'deki asfalt betonu kaplamalı yollarda profilometre cihazı ile düzgünsüzlük ölçümleri yapılmış ve bakım, onarım stratejileri belirlenerek yollara ait Maliyet-Verimlilik değerleri bulunmuştur. Ancak, ülkemizde çok sık karşılaşılan tekerlek izinde oturmalar biçiminde oluşan enine düzgünsüzlükler sağlıklı ölçülemediğinden proje ihmal edilmiştir (Ay, 2001). Günümüzde çalışmalar KGM bünyesinde 2009 yılında yapılmaya başlanan çok yönlü çalışmalarla gittikçe

profyonelleşerek devam etmektedir. KGM tarafından yapılan bu ÜYS çalışmaları başta Merkez Araştırma ve Geliştirme teşkilatında olmak üzere birçok bölgeye alınan profilometrelerle yapılan üstyapı IRI ölçümleri kullanılarak zenginleştirilmekte ve işleyen bir ÜYS'nin temelleri atılmaktadır.

Çalışmada, şehiriçi yol ağında üstyapıların mevcut performansını belirlemede kullanılan PAVER sisteminin uygulanabilirliğini kolaylaştırmak amacıyla alternatif bir değerlendirme yöntemi geliştirilmiştir. Literatür detaylıca incelendiğinde, ÜYS konusundaki otoritelerin, üstyapılarda görülen bozulmalar ile konfor ve dolayısıyla da düşey ivmelenme arasında güçlü bir ilişkinin olduğunu kabul ettiği açıkça görülmektedir. Bu anlamda çalışmada, Samsun ili sınırlarında, toplayıcı yol, ana arter, arter ve cadde/sokak hizmet sınıflarında toplam 20 adet karayolunda (bölüm), muhtelif uzunluklarda 98 adet kesimde üstyapı değerlendirmeleri yapılmıştır. İlk olarak, ASTM D 6433-11 kodlu standartta tanımlanan PAVER sistemi esaslarına uygun olacak şekilde seçilen kesimlerde yüzey bozulmaları değerlendirilmiştir. Ardından, eş zamanlı olarak yüzey bozulma değerlendirmelerinin yapıldığı kesimlerde düşey ivme ölçümleri yapılmış ve sonuçlar ISO 2631-1 kodlu standarda göre değerlendirilerek karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Nihayetinde, uygulaması zor olan PAVER sisteminin sonucu olan değerlendirilen kesime ait Üstyapı Performans İndeksi (Pavement Condition Index, PCI) değerini tahmin edebilen model oluşturulmuştur. Sonuç olarak, belediyelerin, yollarının mevcut performansı hakkında kısa sürede veri toplayabilmesi için, sabit hızla hareket eden bir taşıtın topladığı düşey ivme değerlerinden, üstyapının performansını tahmin edebilen düşük maliyetli bir model (modeller) ve yöntem geliştirilmiştir. Öte yandan çalışmada, ülkemiz sınırlarında çalışma kapsamında tariflenen herhangi bir belediye kendine ait bir ÜYS kurmak istediğinde kendisine yardımcı olacak iş akış diyagramını çalışmada bulabilecektir. Ayrıca, PAVER sisteminin kullandığı PCI değeri belirleme yöntemi değerlendirilen kesimlerde uygulanmış ve sonuçlar yorumlanmıştır. Üstyapıların mevcut performansını 0 - 100 aralığında bir değerle ifade edebilen PCI değerleri hesaplanmıştır. Kesimlere ait bulunan bu PCI değerleri ile üstyapıların mevcut performansı değerlendirilmiş, sistemin belirttiği şekilde üstyapı değerlendirmeleri yapılmış ve söz konusu kesimlerde gerek ağ gerekse proje düzeyinde kurulabilecek bir ÜYS'nin temelleri atılmıştır. Ayrıca çalışmada, belirlenen ağdaki görülen bozulma türlerinin oluşma nedenleri yük, iklim ve diğer (malzeme özellikleri vs.) başlıkları

altında incelenerek tüm değerlendirme kesimleri için bozulma değerlendirmeleri yapılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen değerler, coğrafi verilerle sözel verileri ilişkilendirerek sonuçları grafik diliyle anlatmada kullanılan Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) teknolojisiiyle değerlendirilmiş ve yorumlanmıştır.

Bu çalışmada geliştirilen üstyapı değerlendirme modelleri/yöntemi ile ülkemiz belediyelerinde kurulacak YS'ler sayesinde, belediyelerin üstyapı yatırımları verimli bir şekilde değerlendirilebilecektir ve ayrıca, merkezi yönetimin bütçe tahsisinde karar vermesini destekleyici sonuçların almasında kolaylıklar sağlanabilecektir. Ayrıca, alınan sonuçların varyasyonları değerlendirilerek bu kapsamda TSE'ye standart teklif edilmesi söz konusu olabilecektir.

2. GENEL KISIMLAR

2.1. ÜYS KAVRAMI VE ÜSTYAPI DEĞERLENDİRMELERİ

Üstyapının tarihi yol ile aynı zamanlarda başlar. Gerçek anlamda ilk yol, MÖ 3500’lerde tekerleğin bulunuşundan hemen sonra Asya kıtasının güney batı yakasından Mısır’a yapılmıştır. İlk yolun o zamanlar medeniyetin beşiği olan bu bölgede yapılmış olması yollar ve nüfusun her zaman birlikte arttığı gerçeği düşünüldüğünde oldukça beklenen bir durumdur.

Via Appia veya “Appian Yolu” olarak bilinen bilimsel temellere dayanan ilk yolu Romalılar MÖ. 300’lerde yapmıştır. Bilinen en eski ve uzun mesafeli yol Pers’ler tarafından yapılan yaklaşık 2825 km uzunluğundaki “Kral Yolu”dur. 18. yüzyılın sonlarına doğru yol yapımında bilimsel prensipler tanımlanmaya başlanmıştır (Haas vd.,1994).

İyi bir üstyapı yönetimi sistematik yaklaşımlı ve organize edilmiş bir şekilde düşünmeyi gerektirmesinin yanında işlerin günü gününe yapılmasını da sağlayan bir sistemin bütünüdür. Üstyapı yönetimi en geniş anlamda planlama, programlama, tasarım, yapım, bakım, onarım ve yenileme işlemlerinin tamamını içeren çalışma programıdır. Bir üstyapı yönetim sistemi (ÜYS) verilen bir sürede karar vericiler için en uygun bakım ve onarım takviminin belirlenmesinde kullanılacak araçların ve yöntemlerin ayarlanmasını sağlar. ÜYS’nin işlevi yönetimle ilgilenen kurum/kurumlar içinde/arasında koordinasyonu sağlayarak karar verme, verilen kararların sonuçlarını yorumlama ve aynı organizasyon içerisinde farklı yönetim düzeylerindeki kararların tutarlılığını sağlamak olarak belirtilebilir.

Bir ÜYS’nin kapsamı ÜYS yönetimi ile ilgilenen kurumun sistemden beklentilerine bağlıdır. Ağ ve Proje olmak üzere iki düzeyde şehiriçi yollar, otoyollar ve hava meydanları gibi birçok alanda kurulabilecek bir yönetim sistemi üstyapıların yönetiminde oldukça faydalar sağlar.

Ağ düzeyinde; yenileme, bakım veya onarım planları en düşük toplam maliyet veya en yüksek fayda göz önüne alınarak analiz periyotları geliştirilir. Proje düzeyinde; bir kesim veya tüm ağ için yenileme, bakım veya onarım işlemlerinde, verilen alternatif tasarımlar arasından istenen fayda veya servis düzeyinde analiz periyotları için en düşük maliyetli çıktılar belirlenir.

Bir yönetim sisteminde en yüksek faydayı belirlemek için her yönetim düzeyinde, uygun bilgiler toplanmalı ve periyodik olarak güncellenerek karar kriterleri veya kısıtlar belirlenmeli ve olası stratejiler tanımlanmalıdır. Yine, performans tahminleri yapılarak alternatif stratejilerin maliyetleri belirlenmeli ve tüm üstyapı ağı için ömür döngüsü (life cycle) optimizasyon prosedürü geliştirilmelidir. Ayrıca, geliştirilen seçeneklerden en yüksek faydayı veren optimum strateji seçilmeli ve uygulanmalıdır.

1966 yılında AASHO (American Association of State Highway Officials) tarafından AASHO yol testi sonuçlarına bakılarak üstyapı konusunun teorik temelleri belirlenmeye başlanmıştır. Yine o yıllarda Amerika ve Kanada'da üstyapı tasarımı ve yönetimi hakkında bağımsız çalışmalar yapılmıştır. Bu nedenle de üstyapı yönetim sistemi ve üstyapı tasarımı eş zamanlı olarak gelişmesini devam ettirmektedir.

1960'ların sonu ile 1970'lerin başlarında araştırmacılar tarafından üstyapı yönetim sistemi terimi telaffuz edilmeye başlanmıştır. Bu ilk dönemde aynı zamanda üstyapı yönetim sistemleri de geliştirilmeye başlanmıştır. Geliştirilen bu sistemler arasında en büyük ölçekli olanı "Project 123" adıyla Teksas Yollar İdaresi (Texas Highway Department), Teksas A&M Üniversitesi (Texas A&M University) ve Teksas Üniversitesi'nin (University of Texas) ortaklaşa çalıştığı ve yönettiği sistemdir. Ayrıca Project 123'den sonra bir diğer önemli ilerleme 1968 yılında Ulusal Otoyollar İşbirliği Araştırma Programı (National Cooperative Highway Research Program – NCHRP) tarafından "Project 1-10" projesiyle sağlanmıştır (Haas vd.,1994).

Hudson ve McCullough isimli araştırmacılar tarafından geliştirilen ikinci dönemde ulusal düzeyde aktif olarak çalışabilen sistemler düşünülmüştür. Üçüncü dönemde, Lytton vd. tarafından önceki dönemlerde geliştirilmiş uygulamalar sonlandırılarak

sonuçları incelenmiş ve günümüzdeki son dönemde yani dördüncü dönemde ilerlemeler malzeme araştırmaları ve geliştirmeleri ile devam etmektedir (Haas vd., 1994). Son yıllarda dünyada ve ülkemizde yapılan çalışmalardan erişilebilenler incelenmiş ve aşağıda özetlenmiştir.

ÜYS kavramı 1950'li yıllardan beridir çalışılan, teknolojinin gelişmesi ile yeniliklere kavuşarak günümüze gelmiş bir konudur. Bu bağlamda özellikle 90'lı yıllarda ÜYS kavramını, düzeylerini, veri toplama ve değerlendirme tekniklerini teorik olarak anlatan kitaplar ve araştırma raporları yazılmıştır. Hatta bu süreçte, Amerikan mühendislik standartlarından son versiyonu olarak ASTM E1889 - 97(2009) koduyla ÜYS standardı da yayınlanmıştır. ÜYS kavramı ve bileşenlerini teorik olarak detayları ile açıklayan yayınlarda, genel olarak kurum/kuruluşların tabii olduğu kanunlar, yol ağını değerlendirme bölümlerine ayırmada kullanılan prensipler, ÜYS altlığında bulunması gerekli veriler, veri saklama/işleme yöntemleri, veri toplama yöntemleri, veri toplama sıklıkları, bozulma modelleri, gelecek tahminleri, iyileştirme stratejileri ve karar verme teknikleri kavramsal olarak açıklanmıştır. Genel olarak birçok yayında, karar verme teknikleri fayda-maliyet analizleri ile ömür döngü yöntemleri üzerinde durulmuş olup son dönemlerde geliştirilen matematik yöntemlerinin de bu anlamda kullanılabileceği saptanmıştır. Hemen her kaynak, özellikle bozulma modelleri ile karar verme teknikleri konularında çözümlemenin bölgenin coğrafi ve iklimsel koşullarına bağlı olarak değişebileceğini savunarak yönetici birimin kendine en uygun olabilecek yöntemi seçmesinin daha doğru olacağını savunmaktadır. Birçok kaynakta kavramlar bölge, durum ve verilerine göre örnek olay incelemeleri yapılarak açıklanmaya çalışılmıştır.

ÜYS kavramı Ülkemizde de 1990'lı yıllardan itibaren incelenen bir konu olmuştur. Bu kapsamda, yapılan bazı çalışmalarda 1994 yılında Kanada firması olan Pavement Management System Limited (PMSL) tarafından Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) 4. Bölgede yapılan bir uygulamada toplanan veriler muhtelif üniversiteler tarafından değerlendirilerek lisansüstü çalışmaları ortaya konmuştur. Bu kapsamda literatür incelendiğinde yüzey bozulma verilerinin değerlendirilmesi, bozulma modellerinin oluşturulması, KGM 5. Bölge yollarına Ağ düzeyi yönetim sisteminin oluşturulması, Beşiktaş/İSTANBUL ilçesi yollarına ait PAVER sisteminin kullanılması ve karar verme modeli geliştirilmesi konuları işlenmiştir. Yapılan çalışmalar makro ölçekte

incelendiğinde, araştırmacıların genellikle şehirlerarası yolları çalışma alanı olarak tercih ettiği açıklıkla görülmektedir. Üstyapı yatırımlarının önemli ölçüde belediyeler tarafından yapıldığı ülkemizde, şehiriçi yolların konu olarak ele alınıp çalışıldığı çalışmaların azlığı oldukça dikkat çekmektedir.

Literatür taraması yapılması sırasında özellikle örnek sayılabilecek, çalışmakta olan ÜYS'lerin açıklandığı kaynaklar üzerinde durulmuştur. Bu bağlamda, yapılan literatür çalışmasında Yeni Zelanda, Tayland, Belçika, Portekiz, Çin, Yunanistan ve İngiltere'deki ulusal yol ağına ait yollarda ÜYS çalışmalarını anlatan kaynakların olduğu gözlemlenmiştir. Ulusal yol ağına ait çalışmalarda, üstyapının mevcut performansını belirlemede genellikle ağdaki yol uzunluklarının fazla olmasıyla da alakalı olarak cihazlarla yapılan ölçümlerin kullanıldığı saptanmıştır. Üstyapının mevcut performansını belirlemede çoğunlukla Uluslararası Düzgünsüzlük İndeksinin (International Roughness Index, IRI) kullanıldığı çalışmalarda görülmektedir. Dünya Bankası tarafından geliştirilen ve ASTM E 950 koduyla yayınlanan standart çerçevesinde değerlendirilen IRI'nın üstyapı tasarımında kullanılan Hizmet Düzeyi (Present Serviceability Index, PSI) ile doğrudan ilişkili olduğu çalışmalarda açıklıkla ifade edilmektedir. Çalışmalarda, üstyapıların mevcut performansını değerlendirmede ve proje düzeyi değerlendirmede ikinci parametre olarak Defleksiyon verilerinin (Falling Weight Deflection, FWD) tercih edildiği anlaşılmaktadır. Ağırlıklı olarak çalışmalar arasında, farklı matematik teknikleriyle bozulma modellerinin oluşturulduğu, yol üstyapı bozulma verileri ile düzgünsüzlük tahmini yapabilen modellerin kalibre edildiği ve karar destek sistemlerinin açıklandığı gözlemlenmiştir. Özellikle çalışmalardan, ulusal ağda çalışan yönetim sistemlerinde verilerin toplanmasında ve işlenmesinde kullanılan araç olarak Coğrafi Bilgi Sistemlerinin (CBS) tercih edildiği görülmektedir. Benzer şekilde literatür incelendiğinde, şehiriçi yollarda (Belediye sınırlarında) da ÜYS çalışmalarının yapıldığı gözlemlenmiştir. Damman (Arabistan), Lizbon (Portekiz) ve Amerika'da Bowling Green (Kentucky), Chittenden (Vermont), Dublin (Ohio), Folsom (California), Los Angeles (California), Marion (Florida), Philadelphia (Pennsylvania), Tinley Park (Illinois) gibi daha birçok eyalette birçok şehirde ÜYS çalışmalarını anlatan kaynağa rastlanmıştır. Çalışmalarda, genel olarak üstyapının mevcut performansını belirlemede yüzey bozulma verilerinin tercih edildiği görülmektedir. Ağırlıklı olarak tercih edilen indekslerin Üstyapı Performans İndeksi

(PCI), Üstyapı Performans Oranı (PCR), Üstyapı Yüzey Değerlendirme ve Oranlama Sistemi (PASER) ve Kalan Servis Ömrü (RSL) indekslerinin olduğu belirlenmiştir. Bu bağlamda, çalışmalardan özellikle Amerika'da gerek kamu sektöründe gerekse özel sektörde, ÜYS yazılımlarının gelişmesi ve sistemlerin kurulması anlamında bir endüstrileşmenin olduğu anlaşılmaktadır.

Literatür çalışması detaylandırıldığında, çalışmaların bir kısmının verilerin toplanması ve işlenmesi konusunda olduğu görülmektedir. Bir ÜYS işletiminde en önemli problemin verileri toplamak olduğu, özellikle yüzey bozulma verilerinin toplanmasının ayrıca bir uzmanlık gerektiği yapılan çalışmalarda açıklıkla görülmektedir. Üstyapılarda yüzey bozulmaları, gerek sürüş konforu gerekse üstyapının mekanik yapısını tahmin etmek için kullanılan vazgeçilmez bir bilgi olduğu birçok kaynakta vurgulanmaktadır. Bu anlamda çalışmalar, araştırmacıların yüzey bozulma verilerini toplama işleminin kolaylaştırılması konusunda yoğunlaştığı açıklıkla görülmektedir. Bu amaçla yapılan çalışmalardan, 2000'li yılların başından itibaren teknolojinin gelişmesiyle birlikte gelişen görüntü işleme tekniğinin sıklıkla tercih edilen bir yöntem olduğu açıklıkla görülmektedir. Araştırmacılar, özellikle bilgisayar mühendisliğinin ilgilendiği bir disiplin olduğu anlaşılan bu teknik kullanılarak gerek iki, gerekse üç boyutlu değerlendirilmeler yardımıyla birçok bozulma türünün otomatik olarak değerlendirilebildiğini açıklıkla vurgulamaktadırlar.

ÜYS kavramında, araştırmacıların özellikle yoğunlaştığı bir başka konu olarak veriler arasında ilişkilerin araştırılarak modellerin kurulması olduğu çalışmalardan görülmektedir. Genel olarak yayınlar, araştırmacıların muhtelif yüzey değerlendirme verileri ile düzgünlük arasındaki ilişkiler ile üstyapıların gelecek tahminini (bozulma modelleri) yapabilen modeller üzerinde yoğunlaştığını göstermektedir. Araştırmacıların ilişkileri ortaya koyan bu modelleri yapay sinir ağları, bulanık mantık, genetik algoritmalar, veri madenciliği, karınca kolonileri gibi ileri seviye matematik modelleme tekniklerini kullanarak oluşturduğu açıklıkla görülmektedir. Söz konusu bu çalışma konusunda, yüzey bozulma verileri ile IRI arasındaki ilişkileri ortaya koyan modellerin en çok ilgilenilen konu olduğu açıklıkla görülmektedir.

Literatürlerde araştırmacıların ilgilendikleri bir başka önemli konu başlığı ise

önceliklendirme, karar verme veya yatırım değerlendirmesinin olduğu açıklıkla anlaşılmaktadır. Araştırmacılar, mühendisliği birçok disiplininde olduğu gibi ÜYS'lerde karar verme konusunda mutlak doğrunun olmadığını ifade etmişlerdir. Bu anlamda, literatürde hem öncelikli müdahalenin yapılacağı değerlendirme kesimlerinin optimizasyonunu yapan hem de iyileştirme stratejileri bakımından karar vericilere kolaylıklar sağlayan optimizasyon modellerinin oluşturulduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca, araştırmacılar önceliklendirme ve karar vermede mutlaka optimizasyon yapmak yerine yönetici kuruluşun kabulüne bağlı olarak belli deterministik kriterlerle kararların verileceğini ve stratejilerin seçilebileceğini açıklıkla vurgulamışlardır. Yine araştırmacılar, en uygun iyileştirme stratejisinin belirlenmesinde Fayda-Maliyet analizi, Ömür Döngü analiz vb. analizlerin yapılabileceğini ifade etmişlerdir.

Son olarak yapılan literatür taramasında, ivmeölçerler yardımıyla üstyapının mevcut performansını belirleme konusu araştırılmıştır. Bu konuda yapılan yayınlardan araştırmacıların, ağırlıklı olarak üstyapıdaki yüzey bozulma verileri ve/veya düzgünlük verileri ile aracın düşey yöndeki vibrasyon verilerinin karşılaştırılması konusuna yöneldiği açıklıkla görülmektedir. ASTM E 950 koduyla geliştirilen standart yardımıyla yüzey bozulma değerlendirmelerinin ivmeölçer yardımıyla yapılabilmesi kendi ÜYS'lerini kurmaya çalışan kurum/kuruluşlara kolaylık sağlayacağı çok açıktır. Çalışmalarda, araştırmacıların ivmelenme verilerini araç dinamiği modellerinde vibrasyon verisi olarak veya yüzey bozulma verileri ve düzgünlük verileri ile korelasyonlarının araştırılmasında kullandıkları belirlenmiştir. Son olarak araç vibrasyonu değerlendirmesinde araştırmacıların, ÜYS mühendisliğinde gelinen son nokta kabul edilebilecek simülasyon modelleri ve düzeneklerini oluşturdukları görülmüştür. Diğer bir deyişle tüm ÜYS çalışmaları değerlendirildiğinde, günümüz son teknolojisi kullanılarak tasarımı yapıldıktan sonra imal edilecek bir üstyapıda zamanla oluşacak bozulmalar ve bu bozulmaların sürücülere etkisi ile yolun hizmet seviyesinin henüz yol yapılmadan belirlenebileceği açıklıkla görülmektedir.

Genel olarak yukarıda vurgulanan başlıklarla çalışmaya ışık tutabilecek literatür altlığının olduğu söylenebilmektedir. Bir sonraki aşamada yüzeysel olarak vurgulanan konulara ait çalışmalar özet olarak açıklanmaya çalışılmıştır.

Veverka ve diğeri (1990) çalışmalarında, Belçika Yol Araştırma Merkezinin 2. öncelikli yollarla ilgili oluşturduğu yönetim sistemini anlamışlardır. GERSEC adı verilen bu sistemde kullanılan bileşenler şu şekilde özetlenmiştir.

- Yol sisteminin mevcut performansını ortaya koyan, üstyapının görsel ve yapısal değerlendirmesini yapan Kalite İndeksi;
- Bakım öncesi ve sonrası için toplam kalite indeksini tahmin edebilen Bozulma Modeli;
- Aktarılan bütçe ile yol ağını, en verimli bakımlı tutabilecek, en uygun aralıklarla, en verimli bakım tekniğini seçmede yardımcı olabilecek Bütçe Optimizasyonu;
- Yukarıda bahsedilen kısıtlara cevap verebilecek kısa ve orta vadede işleyen bir İş Programı'dır.

Yukarıda bahsedilen bileşenlerin yanında yola ait enkesit özellikleri ile yol sınıfı bilgileri ve trafik bilgileri de sisteme girdi olarak eklenmiş sonuçların değerlendirmesinde parametre olarak kullanılmıştır. Oluşturulan bu sistemde 2. ve 3. derece yolların hizmet seviyesinin yüksek tutulması ve yapılan iyileştirmelerin daha verimli olabilmesi için olmazsa olmaz şart olarak tüm ulaşım ağındaki üstyapıların fiziksel bir bütün olarak değerlendirmesi gerektiği vurgulanmıştır. Üstyapıların mevcut performansının belirlenmesinde hem yüzey bozulmaları hem de boyuna düzgünlük verileri toplanarak değerlendirme yapılmıştır. 0 ile 0.9 arasında değişen Toplam Kalite İndeksi adı verilen bir indeks kullanılmış, değer belirlenmesinde her iki üstyapı göstergesinin ağırlığı eşit kabul edilmiştir. Uzmanlar yardımıyla yapılan görsel değerlendirmeler yüzeyde oluşan bozulmaların tüm yola oranlanması ile bulunan katsayının ilgili bozulma türünün ağırlığı ile çarpılması sonucu belirlenmiştir. Ayrıca, boyuna düzgünlük olarak Belçika Yol Araştırma Merkezinin geliştirdiği 2.5 m hassasiyetli düzgünlük indeksi kullanılmıştır. Değerlendirme sırasında, toplanan yüzey bozulma ve düzgünlük verileri arasındaki korelasyon araştırılarak verilerin tutarlılığı da kontrol edilmiştir. Ayrıca, belirlenen bu korelasyon miktarlarına göre bozulma sebebinin yapısal olması ya da olmaması konusunda tespitler yapılmış, sistemde bakım, onarım ve iyileştirme stratejileri buna göre otomatik olarak belirlenmiştir. Son olarak, sistem yöneticilerinin karar vermesine de yardımcı olan bir bilgisayar yazılımı ile desteklenmiştir.

Monismith ve diğerkleri (1990) alışmalarında, yerel ya da şehirici ölçeğinde kurulması planlanan ÜYS sistemleri hakkında bilgiler vermiş, A.B.D’de bulunan altı adet farklı şehirdeki uygulama örneklerini özetlemiştir. Farklı bölgelere farklı yetkili otoriteler tarafından kurulan ÜYS’leri incelendiğinde şu ortak sonuçlara ulaşılmıştır.

- ÜYS’nin bir kurumda verimli, başarılı ve etkili olabilmesi için daha üst düzey bir yönetimin desteğine ihtiyaç vardır.
- Tüm şehirlerde çalışan sistemlerde üstyapıların mevcut performansının belirlenmesinde yüzey bozulma verileri kullanılmıştır. Ayrıca bir kısım sistemlerde düzgünsüzlük, sürtünme ve defleksiyon verileri de kullanılmıştır.
- Yerel yönetimler, ÜYS’lerini bir yıl içinde uygulamaya hazır hale getirebilirler. Bakım ve iyileştirme aktiviteleri 5 yıllık periyotlar halinde programlanmalıdır.
- Kuruluşlar arasında ÜYS geliştirilmesi için mil başına yapılan harcama konusunda büyük benzerlikler vardır.
- Sorunların farklılıklarına ve bakım-onarım için seçilen “En iyi” yöntemleri bakımından kuruluşlar arasında farklılıklar görölmektedir.
- Üstyapı performansını belirlemede en iyi yöntem konusunda bir fikir birliğı yoktur.
- Mevcut performans incelemesinin yapılma sıklığı, bu işin masrafına ve kaynakların yeterliğine göre değışir.
- Bakım ve onarım faaliyetlerinin önceliklerinin belirleme metodları, değışik sistemler arasında ciddi bir biçimde farklılık gösterir. Çoğu sistem F/M analizi yaparak bu değıerlendirmeyi yapar.
- Kurulan sistemlerin hepsi bir şekilde “En iyi” yatırım programını amaçlamaktadır. “Mutlak doğıru” denilebilecek bir yatırım programı bulabilen bir sistemin olmadığı belirtilmektedir.
- Üstyapı performans tahmin modelleri tüm sistemlerde bulunmakla beraber, tahminlerin deterministikten çok olasılık olarak yapıldığı ve ancak bu yaklaşımla doğıru sonuçlara ulaşılabileceğı ifade edilmektedir.
- Araştırmacıların tespitlerine göre, ÜYS sistemleri için genel bir çerçeve geliştirmenin yerel yönetimler seviyesinde uygun olduğı söylenebilmektedir. Ayrıca, böyle bir sistemin her bir yönetimin kendi ihtiyaçlarına göre biçimlendirmesine imkan tanıyacak kadar seçenek içermesi gerektiğı vurgulanmaktadır.

Sunde'nin, ekip arkadaşlarıyla (1994) hazırladığı rehber, yerel yönetimlerde ÜYS kurulmasında önemli bir adım olmuştur. Çalışma, yerel üstyapı yönetiminden sorumlu kurum/kuruluşların kendi sorumluluklarında bulunan yol ağında ÜYS kurabilmesi için oluşturulan bir kılavuz niteliğindedir. Washington Eyaleti yol birimi teknik ekibince hazırlanan kılavuzda ÜYS kavramı, hizmet düzeyleri ve temel bileşenleri ile analiz yöntemleri kavramlar ve uygulamaları açıklanmıştır. Amerika Federal Kanunlarına göre kabul edilen, 1991 yılı Çok Modlu Yüzey Ulaştırma Verimliliği Yasası (The Intermodal Surface Transportation Efficiency Act of 1991, ISTEA) ile yerel yönetimlere zorunlu hale getirilen ÜYS kurma zorunluluğu ve minimum kriterleri açıklanmıştır. Bu kanun gereği nüfusu 22.500'ün üzerinde olan tüm yerleşim birimlerinde ÜYS'nin ilgili kanunda, kendi sorumluluk bölgelerinde kalan yollar için belirtilen minimum kriterleri kapsayan ÜYS kurmaları gerektiği vurgulanmıştır. Yine kılavuzda, yüzey bozulma türleri, şiddeti ve yoğunlukları kriterlerine göre üstyapıların mevcut durumunu ortaya koyabilen Üstyapı Performans İndeksi (Pavement Condition Index, PCI) açıklanmıştır. Çalışmada, ÜYS'nin tüm aşamaları örneklerle de açıklanarak kullanıcılara somut örnekler verilmiştir.

Ayvalık (1996) yüksek lisans tezinde, 1993 yılında PMSL ve KGM tarafından yapılan pilot çalışmada yollara ait analiz kesimlerinin incelenerek ihale koşullarına uygun uzunlukta onarım projeleri sunmak amacıyla kesimlerin birleştirilmesi hedeflemiştir. Chootinan vd. tarafından yapılan bir çalışmanın bir benzeri değerlendirme yapılarak optimum sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır. Tam sayı programlama modeli ile yapılan optimizasyonda sekiz farklı onarım seçeneği sunulmuş, performans tahmini için de AASHTO 86 modeli kullanılmıştır. KGM sorumluluğunda 25 adet kesimde, AASHTO 86 modelinde PSI değişkeni çekilerek yıllara sari değişimi hesaplanmıştır. LINDO programı vasıtasıyla yapılan maksimizasyonda ortak onarım seçenekleri ve yapım zamanlamaları ile fayda en iyilenmeye çalışılmıştır.

İyınam (1997) çalışmasında, üstyapı yönetim sistemini genel çizgileri ile tanımlamış ve teknolojik gelişimi üzerinde durmuştur. 17 bölgeye ait uluslararası düzgünsüzlük indeksi (International roughness index – IRI) değerleri ile bu bölgelere ait trafik ve sıcaklık değerlerini kullanarak bir üstyapı performans tahmin modeli geliştirmiş ve buna bağlı olarak üstyapı iyileştirme programının oluşturulması ile ilgili bir yöntem

önermiştir. Ayrıca, Türkiye’de Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) için Pavement Management System Ltd. tarafından 1994 yılında tasarlanan bir üstyapı yönetim sistemi ve yürütülmesi hakkında bilgiler vermiştir.

Zimmerman ve Knox (1998), Illinois Ulaştırma Bakanlığı’nın kullandığı üstyapı performans değerlendirme etüdlerinin, 1993 yılında kurulan otomatik üstyapı performans verisi toplayan sisteme geçişte uygulanan mekanizmayı anlatmışlardır. Sistemin başlangıçta, kalibre edilerek seçilmiş dört veya beş üstyapı uzmanının (0 - 5) arasındaki panel değerlendirme yöntemiyle üstyapıyı temsil eden bir katsayının belirlenmesiyle çalıştığını açıklamıştır. Daha sonra yeni sisteme geçiş aşamasında aynı uzmanların 1 - 9 arasındaki puanlama ile otomatik performans verisi toplayan sistemin, ancak dört yıllık süre zarfında kalibrasyonu yapıldıktan sonra otomatik veri toplama ve değerlendirme sisteminin kullanılmaya başladığını belirtmişlerdir. Sonucunda, ancak bu şekilde bir yöntem uygulanarak üstyapı yönetim sistemlerinin otomatik veri toplama yöntemlerine geçmesinin uygun olabileceğini aksi takdirde, geçmişe ait verilerin yeni sistemle kullanılamayacağını yanı sıra üstyapının performansı hakkında doğru kararlar verilemeyeceğinin de altını çizmişlerdir.

Roberts ve Okkine (1998), çalışmalarında belirli kesimlere ait uluslararası düzgünlük indeksinin (International roughness index – IRI) gelecekteki değerini tahmin edebilen, “adaptif ileri beslemeli (öğretmensiz)” ve “geleneksel çok katmanlı geri dönüşümlü” olmak üzere iki farklı tipte yapay sinir ağı modelinin karşılaştırmasını yapmışlardır. Modeli Kansas Ulaştırma Bakanlığı yönetimindeki üstyapı yönetim sisteminden aldıkları birleşik, yüksek miktarda bitümlü ve kısmi tasarımlı bitümlü olmak üzere üç farklı tasarıma ait verilerle oluşturmuşlardır. Modele girdi olarak; tekerlek izi, yorulma çatlak, enine çatlak, blok çatlak, eşdeğer dingil yükü ve mevcut IRI değeri verilerini kabul ederek ağı oluşturmuşlar ve sonuçların karşılaştırmalı olarak analizini yapmışlardır. Sonucunda adaptif ileri beslemeli (öğretmensiz) olarak tasarlanan ağı, geleneksel çok katmanlı geri dönüşümlü olarak tasarlanan ağa oranla çok daha doğru sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir.

Metropolitan Transportation Commission Pavement Management (MTCPM-1998) tarafından yapılan araştırma raporunda, San Francisco körfez bölgesindeki 9 eyalette

esnek üstyapıların değerlendirilmesi yapılmış, mevcut performansları ortaya konmuş ve uygulanan ÜYS'nin değerlendirilmesi yapılmıştır. Körfez bölgesinde bulunan eyaletlerde üstyapıların bakımı ve iyileştirilmesi için 1994-95 mali yılında şehir içi yollara 199.5 milyon şehirler arası yollara 39.3 milyon olmak üzere toplam 238.8 milyon dolar (toplam yol uzunluğu 18,862 mil) yatırım yapıldığı belirtilmiştir. Körfez bölgesinde Metropolitan Ulaştırma Komisyonu tarafından yürütülen ÜYS çalışmalarında, toplam yerel yol uzunluğunun %45 gibi bir oranında Üstyapı Performans İndeksi (Pavement Condition Index – PCI)'nin mevcut performansı gösteren indeks olarak kullanıldığı belirtilmiştir. Ayrıca, araştırmacılar tarafından yapılan değerlendirmeler sonucu bölgede ÜYS kurulu alanlarda ortalama PCI değerinin 1995 ve 1997 yılları arasında 58'den 62'ye yükseldiği belirtilmiştir. Buna bağlı olarak da "İyi" olarak değerlendirilmiş üstyapı performansı eşiğinin 61'den 81'e çıkarıldığı ifade edilmiştir.

Wang (2000), son yıllarda üstyapılara ait bozulma verilerini otomatik olarak toplayan sistemlerin esaslarını ve uygulama prensiplerini gelişim süreciyle birlikte açıklamış, bu sistemler hakkında genel bir değerlendirme yapmıştır. Çalışmada, üstyapının mevcut performansını değerlendirmek üzere toplanan görüntü verilerininin 80 km/sa hızda, şerit genişliği 3.66 m kabulü ile yaklaşık saatte 91 GB (Gigabayt) olduğuna ve bu büyüklükteki veriyi değerlendirmek için kullanılması gereken bilgisayar donanımının çok gelişmiş olması gerektiğine dikkat çekilmiştir ve Japon Komatsu sistemi, ABD Üstyapı Performans Değerlendirme Servisi (U.S. Pavement Condition Evaluation Services – PCES) sistemi, İsveç PAVUE sistemi, İsviçre Çatlak Tanıma Sistemi (CREHOS) ve Illinois Otomatik Yol Denetleme sistemleri genel olarak incelenmiştir. Ayrıca otomatik veri toplama sistemlerinde zaman geciktirme ve entegrasyon (Time Delayed Integration – TDI) teknolojisini kullanan kameralar ile eş zamanlı işlem yapabilen bilgisayarlar kullanılarak karşılaşılan birçok sorunun üstesinden gelinileceği açıklanmıştır.

Ay (2001), Antalya kentinde bulunan devlet yollarının güncel üstyapı ve yüzey durumlarını araştırmıştır. Değişik performans ölçütleri altında yol kesimlerini incelemiş, mevcut performans çözümlemesi yapmış, gözlem ve fotoğraflama yöntemi ile üstyapıdaki bozulmaları tespit etmiştir. İncelediği 3 devlet yolundan yüzey

bozulmalarının dağılımı ve miktarı ile YOGT değeri en fazla olan güzergah için üstyapı yönetim sistemi oluşturmuştur.

Amado (2001), üstyapı yönetim sistemlerinde değerlendirmeler yapmak amacıyla toplanan çok fazla verinin veri tabanlarında bilgi keşfetme tekniği (Knowledge discovery in databases – KDD) ile değerlendirerek, bu verilerden kesimlere ait gelecek performansını tahmin etmeye yönelik bir çalışma yapmıştır. Çalışmasında, Missouri Ulaştırma Bakanlığı 1995 ve 1999 yılları arasında otomatik veri toplama yöntemleri ve uzmanlar tarafından toplanan tekerlek izi, sürüş kalitesi, üstyapı bozulmaları, tabaka kalınlıkları vb. gibi çok sayıda üstyapı verisini değerlendirerek, verileri toplanan bu kesimlere ait mevcut hizmet verebilme oranı (Present Serviceability Ratings – PSR) değerini tahmin etmeye yönelik bir model oluşturmuştur. Sonucunda üstyapı yönetim sistemlerinde kullanılan bakım ve onarım stratejilerinin belirlenmesinde üstyapıya ait tüm verilerin etkili olduğunu ve bu stratejilerin tahmininde bu verilerin kullanılması gerektiğini göstermiştir.

Sundin ve Ledoux (2001), yapay zeka ve üstyapı yönetiminde kullanılan yapay zeka temeline dayalı algoritmalarla çalışan sistemleri incelemiştir. Karar destek teknolojilerinde yapay zeka modellerinin kullanımını inceleyen Sundin ve Ledoux bu konularda yayınlanmış Arizona, Kansas ve Oregon gibi eyaletlerde kurulan üstyapı yönetim sistemlerinde kullanılan modelleri ve bu modellerin konu olduğu son yıllarda yayınlanmış 37 makaleyi derleyerek yapay zeka teknolojisinin üstyapı yönetiminde kullanılabilirliği hakkında bilgiler vermiştir. Yapay zeka teknolojilerini uzman sistemler, yapay sinir ağları, bulanık mantık, genetik algoritmalar ve bunların iki ya da daha fazlasının birlikte kullanımıyla oluşturulan melez (hybrid) sistemler başlıkları altında toplayarak, üstyapı performans tahmininde yapay sinir ağları ve bulanık kümeler, bakım ihtiyaçlarının değerlendirilmesinde yapay sinir ağları, bakım periyotlarının seçimi ve değerlendirilmesinde uzman sistemler, yapay sinir ağları ve melez sistemler ve ayrıca öncelikli bakım periyotlarının belirlenmesinde de genetik algoritmalar tekniklerinin kullanıldığı üzerinde durmuşlardır. Özellikle inceledikleri yayınları kaynak göstererek yapay sinir ağları ile mevcut üstyapı performansını tahmin etmeye yönelik modellerin sonuçlarının çoklu regresyon tekniği ile oluşturulan modellere göre uzman görüşlerini daha iyi yansıttığını vurgulamışlardır. Ayrıca PCI

gibi üstyapı bozukluklarını değerlendirerek mevcut performansı belirleyen indekslerde verilerin otomatik toplanması ve değerlendirilmesinde kullanılan görüntü işleme tekniğinde, yapay sinir ağlarının önemi üzerinde durarak bu teknikle daha doğru sonuçlara ulaşılabileceğini belirtmişlerdir.

Bandara ve Gunaratne (2001), Sri Lanka yol ağı için, bulanık mantık yöntemini kullanarak üstyapı mevcut performansını ve ağıdaki kesimlerin bakım önceliğini belirleyen bir model oluşturmuşlardır. Timsah sırtı çatlak, oyulma, kenar bozuklukları ve sökülme tipindeki bozuklukları girdi olarak kullandıkları modeli üstyapı performans oranlaması (Pavement Condition Rating – PSR) yöntemiyle elde ettikleri verilerle kalibre etmişlerdir. Modelin devamında hizmet düzeyi tahmini için Markov modelini bulanık mantık yöntemi ile ilişkilendirerek kesimlerin bakım öncelikleri hakkında çıkarımlarda bulunmuşlardır.

Wahhab ve diğerleri (2002) çalışmalarında, Suudi Arabistan'ın petrol zengini liman kentlerinden olan Damman belediyesinin yol ağı için kurmuş olduğu ÜYS sistemi detaylarıyla açıklamıştır. Damman belediyesi tarafından ÜYS çalışmaları 1997 yılında başlatılmıştır. Üstyapı performansının belirlenmesinde Arabistan'ın birçok şehrinde olduğu gibi PAVER (Shahin, 1990) sistemi kullanılmıştır. PAVER sistemi kurallarına göre belirlenen ve kodlanan kesimlerde, boyutları belirli örnek alanlarda veriler toplanarak, sistem kurallarını işletmek üzere yazılan Visual Basic tabanlı yazılımla kesimlerin PCI değerleri belirlenmiştir. Daha sonra sistemde anayol, toplayıcı yol ve servis yolu olmak üzere 3 farklı kategoride toplanan yolların her birinde ayrı olmak üzere performans modelleri geliştirilmiştir. Sonraki aşamada farklı üstyapı otoritelerinin üstyapı bozuklukları ve yoğunluklarına göre önerdiği yüzey tamir yöntemleri ve birim fiyatları algoritma olarak sisteme girilmiştir. Sonrasında Haas vd.(1994) tarafından önerilen, bakım öncelik sırası olarak isimlendirilen bir sistemle kesimlerin bakım-onarım öncelikleri belirlenmiştir. Öncelik sıralaması üstyapı sınıfı, üstyapı performansı, sürüş kalitesi vb. (7 adet) bileşenlere bağlı bulunan ağırlık faktörü ve kesimin öncelik faktörü değerinin çarpımı sonucu bulunan değer olarak kabul edilmiştir. Sistemde, bu şekilde belirlenen öncelik sıralarına göre bütçe dağılımları yapılmaktadır. Ayrıca, toplamda 160 adet kesim bulunan yol ağında 100 kesimden toplanan veriler kalibre

edilmekte, kalan 60 adet kesimden toplanan veriler ise kalibrasyon sonuçlarını kontrol etmek amacıyla kullanılmaktadır.

Cline, Shahin vd. (2003) yaptıkları çalışmada, PAVER sisteminde kullanılan PCI değerini belirlemek için geliştirilmiş olan ve üstyapı mühendisleri tarafından ölçümler ve görsel değerlendirmeler şeklinde toplanan üstyapı bozulma verilerinin, günümüzde geliştirilmiş ve otomatik hale getirilmiş bilgisayar teknolojileriyle uygulanabilirliğini araştırmışlardır. Çalışmada mevcutta kullanılan 35 mm analog sürekli film, dijital kamera ve yol bozulma verilerini toplamak amacıyla geliştirilmiş dijital çizgi tarama teknolojisi kullanılarak toplanan veriler kendi yazılımlarıyla değerlendirilerek bozukluk verileri ve yoğunlukları elde edilmiştir. Elde edilen bu bozulma verilerinden PCI değerlerine ulaşılmıştır. Aynı alanlar için sistemin temelinde kullanılan üstyapı mühendislerinin değerlendirmeleri ve ölçümleriyle elde edilen verilerden PCI değerleri hesaplanarak bu değerler karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda her iki yöntemle elde edilen PCI verilerinin benzer sonuçları verdiği saptanmıştır. Ayrıca otomatik veri toplama yöntemleri kullanılarak çok daha hızlı ve güvenilir verilerin toplanabileceği, yaklaşık 340000 m² alanda yapılan gözlemler için iki yöntemin maliyetinin eşit kabul edilebileceği ve alan büyüdükçe otomatik veri toplama yönteminin daha ekonomik hale geldiği, değerlendirmeler sırasında üstyapı mühendislerinin verdiği bozulma tipi ve yoğunluğu kararlarının daha standart ve güvenilir hale geldiği sonucuna varılmıştır.

Lin vd. (2003), Taiwan otoyollar bürosu için yapay sinir ağları tekniğini kullanarak bir IRI tahmin modeli geliştirmişlerdir. “Otomatik Yol Analiz Çözümleyicisi” (Automatic Road Analyzer – ARAN) ile toplanan IRI değerlerini kullanarak model kalibre edilmiş ve modele tekerlek izi, timsah sırtı çatlak, oyulmalar gibi bozulmalar ve bu bozulmaların farklı yoğunluklarını içeren toplam 14 tip veriyi girdi olarak kullanmışlardır. Çalışmada yine ARAN sistemi içinde bulunan görüntü işleme tekniğiyle bozulma tipleri ve boyutları 1 km’lik 125 farklı yol kesiminde toplanmış ve toplanan bu bozulma verilerinin sonuç IRI üzerindeki korelasyonları belirlenmiştir. Çalışmanın sonucunda, maddi yetersizlikler yüzünden profilometre gibi düzgünlük ölçebilen aygıtları alamayan birimlerin kullanabileceği üstyapı bozulma verilerini kullanarak IRI değerini belirleyebilen bir sistem oluşturmuştur.

Terzi (2004), bulanık mantık yöntemini kullanarak, sathi kaplamalar ve asfalt betonu kaplamalar için hem üstyapıda oluşabilecek tüm bozulmaları, hem de bu bozulmalara neden olabilecek tüm etkenleri göz önüne alan hizmet düzeyi tahmin modelleri geliştirmiştir. Terzi geliştirdiği bu modelleri Visual Basic programlama dilinde kodlayarak, üstyapının mevcut performansını tahmin edebilmesinin yanında gelecekte beklenen trafiğe göre de performans tahmini yapmıştır. Ayrıca geliştirdiği bu programı Fayda/Maliyet oranı değerlendirme kriterine göre bakım onarım periyotlarını belirleyebilen ve Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) altlığını kullanabilen bir ağ düzeyi üstyapı yönetim sistemi paket programı haline dönüştürmüştür. Ayrıca, Ankara merkezli Karayolları 4. bölge verilerini kullanarak, geliştirdiği bu paket programın kullanılabilirliğini göstermiştir.

Choi vd. (2004), uluslararası düzgünsüzlük indeksi (International Roughness Index – IRI) değerini tahmin edebilen bir model geliştirmiştir. Çalışmada literatürde IRI değerini tahmin eden modellerde, üstyapının malzeme özelliklerinin göz ardı edildiğine dikkat çekilmiştir. Modele girdi olarak, tasarımda 200 nolu elekten geçen agrega yüzdesi, aşınma tabakasındaki tabaka kalınlığı, tabakaların yapısal değeri ve kümülatif eşdeğer dingil yükü sayısı verileri kullanılmış, çıktı olarak da IRI değeri elde edilmiştir. Bu amaçla, uzun dönemli üstyapı performansı testi (Long Term Pavement Performance – LTPP) verileri ile yapay sinir ağı ve çok katlı regresyon teknikleri kullanılarak aynı çıktıyı veren iki ayrı model oluşturulmuş ve bu iki model arasında karşılaştırmalar yapılmıştır. Sonuç olarak, girdiler ve çıktı arasındaki lineer olmayan ilişkileri, yapay sinir ağıyla oluşturulan modelin gerçeğe daha yakın sonuçlar verdiği gösterilmiş ve bu tip ilişkilerin yapay sinir ağlarıyla daha doğru modellenebileceği belirtilmiştir.

Gao (2004) çalışmasında, Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) temelli üstyapı iyileştirme ihtiyaçlarını belirleyebilen bir analiz sisteminin algoritma, metodoloji ve modelleme çalışmalarını açıklamıştır. Araştırmacı, mevcut bütçe, minimum performans ihtiyaçları ve kısıtların dengelenmesi işlemleri için hem Ağ hem de Proje düzeyinde bir ÜYS altlığı üzerinde çalışmıştır. Kullanılan altlıkta gerek bugün gerekse geçmişe dönük proje düzeyi üstyapı bilgileri yer almaktadır. Çalışmada, Georgia Ulaştırma Departmanı için eyaletin şehirlerarası yollarında CBS altlıklı bir sistem ve “NEEDAS” adı verilen bir bilgisayar yazılımı geliştirilmiştir. Mevcut durumun belirlenmesinde 1986 ile 1997

yılları arasında toplanan 10 adet yolun yüzey bozulma verileri ile 0 – 100 arasında değişen yüzey puanlama sistemi (PCR) kullanılmıştır. Değerlendirme 100 ft uzunluğundaki standart uzunluklardaki kesimlerde yüzey bozulmalarının uzman görüşlerinin puanlama değerlendirmesiyle yapılmıştır. Bozulma modelleri olarak, her türlü farklı üstyapı ve iyileştirme türü için, verilerin sürekli olmadığı kesimlerde kesim özelliklerine göre tahmini bozulma oranları kullanılmış, verilerin sürekli olduğu kesimlerde ise dinamik doğrusal regresyon modelleri kullanılmıştır. Ayrıca, uygun stratejinin belirlenmesinde doğrusal programlama modeli kullanılmıştır. Değerlendirmeler eyalet sınırlarında 7 adet yolda farklı senaryolar üretilerek yapılmıştır. Geliştirilen bu yazılımda yalnızca proje düzeyinde bakım-onarım stratejileri belirlenmekle yetinilmemiş, araştırmacı aynı zamanda Ağ düzeyi değerlendirmede de kullanılan ve makro ölçekte bakım-onarım stratejileri sunabilen bir algoritma geliştirmiştir. Aynı zamanda yazılımın, bütçe, üstyapı bozulmaları vb. girdilerin farklılaşması durumunda “EĞER” senaryolarının üretilmesine imkan sağlayabilen bir sekme ile desteklenmiştir.

Terzi (2005) çalışmasında, AASHO yol testi çalışmalarında geliştirilen PSI formülüne girdi teşkil eden ortalama eğim varyansı, üstyapı yüzeyindeki çatlak ve yama miktarı, tekerlek izi miktarı verilerini girdi kabul eden ve çıktı olarak PSR verilerini veren bir yapay sinir ağı modeli geliştirmiştir. Modelde AASHO formülü kullanılarak elde edilen PSI değerleri ile aynı kesime ait panel oranlamalarla uzman görüşlerini tasvir eden PSR değerleri karşılaştırılarak aralarındaki korelasyon belirlenmiş ve neticede, yapay sinir ağı kullanılarak oluşturulan modelin uzman görüşlerini, deterministik yaklaşımlara göre daha doğru yansıttığı ispatlanmıştır.

Wilson (2005) Alabama Üniversitesinde hazırladığı yüksek lisans tezinde Alabama eyaletine ait il yollarında yapılan ÜYS sistemini ve prensiplerini incelemiştir. Çalışmada 0 – 10 arasında değerler alan Görsel Değerlendirme Oranı (Visual Inspection Rating) adında bir indeks ortalama günlük trafik, ağır taşı yüzdesi ve üstyapı yaşı bileşenlerine bağlı olarak ($R^2 = 67.7$) modellenmiştir. Kalibrasyon için kullanılan üstyapıların indeks değerleri uzman görüşleri alınarak belirlenmiştir. Uzmanlar belirleme sırasında üstyapı bozulmalarını görsel değerlendirme sonucu kanaat

kullanmışlardır. Geliştirilen bu model aracılığıyla üstyapıların gelecek yıllardaki performansları tahmin edilmiştir.

Yu (2005) doktora tezinde, iki konu üzerine araştırma yapmıştır. İlki, istatistikte sıkça kullanılan Cox orantılı risk modeli'nin (Cox Proportional Hazards Model) geliştirilerek üstyapı kalan ömrü üzerindeki etkili faktörlerin analiz edilmesi ikincisi ise, üstyapı performansı tahmin doğruluğu artırılarak doğrusal karışık etkili tahmin modelinin (Linear Mixed Effects Models, LMEM) geliştirilmesidir. Araştırmacı sayısal değerlendirmeler için Ohio eyaleti üstyapılarına ait arazi verilerini kullanmıştır. Çalışmada, yarı parametrik olan Cox orantılı risk modeli değerlendirmesi için PCR terminal değeri 70 kabul edilerek, 70 ve üzerindeki değerler için istatistiki sapma değerleri araştırılmıştır. Üstyapıyı etkileyen faktörler olarak kalınlık, iklim, trafik yükü, üstyapı hizmet ömrüne göre onarım öncelik durumu bileşenleri değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirmede üstyapı hizmet ömrü üzerinde etkili olan faktörlerin etkilerinin tahmininde cox orantılı risk modelinin kullanılabileceği saptanmıştır. Ayrıca, çalışma sonucu bulunan hizmet ömrünün üstyapı iyileştirme kararı verme, takviye tasarımı ve bütçe paylaşımında yardımcı olarak kullanılabileceği önerilmiştir. Çalışmada, tabaka kalınlığı ve günlük ortalama sıcaklığın üstyapı hizmet ömrünü pozitif yönde etkilediği belirlenmiştir. Ayrıca, araştırmacılar tabaka kalınlığının 1 inç artması hizmet ömrünü yarım yıl arttırdığı, yıllık ortalama sıcaklığın 1 fahrenheit artması hizmet ömrünü 0.6 yıl arttırdığı, ortalama yıllık yağışın 10.1 cm artması hizmet ömrünü 1 yıl azalttığını, ortalama günlük trafiğin 10 kez artması hizmet ömrünü yaklaşık 1 yıl azalttığını saptamışlardır. Ayrıca, çalışmada proje düzeyi üstyapı performans tahmininde karışık etkili tahmin modelinin (LMEM) faydalı bir şekilde kullanılabileceği belirlenmiştir. LMEM modeli değerlendirmesi ve sonuçların kontrolü için 1455 üstyapı kesimine ait 13632 geçerli PCR değeri kullanılmıştır. Sonuç olarak PCR değerini tahmin edebilen ve bölgesel yıllık ortalama kar yağışı, yapısal azalma, kalınlık, sıcaklık, üstyapı yaşı ile geçmiş ölçüm değerlerine bağlı olarak uydurulan bir istatistik dağılıma göre saptanan rastgele PCR ve rastgele PCR eğilimi bileşenlerine bağlı doğrusal bir model oluşturulmuştur. Rastgele belirlenen bu son iki bileşen aracılığıyla R^2 değeri 0.85 olarak belirlenmiştir. Oysa ki, rastgele olan bu son iki bileşen kullanılmadan oluşturulan modelde R^2 değeri 0.63'de kalmıştır. Araştırmacı tarafından bu durum LMEM modelinin bir başarısı olarak yorumlanmıştır.

Şen (2006), görüntü işleme tekniği ile uzaktan algılamanın ÜYS’de kullanılabilirliğini araştırmıştır. Öncelikle, TEM ve D - 100 (E - 5) karayollarında gişe sahalarından karotlar alarak ve bu bölgelere serimi yapılmış asfaltın üretildiği fabrikalardan numuneler alarak, bu numunelerde spektral analiz sonucu asfalta ait spektral yansıtım değerlerini belirlemiş ve asfaltta yıllar içindeki spektral yansıtım değeri farkını bulmuş, daha sonra bu bölgelerde görülen üstyapı bozukluklarını inceleyerek, bozulma türleri ve yoğunlukları ile spektral yansıtım değerleri arasında bir ilişki kurmuştur. Sonuç olarak, bu ilişkilerin uydu verileri ile kullanımının değerlendirmesini yapmıştır. Değerlendirmeler sonucunda, uydu verilerinin ÜYS’de kullanımının mevcut koşullar altında mümkün olmadığını fakat, gelişen teknoloji ile gelecekte tercih edilebilecek bir yöntem olabileceğini saptamıştır.

Terzi (2006) çalışmasında, çok fazla sayıda ve karmaşık halde bulunan veriyi, anlamlı hale getirmek ve sonuçlar elde ederek bu sonuçlardan gelecekle ilgili çıkarımlar yapabilmek için kullanılan veri madenciliği tekniğini kullanmıştır. Bilinen adıyla AASHO formülü ile belirlenen üstyapı mevcut hizmet düzeyi indeksi (Present Serviceability Index – PSI) eşitliği değerleri ile panel değerlendirmeler kullanılarak elde edilmiş PSI değerlerini veri madenciliği tekniği ile süzerek tekniğin bu alanda kullanılabilirliği hakkında çıkarımlar yapmıştır. Sonuçta veri madenciliği tekniğinin üstyapının mevcut hizmet düzeyi değerinin belirlenmesinde ve gelecek tahmininde çok sayıda veriyi süzerek rahatlıkla kullanılabileceğini göstermiştir.

Abat-Bangasan (2006) yaptığı çalışmada, Filipinlerde kaplamasız ve düşük hacimli yollarda Yeni Zelanda’da edinilen tecrübe ışığında metod tabanlı özelliklerde performans tabanlı özelliklerin üretilmesi ve yönetilmesi açıklanmıştır. Başka bir deyişle, Filipinlere Yeni Zelanda’da uygulanan ÜYS uyarlanmış ve kaleme alınmıştır. Çalışmada, düşük hacimli yoldan günde 500 araçtan az olan yollar kastedilmiştir. ÜYS işletiminde performans tabanlı Yeni Zelanda Yol Otoritesinin 1998 yılından beridir kullandığı yaklaşım kabul edilmiştir. Araştırmacılar, performans tabanlı ifadeyle klasik ÜYS işleyişinde olan mevcut durumun değerlendirilerek ve gelecek durum tahmin edilerek bütçenin optimum şekilde dağıtılması ve sonuçların incelenmesini anlatmak istemişlerdir. Bakım-onarım işleyişinde müteahhitlere ihale edilerek verilen sorumluluk bölgelerinde üstyapı yönetici kurumları denetleme yaparak yönetim

sistemini yürütmektedir. Verilerin toplanması ve yönetilmesi işi yerel müteahhitlere devredilmekle birlikte yol kullanıcılarından gelen şikayetlerin dinlenilmesi en büyük kontrol mekanizması olarak işlemektedir. İş programı şeklinde hazırlanan ve kurallar zinciriyle işleyen sistemde, üstyapının çeşidine göre yüzey bozulmaları ve bakım-onarım tarihi kısıtlarına göre (örneğin, 15x15x5 cm boyutunda çukur tamir süresi 24 saat içinde) işleyin kontrol edilmektedir. Ayrıca, oluşturulan yol bakım kılavuzu ve süre kısıtları kullanılarak yerel müteahhitlerin kullanılması şeklinde çalışan bu sistemde, yerel ekonominin canlandığı kabul edilmektedir. Ayrıca, profesyonel merkezi bir sistemin kurulması için çalışmaların devam ettiği belirtilmiştir.

Chootinan ve diğerleri (2006), uzun vadeli (birçok yılı kapsayan) üstyapı bakım programlarını simülasyon tabanlı genetik algoritma yardımıyla çözmeyi amaçlamışlardır. Çözümlemede, ağ düzeyi bir ÜYS için stokastik simülasyon yardımıyla üstyapıların gelecekteki durumu ortaya konmuş, ayrıca genetik algoritma yardımıyla da en uygun kombinasyon elde edilmiştir. Üstyapının performansını belirlemede Lee vd. tarafından 1993 yılında TRR'da yayınlanan ve puanlama sistemiyle çalışan PSR yöntemi kullanılmıştır.

$$PSR_{st} = P_0 - AF \cdot (a \cdot STR_{st}^b \cdot Y_{st}^c \cdot D_{st}^d) \quad (2.1)$$

Genel olarak, formülde s üstyapı kesimini, t üstyapı periyodunu, P_0 , imalat sonrası üstyapının performansını, STR_{st} üstyapı sayısını, Y_{st} üstyapının yaşını, D_{st} t yılında üstyapıdan geçen kümülatif 18 kip tekerrür dingil sayısını, a, b, c, ve d kalibrasyon değişkenlerini, AF ise iklim bölgesi ve yolun fonksiyonunu gösteren göstergedir. Optimizasyonda amaç, bakım maliyetini minimize ederken üstyapı performansını maksimize etmek olmuştur. Araştırmacılar, deterministik olarak belirlenen üstyapı durumlarında, üstyapıların performansının beklenenden daha yüksek çıktığını dolayısıyla bu teknikle ihtiyaç duyulacak bakım maliyetlerinin beklenenden daha az tahmin edildiğini göstermişlerdir. Araştırmacıların önerdiği simülasyon-optimizasyon tekniği ile mevcut bozulma modellerinin belirsizliklerinin giderilerek daha etkili sonuçların elde edilebileceği ifade edilmiştir.

Chongpeepien ve Ammarapala (2008) çalışmalarında, yaklaşık 30 yıldır kullanılan Thailand ÜYS'i incelenmiştir. Bu sistemde de amaç birçok sistemde olduğu gibi sınırlı

yıllık bütçenin yönetimi olmuştur. Sistem TPMS modülü ve TPMS bütçeleme modülü olarak ikiye ayrılmaktadır. ÜYS işletiminde teknik altlık olarak Dünya Bankası tarafından kullanılan HDM-III modeli yaklaşımları kullanılmıştır. Üstyapı mevcut performansı gösteriminde Dünya Bankasının kabul ettiği IRI indeksi kullanılmış olup, IRI tahmininde;

$$IRI = a * e^{(b_1 * Age) + (b_2 * AADT) + (b_3 * \%HV)} \quad (2.2)$$

modeli kullanılmıştır. Modelde Age üstyapının yaşını, AADT YOGT değerini ve %HV ise ağır taşıt yüzdesini ifade etmektedir. a, b₁, b₂, b₃ değişkenler olarak karşımıza çıkmaktadır. Çalışmada araştırmacılar tarafından ayrıca, her türlü model altlıklarının güncellenmesi ve kalibre edilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Chan ve diğerleri (2010), Tennessee şehrinde kurulu ÜYS verilerini trafik kaza verileri ile karşılaştırarak aralarındaki ilişkiyi araştırmışlardır. 4 adet kent kavşağında 55 mph hızda 21 adet negatif binominal regresyon modeli oluşturulmuştur. Trafik kazaları sıklığı tekerlek izi derinliği, IRI ve PSI verilerine bağlı olarak modellenmiştir. Çalışmada, bölgeye ait 2006 yılı verileri kullanılmıştır. Toplamda 5508 adet kazanın incelendiği çalışmada PSI değerleri Chloe profilometresi kullanılarak yapılan ölçüm değerleri sonucu bulunmuştur. Ayrıca, çalışmada veriler değerlendirilirken hava koşulları, haftanın günü, günün zamanı, vb. diğer etkenlere bağlı veriler kendi aralarında kümelendirilerek modelleme çalışmaları yapılmıştır. Değerlendirme, sonucunda kaza sıklığı ile PSI değerinin tekerlek izi ve IRI'ya göre daha etkili olduğu görülmüştür. Özellikle tekerlek izi derinliğinin korelasyon değerinin düşük olduğu açıklıkla görülmüştür. Çalışma sonucunda bir ÜYS'de bir yolun güvenlik değerlendirmesinde üstyapıya ait PSI değerinin de göz önünde bulundurulması gerektiği saptanmıştır.

Chou ve Le (2011) çalışmalarında, hemen her ülkede üstyapı bakım ve onarım iş kalemlerine olması gereken önemin verilmeyerek çoğunlukla gerektiğinden az ödenek ayrıldığı ve bu nedenle, ayrılan bütçenin en akıllıca kullanılması gerektiği vurgulanmıştır. Bununla birlikte çalışmada, bakım-onarım stratejileri olarak çok sayıda seçenek üretilmesi gerektiği önerilmiştir. Bu bağlamda, birbirine göre baskın

olmayan çözüm stratejilerine dayalı olarak esnek bakım stratejilerinin maliyet-güvenirlilik değerlendirmesinin yapılması gerektiği belirtilmiştir. Bu amaçla araştırmacılar tarafından yeni bir algoritma olan Çok Amaçlı Parçacık Yığın Algoritması (Multi-objective particle swarm optimization-MOPSO)'nın kullanımı araştırılmıştır. Çalışmada, regresyon modellerinin güvenirlilik temelli performans değerlendirmesi yapılmıştır. İşlem sırasında, üstyapı mekanik yapısının bakım maliyeti ve performans güvenirliliği bakım stratejileri ile tabaka kalınlıkları miktarları aynı anda düşünülerek optimize edilmiştir. Esnek üstyapı mekanik yapısının güvenirliliğinin tahmini için olasılık modelleri oluşturulmuştur. Bakım-onarım yapılması ve yapılmaması durumlarına göre ayrı ayrı modeller geliştirilmiştir. Üstyapı bozulmaları log-normal dağılıma uydurularak güvenirlilik modelleri oluşturulmuş ayrıca, fonksiyonların girdileri olarak tabaka kalınlıkları ve diğer fiziksel karakteristik bilgileri kullanılmıştır. Toplam güvenirliliğin belirlenmesinde Monte-Carlo simülasyonu kullanılmıştır. Ortalama 100 iterasyon sonrasında bakım maliyetlerinin dramatik olarak değiştiği %97 sınırı güvenirlilik sınırı olarak belirlenmiştir. Çalışmada, güvenirlilik sınırının %95 kabul edilmesi durumunda ve ayrıca bakım çalışmalarında iskonto oranının %4 ve %10 olması durumunda bakım maliyetlerinin sırasıyla %11.01 ve %36.44 oranlarında azaldığı gözlemlenmiştir.

Wolters, Zimmerman ve diğer araştırmacılar (2011) araştırma raporlarında, genel hatları ve örnek uygulamalarıyla ÜYS kavramı değerlendirilmiştir. ÜYS işletiminde kullanılan yazılımlar değerlendirilmiş, teorik altlıkları ve birbirleriyle benzerlikleri karşılaştırılmıştır. Amerika'da 24 şehirde kullanılan yönetim sistemleri özetlenmiştir. Sonrasında, incelenen ÜYS'ler karşılaştırılarak ülke genelinde kullanım durumları, yol uzunlukları ve sınıfları, kent ve nüfus dağılımları grafiklerle değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda ÜYS'lerin %59'unun belediye sınırlarında kurulduğu belirlenmiştir. Ayrıca, kullanılan ÜYS'lerin %48'inin 10 yıldan, %24'ünün ise 5-10 yıl arasında olduğu saptanmıştır. Çalışma, ÜYS kavramının Amerikada uzun yıllardır kullanıldığının ispatı niteliğindedir. Campaign, Edgar, McHenry, Stark, Macomb Naperville ve Villa Park şehir/eyaletlerinde yönetim sistemi uygulama örnekleri verilmiştir.

Yapılan literatür taramasında ÜYS kavramını ve bileşenlerini tartışan çalışmalar yukarıda özetlenmiştir. Hazırlanan bu çalışmada, ÜYS kurulmasında üstyapıların mevcut performansını belirleme adımı titişim değerlendirme yönteminin uygunluğu araştırıldığından dolayı, literatürde konu ile ilgili olarak titişim verilerinin ne maksatla kullanıldığı incelenmiştir. Bu konuda yapılan literatür taraması aşağıda özetlenmiştir.

Wermers (1962) isimli araştırmacı, 1962 yılında yayınlamış olan farklı üstyapı türleri için dönemin yol düzgünsüzlük indeksi çıktıları ile üstyapı panel değerlendirmeleri arasındaki ilişkiyi farklı açıdan değerlendirmiştir. Yapılan bu çalışmada, Panel değerlendirme sonuçları (Üstyapı servis oranlaması, PSR) ile yol düzgünsüzlük indeksi (RRI) arasındaki korelasyonun ($R^2 = 0.92$) yalnızca rijit üstyapılarda yüksek oranda sağlanabildiğini saptamıştır. Araştırmacı kendi çalışmasında esnek üstyapılar için PSR ile RRI arasındaki ilişkiyi doğrusal en küçük kareler yöntemi ile değerlendirmiştir. Oluşturduğu modelde PSR ile RRI'nın yanında aynı zamanda ivmeölçer düzgünsüzlük indeksi (Accelerometere Roughness Index, ARI) arasındaki ilişkiyi de değerlendirmiştir. Değerlendirilen 8 adet kesimde, esnek üstyapılarda PSR'ın tahmin edilmesinde ARI parametresinin RRI'ya nazaran daha uygun bir girdi olduğu saptanmıştır. Ayrıca çalışmada, ARI üstyapı kesimi boyunca toplanan ortalama düşey ivmelenme olarak saptanmıştır. Hesap yöntemi olarak, 1 sn aralıklarla toplanan düşey ivmelenme değerleri (inç/sn^2) yol uzunluğunda grafikleştirilmiş sonrasında, ivmelenme grafiğinin altında kalan alanın yol uzunluğunun (inç) iki katına bölünerek ortalama ivmelenme değeri bulunmuştur. Çıkan sonuç, 10^4 değeri ile büyütülerek ivmelenme düzgünsüzlük indeksi (ARI) değeri bulunmuştur. İndeksin formülasyonu aşağıda görüldüğü şekildedir.

$$ARI = \frac{A}{2L} 10^4 \quad (2.3)$$

Burada, A düşey ivmelenme grafiği altında kalan alan, L ise yolun uzunluğu kabul edilmiştir. Çalışma sonucunda oluşturulan PSR tahmin modellerinde, yalnızca ARI girdi olarak kullanılırsa korelasyonun 0.7868, modele ARI ve RRI girdi olarak kullanılırsa korelasyonun 0.7977 olduğu saptanmıştır. Buradan, ARI ölçümlerinin üstyapının performansını değerlendirmede oldukça önemli bir parametre olduğu açıklıkla görülmektedir.

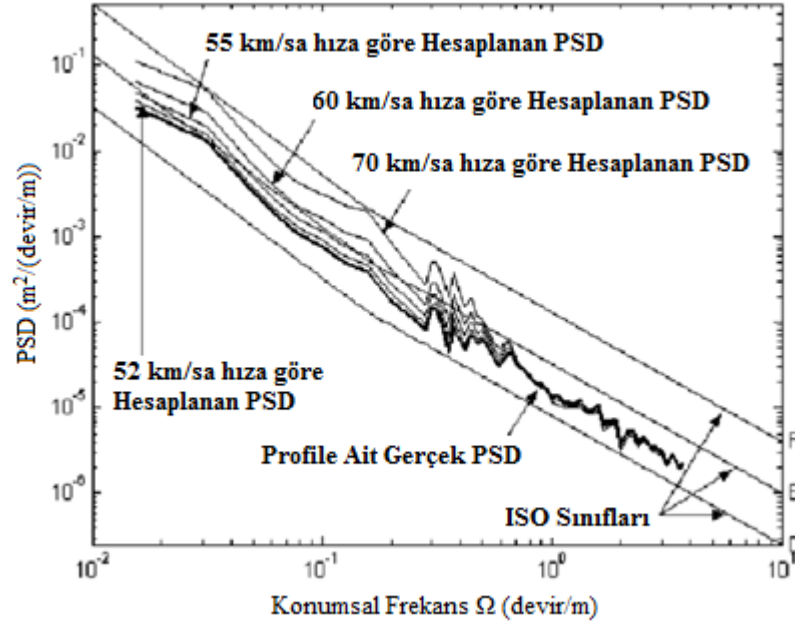
Gonzales ve diğeri (2008) çalışmalarında, ivmeölçer sinyal verilerini PSD (Power Spectral Density) fonksiyonu kullanılarak çözümlenmişlerdir. PSD sayısal işaret işlemede kullanılan, genellikle watt veya Hz ile ölçülebilen, kısaca verilen bir bant genişliğinin veya elektromanyetik radyasyonun toplam gücü olarak anılan matematiksel dönüşümdür. İşte bu noktada sinyalin zamana göre davranış biçimini tanımlayabilmek için otokorelasyon fonksiyonu işin içine girmektedir. PSD ise otokorelasyon fonksiyonunun Fourier transformu alınarak bulunur ve random sinyaller için elinizdeki sinyalin değişik frekans değerlerine düşen enerji yoğunluğunu göstermektedir. Birçok kullanım alanı olan yöntemde, temel mantık şu şekilde açıklanmaktadır. Birçok rastgele sinyal direk olarak incelendiğinde bir anlam ifade etmezler. Bu nedenle, rastgele sinyaller arasında, sinyallerin sadece örneklerine bakarak benzerlik kurmak, diğer bir deyişle, örneklere dayalı benzerlik ölçütleri bulmak zordur. Fakat her sinyalin kendi PSD değeri hesaplandığında bazı sinyal türleri için belli başlı benzerlikler içerebilir ve bu durum PSD'lerine bakılan sinyallerin benzerlik ya da farklılıkları konusunda bilgi içerir. Çalışmada, taşıt dinamiği kısaca özetlendikten sonra, PSD verilerini kullanarak yolun düzgünlük tahmini yapılmıştır. Düzgünlük tahmininde aşağıdaki model kullanılmıştır.

$$H(\Omega) = PSD_{acc}(\Omega)/PSD_{road}(\Omega) \quad (2.4)$$

Modelde $H(\Omega)$ tip bir taşıtın dinamik özelliklerine göre belirlenen transfer fonksiyonu olarak, $PSD_{acc}(\Omega)$ ise ivmeölçerler aracılığıyla bulunan ölçeklenmiş düşey titreşim verileri olarak kabul edilmiştir. Modelden $PSD_{road}(\Omega)$ çekilerek yola ait düzgünlük değeri tahmin edilmektedir.

Model yardımıyla bulunan $PSD_{road}(\Omega)$ verileri kullanılarak 'ISO 8608:1995, 1995, Mechanical Vibration-Road Surface Profiles-Reporting of Measured Data, International Standards Organisation' standardında tanımlanan yol sınıflama yöntemi kullanılmıştır. Araştırmacılar, yukarıda grafik olarak gösterilen sınıflama aracılığıyla üstyapının mevcut performansı hakkında değerlendirme yapılabileceğini saptamışlardır. Ayrıca, söz konusu sınıflama farklı hızlar ve araç tipleri için değerlendirilmiş her 5 km/sa hız değişimleri için ve dingil yükleri ticari sınıfta sayılan taşıtlar için transfer fonksiyonunun kalibre edilmesi gerektiğini ifade etmişlerdir. Ayrıca değerlendirmede,

yolun mevcut düzgünsüzlük ölçümü de yapılarak ivmeölçerlerle bulunan düzgünsüzlük değerleri arasındaki sapmalar belirlenmiş, ön ve arka akslarda monte edilen ivmeölçerler ile yolun düzgünsüzlüğü arasında önemli farkların bulunmadığı saptanmıştır. Tipik bir yol değerlendirmesi ve yol düzgünsüzlüğü arasındaki sapma değerleri aşağıdaki grafikte açıklanmaktadır.



Şekil 2.1: Yol değerlendirmesi ve yol düzgünsüzlüğü arasındaki sapma değerleri.

Nahvi, Fouladi ve Nor (2009) çalışmalarında, tüm vücut titreşimi ile sürüş konforunu kıyaslama yaparak değerlendirmiştir. Titreşim verileri ISO 2631-1 standardında tanımlanan ve daha çok sağlık faktörünü değerlendirmede kullanılan gelişmiş değerlendirme yöntemi VDV (Vibration Dose Value) yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. VDV yöntemi ortalamadan çok kişinin maruz kaldığı toplam titreşim değerinin yansıtan bir çıktıdır. VDV değerinde 15 m/s^{1.75} eşiği şiddetli konforsuzluk dolayısıyla, sağlık sınırı kabul edilerek farklı türde üstyapılı yollarda sürücünün sağlık sınırına erişme süreleri hesaplanmıştır. Sürücü koltuğu üzerinde toplanan ivme verileri, frekans tepki fonksiyonu (FRF) ve güç spektrum yoğunluğu (PSD) fonksiyonları ile matematiksel dönüşüm yapılmıştır. Genelde ivme genliklerinin 30 Hz'in altında olduğu saptanmıştır. Buradan araç koltuklarının özellikle koltuk arkasının iyi bir izolatör olduğu sonucu çıkartılmıştır. Ayrıca IRI ile taşıt zemininde oluşan aw değeri arasında ilişki ortaya konmuştur. Oluşturulan modelde taşıt hızı (v) da değişken olarak formülasyona ilave edilmiştir. Çalışmada bulunan formülasyon şu şekildedir.

$$\frac{a_{floor}}{IRI} = 0.16 \left(\frac{v}{80} \right)^2 \quad (2.5)$$

Öztürk ve diğerleri (2009) çalışmalarında, İstanbul'da iki farklı raylı sistemin titreşim açısından yolculuk konforları inceleyerek, düşük konforlu kesimlerde nedenleri araştırılmaktadır. Bu amaçla önce, Aksaray-Havalimanı hafif metro hattı ve sonra Zeytinburnu-Kabataş tramvay hattında yolculuk konforunu belirlemek için 3 eksenli ivme ölçer, sürücü koltuğunun altına yerleştirilerek ISO 2631-4 standardına göre ölçüm sonuçları a_w parametresi gözetilerek incelenmiştir. Ölçümler sonucunda 1/3 oktav bant ivme değerlerine, frekans ağırlık filtrelerinde tanımlı kazançlar uygulanarak, ilgili eksen doğrultusunda ağırlıklandırılmış olan toplam değerler puanlama yöntemi ile değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda, konforun kötü olduğu kesimler incelendiğinde, balast problemlerinin önemli boyutlarda olduğu gözlenmiştir.

Cantisani ve Loprencipe (2010) çalışmalarında, ISO 2631-1 kodlu standartta Tüm Vücut Titreşimi (TVT) (Whole Body Vibration, WBV) değerlendirmesi ile tanımlanan Ağırlıklandırılmış Karekök Ortalama (Weighted Root Mean Square, a_w) bileşenin üstyapı düzgünlüğü ile karşılaştırmışlardır. Araştırmacılar, literatürde ortak paydada buluşulan yol yüzeyi profili ile konforun birbiri ile açıklanabilir olması prensibini göz önüne alarak konforu TVT olarak kabul etmişlerdir. TVT'ni yalnızca düşey doğrultudaki ivme verilerini kullanarak, basit değerlendirme olan a_w değişkeni ile tanımlamışlardır. Çalışmalarında, kabul ettikleri kesimlerde kalibrasyon yaparak buldukları a_w değişkenleri ile aynı kesimlerde ölçülen IRI ölçümlerini karşılaştırmışlardır. Çalışma ile üstyapı mühendislerinin ortak kabul ettiği yüzey düzgünlüğü ile konfor arasındaki ilişki prensibini bir kez daha doğrulanmıştır. 80 km/sa hızda a_w ile IRI arasında $R^2=0.90$ oranında yüksek bir ilişkinin olduğunu saptamıştır. Çalışma sonucunda, ISO 2631-1 standardında belirtilen sürüş konforu ile IRI arasında bir ölçek oluşturmuş, 80 km/sa hızda IRI için 1.43 m/km ile az konforlu, 2.84 m/km ile oldukça az konforlu ve 4.05 m/km ile konforsuz bir sürüşün yapılabileceği ortaya konmuştur. Ayrıca, yine 80 km/sa hızda IRI ve düşey doğrultudaki a_w arasında aşağıdaki ilişkinin olduğu belirlenmiştir.

$$a_{wz} = 0.222 * IRI \quad (2.6)$$

Sonuç olarak çalışmada, üstyapıların performansının konfor değerlendirmesi ile yapılabileceği vurgulanarak, IRI'nın düşey ivmelenmelerle yüksek derecede ilişkili olduğu saptanmıştır.

Ismail ve diğerleri (2010) yaptıkları çalışmada, 30 ve 60 km/sa hızlarda yapılan ivme ölçümlerini insan sağlığı yönünden incelemiştir. İncelemede, Avrupa Birliği fiziksel test ajanslarının kabul ettiği a_w ve VDV değişkenlerini kullanmış genel olarak 10 dk'lık sürüşte a_w parametresinin 0.90 m/s^2 değerinin üzerine çıktığı kesimlerde sağlık problemleri ile karşılaşıldığı sonucuna ulaşmışlardır. Malezya ulusal aracının test edildiği çalışmada, üç boyutlu ivme değerleri ISO2631-1 standardına göre incelenmiştir. Araştırma sonucunda, Ulusal yol ağında ISO 2631-1 standardının 8 saatlik maruz kalma sınırında sağlık problemlerinin rastlandığı 1.15 m/s^2 sınırına ulaşılmadığı saptanmıştır.

Bolling ve diğerleri (2011) çalışmalarında, yol yüzeyini gerçeğe en yakın şekilde simule etmeye odaklanmışlardır. Çalışma ile OpenDRIVE ismi verilen yol ve çevresi simülasyonunun standartlarının geliştirilmesi sağlanmıştır. Sürücüyü etkileyen titreşim, gürültü ve görsellik daha gerçekçi oluşturulmuş ayrıca, yamalar da ilave edilerek yeni bir versiyon çıkarılmıştır. Çalışma sonucunda VTI Simulator III cihazı geliştirilmiştir. Tüm bu araştırma çerçevesinde, gerçek yol kesimlerine ait toplanan gerçek veriler kullanılarak modeller kalibre edilmiştir. Araştırmacılar, söz konusu modeller geliştirilirken ivmelenme, düzgünlük ve yüzey bozulma verilerini konforu tanımlamada başlıca unsur olarak kabul edilmişlerdir.

2.2. ÜSTYAPI YÖNETİM SİSTEMİ

İyi bir üstyapı yönetim sistemi düşünülmenin aksine sıradan bir iş değildir. Üstyapı yönetimiyle ilgilenen kuruluşlar böyle bir sistemle birlikte karar vermeyi kolaylaştıracak, verilen kararların belirli bir periyot için çıktılarını karşılaştırabilecek ve aynı zamanda kararların mantıklı, etkili ve koordineli bir şekilde yorumlanmasını sağlayabileceklerdir. Siyasi ve sosyo-ekonomik faktörler hesaba katıldığında bazı kurum/kuruluşlar ve bazı yönetici/yöneticiler alışılmış sistemleri bırakmakta zorlanırlar. Bu ve bunun gibi sebeplerle zaman zaman üstyapı yönetim sistemi kurma işlemine başlamak oldukça zordur.

Kurumlar/Kuruluşlar kendi sınırlarında, sorumlu olduğu üstyapıları en verimli şekilde kullanabilmek için kendi bakım ve onarım politikalarını belirleyerek ileride oluşturulacak bir yönetim sisteminin temellerini atmış olurlar. Bu durum da, her kurumun kendine özgü beklentilerine cevap verebilecek, özgün yönetim sistemlerini kurması gerektiği sonucunu beraberinde getirir. Üstyapı Yönetim Sistemi terminolojide şu şekilde açıklanmaktadır.

Üstyapı Yönetimi, çeşitli yönetim düzeylerinde optimum stratejileri oluşturmayı ve oluşturulan bu stratejilerin uygulamalarını da kapsayan aynı zamanda veri toplama, değerlendirme ve yeterli servis düzeyinde, üstyapıların yenileme, bakım ve onarım gibi aktivitelerinin tümünü içeren ve üstyapının servis düzeyini periyodik olarak takip eden işlemler topluluğuna verilen isimdir (Haas vd., 1994).

Üstyapı Yönetim Sistemi (ÜYS) ise, hazırlanan optimum stratejilerin ilişkili ve eşgüdümlü biçimde çeşitli özellikler, ölçütler ve kısıtlar göz önüne alınarak karar vericiler tarafından dinamik bir şekilde değerlendirilmesi, teknik kısıtların belirlenmesi ve işleme konulması adımlarının tamamına denir (Haas vd., 1994).

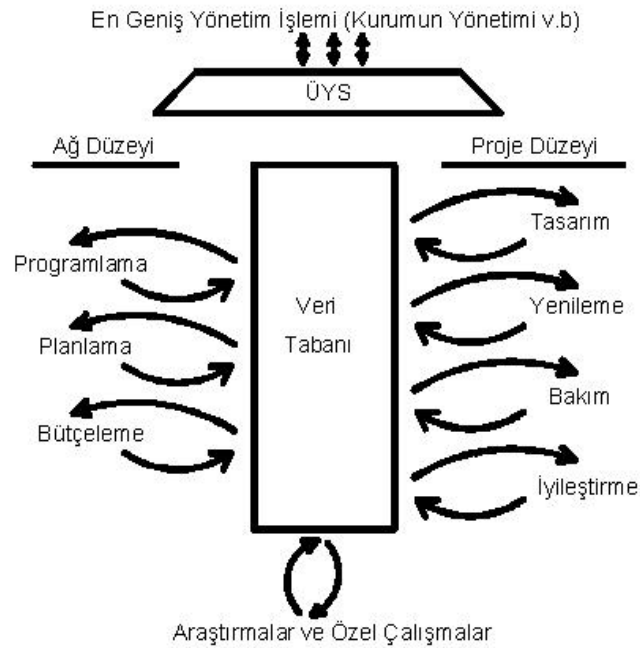
Genel olarak Üstyapı Yönetim Sistemi sistem genelindeki tüm işlemlerin koordineli bir şekilde ayarlanarak, temelde topluma ait olan bütçenin en uygun harcamalarla düzgün, güvenli ve ekonomik olarak üstyapıların işletimini sağlamayı amaçlayan çalışmaların tamamına verilen isimdir.

2.2.1. Üstyapı Yönetimin Sisteminin Gerekli Özellikleri

Bir üstyapı yönetiminde çeşitli teknik veya yönetim düzeyinde kararlar alınırken, alınan bu kararların ağın tamamı ile birlikte tekil projeleri de kapsayabilmesi sağlanmalıdır. Karar vermede, kararı alınarak projesi tamamlanmış veya kararı alınmış fakat henüz projelendirilmemiş stratejilerin değerlendirilmesi, bütçeleme, programlama, proje tasarımı, yenileme ve bakım, kaynak gereklilikleri, hizmet düzeyi gözlemlene ve araştırma gibi kullanılacak bilgilerin her biri birlikte değerlendirilerek ilişkilendirilmelidir.

Bir ÜYS'de bulunması gereken özellikler şu şekilde sıralanabilir;

- Yeni bilgi ve daha iyi modeller elde edildiğinde kolaylıkla sistem güncellenebilmeli ve düzenlenebilmelidir,
- Alternatif stratejilerin tamamı hesaba katılabilmelidir,
- Optimum alternatifler veya stratejiler tanımlanabilmelidir,
- Tanımlanan özellikler, kriterler veya kısıtlar ile birlikte temel kararlar gerçekçi yaklaşımlara dayandırılabilir,
- Kararların karşılaştırılması sonucunda elde edilen yorumlar bilgi olarak kullanılabilir.



Şekil 2.2: Bir ÜYS'nin temel bileşenleri ve aralarındaki ilişki (Haas vd., 1994).

Çok karmaşık bir yapısı olan üstyapı yönetimi yük, çevre, performans, üretim, bakım, malzemeler ve ekonomi gibi birçok değişken içerir. En iyi tasarım, üretim ve bakım için çeşitli teknik ve ekonomik faktörler iyi anlaşılmalıdır. Şekil 2.2’de ÜYS’nin temel bileşenlerinin arasındaki ilişki açıklanmıştır.

Mühendislik projeleri için karar kurallarının ve niteliksel ölçütlerin tam anlamıyla güvenilir olması her zaman beklenmez. Bir sistemin tasarımında, uzman görüşünü temel olarak verilen niceliksel kararlar en önemlisidir, bu nedenle sistem veya bilgisayarlar karar veremezler. Bunun neticesinde bir ÜYS’de, ancak işlemler sonucu elde edilen bilgiler karar vericiler tarafından değerlendirilerek kararlar verilir.

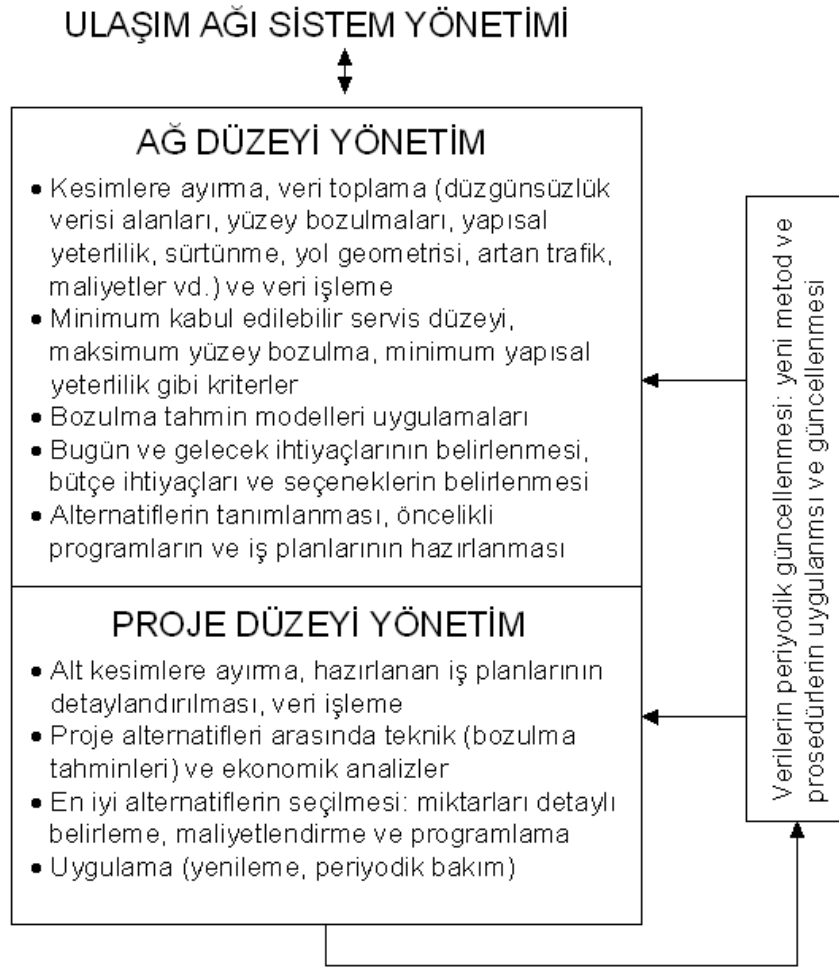
Kararları vermede sonuçları değerlendiren, kural koyucu, yönetici ve teknik düzeyde olmak üzere üç çeşit ÜYS kullanıcısı mevcuttur. Kural koyucu düzeydeki kullanıcılar sistemin yönetiminde bütçe sınırları ve kaynak aktarımı gibi değişmez kısıtları belirleyen kullanıcılarıdır. Yönetici düzeydeki kullanıcılar ağıncı genel değerlendirmesini yaparak kesimler için tekil çıkarımları yapabilen ve kararlar alabilen kullanıcılarıdır. Teknik düzeydeki kullanıcılar üstyapılara ilişkin verileri toplayıp yönetici düzeye sonuçlar halinde sunan kullanıcılarıdır (Haas vd., 1994).

2.2.2. Üstyapı Yönetim Düzeyleri ve Fonksiyonları

İdeal ÜYS mevcut bütçe ile en doğru, güvenli ve ekonomik üstyapı işletimini sağlayabilen sistemdir. Böyle bir sistemde amaç, minimum gereksinimler ile sistemin gerekli adaptasyonu, etkili işletim, pratik olarak sonuçlara ulaşabilme, niteliksel verilere dayalı kararlar verebilme ve iyi yorum bilgileri elde edebilmedir. Elbette tüm kurumlar/kuruluşlar için en iyi olarak tanımlanabilecek tek bir ÜYS yoktur. Her kurumun/kuruluşun kendine özel ihtiyaçlarına cevap verebilecek kendine özgü bir ÜYS’ne ihtiyacı vardır. Bu yüzden, her üstyapı yönetimiyle ilgilenen kurum kendi ihtiyaçlarını ve böyle bir sistemden ne cevaplar istediğini belirleyerek kendi ÜYS’ni kurmalıdır (Haas vd., 1994).

Üstyapı Yönetiminin Ağ ve Proje Düzeyleri

Üstyapı Yönetiminde Ağ ve Proje olmak üzere iki farklı işletim düzeyi bulunmaktadır. Ağ düzeyindeki esas amaç yönetim sistemi iş planlarının ve öncelikli programların geliştirilmesidir. Proje düzeyinde de ağ düzeyinde verilen kararların fiziksel uygulamalarının iş programları ve projelerin yapılarak tamamlanması temel alınmaktadır. Aşağıdaki şekil’de bir ÜYS’de ağ ve proje düzeyinde yapılan işlem adımları ve sistem döngüsü kısaca açıklanmıştır.

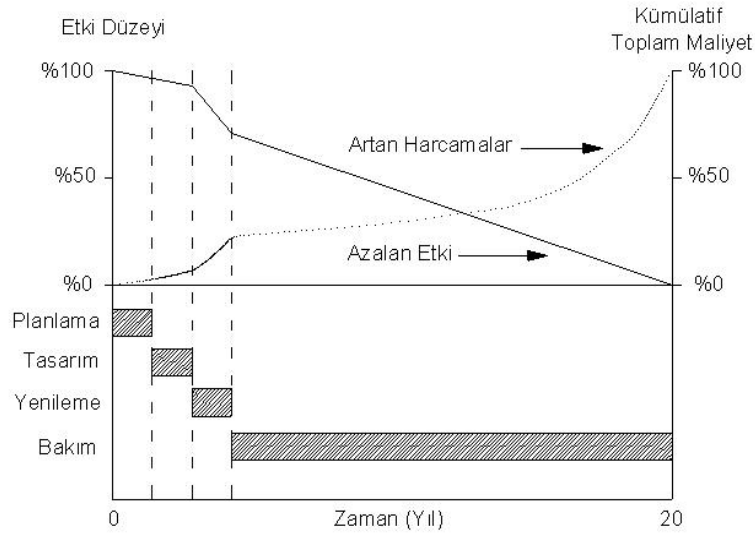


Şekil 2.3: Üstyapı yönetimi ve temel bileşenlerinin şeması (Haas vd., 1994).

ÜYS Bileşenlerinin Etki Düzeyleri

Bir ÜYS’de planlama, tasarım, yenileme ve bakım olmak üzere dört temel bileşen (alt sistem) bulunur. Bu bileşenlerin temelde etki düzeyleri birbirlerinden oldukça farklıdır. Şekil 2.4’de bu dört temel bileşenin etkileri teorik olarak tanımlanmaya çalışılmıştır.

Grafiğin üst bölümü artan harcamaları ve azalan etkileri göstermektedir. Burada kullanılan etki düzeyi kavramı, azalan proje ömrünün toplam ömür döngüsü maliyetleri üzerindeki etkisi olarak açıklanabilir. Şekilden de görüldüğü gibi bir üstyapının uzun yıllar hizmet verebilmesi için en önemli bileşen bakımdır. Ancak bakım yapılarak, yolların proje ömrüncü kullanılması mümkündür. Yine şekilden proje ömrü boyunca yapılan harcamalar ivmeli bir şekilde artarken etki düzeyinin azaldığı rahatlıkla görülebilir.



Şekil 2.4: ÜYS alt sistemlerinin toplam maliyet üzerindeki etkileri (Haas vd., 1994).

2.2.3. ÜYS Fonksiyonları

Veri tabanlarının kullanım amacı, ÜYS'nin çeşitli düzeylerinde karar vermek için bilgi sağlamaktır. Ağ düzeyindeki sistemler, proje düzeyindeki sistemlerden daha az detaylı bilgiye ihtiyaç duyarlar. Bozulma ve performans tahmin modellerini geliştirebilmek için kurumlar uzun dönemli veri tabanlarını ellerinde tutmalıdırlar (Haas vd., 1994).

Bozulmaların (düzensüzlük, yüzey bozulmaları, defleksiyonlar vd.) uzun dönemli ve sürekli izlenmesi sırasında trafik, çevresel faktörler ve performans tahminleri verilerine de ihtiyaç duyulur. Stratejik Yollar Araştırma Programının (Strategic Highway Research Program - SHRP) bir çalışması olan Uzun Dönemli Üstyapı Performansı (Long-term Pavement Performance - LTPP) çalışması yayınladığı katalogla 1990'ların ortalarından beri çok kapsamlı ve amaçlı veri tabanlarının var olmasını sağlamıştır

En detaylı proje düzeyinden en üst düzeyde yönetici kullanıcı düzeyine kadar ÜYS fonksiyonlarının tamamında bir bilgi akışı mevcuttur. Her düzeyde kararlar, farklı tipte ve çok miktarda veriye ihtiyaç duyarlar ama bilginin akışı veya olayların sıralanması hemen hemen aynıdır. Bu amaçla ağ düzeyinde ve proje düzeyinde olmak üzere bilgi alt sistemleri bulunmaktadır. Bu bilgi alt sistemlerinin oluşturulması konusunda yapılması gereken işlem adımları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Haas vd., 1994).

I. Ağ Düzeyinde Bilgi Alt Sisteminde;

Bu alt sistem ağ analizi yapabilmek için gerekli olan verileri içerir. Toplanan veriler ve bu verileri değerlendirmede yapılacak işlemler şunlardır;

- a. Üstyapının taşıdığı özellikler ölçülerek belirlenmeli ve/veya bilgiler, metodlar, araç-gereçler ve diğer ihtiyaçlar elde edilmelidir,
- b. Ağdaki homojen kesim ve linkler tanımlanmalıdır,
- c. Kesimlere ait geometrik ve diğer envanter bilgileri elde edilmelidir,
- d. Her kesim için trafik ölçümleri veya tahminleri, kazalar vb. bilgilere ulaşılmalıdır,
- e. Yapısal kapasite, sürüş konforu, yüzey bozulması gibi ölçümler ile kesimler sınıflandırılmalıdır,
- f. Yenileme, iyileştirme ve bakım için yaklaşık birim maliyetler belirlenmelidir.
- g. Mevcut kaynaklar (malzemeler, kapasite, araç-gereç) belirlenmelidir,
- h. Maksimum düzgünlük, yüzey bozulmaları ve minimum yapısal yeterlilik, yüzey kayma sürtünmesi gibi kriterler tanımlanmalıdır,
- i. Eklenecek yeni ulaşırma yapıları tanımlanmalıdır,
- j. Tamamlanmış projelerin son hali (as-built) verileri elde edilmeli ve saklanmalıdır,
- k. Ağ analiz alt sistemi girdileri için veriler değerlendirilmelidir.

II. Ağ Düzeyi Analiz Alt Sisteminde;

Ağ analiz alt sisteminin amacı, ÜYS'nin temel fonksiyonları olan üstyapı gelişimi ve/veya bakım ihtiyaçları, yenileme, iyileştirme ve bakım programlarının tasarlandığı gibi olup olmadığını kontrol etmektir. Bu işlem şu şekilde gerçekleştirilir;

- a. Uygulamalar için ihtiyaçlar belirlenmelidir. Gelecekteki ihtiyaçların belirlenmesi için bozulma ve tahmin modelleri kullanılabilir,
- b. Her aday proje veya bakım kesimi için alternatifler yaratılmalıdır,
- c. Sonuç programı belirlemek ve aynı zamanda teknik ve ekonomik analiz için program işlem periyotları iskonto oranları ve minimum sürüş kalitesi düzeyi vb. gibi karakteristikler seçilmelidir,
- d. Tahmin edilen performans açısından her alternatifin teknik analizi yapılmalıdır,
- e. Ömür döngü maliyeti, fayda-maliyet analizi gibi yaklaşımlarla her alternatifin ekonomik analizi yapılmalıdır,
- f. Yenileme, iyileştirme ve bakım açısından başlangıç bir program geliştirilmelidir.

III. Proje Düzeyi Bilgi Alt Sisteminde;

Bu alt sistem projenin tipine ve boyutuna uygun, daha detaylı verilerin toplanması ve işlenmesini içerir. Ancak daha detaylı bilgiler elde edilerek proje düzeyindeki uygulamalara devam edilir. Toplanan veriler ve bu verileri değerlendirmede yapılacak işlemler şunlardır;

- a. Proje içinde homojen alt kesimler tanımlanmalıdır,
- b. Aşağıdaki türlere ait veriler ölçülmeli veya tahmin edilmelidir,
 - Geometrik bileşenler (şerit genişlikleri, tabak kalınlıkları vb.),
 - Trafik hacimleri ve eşdeğer dingil yükleri,
 - Yapısal yeterlilik, düzgünsüzlük, yüzey bozulması, yüzey kayma sürtünmesi vb.
- c. Malzeme zelliklerinin belirlenmesi için laboratuvar ölçümleri yapılmalıdır,
- d. Malzemelerin ve imalatların birim maliyetleri elde edilmelidir,
- e. Maksimum düzgünsüzlük, maksimum yüzey bozulma standartları veya kriterleri tanımlanmalıdır,
- f. Çevresel ve iklim verileri toplanmalıdır,
- g. Mevcutta yapılan çalışmaların (bakım, yenileme vd.) verileri toplanmalıdır,
- h. Proje analiz alt sistemi kullanımı için veriler işlenmelidir.

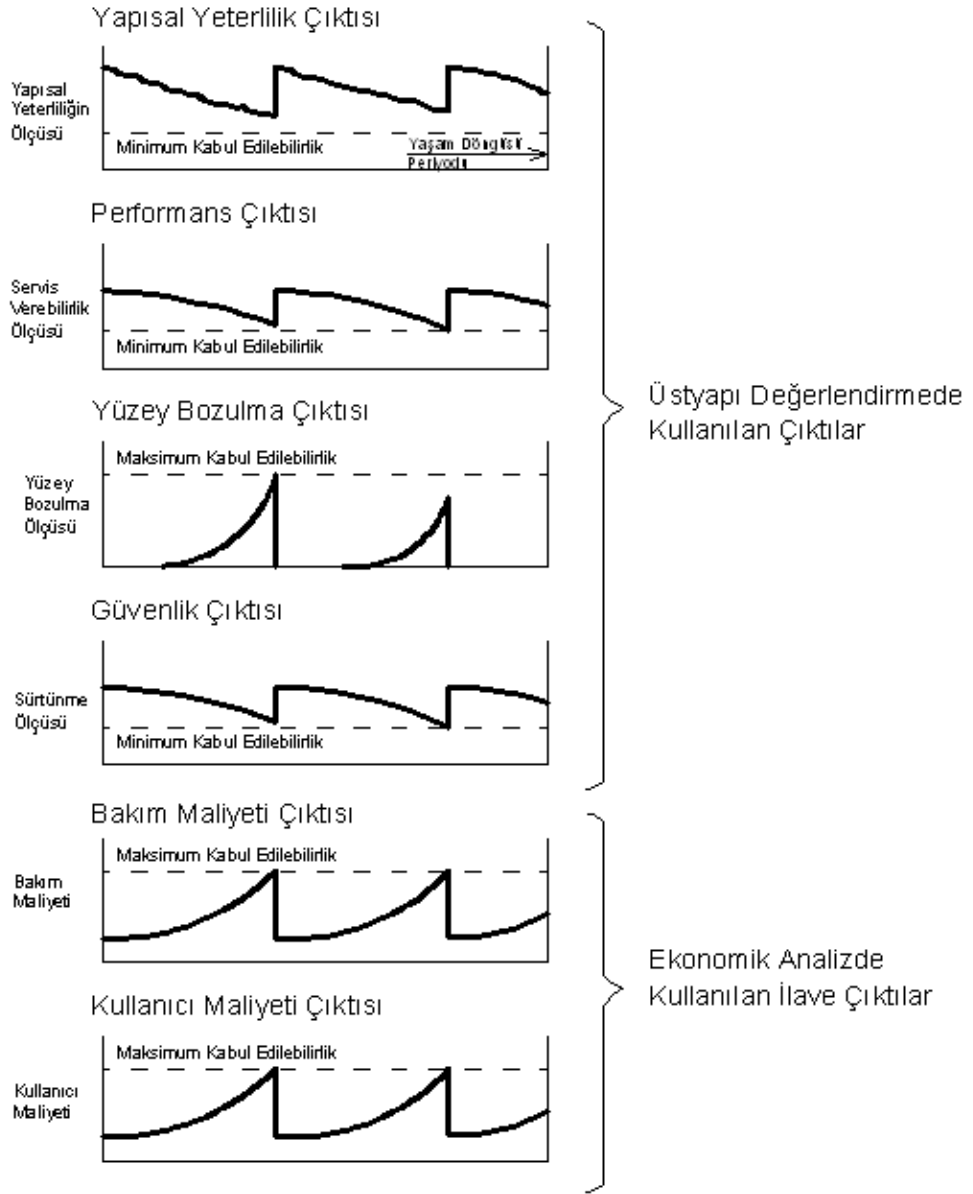
IV. Proje Düzeyi Analiz Alt Sisteminde;

Proje düzeyi analiz alt sistemi öncelikli olarak yeni imalat veya onarım projeleri ile ilişkilidir. Bununla beraber, bu alt sistemde bakım ve iyileştirme alternatifleri de değerlendirilerek çıktıların hedeflerle ilişkisi kontrol edilir. Bu işlem şu şekilde gerçekleştirilir;

- a. Güncel olarak kullanılan ve gelecekte kullanılacak malzemelerin ayrıca ilave bakım alternatifleri ile birlikte tabaka kalınlığı kombinasyonları yaratılmalıdır,
- b. Teknik ve ekonomik analiz için değerlendirme ölçütleri belirlenmelidir,
- c. Bozulma tahminleri ve performans açısından alternatiflerin teknik analizi yapılmalıdır,
- d. Ömür döngüsü maliyeti ve fayda-maliyet analizleri ile alternatiflerin ekonomik analizi yapılmalıdır.

Üstyapıyı Değerlendirme Fonksiyonları

Üstyapı yönetiminde anahtar parça olan değerlendirme planlama, tasarım ve imalat amaçlarının memnuniyetini sorgular. Şekil'de üstyapı çıktılarının temel tiplerinin zamana karşı değerlendirilmeleri şematik olarak gösterilmiştir. Bu çıktıların bir kaçını veya tamamını tasarım sırasında tahmin edilir ve üstyapı kullanımda iken ölçümler yapılarak gerekli ise kalibrasyonlar yapılır.



Şekil 2.5: Üstyapı değerlendirilmesinde kullanılan çıktılar (Haas vd., 1994).

Yukarıdaki şekil'den de görüldüğü gibi iyileştirme gereksiniminin ömrü, üstyapının minimum servis verebilme sınırına ulaştığı noktada son bulur. Tam bu noktada iyileştirme tekrarlanarak servis ömrü uzatılır, aynı zamanda bu iyileştirmeden diğer bileşenlerin de olumlu yönde etkilendiği yine şekilde görülebilmektedir. Üstyapının Ömür döngü ömrü boyunca servis yeteneğinin birden çok defa minimuma gelerek bakım, onarım veya yenileme gibi müdahalelerle tekrar arttırılabildiği bilinmektedir. Ayrıca üstyapı performansı değerlendirilmesinde sonuçları karşılaştırmak için kullanılan ekonomik değerlendirme çıktıları da aynı şekilde görülmektedir.

Aynı zamanda yüzey bozulma çıktısının kabul edilebilirlik sınırına diğer çıktılarından

daha önce eriştiği ve bu noktada üstyapının başlangıç ömrünün sonunda bazı iyileştirme gereksinimleri ile bu ömrün uzatılabileceği görülmektedir. Bu iyileştirme gereksinimleri ile kırılma noktaları arasındaki ilişkiler ve bu ilişkilerin zamanla nasıl değiştiği de şekilden görülebilmektedir.

2.3. ÜYS'DE KULLANILAN VERİLER VE KULLANIM AMAÇLARI

Bu bölümde ÜYS oluşturulmasında ve işletilmesinde kullanılacak veriler sınıflandırılarak yönetim düzeylerinde hangi amaçlar için kullanılacakları konusunda bilgi verilmiştir. Ayrıca verilerin toplanmasında kullanılan ekipmanlara kısaca değinilerek üstyapı performansını tanımlayan düzensizlik bileşeni açıklanmıştır.

2.3.1. Üstyapı Yönetiminde Veri İhtiyaçlarına Genel Bakış ve Sınıflandırma

ÜYS'nin amacı, maliyet etkin biçimde üstyapıların verimli bir şekilde kullanılmasını sağlamak için gerekli tüm işlemlerin koordinasyon içinde yapılmasıdır. Bu işlemler kapsamlı bir ÜYS'de farklı derecelerde etkiye sahiptir. Bu işlemlerin yapılabilmesi için her adımda geniş veri tabanlarına ihtiyaç duyulur. Veriler ana başlıklar altında şu şekilde sınıflandırılabilir;

- a. Kesim tanımlamaları ile ilgili veriler,
- b. Performansla ilgili veriler,
- c. Önceki yıllara ait veriler,
- d. İşletme politikası ile ilgili veriler,
- e. Geometri ile ilgili veriler,
- f. Çevre ile ilgili veriler,
- g. Harcamalarla ilgili veriler.

Tablo 2.1'de verilerin sınıflandırılması ve onarım, bakım veya her ikisi ile olan ilişkileri verilmektedir. Politikalar ve harcamalarla ilgili veriler hariç diğer veriler üstyapı performansı ve analizi için gerekli altlık bilgisini oluşturur. Bu verilerin tamamı aynı merkezde tutulmalı ve veri saklamadaki formatlar standart olmalıdır. ÜYS altında veri tabanı fonksiyonları ilgili tüm birimlerin verilere kolayca erişmesi sağlanarak merkezleştirilmelidir. Ayrıca verilerin önceki yıllara ait olan veriler ile birlikte

değerlendirilmesi gelecekteki ihtiyaçların belirlenmesinde çok etkili tahminler yapılmasına yardımcı olur. Bununla ilişkili olarak verilerin kullanım amaçları ağ ve proje düzeyi değerlendirmelere göre tablo halinde aşağıda görülmektedir.

Tablo 2.1: Üstyapı verilerinin temel sınıfları ve bileşenleri (Haas vd., 1994).

Kesim Tanımlaması	O+B	Geometri ile ilgili veriler	
Performansla ilgili veriler			
<ul style="list-style-type: none"> Düzensüzlük Yüzey Bozulmaları Defleksiyonlar Sürtünme Tabaka malzeme özellikleri 	O O+B O O+B O	<ul style="list-style-type: none"> Kesim Boyutlandırmaları Eğrilik Enine eğim Boyuna eğim Banket / Kurb 	O O O O O+B
Önceki yıllara ait veriler		Çevre ile ilgili veriler	
<ul style="list-style-type: none"> Bakım tarihi Yenileme tarihi Trafik Kazalar 	O+B O+B O+B O+B	<ul style="list-style-type: none"> Drenaj İklim 	O+B O
İşletme politikası ile ilgili veriler		Harcamalarla ilgili veriler	
<ul style="list-style-type: none"> Bütçe Mevcut alternatifler (Onarım&Bakım) 	O+B O+B	<ul style="list-style-type: none"> Yenileme harcamaları Bakım harcamaları İyileştirme harcamaları Kullanıcı harcamaları 	O O+B O O

O: Onarım için gerekli veriler

B: Bakım için gerekli veriler

Tablo 2.2: Üstyapı yönetimine ait verilerin tipik kullanım amaçları (Haas vd., 1994).

Veri Cinsi	Ağ Düzeyi	Proje Düzeyi
1. Performansla ilgili veriler		
Düzensüzlük	<ul style="list-style-type: none"> Mevcut performansı tanımlar. Gelecek performansı tahmin etmede kullanılır. Analiz ve programlama öncelikleri için temeller oluşturur. 	<ul style="list-style-type: none"> Kalite garantisidir (imalatın kalitesini gösterir). Bozulma eğrilerinin yaratılmasına yardımcı olur. Kaplamanın niteliğinin tahminini sağlar.
Sürtünme	<ul style="list-style-type: none"> Mevcut performansı tanımlar. Gelecek performansı tahmin etmede kullanılır. Programlama önceliğini belirlemede kullanılır. İyileştirme verimliliğinin belirlenmesini sağlar. 	<ul style="list-style-type: none"> Bölgenin veya kesimin iyileştirme ihtiyaçlarını tanımlar. İyileştirme verimliliğinin belirlenmesini sağlar.

Tablo2.2 (devam): Üstyapı yönetimine ait verilerin tipik kullanım amaçları (Haas vd., 1994).

Veri Cinsi	Ağ Düzeyi	Proje Düzeyi
Yüzey Bozulmaları	<ul style="list-style-type: none"> Mevcut performansı tanımlar. Gelecek performansı tahmin etmede kullanılır. Mevcut ve gelecekteki ihtiyaçları belirlemede yardımcı olur. Öncelikli bakım programlarını belirlemede yardımcı olur. Alternatif iyileştirmelerin verimliliğini belirlemede yardımcı olur. 	<ul style="list-style-type: none"> Bakım yönteminin seçiminde kullanılır. Bölgesel yenileme ihtiyaçlarının belirlenmesini sağlar. Bakım kalite tahminlerinin geliştirilmesi sağlar. İyileştirme verimliliğinin belirlenmesini sağlar.
Defleksiyonlar	<ul style="list-style-type: none"> Mevcut performansı tanımlar. Gelecek performansı tahmin etmede kullanılır. Yapısal yetersizliği tanımlar. İyileştirme programlamada önceliğin belirlenmesinde yardımcı olur. Mevsimlik yük taşıma kısıtlarının belirlenmesini sağlar. 	<ul style="list-style-type: none"> Tabaka tasarımına girdi teşkil eder. İmalat yapısal yeterliliğini belirlenmesine yardımcı olur. Kalan servis ömrünün tahminine yardımcı olur. Kalan yük taşıma kısıtlarının tahminine yardımcı olur.
Tabaka malzeme özellikleri	<ul style="list-style-type: none"> Kesim kesim değişkenliğin belirlenmesini sağlar. Tasarım standartlarının gelişimine yardımcı olur. 	<ul style="list-style-type: none"> Tabaka tasarımına girdi teşkil eder. Mevcutta bulunan imalat kayıtlarının tutulmasını sağlar.
2. Önceki yıllara ait veriler		
Bakım tarihi	<ul style="list-style-type: none"> Bakım programlarının üretilmesinde kullanılır. Bakımın verimliliğinin belirlenmesinde yardımcı olur. Alternatif tasarımlar ve iyileştirmede, maliyet etkinliğinin sağlanmasında yardımcı olur. 	<ul style="list-style-type: none"> Problemlili kesimlerin belirlenmesinde yardımcı olur.
Yenileme tarihi	<ul style="list-style-type: none"> Yenileme verimliliğinin değerlendirilmesinde yardımcı olur. Alternatif tasarımların ve yenileme işlemlerinin maliyet etkinliğinin sağlanmasında yardımcı olur. Kalite garantisinin gelişmesi için ihtiyaçların belirlenmesini sağlar. 	<ul style="list-style-type: none"> Mevcutta bulunan imalat kayıtlarının tutulmasını sağlar. Tasarım sırasında yorumlama imkanı sağlar.
Trafik	<ul style="list-style-type: none"> Programlama önceliğini belirlemede kullanılır. Genel performans/ bozulma eğiliminin tahminine girdi teşkil eder. 	<ul style="list-style-type: none"> Üstyapı tasarımı için girdi olarak kabul edilir. Trafik tahmin yöntemlerini tanımlamada kullanılır. Kalan servis ömrünün tahminine yardımcı olur.
Kazalar	<ul style="list-style-type: none"> Kazalara karşı tedbirlerin geliştirilmesine yardımcı olur. Programlama önceliğini belirlemede kullanılır. 	<ul style="list-style-type: none"> Yüksek kaza riski taşıyan kesimlerin tanımlanmasında yardımcı olur. Kazalara karşı tedbirlerin geliştirilmesine yardımcı olur.

Tablo2.2 (devam): Üstyapı yönetimine ait verilerin tipik kullanım amaçları (Haas vd., 1994).

Veri Cinsi	Ağ Düzeyi	Proje Düzeyi
3. İşletme politikası ile ilgili veriler		
Bütçe	<ul style="list-style-type: none"> • Programlama önceliğini belirlemede kullanılır. • Yönetim stratejilerinin seçilmesine yardımcı olur. 	<ul style="list-style-type: none"> • Harcama sınırlarının belirlenmesini sağlar.
Mevcut alternatifler (Bakım&İyileştirme)	<ul style="list-style-type: none"> • Yönetim stratejilerinin seçilmesine yardımcı olur. • Programlama önceliğini belirlemede kullanılır. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ekonomik değerlendirme yapılmasını sağlar. • Ömür-döngü maliyetinin belirlenmesine yardımcı olur.
4. Geometri ile ilgili veriler		
Kesim Boyutlandırmaları	<ul style="list-style-type: none"> • Genel politika veya standartların geliştirilmesini sağlar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Kesim belirlemede kısıtların belirlenmesini sağlar.
Eğrilik	<ul style="list-style-type: none"> • Genel politika veya standartların geliştirilmesini sağlar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Kesim belirlemede kısıtların belirlenmesini sağlar. • Güvenlik değerlendirilmesini sağlar.
Enine eğim	<ul style="list-style-type: none"> • Genel politika veya standartların geliştirilmesini sağlar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Drenaj değerlendirilmesi sağlar. • Güvenlik değerlendirilmesi sağlar.
Boyuna eğim	<ul style="list-style-type: none"> • Genel politika veya standartların geliştirilmesini sağlar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Drenaj yeterliliği değerlendirilmesini sağlar. • Güvenlik değerlendirilmesini sağlar.
Banket / Kurb	<ul style="list-style-type: none"> • Genel politika veya standartların geliştirilmesini sağlar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Drenaj yeterliliği değerlendirilmesini sağlar.
5. Çevre ile ilgili veriler		
Drenaj	<ul style="list-style-type: none"> • Ağın genel performans değerlendirmesinin yapılmasını sağlar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Kesimin genel performans değerlendirmesinin yapılmasını sağlar.
İklim	<ul style="list-style-type: none"> • Ağın genel performans değerlendirmesini sağlar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Kesimin genel performans değerlendirmesini sağlar.
6. Harcamalarla ilgili veriler		
Yenileme harcamaları	<ul style="list-style-type: none"> • Programlama önceliğini belirlemede kullanılır. • Ağın yatırım stratejilerinin seçilmesini sağlar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ekonomik değerlendirme yapılmasını sağlar. • Stratejilerin seçilmesini sağlar.
Bakım harcamaları	<ul style="list-style-type: none"> • Programlama önceliğini belirlemede kullanılır. • Ağın bakım stratejisinin seçilmesini sağlar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bakım verimliliğini değerlendirir. • Bakım kesimlerinin seçilmesini sağlar.
İyileştirme harcamaları	<ul style="list-style-type: none"> • Programlama önceliğini belirlemede kullanılır. • Ağın iyileştirme stratejisinin seçilmesini sağlar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ekonomik değerlendirme yapılmasını sağlar. • İyileştirme stratejilerin seçilmesini sağlar.
Kullanıcı harcamaları	<ul style="list-style-type: none"> • Programlama önceliğini belirlemede kullanılır. • Yönetim stratejilerinin seçilmesini sağlar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ekonomik değerlendirme yapılmasını sağlar. • Maliyeti azaltma stratejilerinin seçilmesini sağlar.

Üstyapı performansının değerlendirilmesinde asıl amaç üstyapının fiziksel yapısının şu anki durumunun belirlenmesidir. Bu durumun belirlenmesinde dört temel anahtar ölçüm kullanılır. Bunlar;

- Düzgünsüzlük (servis verebilme veya sürüş konforu ile ilişkili olarak),
- Yüzey bozulmaları,
- Deformasyonlar (Yapısal yeterlilikle ilişkili olarak),
- Yüzey kayma sürtünmesi (güvenlikle ilişkili olarak)'dir.

Genel olarak bakıldığında iyi bir üstyapı, sürücülere memnun edici sürüş konforu sağlayan, bozulmaların tamiri için çok geniş bakım programı istemeyen, trafik yüklerini karşılayabilecek yapısal yeterliliğe sahip, kayma sürtünmesi yetersizliğinden kaynaklanacak kazalara sebebiyet vermeyen üstyapıdır. Üstyapı değerlendirmesi için birçok yol vardır ve birçoğu kurumların kendileri için geliştirdikleri özel yöntemlerdir. ASTM ve AASHTO gibi kuruluşlar üstyapı değerlendirmesine bir takım standartlar getirmeye çalışmaktadırlar.

Bozulmalar, düzgünsüzlük, yapısal yeterlilik ve yüzey kayma sürtünmesi arasında oldukça önemli ilişkiler mevcuttur. Sürüş konforunu ve kaliteyi etkileyen düzgünsüzlük üstyapı yüzeyinin boyuna profilinden elde edilir. Kullanıcılar için en önemli olan bileşen, düzgünsüzlük bileşenidir. Aynı zamanda düzgünsüzlük bilgisi kullanılarak üstyapının hizmet düzeyi hakkında doğru tahminler de yapılabilir. Yapısal yeterlilik üstyapının bozulma ile sonuçlanmaksızın taşıyabileceği yük miktarı hakkında bilgi verir.

Üstyapı yüzeyinin güvenliği ise öncelikli olarak yüzey kayma sürtünmesi ile ilişkilidir. Fakat güvenlik ile diğer faktörlerin (özellikle bozulmaların) de oldukça ilişkili olduğu rahatlıkla söylenebilir. Bu dört ölçüt kullanıcı maliyetleri ve bakım ile ilgili olarak üstyapının çıktıları gibi düşünülebilir. Bu çıktılar değerlendirilerek üstyapının mevcut yapısal durumu ve yol kullanıcılarına sağladığı hizmet düzeyi hakkında kararlara varılabilir. Bu çıktılar tasarım aşamasında tahmin edilir ve üstyapının imalatından sonra zaman içindeki değişimler de kaydedilerek kullanılan modellerin kalibrasyonları yapılabilir ve gelecek projeksiyonları daha gerçekçi hale getirilebilir. Böylece üstyapıların yönetimi için görevlendirilen kurum/kuruluş eğer yeterli bütçeye sahipse

gerekli bakımlar tam zamanında yapılarak üstyapılardan sağlanan faydalar maksimuma ulaştırılmış olur.

En basit haliyle üstyapıların mevcut performans değerlendirmesi konusunda uzman olarak nitelendirilebilecek kişilerin gözlemleri ve kişisel kararları ile yapılır. Dünyanın birçok ülkesinde ve şehrinde üstyapıların değerlendirilmesi bu yöntemle yapılmaktadır. Şüphesiz ki konusunda uzman ve tecrübeli insanlar tarafından yapılan değerlendirmeler gerçeğe oldukça yakın sonuçlar vererek yönetim işleminin başarıyla yürütülmesini sağlayabilmektedir. Fakat uzmanların görüşleri zaman içinde gerek kendi aralarında gerekse birbirleri aralarında tutarsızlıklara yol açabilmekte ve sistemin olumsuz etkilenmesine sebep olmaktadır. Bunun içindir ki mutlaka uzmanların görüşleri veri tabanlarında saklanan verilerle matematiksel modellere dönüştürülmeli ayrıca, bu modellere çeşitli ekipmanlarla elde edilen üstyapı performansı hakkında bilgi verebilen mekanik veriler de dahil edilmelidir. Böylelikle doğruluğu denetlenebilen, gerçekliği kanıtlanabilen ve insan görüşü içermeyerek homojen kararlar verebilen sistemler elde edilebilir (Haas vd., 1994).

2.3.2. Envanter Veri İhtiyaçları ve Tipleri

Üstyapı yönetiminde ulaşım ağına ait tüm tesislerin envanterinin tutulması gerekmektedir. Kurumların ihtiyaçlarına bağlı olarak tutulması gereken envanterlerin de detayı zaman içinde değişmesine rağmen üstyapı ağı gibi temel envanterlerin mutlaka tutulması gerekliliği bilinmektedir. Bir ağın envanteri genellikle bir yol veya havaalanı üstyapısının genel özelliklerini gösterir. Bazı büyük üstyapı yönetim kuruluşları çok miktarda veriyi saklama ve geri dönüşüm için kullanmayı tercih ederken bazıları da çok az miktarda veri kullanmayı tercih etmektedir. Genel başlıklar halinde üstyapı envanter verileri şunlardır;

1. Kesim sınırları ve tanımlamaları,
2. Geometri,
3. Üstyapı mekanik yapısı ,
4. Maliyetler,
5. Çevre ve drenaj,
6. Trafik.

Üstyapı Yönetim Kesimlerinin Seçimi

Üstyapı kesimleri farklı karakterdeki verileri toplayabilmek için her veri grubuna özel farklı kesimlere ayrılabilir. Üstyapıları kesimlere ayırmada 4 temel metod vardır. Bunlar;

- Yön - Kilometre taşı,
- Nokta – Bağlantı,
- Bölüm – Kesim,
- Coğrafi Bilgi Sistemi'dir.

Yön – Kilometre taşı en çok kullanılan yöntemdir. Her yön verilen bir isim veya numara ile 1 mil'lik (1.61 km) kesimlere ayrılarak isimlendirilir. Nokta – Bağlantı metodunda bağlantı yolları arasındaki anahtar noktalar kesim başlangıç ve sonlarını belirlerler. Bu anahtar noktalar genellikle kavşaklar, sınırlar, üstyapı türü gibi karakteristiklerin değiştiği noktalardan seçilir. Bölüm – Kesim metodu çok geniş bir altyapıyla kurulan bir sistem olan ve Kırbaş (2007) tarafından hazırlanan yüksek lisans tezinde Beşiktaş örneğinde uygulaması yapılan PAVER üstyapı yönetim sisteminde kullanılmıştır. Aynı zamanda, hazırladığımız bu çalışmada yolların mevcut performansını belirlemek için PAVER sistemi kullanılmıştır. Bu nedenle, tanımlamak için PAVER sisteminin kabul ettiği Bölüm-Kesim sistemi kullanılmıştır. Değerlendirilen yol ağında önce genel özellikleri aynı olan yollar bölüm olarak daha sonra homojen birimler kesim olarak ayrılmıştır. Kullanılan Coğrafi Bilgi Sistemi de Bölüm – Kesim metodunda olduğu gibi ağ önce bölümlere daha sonra kesimlere ayırarak organize edilmiştir. Coğrafi bilgi sistemini kullanmanın faydası verilen herhangi bir kararın ağın hangi kesimini etkilediğini görsel olarak da kontrol edebilmektir. Özellikle şehiriçi yollarda kurulan sistemler için ve kesim uzunlukları çeşitli sebeplerle birbirinin aynı olmayan sistemler için bu durum çok önemlidir.

Geometri

Geometri envanteri üstyapı kesimlerinin özelliklerini veya fiziksel karakteristiklerini tanımlayan veriler topluluğudur. Her kesim için geometrik karakteristikler şu şekildedir;

- Konum referansı ve kesim uzunluğu,
- Sınıfı (otoyol, devlet yolu, ana arter, arter, park alanı vb.),

- Şerit sayısı, genişliği, banket tipi ve genişliği, enine eğimi, boyuna eğimi, kurların boyutları vb. gibi özellikler.

Ağıdaki tüm yolların geometrik bilgileri daima kayıt altında tutulmalı ve belirli periyotlarda güncellenmelidir.

Üstyapı Mekanik Yapısı

Üstyapı mekanik yapısı envanteri basitçe üstyapının proje ve daha sonra imalat bilgilerinin kayıt altına alınması ile elde edilir. Bazı kuruluşlarda yalnızca üstyapının türü hakkında bilgi mevcuttur. İyi bir ÜYS için bu tamamen istenmeyen bir durumdur. Bu tip envanterde veri tabanında kalınlık, malzeme tipi, imalat yılı gibi veriler mutlaka bulunmalıdır. Buna ilaveten, üstyapının mekanik yeterliliğini ölçen test yöntemleri sonuçları da mutlaka veri tabanına eklenmelidir. Bakım veya yenileme projelerinin oluşturulmasında mutlaka bu verilerin tamamı dikkate alınmalıdır.

Maliyetler

Maliyet envanteri yenileme, bakım ve iyileştirme yatırımlarının verilerini içermektedir. Aynı zamanda kullanıcı maliyetleri de bu gruba katılabilir. Bu veriler kullanılarak gelecek bütçeleri hakkında yorumlar geliştirilebilir.

Çevre ve Drenaj

Çevre şartlarının özellikle iklim koşullarının üstyapının performansı üzerine ciddi etkileri bulunmaktadır. Ancak geçmiş dönemlere ait çevre şartları verileri de elde edilebildiği takdirde gelecek dönemlere ait daha gerçeğe yakın bozulma tahminleri ve bu bozulmalara cevap verebilecek bakım ve iyileştirme stratejileri geliştirilebilir. Bölgelere göre her yıl için donma indeksi, bölgesel yağışlar gibi iklim verileri kayıt altında tutularak üstyapı bozulmalarına olan etkileri göz önüne rahatça konabilir. Yine aynı şekilde yağış miktarları ve yollara ait drenaj durumu mutlaka ilişkilendirilmelidir.

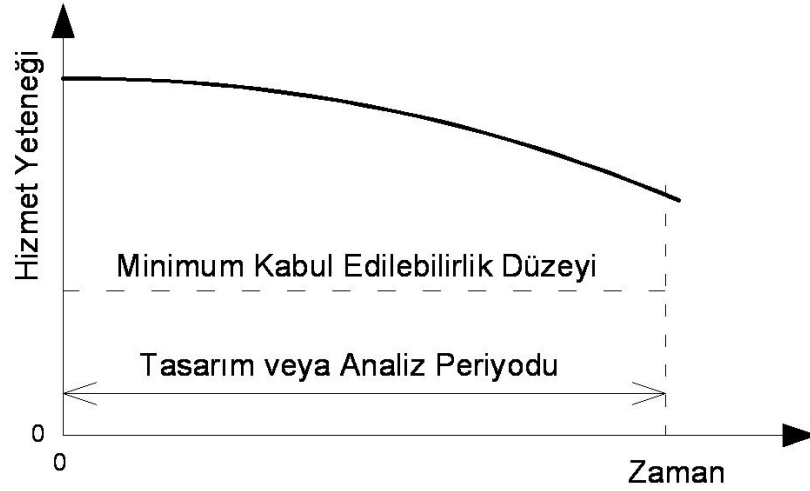
Trafik

Trafik verileri üstyapı yönetiminde iyileştirme projeleri seçimi sırasında önceliklerin atanması ve performans tahmini için mutlaka gerekmektedir. Trafik verisinden kasıt,

kesimden geçen trafik hacmidir yani, temel parametre olarak Yıllık Ortalama Günlük Trafik (YOGT) verisi çok rahatlıkla kullanılabilir. Aynı zamanda performans modelleri bozulmalara öncelikli olarak sebep oldukları için ağır taşıt trafiğinin ayrıca parametre olarak girilmesini istemektedir. Ağır taşıt trafiğinden standardize edilerek elde edilen 8.2 KN'luk (18 Kp) birim yükün tekrar sayısı ve YOGT parametreleri bu envanter tipi için vazgeçilmez iki temel unsur olarak düşünülebilir.

2.4. ÜSTYAPI PERFORMANSI

Üstyapı mevcut performansının belirlenmesi kesimlerin detaylı olarak analizini içerir. Fonksiyonel durum veya performans analizi için seçilen bir zaman periyodunda üstyapı kesimlerine ait sürüş konforu ve trafik verilerine ihtiyaç duyulur. Sürüş kalitesindeki bozulma ile üstyapının servis verebilme yeteneği arasında doğrudan bir ilişki mevcuttur, hatta üstyapının sürüş kalitesi ile servis verebilme yeteneği eşit kabul edilerek, bu iki parametreye birden hizmet yeteneği adı verilebilir. Bir üstyapıya ait hizmet yeteneğinin zamanla değişimi aşağıda görülmektedir.



Şekil 2.6: Hizmet yeteneği (Sürüş konforu) bozulması (Haas vd., 1994).

Üstyapı, sürüş memnuniyeti veya memnuniyetsizliği ile değerlendirilir ve ayrıca, bu değerlendirme sonucunda bakım, onarım veya yenileme kararları alınır. Araştırmacılar, Carey ve Irick tarafından, AASHO yol testinde yaptıkları çalışmalara dayanarak üstyapı performansının aşağıdaki parametreler sorgulanarak bulunabileceği düşünülmüştür;

- Üstyapı fiziksel performansını ölçen araçların deney sırasındaki verdiği tepkilere

göre,

- Çatlaklar, yamalar, banket durumları, üstyapının rengi gibi faktörlerin karakterize ettiği durumlar matematiksel olarak veya görsel olarak yorumlanmasına göre.

1950'lerin başında yapılan AASHO yol testi üstyapı kesimlerinin performans tahminlerindeki zorlukların neler olabileceğini açıkça göstermiştir. O dönemde kesimlerin performans tahminlerini belirlemek için uzman görüşlerini tasvir eden panel oranlama tekniği kullanılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda, panel (subjektif) oranlamada karşılaşılabilecek zorluklar ve alınması gereken kararlar beş başlık altında toplanmıştır:

1. Öncelikle yollarda aranması gereken özelliklerin düzgünlük ve güvenlik olduğu kabul edilmelidir.
2. Kullanıcıların hizmet düzeyi anlamında beklentilerinin ne olduğu hakkında bilgi edinilmelidir.
3. Yolların karakteristikleri objektif olarak ölçülebilmeli ve kullanıcıların yollardan ne beklediğine bakılarak yollara verilmesi gereken ağırlıklar belirlenmelidir.
4. Yapılan değerlendirmede kullanıcıların tamamının ağırlıklı düşünceleri göz önüne alınmalı çok uyumsuz olan değerlendirilmeler göz önüne alınmamalıdır.
5. Yapılan bu değerlendirmelerin envanterleri tutularak oluşturulan veri tabanından üstyapıdan beklenecek performans düzeyi kriteri de belirlenmelidir.

En temel haliyle mevcut hizmet yeteneği indeksi (Present Serviceability Index - PSI), AASHO yol testi kullanılarak geliştirilmiş ve kullanılmıştır. Benzer şekilde, Kanada ulaştırma birliği (Transportation of Canada) 1950'lerin sonu 1960'ların başında sürüş konfor indeksi (Ride Comfort Index – RCI) adını verdikleri bir indeks geliştirmiştir. Kanadalı araştırmacılar tarafından geliştirilen bu indeks önceleri mevcut hizmet yeteneği oranı (Present Serviceability Ratio – PSR) olarak anılmış olsa da daha sonra araştırmacılar tarafından üstyapıda aranılan en önemli özelliğin sürüş konforu olduğu konusunda fikir birliğine varılarak indeksin ismi sürüş konfor indeksi olarak değiştirilmiştir.

Bu iki indeks arasındaki en temel fark değerlendirme ölçekleridir RCI indeksi 10 sayısal

kategoriye ayrılmışken PSI indeksi 5 kategoriye ayrılmıştır. Her iki indekste de amaç, üstyapının düzgünsüzlüğü gözleminden üstyapıya ait hizmet verebilme yeteneğinin saptanabilmesidir. PSI belirlemede kullanılan form aşağıda görülmektedir.

Kabul edilebilir?		5		Çok İyi
Evet		4		İyi
Hayır		3		Orta
Kararsız		2		Kötü
		1		Çok Kötü
		0		

Bölüm Tanımı.....Oranda
Puanlayıcı.....Tarih.....Zaman.....Araç.....

Şekil 2.7: PSI belirlemede kullanılan form (Terzi, 2004).

2.4.1. Üstyapı Düzgünsüzlüğünün Belirlenmesi

AASHO yol testi çalışmalarından hizmet yeteneği indeksinin yaklaşık %95 olasılıkla yol yüzeyindeki düzgünsüzlük ile belirlenebileceği sonucu çıkarılmıştır. Aletli ölçümlerle veya kullanıcı görüşüne göre belirlenen düzgünsüzlük veya pürüzlülük memnuniyet veya memnuniyetsizlik olarak da düşünülebilir, fakat sürücü memnuniyeti veya memnuniyetsizliği kavramının içerisinde araçtan kaynaklanan faktörlerin de olduğu unutulmamalıdır.

Üstyapı düzgünsüzlüğü izafi olarak yolcu veya sürücü değerlendirmesiyle elde edilebilen bir olgudur. Genel olarak düzgünsüzlük terimi, konforsuz sürüşe neden olacak şekilde üstyapı yüzeyinin bozukluğunu gösterir.

Üstyapı düzgünsüzlüğü boyuna, enine ve yatay olmak üzere üç temel bileşene ayrılır. Üstyapıda oluşan bozukluklar düşey ve yanal ivmelenmelere (savrulmalara) neden olabilir. Üstyapının boyuna profil ölçümünden türetilen düşey titreşimler kullanıcı konforunu en çok etkileyen faktördür. Yanal ivmelenmeler ise aracın seyir ekseninden uzaklaşmasına ve hatta savrulularak yuvarlanmasına yol açabilen önemli bir etkidir.

Araçların ortalama %70'i içinde bulunduğu şeridin sağ kenarından 0.7-1.1 m (2.5-3.5 ft) kadar içerisinden belirgin tekerlek izini takip ederek ilerlerler (Haas vd., 1994). Bu nedenle boyuna profilin bu tekerlek izlerini takip ederek belirlenmesi en doğru yaklaşım olacaktır. Dahası aynı şeride ait iki tekerlek izinin karşılaştırılması düzgünlük hakkında oldukça verimli değerlendirmeler yapılmasına olanak sağlayabilir. Sürücülerin üstyapı düzgünlüğünden çoğunlukla yavaşlama ve hızlanma evrelerinde etkilendiği söylenebilir. Mühendisler için genellikle, elde edilen bu profillerin matematiksel modellerle değerlendirilmesi sonucu bulunan özet çıktılar önemlidir. Araştırmacılar tarafından bu özet çıktılarının değerlendirilmesi sonucu farklı tiplerde düzgünlük indeksleri geliştirilmiştir.

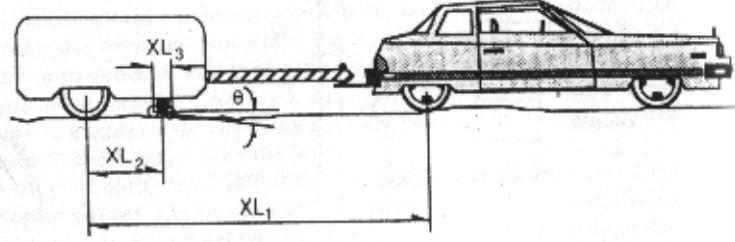
Otoyollarda ve hava meydanlarında üstyapı profilini ölçmeksizin düzgünlük tahmini yapabilen birçok aygıt bulunmaktadır. Bu yöntemle de yolun düzgünlüğüne aracın etkisi ve araç karakteristikleri ile ölçüm hızının duyarlılığı gibi iki temel parametreyi için içine katmaksızın düzgünlük indeksini tahmin etmek oldukça kolaydır.

2.4.2. Düzgünlük Değerlendirmede Kullanılan Ekipmanlar

Üstyapının fonksiyonel durum veya performans kavramı 1950'lerin sonunda AASHO yol testi ile geliştirilmiş olmasına rağmen, üstyapı düzgünlüğünü değerlendirme ihtiyacı 1920'lerde tanımlanmıştır. Düzgünlük, hizmet yeteneğinin oldukça önemli bir bileşeni olmasının yanında PSR veya RCI gibi kullanıcı panel değerlendirmeleri ile de korelasyona sahiptir.

AASHO yol testi sırasında bir profilometre geliştirilmiş olmadığından, ilk performans tahminleri için panel oranlama teknikleri yapılmıştır. Ancak AASHO yol testinin ilerleyen aşamalarında AASHO yol testi profilometresi adı verilen bir aygıt geliştirilmiştir. Daha sonraki yıllarda AASHO profilometresinin hantal ve kullanışsız oluşundan dolayı CHLOE profilometresi geliştirilmiştir. Geliştirilen ilk profilometre aşağıda görülmektedir. Bu aygıt saatte 8.05 km (5 mil) hızla ilerleyerek 30.48 cm (1 ft) aralıklarla θ açılarını ölçerek kayıt altına alır. Burada θ açısı çapları aynı olan iki küçük tekerleğin eksenlerini birbirine bağlayan okun yatayla yaptığı açıyı temsil eder. Elde

edilen θ açısı nadiren ± 3 derece sınırını aşar. Sahadan radyan biriminde toplanan bu açı kullanılarak modelde kullanılan eğim varyansı değeri elde edilir. Üstyapı düzgünlüğünü ölçen aletler üstyapı profilini ölçen aygıtlar (Profilometreler), profilograflar ve tepki tipli aygıtlar olarak üç temel başlık altında toplanabilir.

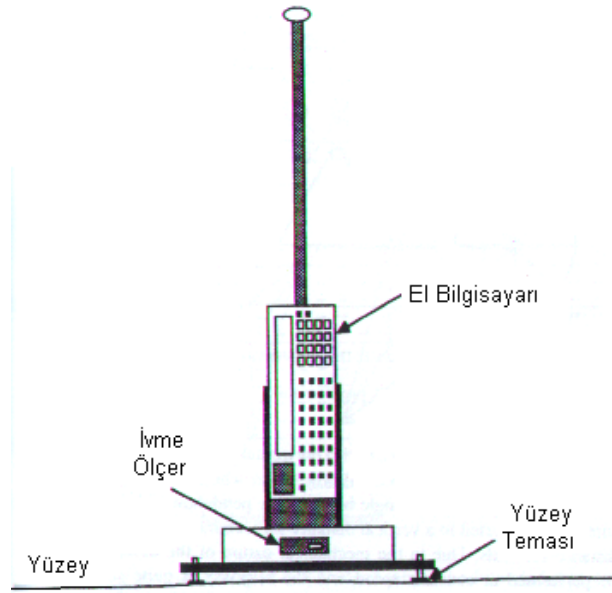


Şekil 2.8: AASHO yol testi profilometresi şematik görünümü (Haas vd., 1994).

2.4.2.1. Üstyapı Profil Ölçüm Aygıtları (Profilometreler)

Yüzey Çubuğu

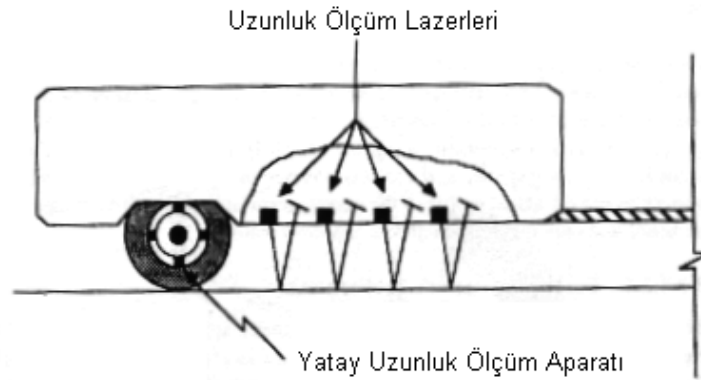
Yüzey çubuğu, üstyapı yüzey profili ölçümünde kullanılan en basit aygıtlardan biridir. Aslında yapıların düzgünlüğünün ölçümü için geliştirilmiş olan bu aygıt üzerinde bir ivme ölçere sahiptir. Bu aygıt el ile yüzey üzerinde 180 derecelik hareket özgürlüğünde gezdirilerek yüzey ölçümü yapılabilir. Aygıtın üzerine monte edilmiş olan el bilgisayarı ile basit bir özet düzgünlük çıktısı hesaplanabilir. Saatte 274.32 m (900 ft) uzunluğunda bir kesimden veri toplayabilen bu aygıtın avantajları düşük yatırım maliyeti ve kullanım kolaylığıdır. Dezavantajı olarak da işlem yapabilme hızının yavaş olması ve ölçümler değerlendirilirken ilave ekipmanlara (bilgisayar, bağlantı aparatları vb.) ihtiyaç duyması gibi noktalar olarak sıralanabilir. Yüzey çubuğu, kısa kesimlerin değerlendirilmesi, diğer aygıtların kalibrasyonu gibi işlemlerde rahatlıkla kullanılabilir.



Şekil 2.9: Yüzey çubuğunun şematik görünümü (Haas vd., 1994).

TRRL Profilometresi

1970'lerin ortalarında İngiltere Ulaştırma ve Yol laboratuvarı (The Transport and Road Laboratory- TRRL) tarafından geliştirilmiştir. Bu aygıtta şekilden de görüldüğü gibi üstyapı bozukluğunu ölçen dört adet veri toplayıcı lazer kullanılmaktadır. İşlemin başladığı anda ölçüm ayarları datum (sıfır değeri) kabul edilerek ölçüme başlanır. Daha sonra aracın hareketi ile her lazerle hemen önünde yer alan algılayıcı arasındaki yüzeyden yansıtılarak gelen ışınların boyları ölçülerek işleme devam edilir. Böylece arka lazer ve ön algılayıcı arasında tekrarlı yapılan uzaklık ölçümleri neticesinde üstyapının profili belirlenmiş olur. TRRL profilometresi kullanılarak normal seyahat hızı ile veri toplama işlemi gerçekleştirilmiş olur. Bu durum da uygulamada oldukça kolaylıklar sağlar.



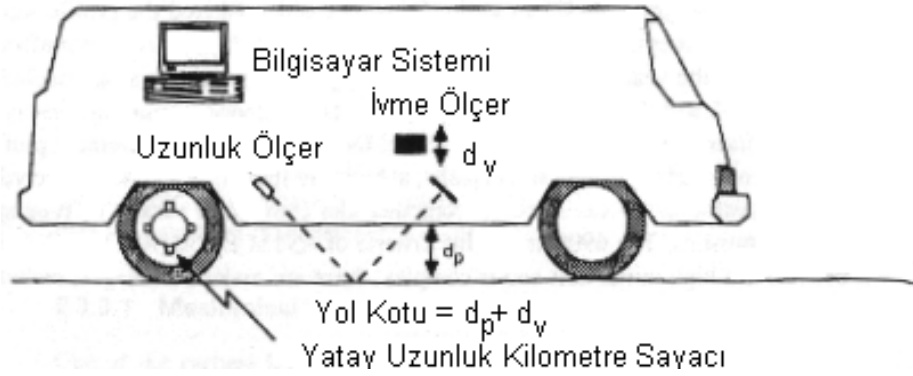
Şekil 2.10: TRRL profilometresinin şematik görünümü (Haas vd., 1994).

Eylemsizlik (Inertial) Profilometreleri

Üstyapı yüzey profili ölçümünde eylemsizlik profilometresi prensiplerini kullanan birkaç çeşit aygıt bulunmaktadır. Bu sistem dört temel bileşen içermektedir:

1. Araç ve yol yüzeyi arasındaki uzunluğu ölçen aygıt,
2. Aracın düşey hareketini dengeleyebilen eylemsizlik referans aygıtı,
3. Üstyapı boyunca profil noktasının konumunu belirleyen kilometre sayacı,
4. Verilerin kayıt ve analizini yapabilen bir işlemci.

Üstyapı yüzeyi ve araç arasındaki uzunluğu (d_p) ölçmek için çeşitli tiplerde dönüştürücüler kullanılmaktadır. Eylemsizlik referans aygıtı olarak aracın düşey aksına takılı olan genellikle mekanik veya elektronik ivmeölçerler kullanılır. İvmelenme araç kütlesinin düşey hareketinin (d_v) niteliği ile ilişkilidir. Profil kotu bu ölçümlerin toplamı ile elde edilir.



Şekil 2.11: Eylemsizlik profili kavramı (Haas vd., 1994).

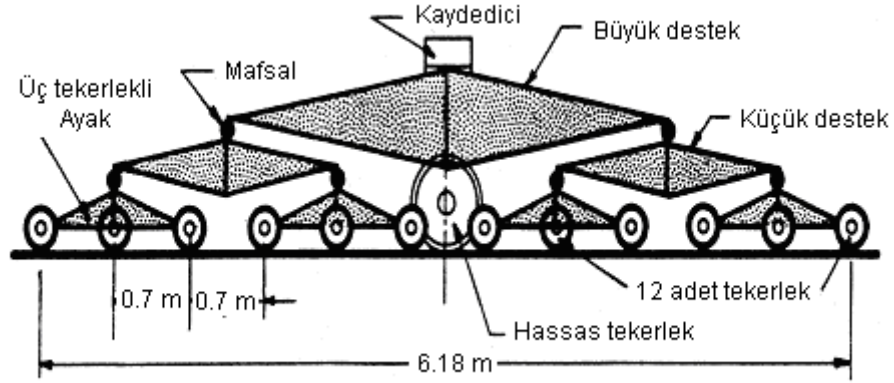
Eylemsizlik profilometreleri şu şekilde sınıflandırılır;

1. Yüzey Dinamiği Profilometresi,
2. FHWA (Federal Highway Administration) Profilometresi,
3. APL Profilometresi,
4. Düşük Maliyetli Profil Tabanlı Aygıtlar.

2.4.2.2. Profiloğraflar

Profiloğraflar özellikle beton yolların değerlendirilmesinde oldukça çok kullanılmaktadır. Profiloğraflar, arka arkaya dizilmiş bojili tekerleklerin birbirlerine göre hareketlerinin kaydedilerek grafiklerle gösterimi şeklinde kullanılır. Yol

düzgünsüzlüğünün şerit grafik çıktıları elde edilir ve analizleri yapılabilir. Belirli uzunluktaki bir kesimin birim uzunluklar şeklinde değerlendirmesi yapılarak çıktılar oluşturulur. Profiloğrafların avantajları, düşük yatırım maliyetleri, kolay işletim ve iyi tekrarlanabilirlik olarak sıralanabilir. Dezavantajları ise, düşük işletim hızı ve eşit dalga boylarında düzgünsüzlük ölçümlerinin yapılamaması olarak verilebilir.



Şekil 2.12: Profiloğraf şematik görünümü (Haas vd., 1994).

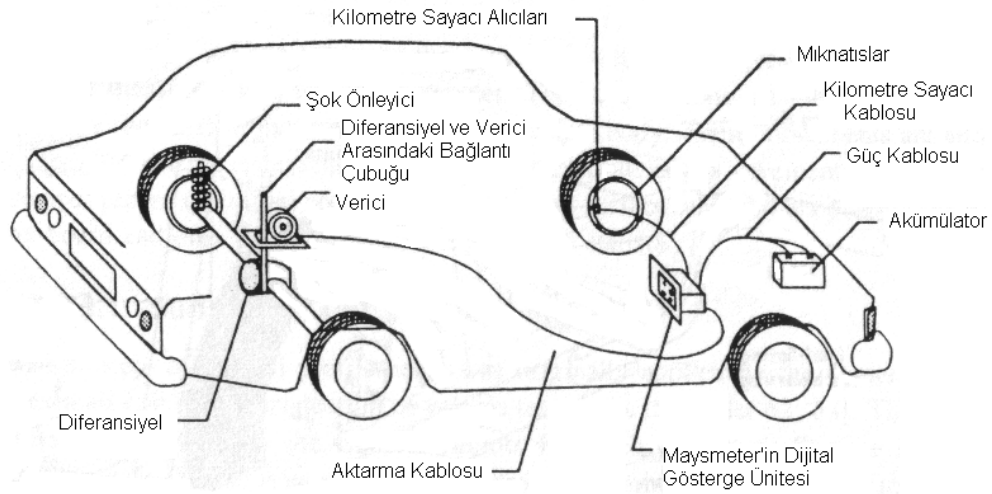
2.4.2.3. Tepki Tipli Aygıtlar (İvme Ölçerler)

Tepki tipli yol düzgünsüzlük ölçüm sistemi (Response Type Road Roughness measuring system – RTRRMS) ölçümü için iki çeşit tasarım geliştirilmiştir. İlki araç gövdesi ile aks arasındaki yer değiştirmenin ölçülmesi, ikicisi ise araç aksındaki tepkinin ivmelenmesinin ölçülmesi şeklinde olmaktadır. Gerçekte bu araçlar yol düzgünsüzlüğüne karşın aracın tepkisini ölçmektedirler. Bu aygıtların düşük maliyeti, basit tasarımı ve oldukça yüksek işletim hızlarından dolayı ÜYS'ler için düzgünsüzlük verilerinin kullanılmasında oldukça yaygın şekilde kullanılmaktadır.

Mekanik RTRRMS

İlk RTRRMS'lerden biri BPR'nin (Bureau of Public Roads) düzgünsüzlük (roughometer) ölçeridir. İlk aygıt bir otomobile takılı şekilde geliştirilmiştir ancak daha sonra ayrılarak treyler haline dönüştürülmüştür. Treylerin parametreleri otomobilin bir tekerleğinde bulunan aparatlardan oluşmaktadır. Düzgünsüzlük tekerleğin aksı ve treylerin gövdesi arasındaki farklı hareketlerin ölçülmesi şeklinde belirlenir. Ölçümler treyler karakteristiklerine ve seyahat hızına oldukça bağlıdır.

En bilinen RTRRMS aygıtı 1960'larda Amerika Teksas Yollar İdaresi için geliştirilen Maysmeter (Mays Ride Meter – MRM) aletidir. Bu aygıtta veriler, mekanik olarak elde edilen düzgünsüzlük verilerinin şeritlere işlenmesi şeklinde olmaktadır. Sonralarda laptop bilgisayarların gelişmesi ile bu veriler elektronik ortamda depolanmaya ve işlenmeye başlamıştır. Aslında tüm maysmeter profilometreleri otomobillere yerleştirilmiştir. Bununla beraber, araç karakteristikleri (şok önleyici vb.) gelişmeye başladığından beri üstyapı yönetimiyle ilgilenen kurumlar aygıtı iki tekerleğe birden yerleştirerek kullanmaya başlamışlardır.



Şekil 2.13: Maysmeter (Haas vd., 1994).

İvmeölçer Tabanlı RTRRMS

Yaklaşımlardan bir diğeri aygıtın bağlı olduğu aracın karakteristiklerine bağımlılığı azaltarak aygıtta bulunan ivmeölçerden alınan sinyallerin kullanılmasıdır. İvmeölçer aracın aksında veya gövdesinde herhangi bir yere monte edilebilir.

Bu tip düzgünsüzlük ölçerler genellikle araca bağlı bir ivmeölçer, mikrobilgisayar ve işletim konsolu içermektedir. Aracın üstyapı üzerindeki düşey ivmelenmesi seyahat boyunca kaydedilerek elde edilen bu değerlerin bilgisayarda işlenmesi sonucunda düzgünsüzlük değerine ulaşılır. Yine düzgünsüzlük ve hizmet yeteneği indeksi (Serviceability index – SI) arasında korelasyon kurularak hizmet yeteneği indeksi elde edilmiş olur.

2.5. ULUSLARARASI DÜZGÜNSÜZLÜK ÖLÇÜM STANDARTLARI

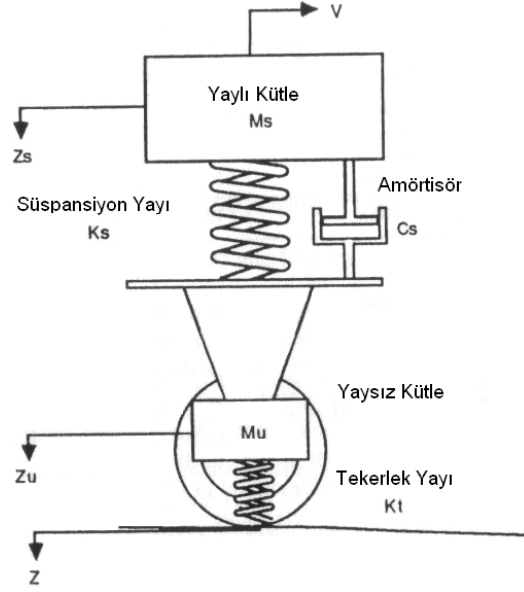
Uluslararası düzgünlük standardı üstyapı profilini veya üstyapı düzgünlüğünü değerlendirmek için kullanılan bir gereçtir. IRI belirlemede toplanan yüzey profili verilerini değerlendirirken ilk adımda yapılması gereken üstyapı yüzeyinin düzgünlüğünü tasvir eden verilerin anlamlı bir şekilde azaltılmasıdır. İkinci adımda yapılması gereken ise ölçümler için ortak bir ölçeğin belirlenmesidir. Böylece farklı araçlar kullanılarak elde edilen çıktılar karşılaştırılabilir ve birlikte değerlendirilebilir, hatta gerekli durumlarda araçların kalibrasyonları yapılabilir.

Üstyapı profili verisi üstyapı yüzeyi boyunca kesikli aralıklarla toplanan kotlardan ibarettir. Ham profil verileri üstyapı mühendisleri tarafından kolayca değerlendirilemez. Bu yüzden bu veriler anlamlı bir hale getirilmelidir. Bu işlem için dijital filtreleme teknikleri kullanılmaktadır. Üstyapı düzgünlük özet istatistiği olarak temelde üç tip çıktı bulunmaktadır:

- Çeyrek-arac simülasyonu (Quarter-car simulation),
- Kök ortalama karesi düşey ivmelenme (RMSVA) değeri,
- Eğim varyansı (Slope-variance (SV))'dir.

2.5.1. Çeyrek-arac Simülasyonu (Quarter-car simulation)

Üstyapı profil verileri analiz metodu olarak çeyrek-arac simülasyon kavramı BPR'nin çıktılarının simülasyonunun modellenmesine dayanmaktadır. Michigan Üniversitesi'nde yapılan araç simülasyon çalışmalarının ışığında tüm-arac ve yarım-arac simülasyon modellerinin çeyrek-arac simülasyon modellerinin üzerinde bir avantaj sağlamadığı sonucuna varılmıştır. Bir aracın tek bir tekerleği üzerine monte edilen çeyrek arac simülasyonun parametreleri şekilde görülmektedir.



Şekil 2.14: Çeyrek simülasyon modeli (Haas vd., 1994).

Bu parametreler aracın yaylı kütlesi, süspansiyon yayı ve amörtisör (şok önleyici) gereçleri, aracın yaysız kütlesi, çark, tekerlek ve tekerleğin yay sabitidir. Teorik doğruluk için tekerlek amörtisör sabiti gerekmesine rağmen pratik uygulamada bu terim iptal edilebilir. Matematik olarak çeyrek-arac simülasyonu iki eşitlikle tanımlanabilir;

$$M_s \ddot{Z}_s + C_s (\dot{Z}_s - \dot{Z}_u) + K_s (Z_s - Z_u) = 0 \quad (2.7)$$

ve

$$M_u \ddot{Z}_u + K_t (Z_u - Z) = 0 \quad (2.8)$$

eşitlikleridir. Burada;

Z = yol profili kot noktaları

Z_u = yaysız kütle kotu (Aks)

Z_s = yaylı kütle kotu (arac kütlesi)

K_t = tekerlek yay sabiti

K_s = süspansiyon yay sabiti

C_s = şok önleyici sabiti

M_u = yaysız kütle (Aks)

M_s = yaylı kütle'dir.

Kot terimlerinin üzerindeki tek nokta hızı temsil ediyorken çift nokta ivmeyi temsil

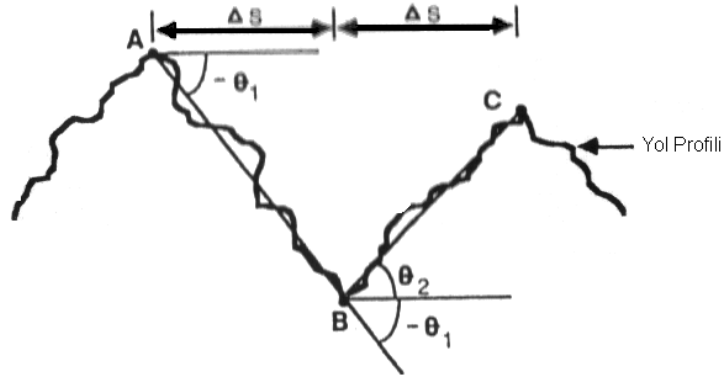
etmektedir. RTRRMS aygıtları genellikle araç aksı ve gövdesi arasındaki uzunlukları ölçtüğünden, aracın ileri hareketi sırasında bu ölçülen uzunlukların (farkların) değerlendirilmesi sonucu simülasyon modelleri oluşturulmuş olur. Modellerde yaylı ve yaysız kütle arasındaki hız farkları integrasyonu ile QCS (Quarter-Car Statistics) tamamlanmış olur.

$$QCS = \frac{1}{C} \int_0^T |\dot{Z}_s - \dot{Z}_u| dt \quad (2.9)$$

C terimi, simule edilen kesimin toplam genişliğinin veya toplam uzunluğunun zaman değerini tanımlar. Sonraları dünya bankasının desteği ile Otoyollar Güvenlik Araştırma Merkezi (Highway Safety Research Institute – HRSI) tarafından bu modelin standart parametreleri oluşturularak yayınlanmıştır. Bu modelin çıktıları yıllarca kalibrasyon amaçlı da kullanılmıştır. İlerleyen dönemlerde modelin çıktılarından IRI hesabı yapabilen modeller de geliştirilmiştir.

2.5.2. Karesel Ortalama Düşey İvmelenme (RMSVA)

Yöntem üstyapı profil verilerinin analizi için basit spektral yoğunluk analiz metodunun geliştirilmesi ve RTRRMS verilerinin kalibrasyonunda kullanılmaktadır. Bu işlem kesikli üstyapı profil ölçüm noktalarının düşey ivmelenmesinin hesaplanması şeklinde yapılır.



Şekil 2.15: RMSVA için üstyapı profili gösterimi (Haas vd., 1994).

İşlemden yatay uzunluk ΔS 'lerin eşit uzunluklarla belirlendiği varsayılmıştır. RMSVA yatay iki nokta arasında bitişik profil eğimlerinin oranının karesel ortalaması olarak kabul edilmektedir. Eğer birbirini takip eden noktalar (Y_A , Y_B , Y_C) şekildeki gibi düşünülürse hesaplamalarda aşağıdaki eşitlikler kullanılır:

A noktasındaki eğim;

$$A = \frac{Y_A - Y_B}{\Delta s} = |\theta_1| \quad (2.10)$$

B noktasındaki eğim;

$$B = \frac{Y_C - Y_B}{\Delta s} = |\theta_2| \quad (2.11)$$

Eğimin değişimi;

$$\theta_2 - (-\theta_1) = \theta_2 + \theta_1 = \Delta\theta = \frac{Y_C - Y_B + Y_A - Y_B}{\Delta s} \quad (2.12)$$

Uzunlukla eğim değişiminin oranı;

$$\left(\frac{\Delta\theta}{\Delta s}\right)_B = \frac{(Y_C - Y_B) - (Y_B - Y_A)}{\Delta s^2} \quad (2.13)$$

Böylece RMSVA şu şekilde hesaplanır;

$$RMSVA = \left[\frac{\sum_{i=2}^{n-1} \left(\frac{\Delta\theta}{\Delta s}\right)^2}{n-2} \right]^{0.5} = \left[\frac{\sum_{i=2}^{n-1} \left\{ \frac{\{(Y_{i+1} - Y_i) - (Y_i - Y_{i-1})\}^2}{\Delta s^4} \right\}}{n-2} \right]^{0.5} \quad (2.14)$$

Burada;

n = profil kotlarının sayısı,

Δs = örnek uzunluk (iki nokta arasındaki yatay uzunluk),

Y_i = i noktasındaki profil kotu'dur.

Bu modelleri kullanan bilgisayar programları geliştirilmiştir. Çünkü baz uzunluğu geniş spektrumda hesaplamalar yapılabilmektedir. Çalışmalarda Maysmeter sonuçlarıyla korelasyon sağlandığında spektrumun 0.15-19.50 m (0.5-64 ft) arasında değiştiği gösterilmiştir. Çoklu regresyon analizi sonucu 1.21 (RMSVA₄) ve 4.88 (RMSVA₁₆) metre baz uzunluklar arasında Maysmeter çıktıları (MC) arasında uygun bir korelasyon gözlenmiştir. Bu korelasyonu ifade eden eşitlik şu şekilde belirlenmiştir.

$$MC = -20 + 23 \text{ RMSVA}_4 + 58 \text{ RMSVA}_{16} \quad (2.15)$$

MC istatistiklerinden daha sonra PSI değeri verebilen modeller de geliştirilmiştir.

$$PSI = 5 e^{-c(\ln(a MC) / d)} \quad (2.16)$$

Burada a, c ve d değerleri regresyon analizlerinden türetilmiş sabitlerdir. McKenzie'nin 1982 çalışmaları sonucunda bu değerler sırasıyla 32, 9.387 ve 8.493 olarak bulunmuştur (Haas vd., 1994).

2.5.3. Eğim Varyansı (SV)

Eğim varyansı (SV) kavramı AASHO yol testi sırasında üretilen profilometrenin ölçüm birimi olarak geliştirilmiştir. Artık geliştirilmiş bu model gerek profilometre teknolojisindeki gelişmeler gerekse üstyapı değerlendirme prosedüründeki gelişmelerden dolayı kullanışlı bulunmamaktadır. Günümüzde artık aralıklı ölçümleri yapılmış profil noktalarının değerlendirilmesi yapılmaktadır.

2.6. ÜSTYAPININ YAPISAL KAPASİTESİ VE BOZULMALAR

Üstyapı yapısal kapasitesi veya yeterliliğinin değerlendirilmesi için birçok yöntem geliştirilmiştir. Yapısal kapasitenin belirlenmesi işlemi teorik veya ampirik temelde sonuçların yorumlanarak yük taşıma yeteneğinin tahmini ve beklenen trafik yoğunluğu altında üstyapının servis ömrünün tahminini sağlar ve bunun için üstyapıda birtakım karakteristik ölçümler yapılması gereklidir.

Yapısal kapasitenin değerlendirilmesi için yapılan işlemlerin sonucunda kesimlere ait iyileştirme projeleri altlıkları oluşturulabilir. Bu bölümde özetle çok genel kullanılan tahribatlı ve tahribatsız yapısal değerlendirme yöntemleri anlatılmaktadır.

2.6.1. Tahribatsız Yapısal Değerlendirme

Üstyapıların yapısal değerlendirilmeleri için defleksiyon ölçüm teknikleri (Defleksiyon ölçümlerinde deformasyonlar ölçülür) oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Genelde tahribatsız ölçüm teknikleri düşük maliyetli olmalarından, trafiğe etkisinin daha az oluşundan, üstyapıya daha az zarar vermelerinden ve niteliksel değerlendirmede yeter derecede sorulara cevap verebilmelerinden dolayı daha çok tercih edilirler.

Defleksiyon ölçümleri için en az iki teknik eleman, test sırasında trafiğin akışını yönlendirecek gerekli ekipman ve defleksiyon ölçüm aracı gerekmektedir. Bu yüzden

yapısal değerlendirme üstyapı değerlendirme işleminde oldukça pahalı bir bileşendir. Bu nedenle, yapısal değerlendirme ekipman seçimi, veri toplama planı ve veri analiz yöntemlerini içeren seçenekli ve dikkatlice tasarlanmış planlar yapılması gerekmektedir.

Veri Toplama Planları

Veri toplama planı, yapısal kapasitenin çeşitliliği ve verilerin kullanımını amaçlamalıdır. Ayrıca bu plan, kabul edilen bölgesel test periyotlarını, test noktalarının konumsal dağılımlarını vb. gibi özel durumları da içermelidir.

Herhangi bir noktadaki bozulmanın büyüklüğü çevresel şartlarla çeşitlilik gösterebilir. Temelde ve alt temeldeki nem fazlalığı ilkbahar boyunca erime şartlarını zayıflatarak deformasyonların artmasına neden olur. Artan sıcaklıklarda asfalt betonunun elastisite modülünü azaltır ve tabakalarda deformasyonların artmasına neden olur.

Üstyapı tasarım yöntemleri, bu mevsimsel ve çevresel değişikliklerin farklı yollarla düzeltilmesini sağlamaktadır. Bazı prosedürler ilkbahar deformasyonlarının en kritik deformasyonlar olduğunu kabul etmektedir. Ayrıca, yapısal değerlendirme planları analiz metodları ile ilişkili olarak geliştirilmelidir. Defleksiyon ölçüm noktalarının yerleri üstyapının yapısal performansı hakkında yeterli bilgi verebilecek sıklıkta ve sayıda olmalıdır.

Analitik Yaklaşımlar

Yapısal değerlendirme için birçok yaklaşım bulunmaktadır. En temel haliyle bu yaklaşımlar beş temel sınıf altında toplanabilir. Bunlar;

- Genellikle geçmiş performansa dayalı, kabul edilebilir deformasyonlar gibi ölçülen davranışların karşılaştırılması,
- Genellikle deformasyonlar bakımından elastik tabaka analiziyle belirlenen ve kabul edilebilir kritere sahip tekrarlı davranışların karşılaştırılması,
- Kalan ömrü veya yük taşıma kapasitesini, mevcut davranış ölçümlerini girdi kabul ederek tahmin eden mevcut tasarım yöntemlerinin kullanılması,
- Ölçülen deformasyonlar ve her tabakada kullanılan malzeme özelliklerinin tabaka kalınlığı verileri ile geri hesaplama prosedürünün kullanılması,

- Yorulmanın teorik analizi ve sınırlı ölçüde davranış ölçümlerinin istenen malzeme özelliklerini, geri hesaplama prosedürleri ile laboratuvar malzeme sonuçlarını kullanan birleştirme yöntemleri kullanılarak.

İlk üç yaklaşım belirli şartlar altında başarılı bir şekilde kullanılabilir. Bu yaklaşımların malzeme, çevre veya yük limitleri değişikliklerine adapte olabilmesi oldukça zordur. Son iki yaklaşım ise yapısal değerlendirme probleminin genel çözümü için daha çok tercih edilir.

Defleksiyon Ölçüm Aletleri

Üstyapı yapısal kapasitesinin tahribatsız değerlendirilmesi defleksiyon ölçüm aletleri kullanılarak gerçekleştirilebilir. Bu aletler dört kategori altında toplanabilir. Bunlar;

1. Yavaş hareketli yükün tekil uygulanmasına üstyapının tepkisini ölçen statik aletler,
2. Titreşimli yükün tekil uygulanmasına üstyapının tepkisini ölçen titreşimli aletler,
3. Belirli bir yükseklikten, belirli bir kütlenin düşürülerek üstyapıya yük yükleyen ve bu durum karşısında üstyapının tepkisini ölçen itici kuvvetli aletler,
4. Çok modlu aletler'dir.

Statik Aletler

Bu kategoride Tabaka taşıma testi, Eğrilik ölçer, Benkelman kirişi, Otomatik defleksiyon kirişi aletleri bulunmaktadır.

1. Tabaka Taşıma Testi Aleti

Tabaka taşıma testi bir statik defleksiyon prosedürü içerir. Bu prosedür yükün, 76.2 cm (30 inç) çaplı rijit bir tabakanın bir hidrolik kriko vasıtasıyla tekrarlı olarak üstyapıya iletilmesi şeklinde uygulanır. Bu yavaş ve yorucu testin tamamlanması 30 dakika ile bir saat arasında değişir. Bu sebepten çok tercih edilmez.

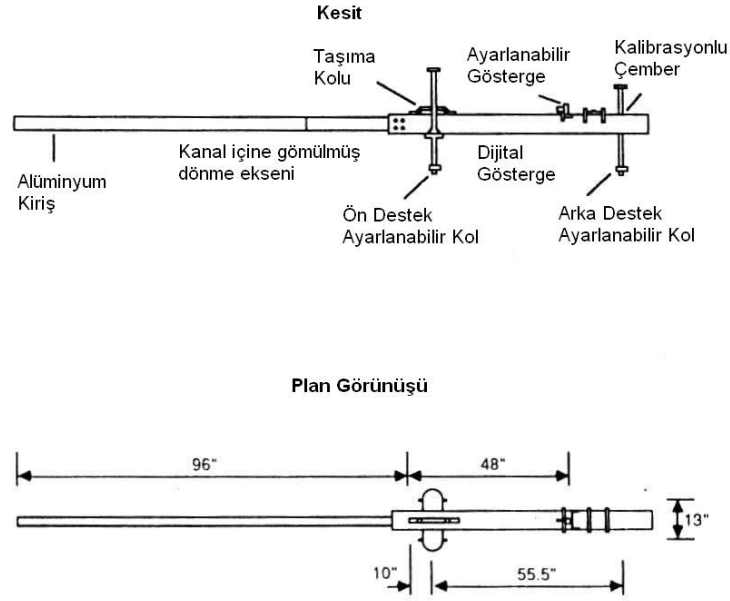
2. Eğrilik Ölçer

Eğrilik ölçer, durağan tekerlek yükünden dolayı üstyapı yüzeyinde oluşan maksimum deformasyonu hesaplamak ve eğriliğin yarıçapını tahmin etmek için geliştirilmiştir. Deformasyon alanı ve sabit yükleme konteynerinin iki tekerleğinin arasında bulunan

araç 30.48 cm (12 inç) uzunluğunda bir kablo ile eğriliğin ordinatını ölçer.

3. Benkelman Kirişi

Basit ve ucuz bir aygıt olan benkelman kirişi deformasyonların ölçümünde kullanılır. Tüm dünyada üstyapı araştırmaları ve değerlendirmeleri ile ilgilenen kuruluşlar tarafından en sık kullanılan aletlerdendir.



Şekil 2.16: Benkelman kirişi şematik gösterimi (Haas vd.,1994).

Benkelman kirişi yukarıdaki şekil'den de görüldüğü gibi basit bir kol'a iliştirilmiş alüminyum veya ahşap gövdeden oluşur. Ölçümler 80 KN (18 Kp) yükün uygulandığı ve deformasyonun belirlendiği noktada yapılır ve yük uygulandığındaki esneklik ölçülür. Çok kullanılan bir aygıt olmasının yanında ölçüm yapmak oldukça emek ister.

4. Otomatik Defleksiyon Kirişi

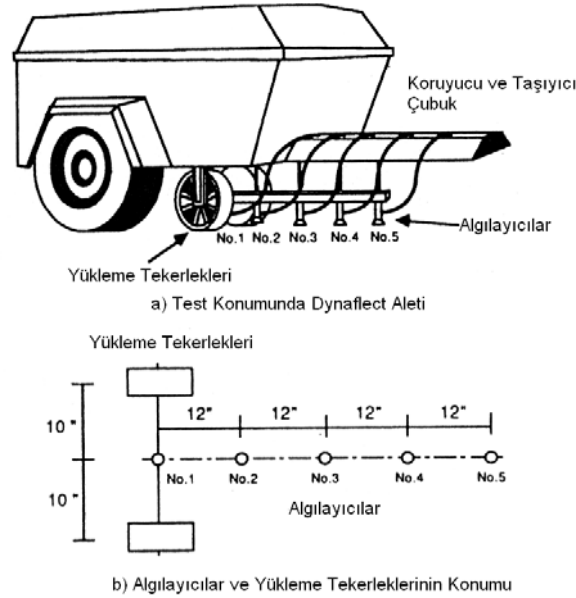
Benkelman kirişi ile aynı prensiplere dayanarak çalışan otomatik defleksiyon kirişi aleti ölçüm hızını arttırmak amacıyla geliştirilmiştir. Defleksiyon kirişi yük aracının üzerine monte edilmiştir. Operatör aracı üstyapı üzerinde hareket ettirirken kirişler istenen noktalara konumlandırılır ve maksimum deformasyon kayıtları otomatik olarak kaydedilir.

Titreşimli Aletler

Bu tipte aletler üstyapıya statik yüke ilaveten 71 KN (16 Kp) sinüsoidal yükü titreşim uygulayarak analiz yapmaya olanak sağlar.

1. Dynaflect

Dynaflect hafif yüklü ve sabit frekanslı bir araçtır. Bir güç üretici ve iki küçük taşıyıcı tekerleğin arasında beş adet algılayıcı içerir. Operatörün oturduğu yerden müdahalesi için uzaktan kumanda ve grafiksel gösterim panelleri bulunmaktadır. Zirveden zirveye iki tekerlek arasındaki dinamik yükleme 1000 lb'dir. Sistemde 30.48 cm (12 inç) aralıklı şekilde yerleştirilmiş olan algılayıcılar ile deformasyon okuması yapılır.



Şekil 2.17: Dynaflect'in gösterimi (Haas vd.,1994).

2. Yol Oranlayıcı

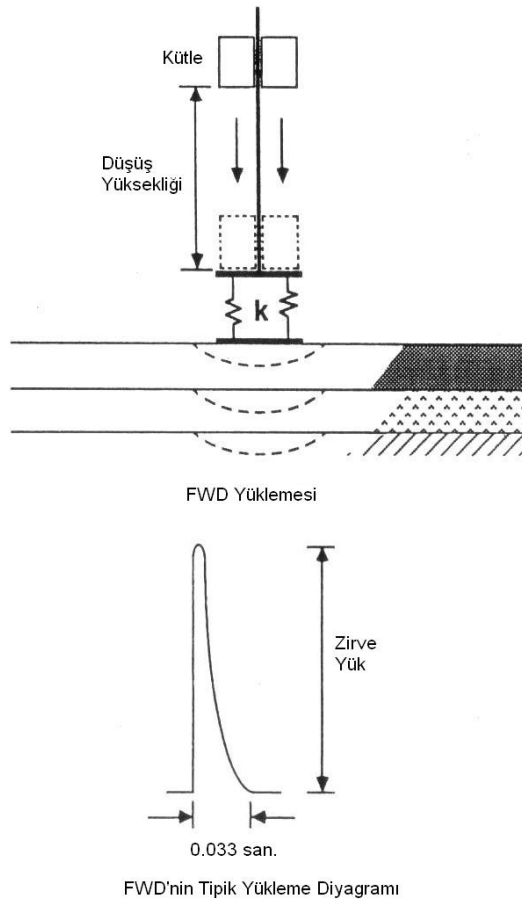
Yol oranlayıcı çeşitli büyük yük ve frekansta çalışabilen titreşimli bir yapısal performans belirleme aygıtıdır. Statik yükün, hareket tekerleklerinden defleksiyon yükleme yüzeyine aktarılmasında yük büyüklüğüne göre farklılıklar gösteren modelleri bulunmaktadır. Dinamik yük yaratımı hidrolik basınç yöntemi kullanılarak elde edilir.

Düşen Ağırlıklı Aletler

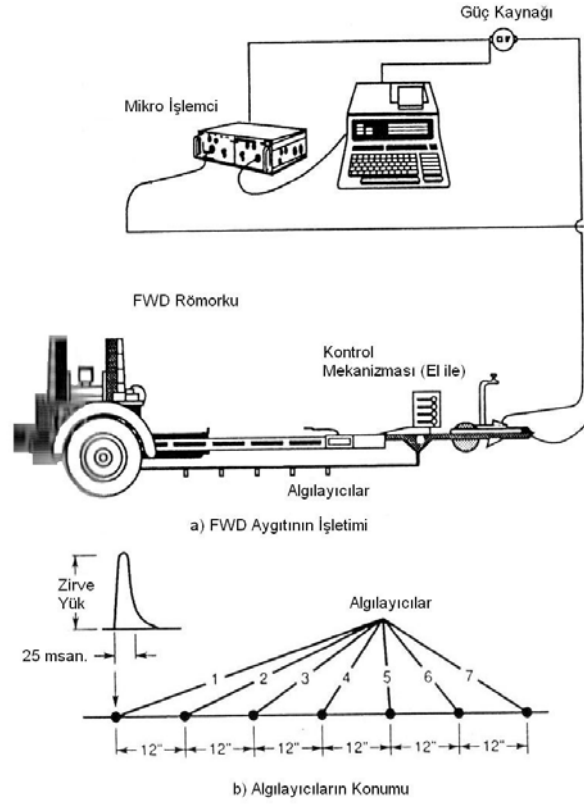
İtme yüklü defleksiyon ölçüm aygıtları tipik olarak bir kütlenin boşlukta düşmesi prensibiyle çalışır. Uygulanan zirve yük yüzeyi varyasyonları düşen kütlenin büyüklüğü ve düşüş yüksekliğindeki değişiklik ile gerçekleştirilir. Düşey zirve deformasyon, düşen kütlenin merkezinden uygulama yüzeyi arasındaki uzunluk ölçülerek belirlenir. Aşağıdaki şekil’de Düşen Ağırlıklı Defleksiyon Ölçer (Falling Weight Deflectometer – FWD) aleti’nin basit prensipleri görülmektedir.

Bu gruptaki aygıtlar şu şekilde başlıklar altında toplanabilir.

- Dynatest düşen ağırlıklı defleksiyon ölçer,
- KUAB düşen ağırlıklı defleksiyon ölçer,
- Phoenix düşen ağırlıklı defleksiyon ölçer.



Şekil 2.18: FWD aleti’nin basit prensipleri (Haas vd.,1994).



Şekil 2.19: Dynatest FWD 8000 modeli'nin şematik gösterimi (Haas vd.,1994).

2.6.2. Tahribatlı Yapısal Değerlendirme

Üstyapı performansı yüzey düzensizlikleri veya bozuklukları ile değerlendirilebiliyor olmasına rağmen bazen problemlerin nerede ve neden olduğunu anlamak için üstyapıdan parçalar alarak üzerinde araştırmalar yapmak gerekir. Bu yöntemde tahribatlı analiz terimi, alınan numunelerden dolayı üstyapıda mekanik bozulmalar olduğundan kullanılmaktadır.

Üstyapının her tabakasının gerçek enkesiti sistemin ve her bir tabakanın davranışı analiz edilerek bulunabilir. Bu durum da ancak üstyapıdan örnekler alınarak mümkündür. AASHO yol testi sırasında aşınma tabakasında oluşan tekerlek izlerini diğer tabakalarla da ilişkili olarak çok geniş kapsamda inceleyebilmek için üstyapının tüm genişliği boyunca enine doğrultuda üstyapı kesilir. Böylece, üstyapının tüm katmanlarının malzeme özellikleri, ortam koşulları ve diğer faktörlerle olan ilişkileri çok rahat bir biçimde incelenebilir.

Bu yöntemin avantajı olarak üstyapının alt tabakalarındaki durumu fiziksel olarak inceleme imkanı bulabilmek olurken, dezavantajı olarak da numune alınan kesimlerde üstyapının yamalarla tamirâtı söz konusu olduğundan oluşan performans kayıplarıdır. Yine de, çalışmalarda güvenilir sonuçlara ulaşmak için en etkili yöntemdir.

2.7. YÜZEY BOZULMA ETÜDLERİ, PRENSİPLERİ VE BİLEŞENLERİ

Birçok üstyapı kuruluşu yetki alanları içindeki üstyapıların durumlarını görmek için periyodik olarak bozulma etüdleri yapar. Çoğunlukla bu işlem çatlaklar, sökülmeler, ondülasyonlar, deformasyonlar gibi bozulmaların ölçümü ve değerlendirilmesi işlemidir. Bu araştırmalar bakım ihtiyaçlarının sıklaşmasını önleyici nitelikte ve gelecekteki bozulmaları tahmin edebilecek altlığı oluşturmaya yönelik olmalıdır. Yüzey bozulma etüdleri veya diğer adıyla bozulma anketleri üstyapı yönetimi için çok faydalıdır.

Bozulma etüdleri makul miktarda detay içermelidir. Bu araştırmalarda bozulma tipleri, şiddeti, boyutları ve konumları yer almalıdır. Bilgilerin kullanıcılar tarafından toplanabilmesinden dolayı bozulma etüdleri basit olmasına rağmen, araziden toplanan, analiz edilen, özeti çıkarılan ve kaydedilen veriler arasında çok fazla çeşitlilik bulunabilmektedir. Bu oluşacak çeşitliliği gidermek amacıyla değişik araştırma yöntemleri geliştirilmiştir.

Bozulma etüdü için kullanılan yöntemler arasında farklılıklar olsa da genellikle ölçülen faktör veya bileşenler bakımından birbiriyle benzerlik gösterirler. Ölçülen bozulma tipleri şu şekilde sınıflandırılabilir;

1. Yüzey kusurları,
2. Sürekli deformasyonlar,
3. Çatlaklar,
4. Yamalar.

Bazı kurumlar kayma direnimi ve düzgünsüzlük ölçümünü de üstyapı performans değerlendirmesinin içine katmaktadırlar. Bu ve buna benzer kabuller kurumların yönetim anlayışları içerisinde kabul veya red edilebilir. Fakat zaman zaman bu şekilde

tüm verileri aynı tabanda değerlendirmek ilişiksiz parametrelerin bir arada değerlendirilmesi gibi olacağından sonuçlar doğru olmayabilirler.

2.7.1. Araştırma Metodolojisi

Üstyapı bozulma etüdüleri çoğunlukla kesim boyunca yürüyerek veya araç ile ilerleyerek yapılır. Yürüyerek yapılan etüdlerin daha doğru olduğu ve mevcut örneklerle daha doğru biçimde karşılaştırmaların yapıldığı araştırmacılar tarafından önerilmektedir. Fakat otoyollar gibi trafiğin hızla ilerlediği yollarda yol boyunca yürüyerek etüd yapmak tehlikeli ve zordur. Bu yüzden çoğunlukla bu yöntem tüm ağın mevcut durumunu belirlemek için örnekleme yapma metodu kullanılacağında tercih edilir. Bu durumda da en önemli olan şey örnekleme alanının belirlenmesidir. Sabit aralıklarla belirlenen kesimde örnekleme yapmak, rasgele seçimli ön belirlemesi yapılmış kesimlerde örnekleme yapmak vb. bunun için kullanılan yöntemlerden bazılarıdır. İstatistiksel teoriye göre rasgele seçim yapmak en doğrusudur. Fakat uygulamada bunu kabul etmek oldukça zordur. Çünkü rasgele seçilen bölge yaması veya tamiri yeni yapılmış bölge de olabilir. Bu yüzden örnekleme için seçilen bölge, kesimin genel özelliklerini mutlaka yansıtan bir bölge olmalıdır.

Çeşitli kuruluşlar yol kenarlarında ve banketlerde düşük hızlı araçlarla hareket halindeyken bu etüdüleri yapmayı düşünmektedir. Ancak hız düşük olsa bile yürüyerek olduğu gibi detaylı bir şekilde tüm verileri toplayıp kayıt edebilmek mümkün değildir. Başka bir uygulama şekli de yüksek hızda ve fazla ayrıntıya girmeden toplanan verilerin yanında düzgünlük ölçümü de yaparak mevcut duruma karar vermek şeklinde olmaktadır.

2.7.2. Üstyapı Bozulma Tipleri

Üstyapı bozulma etüdlerinin yapılabilmesi için öncelikle bozulma türlerinin tanımlanması ve sınıflandırılması gerekmektedir. Bu anlamda oldukça fazla sayıda kılavuz bulunmaktadır. Üstyapı bozulmaları çoğunlukla trafik, iklim ve malzeme özellikleri, işçilik gibi diğer özellikler şeklinde sınıflara ayrılır. Bu sınıflama daha çok bozuklukların tamir yöntemlerinin belirlenmesinde kullanılır.

ÜYS'leri yürüten kuruluşlar en az bir bozulma etüdü işlemini ÜYS kapsamı içine alırlar. Bu işlem, genel üstyapı performanslarını sınıflama işlemi için, özgün bozulma tiplerinin ayrıntılı planını çıkarma ve ölçümlerden oluşur. İki önemli bozulma etüdü olarak;

- PAVER Bozulma Etüdü,
- MTCO Bozulma Etüdü (Municipial Transportation Commission of Ontario tarafından geliştirilen bozulma etüdü) örnekleri verilebilir (İyınam, 1997).

Görsel üstyapı bozulma kusurlarını uniform bir şekilde tanımlamak için birçok bozukluk tanımlama kılavuzu geliştirilmiştir. Bu kılavuzların neredeyse hepsi üstyapı bozulmalarını tanımlamada şu parametreleri kullanmışlardır;

- *Tanımlama*: Bozulmaların tanınabilmesi için gerekli kısa notlar ile yapılan tanımlamalar.
- *Olası durumlar*: Bozulmaların sebepleri ile çok olası durumların listesi.
- *Yoğunluk Düzeyleri*: Bozulmaların birbirinden farklı kalitatif değerlerinin ortaya konmasına yardımcı olur (Düşük, Orta ve Yüksek).
- *Nasıl Ölçülür*: Bozulma çeşitlerinin ölçüm birimlerinin tarifleridir. Her bozulma türüne ait farklı ölçüm yöntemi ve birimi mevcuttur.

Aşağıdaki tabloda dünyada en çok kullanılan ve kabul görmüş bozulma sınıflandırma kılavuzları birbirleri ile karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

Tablo 2.3: Bozulma tanımlama kılavuzları (Cafiso vd., 2006).

Kılavuz	Yoğunluk düzeylerinin değerlendirilmesi	İnceleme tekniği	Örnek alan tanımlama	Ölçüm bilgileri	Üstyapı performans göstergesi
Austroads (1987)	Yalnızca fotoğraflar	Veri kodlama	Yok	Birimler	Yok
SHRP (1993)	Sayısal değerler ve/veya tanımlama	Veri sayfaları	Yok	Birimler ve oranlar	Yok
ASTM (1999)	Sayısal değerler ve/veya tanımlama	Veri sayfaları	Var	Birimler ve oranlar	PCI
Mn-DOT (2001)	Sayısal değerler ve/veya tanımlama	Yok	Yok	Birimler	Yüzey Oranlama
FHWA (2003)	Sayısal değerler ve/veya tanımlama	Veri sayfaları	Yok	Birimler ve oranlar	Yok

Her üstyapı bozulma kılavuzu bozulma verilerini farklı sayılarda ve farklı niteliklerde tanımlamıştır. Dünyada en çok kabul görmüş bozulma kılavuzlarından olan LTPP ve ASTM bozulma kılavuzlarının üstyapı verilerini sınıflandırma yöntemi aşağıda verilmiştir.

Uzun dönemli Üstyapı Performans Çalışması (LTPP) Bozulma Kılavuzu

Amerika’da 1993 yılında tamamlanan Stratejik Yollar Araştırma Programı (SHRP) tarafından yürütülen LTPP çalışması sonucunda oluşturulmuş bozulma tanımlama kılavuzunun bozulma sınıfları şu şekildedir.

Tablo 2.4: LTPP bozulma sınıflandırmaları (Miller ve Bellinger, 2003).

Bozulma Tipi	Ölçüm Birimi	Yoğunluk Düzeyi Tanımlama
A. Çatlaklar		
1. Yorulma Çatlağı	Metre kare	Evet
2. Blok Çatlak	Metre kare	Evet
3. Kenar Çatlağı	Metre	Evet
4a. Tekerlek İzi Boyuna Çatlak	Metre	Evet
4b. Tekerlek Alanı Dışı Boyuna Çatlak	Metre	Evet
5. Yansıma Çatlakları		
Enine Yansıma Çatlakları	Ölçülmez	Belirsiz
Boyuna Yansıma Çatlakları	Ölçülmez	Belirsiz
6. Enine Çatlaklar	Sayı, Metre	Evet
B. Yamalar ve Oyulmalar		
7. Yama/ Yama Bozulmaları	Sayı, Metre kare	Evet
8. Oyulmalar	Sayı, Metre kare	Evet
C. Yüzey Deformasyonu		
9. Tekerlek İzi	Milimetre	Hayır
10. Toplanma	Sayı, Metre kare	Hayır
D. Yüzey Kusurları		
11. Kuma	Metre kare	Hayır
12. Cilalanma	Metre kare	Hayır
13. Sökülme	Metre kare	Hayır
E. Çeşitli Bozulmalar		
14. Şerit-Banket Düşüklükleri	Ölçülmez	Belirsiz
15. Yağış Oyulmaları	Sayı, Metre	Hayır

Amerika Test ve Malzemeler Birliği Standardı (ASTM) Bozulma Kılavuzu

Yollar ve park alanları için tanımlanan üstyapı bozulma kılavuzu ASTM tarafından 2011 yılında D 6433-11 kodu ile yayınlanmıştır. Ayrıca yayınlanan bu kılavuzda bozulma türleri oluşma nedenleri bakımından yük, iklim ve diğer olmak üzere üç başlık altında toplanmıştır.

Bir üstyapının tasarım aşamasında yol gövdesini oluşturan tabakaların ve kaplama tabakasının kalınlığı, seçilen standart dingil yükünün belli bir zaman içerisindeki tekrar sayısına bağlı olarak belirlenir. Bir yoldan beklenenden çok trafiğin geçmesi veya standart dingil yüküne göre projelendirilenden daha ağır dingil yüklerine sahip taşıtların geçmesi yolda yükten kaynaklanan bozulmaların oluşmasına neden olur. Ayrıca, gün içerisinde veya mevsimler arasında sıcaklık farkı da üstyapılarda iklimden kaynaklanan bozulmalar oluşmasına neden olur (Ay, 2001). Bunlardan başka, yapım hataları, bakım hataları, malzeme özellikleri, kaplama üzerinde seyreden taşıtlardan mazot, benzin, yağ gibi kimyasal maddeler damlaması, soğuk iklime sahip bölgelerde buzlanma ile mücadele amaçlı olarak yola tuz serilmesi gibi diğer nedenlerle de üstyapılar zaman içinde bozulurlar. ASTM bozulma tanımlama kılavuzu ve bozulma tiplerinin oluşma nedenleri aşağıda görülmektedir.

Tablo 2.5: ASTM bozulma sınıflandırmaları (ASTM D6433-11).

Kod	Bozulma	Ölçüm Birimi	Yoğunluk Düzeyi	Bozulma Nedeni
1	Timsah Sırtı Çatlak	Metre kare	Evet	Yük
2	Kusma	Metre kare	Evet	Diğer
3	Blok Çatlak	Metre kare	Evet	İklim
4	Kabarma ve Oturma	Metre	Evet	Diğer
5	Ondülasyon	Metre kare	Evet	Diğer
6	Çökme	Metre kare	Evet	Diğer
7	Kenar Çatlağı	Metre	Evet	Yük
8	Yansıma Çatlağı	Metre	Evet	İklim
9	Kenar/Banket Düşüklüğü	Metre	Evet	Diğer
10	Boyuna ve Enine Çatlak	Metre	Evet	İklim
11	Yama	Metre kare	Evet	Diğer
12	Cılanma	Metre kare	Hayır	Diğer
13	Oyulma	Sayı	Evet	Yük
14	Demiryolu Geçişi	Metre kare	Evet	Diğer
15	Tekerlek izi	Metre kare	Evet	Yük
16	Toplanma	Metre kare	Evet	Diğer
17	Tabaka Kayması Çatlağı	Metre kare	Evet	Diğer
18	Şişme	Metre kare	Evet	Diğer
19	Soyulma ve Sökülme	Metre kare	Evet	İklim
20	Ayrışma	Metre kare	Evet	İklim

2.7.3. Üstyapı Bozukluklarının Değerlendirilmesi için Kullanılan Ekipmanlar

Elle yapılan bozulma etüdlerinde anketörlerin farklı yorumlar yapması ve yetersiz örnekleme alanı boyutu gibi sebeplerle aynı kesimde farklı etüd sonuçları elde

edilebilmektedir. Bu faktörler, üstyapı bozukluklarını değerlendirmede otomatik değerlendirme tekniğinin gelişmesini zorunlu hale getirmiştir. Mevcut ekipmanlar bilgisayarlarla çalışan otomatik veri toplama formlarından üstyapıların video ve film verilerinin değerlendirilmesine kadar çeşitlilik göstermektedir. Kullanılan ekipmanların bu derece gelişmesine rağmen halen bozuklukların değerlendirilmesinde uzmanların görüşleri çok önemli bir rol oynamaktadır.

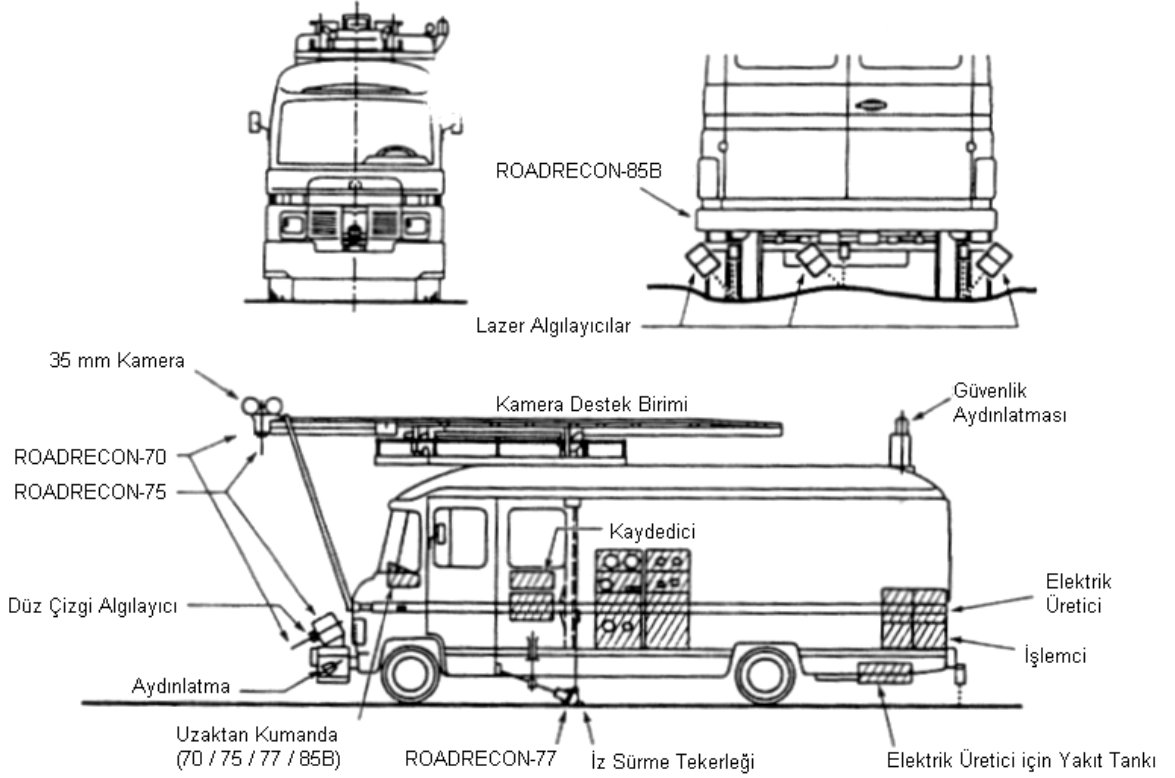
1987 yılında FHWA'nın düzenlediği bir projede otomatik bozulma etüdü yapan ekipmanlar değerlendirilmiştir. Bu çalışmada iki film fotoğrafı, bir video kaydı ve bir lazer tabanlı otomatik araştırma yapan aletin elle yapılan bozukluk anketi ile karşılaştırılması yapılmıştır. Film fotoğrafı veya video kayıtları sürekli çekilen yüksek çözünürlüklü fotoğraflardan oluştuğu ve sürekli kayıt yapılmasına izin verdiği için kentsel otoyolların bozukluklarının değerlendirilmesinde oldukça avantajlı sayılabilir.

Üstyapının mevcut performansını değerlendirmek üzere geliştirilen sistemlerin çoğu görüntü işleme algoritmalarını kullanabilecek şekilde uyarlanmışlardır. Toplanan görüntü verilerinin 80 km/sa hızda, şerit genişliği 3.66 m kabulü ile saatte yaklaşık 91 GB olduğu belirlenmiştir. Bu kadar çok verinin toplanabilmesi ve işlenebilmesi için donanımı oldukça güçlü bilgisayarlar gerekmektedir. Bu sorunla başa çıkabilmek için uzmanlar, toplanan verileri o anda değerlendirerek değerlendirme sonuçlarını çıktı olarak veren bir yöntem geliştirmişlerdir (Wang, 2000). Görüntü işleme teknolojisini kullanarak üstyapı bozulmalarını belirleyen sistemlerden dünyada en çok kullanılanları aşağıda verilmiştir:

- PASCO ROADRECON Sistemi,
- GERPHO Sistemi,
- Otomatik Yol Çözümleyicisi (Automatic Road Analyzer-ARAN),
- Lazer Yol Yüzey Test Edici (Laser Road Surface Tester-RST) (yeni ismi İsveç PAVUE sistemi'dir),
- Japon Komatsu sistemi,
- ABD Üstyapı Performans Değerlendirme Servisi (U.S. PCES) sistemi,
- İsviçre Çatlak Tanıma Sistemi (CREHOS),
- Illinois Otomatik Yol Denetleme sistemi.

PASCO ROADRECON Sistemi

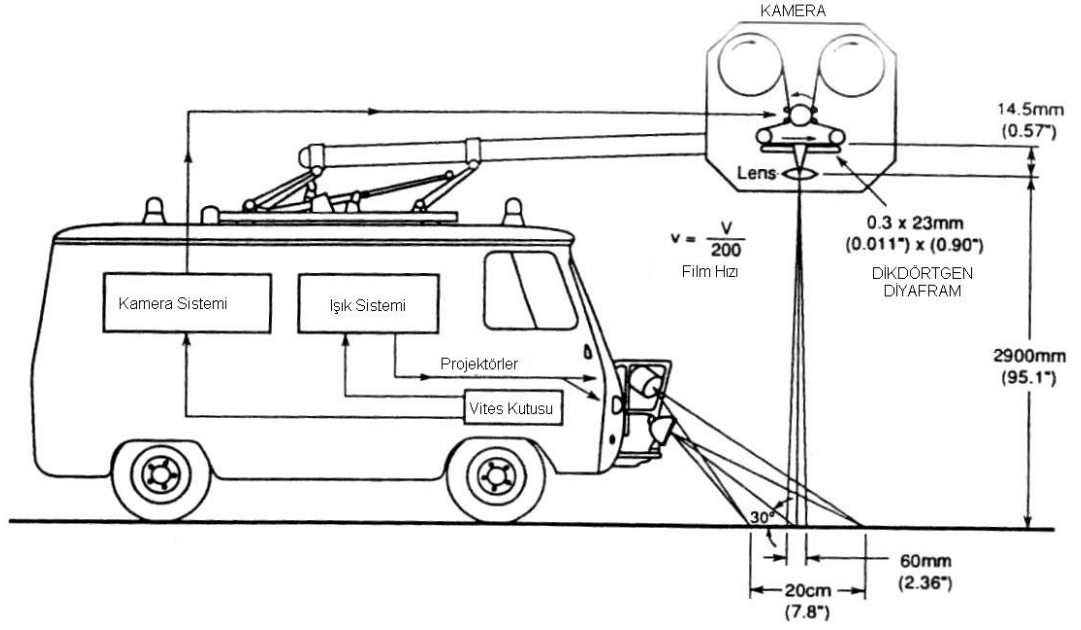
1960'ların sonunda PASCO şirketinin ürettiği bir aygıttır. Aygıt düzgünlük ölçümü yapabilmekte ve üstyapı yüzeyinin sürekli film bandında kaydını sağlayabilmektedir. Çekimler ışığın yönünü ve şiddetini ayarlayabilmek için gece yapılmaktadır. Ayrıca, tekerlek izi boyutlarının saptanabilmesi için hassas optik şakül ile ayarlama yapılmaktadır. Araç 4.88 m (16 ft) genişlikteki bir alanda saatte 80.46 km (50 mil) hızla veri toplayabilmektedir. Fotoğrafların çeşitli şekillerde yorumu yapılarak üstyapı performansı hakkında veriler elde edilebilmektedir. LTPP çalışmasında kullanılan bu aygıt şematik olarak aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.



Şekil 2.20: Pasco Roadrecon sistemi (Haas vd.,1994).

GERPHO Sistemi

ROADRECON gibi GERPHO sistemi de 35 mm'lik film üzerine üstyapı yüzeyinin sürekli kaydını sağlar. GERPHO'da gece kullanımda ve bozulma bilgileri toplanırken yapay ışık kullanılır. Şekilde GERPHO sisteminin şematik gösterimi mevcuttur.



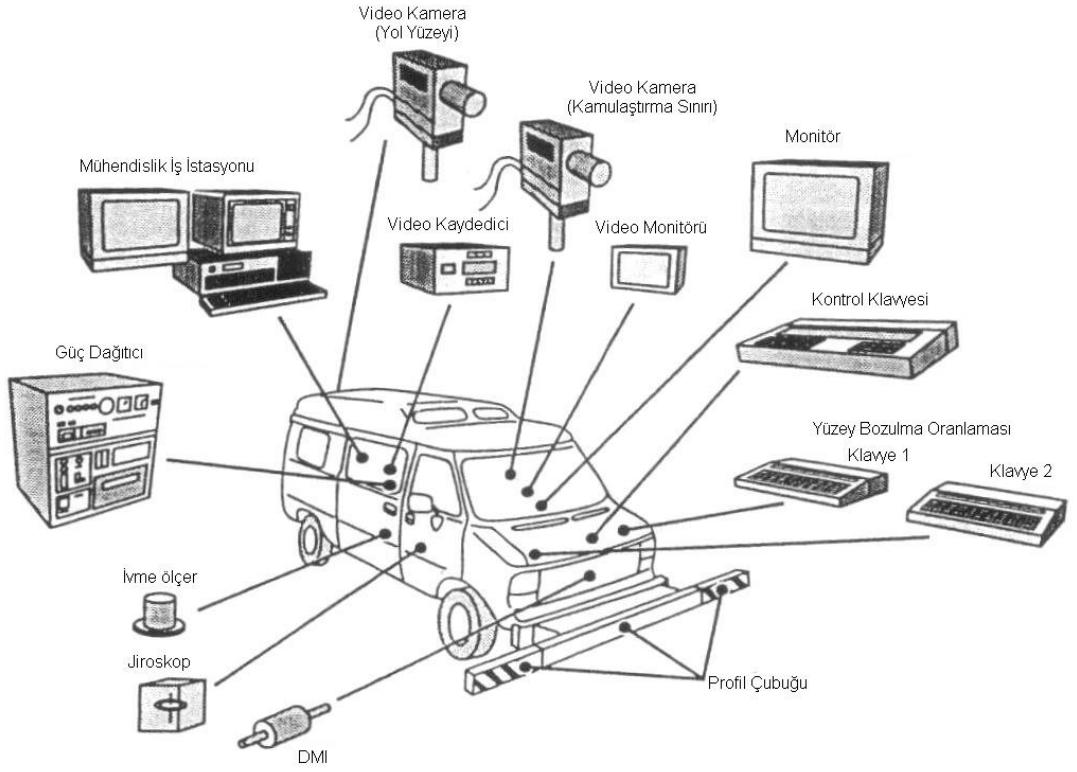
Şekil 2.21: Gerpho otomatik fotoğrafılama sistemi (Haas vd.,1994).

Otomatik Yol Çözümleyicisi (Automatic Road Analyzer-ARAN)

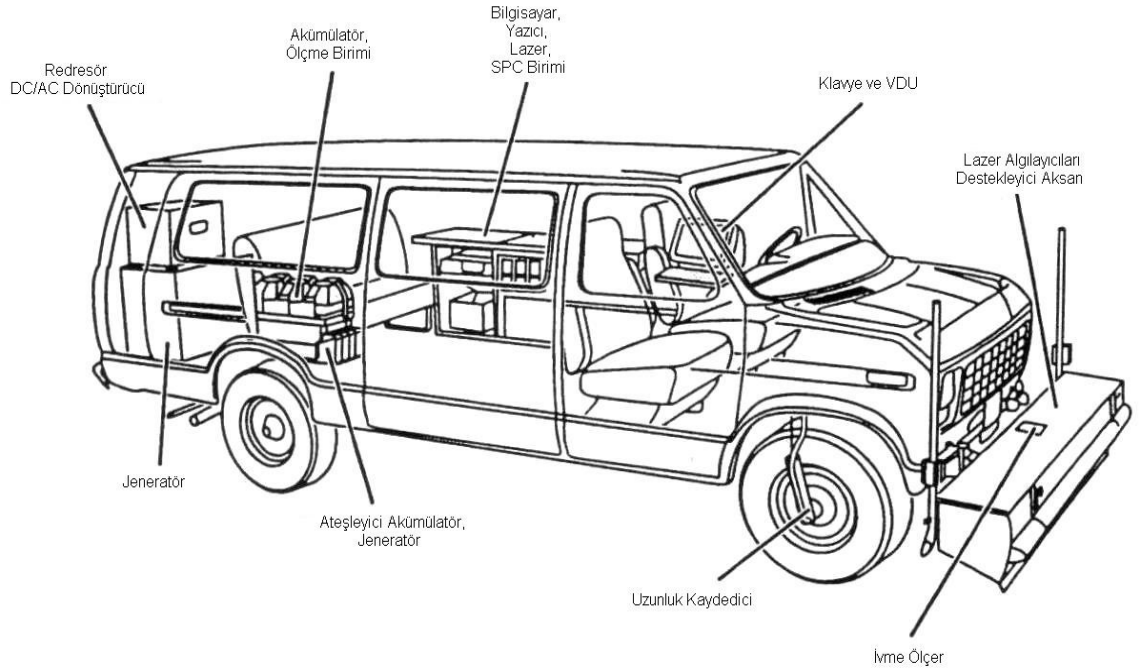
Otomatik yol çözümleyicisi (ARAN) ultrasonik algılayıcılarla tekerlek izi ve enine profil ölçümleri yapmaktadır. Ayrıca arka dingile bağlı ivmeölçer ile sürüş/düzensüzlük kalitesi ölçmekte, ön camdan görülebilen kamulaştırma sınırı boyunca video fotoğrafları alabilmekte ve 20 tipte (Timsah sırtı çatlak, Blok çatlak vb.), 3 düzey yoğunlukta (Düşük, orta ve yüksek), 5 düzey genişlikte (3.1, 3.2, 3.7 m vb.) bozulma verilerinin kaydını yaparak 2 operatörün kullanımına müsaade edebilmektedir. Tekerlek izi ölçümü 30.5 mm (12 inç) merkezli aracın önüne monte edilmiş 7 ultrasonik algılayıcı ile yapılmaktadır. Sistemin şematik gösterimi aşağıda görülmektedir.

Lazer Yol Yüzey Test Edici (Laser Road Surface Tester - RST)

Lazer yol yüzey test edici İsveç Yol ve Trafik Araştırma Enstitüsü tarafından geliştirilmiştir. Bu araç bozuklukların yoğunluğu, boyutları, tekerlek izi vb. gibi ölçümleri yaparken lazer teknolojisini kullanır. Ayrıca çatlakların ve diğer bozuklukların tipini belirlemek için aracın ön cam görüş alanında bir operatör bulunarak bu saptamaları yapar. Algılayıcılarla alınan sinyallerin ivme ve uzunluk verileri ile birlikte bilgisayarla değerlendirilmesi sonucu ilgili kesime ait gerçek zamanlı veriler elde edilebilir. Sistemin şematik gösterimi aşağıda görülmektedir.



Şekil 2.22: Otomatik yol çözümleyicisi şematik gösterimi (Haas vd.,1994).



Şekil 2.23: Lazer yol yüzey test edici şematik gösterimi (Haas vd.,1994).

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. YÜZEY BOZULMA VERİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Yapılan çalışmada yüzey bozulma verilerinin değerlendirilmesi, Uluslararası standartlarca kabul edilen ve yapılan literatür araştırmalarına göre birçok kurum/kuruluşça tercih edildiği bilinen PAVER sistemi kullanılarak yapılmıştır. PAVER sistemi 1970'lerde ABD Ordusu Mühendislik Birimi (U.S. Army Corporation of Engineers) tarafından askeri amaçlar için geliştirmiş ve günümüzde aralarında Mesa (Arizona), Pittsburgh (California), Tampa (Florida) ve Cincinnati (Ohio) gibi çoğunluğu ABD'de yaklaşık 600'den fazla şehir, hava alanı ve ülke gibi farklı üstyapıların yönetim sistemi olarak kullanılan bir sistemdir. PAVER adında bir paket programı da bulunan PAVER sistemi, üstyapılardaki bozulma verilerinin yanında tahribatlı ve tahribatsız performans test sonuçlarını da göz önüne alarak belirlenmiş uzman görüşlerini modelleyerek oluşturulmuştur. PAVER sistemi üstyapı bozulma etüdlerinden mevcut üstyapı performansı hakkında çıkarımlar yapabildiği için kullanılan mevcut sistemler arasında en ekonomik ve en çok tercih edilenlerden biridir.

PAVER sistemi, rasgele dağılım prensiplerine göre seçilen alanı $232 \pm 93 \text{ m}^2$ ($2500 \pm 1000 \text{ ft}^2$) büyüklüğünde örnek alanlarda, ASTM D 6433-11 kodlu bozulma tanımlama kılavuzuna göre toplanan bozulma verilerinin değerlendirilerek, üstyapının mevcut performansını ortaya koyan bir değerlendirme prosedürüdür. Değerlendirme düşük (D), orta (O) ve yüksek (Y) yoğunluk düzeylerinde toplanan verilerin, örnek alan'ın büyüklüğüne oranlanarak elde edilen değerler bozukluk türüne göre hazırlanmış sonuç değer tablolarından sonuç değerleri okunarak yapılır. Elde edilen sonuç değerler 100'den çıkarılarak üstyapının performansını 0 – 100 arasında bir değerle tanımlayan PCI değeri elde edilir. Bir üstyapı için hesaplanan PCI değeri olarak 100 hiç bozukluk bulunmayan en iyi derecedeki üstyapıyı 0 ise tamamen bozulmuş kullanılamayacak derecedeki üstyapıyı tasvir etmektedir. PCI, üstyapıya ait bozulma tipi, bozulma yoğunluğu ve bozulma miktarı bileşenlerinin ortak değerlendirilmesi sonucunda üstyapının mevcut performansını gösteren bir indekstir. Standart PCI ölçeği üstyapıları

7 farklı sınıfa ayırarak değerlendirirken özel PCI ölçeği 3 farklı sınıfta değerlendirmiştir. Üstyapıların mevcut performansını tanımlamak amacıyla kullanılan standart ve özel PCI ölçekleri kavramı PAVER paket programında mevcut performansı farklı renklerle betimlemeye de kullanılır. Aynı zamanda bu ölçeklerde mevcut performansı diğer bir deyişle üstyapı kalitesini “İyi”, “Yeterli” gibi sözel ifadelerle de tanımlamak mümkündür.

3.1.1. PAVER Sistemi Ağ Tanımlaması

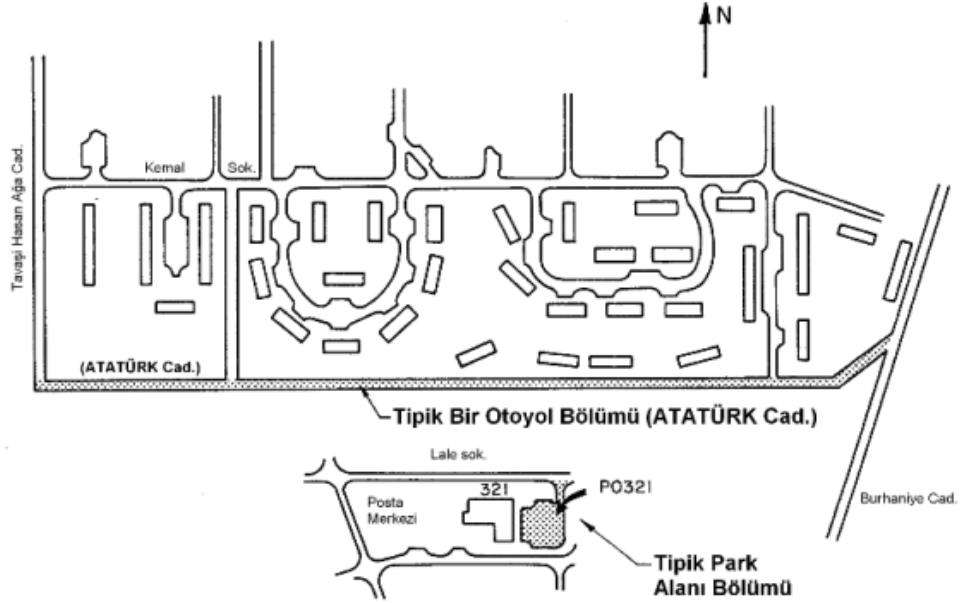
Bir ÜYS kurulumunda ilk adım ağ tanımlamasıdır. Üstyapı yöneticileri karayolları, park alanları, hava alanları ve buna benzer kaplamalı veya kaplamasız imal edilmiş, taşıtlara ait alanların yönetiminden sorumlu olabilirler. Bu alanların üstyapıları üzerinde yönetim kararları verebilmek için her bir birimi ayrı birer ağ elemanı olarak tanımlanmak gereklidir. Bunun yanında her bir eleman ayrı tanımlanmasına rağmen tüm elemanlar bilgisayar ortamında aynı veritabanında tutulmalıdır. Mevcut durum ve şartlara göre üstyapı ağları çok farklı boyutlarda teşkil edilebilirler. Küçük ağların en temel avantajı etkili veri girişi ve raporlanabilmesidir. Ayrıca küçük ağlar kullanılarak PAVER gibi üstyapı yönetim sistemlerinde birleştirilmiş veri tabanlarının (veya ağların) aynı anda ve karşılaştırılarak değerlendirilebilmesi özelliği kullanılabilir. Yol ağını farklı ağlar olarak tanımlamak için bütçe kaynakları ve minimum işletim standardı kısıtları göz önüne alınmalıdır. Örneğin bir üstyapı işletme politikası olarak farklı iki minimum PCI değeri kullanılacaksa bu iki ağ farklı farklı tanımlanmalıdır (Shahin, 2002).

Öncelikle, ağ “bölümler” ve “kesimler” şeklinde alt dallara ayrılarak tanımlanır. Bölümler ağda süreklilik arz eden caddeler olarak kabul edilebilir. Aynı zamanda bölümler kendi içinde karakterleri aynı olan bir veya daha çok kesimlere ayrılabilirler. Kesimler ağ içindeki coğrafi konumları veya yönetimle ilgilenen kurumla ilgili özel sebeplere bağlı olarak ayrılabilirler.

3.1.1.1. Bölüm Tanımlama

Bölüm, üstyapı ağının bir takım nitelikler ile tanımlanmış bir parçası veya belirli özelliklere sahip bir kısmı olarak düşünülebilir. Örneğin, tek bir cadde veya park alanları gibi alanların her biri üstyapı ağının ayrı birer bölümü olarak düşünülebilir. Bir

bölümü tanımlamanın en kolay yolu bir üstyapı ağında aynı isimle (Örneğin; Barbaros Bulvarı) anılması olarak düşünülebilir. Ağ üzerindeki her cadde ayrı ve bağımsız birer bölüm olarak düşünülebilir. Aynı işlem park alanları için de uygulanabilir ve eğer uygun görülürse konumu ve büyüklüğüne göre çok sayıda park alanı tek bir bölüm olarak da düşünülebilir (Shahin, 2002).



Şekil 3.1: Tipik üstyapı ağı bölüm örneği (Shahin, 2002).

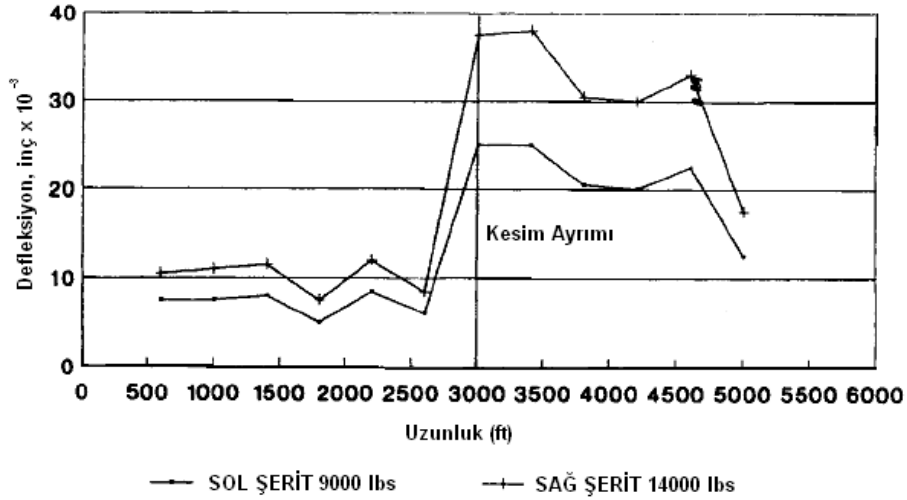
3.1.1.2. Kesim Tanımlama

Zaman zaman bir bölüm ağda geniş bir alan kapladığı için, bölümün tamamı boyunca karakteristikler aynı olmayabilir. Bu sebeple farklı yönetim amaçları için bölümler “kesim” adı verilen daha küçük parçalara ayrılabilirler. Bir ağda kesim, bakım ve onarım kararları alınan en küçük birimdir. Her bölüm en azından bir kesim içerir, fakat bölüm boyunca eğer üstyapı karakteristiklerinde bir değişiklik varsa birden çok kesimlere ayrılır. Üstyapı bölümlerini kesimlere ayıran faktörler, üstyapı mekanik yapısı, trafik, imalat tarihi, üstyapı oranlaması, drenaj yapıları veya banketler ve üstyapı performansı olarak kabul edilebilir (Shahin, 2002).

Üstyapı Mekanik Yapısı

Üstyapı mekanik yapısı bölümleri kesimlere ayırabilmek için en önemli kriterdir. Yapısal kompozisyon (kalınlık ve malzemeler) tüm kesim boyunca birbirinin aynı

olmalıdır. Bölümlere ait yapısal performans bilgileri her zaman hazır olarak bulunmadığı için bir bölümü kesimlere ayırma ihtiyacı olduğunda mekanik yapı araştırılmalıdır. Kayıtlardaki imalat verilerinin hatalı olabileceği düşünüldüğü zamanlarda, belirli sayıda örnekler alınarak imalat verileri ile üstyapı mekanik yapısı karşılaştırılmalıdır. Aynı zamanda yapısal benzerlikleri belirlemek için ağ düzeyi tahribatsız defleksiyon testleri programı geliştirilebilir. Aşağıdaki şekil’de bölümü iki farklı kesime ayırmak için kullanılan test sonucu görülmektedir.



Şekil 3.2: Tahribatsız defleksiyon testi kullanımı örneği (Shahin, 2002).

Trafik

Her kesim içinde trafiğin hacim ve yük şiddeti tutarlı olmalıdır. Caddeler ve sokaklar için öncelikli değerlendirme kriteri ağır taşıt trafiği olarak düşünülebilir. Eğer bir yolda katılmaların ve ayrılmaların çok fazla olduğu düşünülürse kavşaklar kesim sınırları olarak düşünülebilir. Bölünmüş otoyollar için her bir trafik yönü ayrı birer kesim olarak düşünülebilir.

İmalat Tarihi

Bir kesim içindeki tüm üstyapı alanı imalat tarihi anlamında tutarlılık göstermelidir. Üstyapılar farklı zaman periyotlarında, farklı yükleniciler tarafından veya farklı malzemeler ve teknikle yapılmışsa bu bilgiler ışığında bölüm kesimlere ayrılabilir. Aynı bölüm içinde çok önemli miktarda tadilat görmüş alanlar da farklı kesimler olarak düşünülebilir.

Yol Sınıfı

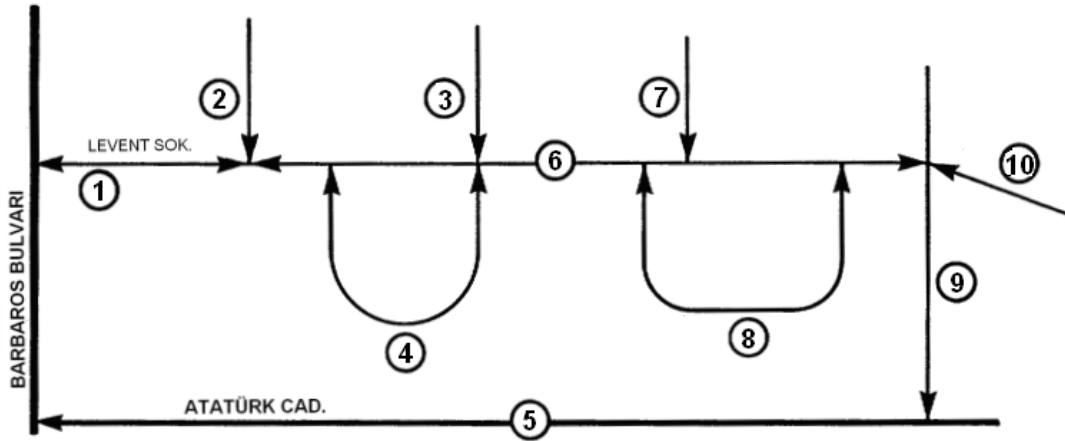
Aynı bölüm içerisinde farklı hizmet karakterlerindeki (ana arter, arter vb.) sınıflar mevcutsa, bu alanlar farklı kesimler olarak düşünülebilir.

Drenaj Tesisleri ve Banketler

Bir üstyapı kesiminde üstyapının performansını etkileyen drenaj tesisleri ile banketlerin varlığı ve yeterliliği kesim boyunca tutarlı olmalıdır.

Üstyapı Performansı

Her kesimin ön değerlendirmesinden sonra, eğer aynı kesimde üstyapı mevcut performansında çok önemli sapmalar var ise bu kesim tekrar kendi içinde kesimlere ayrılmalıdır. Üstyapı performansı daha önceden tartışılan birçok faktörü de içinde barındırdığı için çok önemlidir. Bozulma tipleri, nitelikleri ve sebeplerindeki değişiklikler mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır. Bozulma durumu indeksi ve tahribatsız defleksiyon testlerinin üstyapı kesimlerinin tanımlanmasında çok başarılı parametreler olarak kabul edilebileceği tecrübelerle ispatlanmıştır.



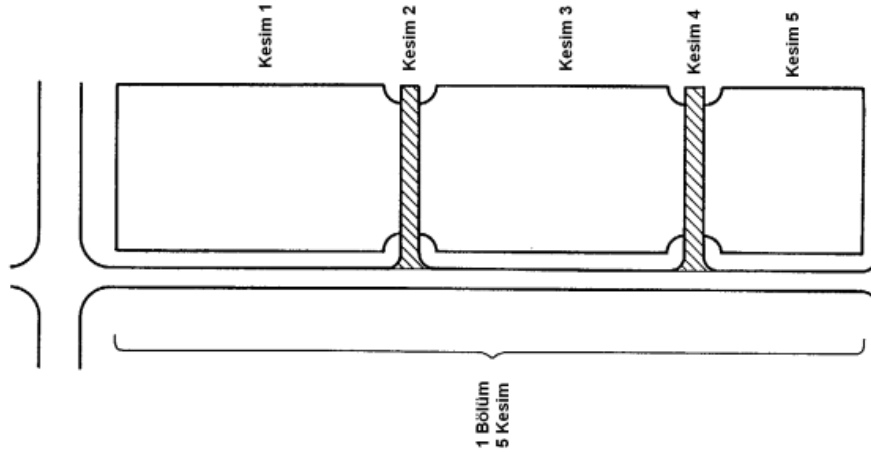
Şekil 3.3: Tipik üstyapı ağı kesim örneği (Shahin, 2002).

Diğer Durumlar

Yukarıda tartışılan tüm değerlendirme kriterlerinin öneminin hiçbir zaman göz ardı edilmemesine ilaveten üstyapı bakım ve onarımıyla ilgilenen her kurumun kendine has,

özellikle uygulamaların maddi boyutu anlamında değerlendirme kriterleri de olabilir. Kesimlerin çok kısa tanımlanması uygulamalar sırasında oldukça yüksek maliyetleri de beraberinde getirebilmesinin yanında, çok büyük kesimlerde de üstyapıya ait karakteristikler yeterince tutarlı olmayabilir. Karakteristikleri yeterince tutarlı olmayan kesimlerde verilen kararlar yanlış tasarım veya yanlış bütçe planlaması gibi durumlarla sonuçlanabilir.

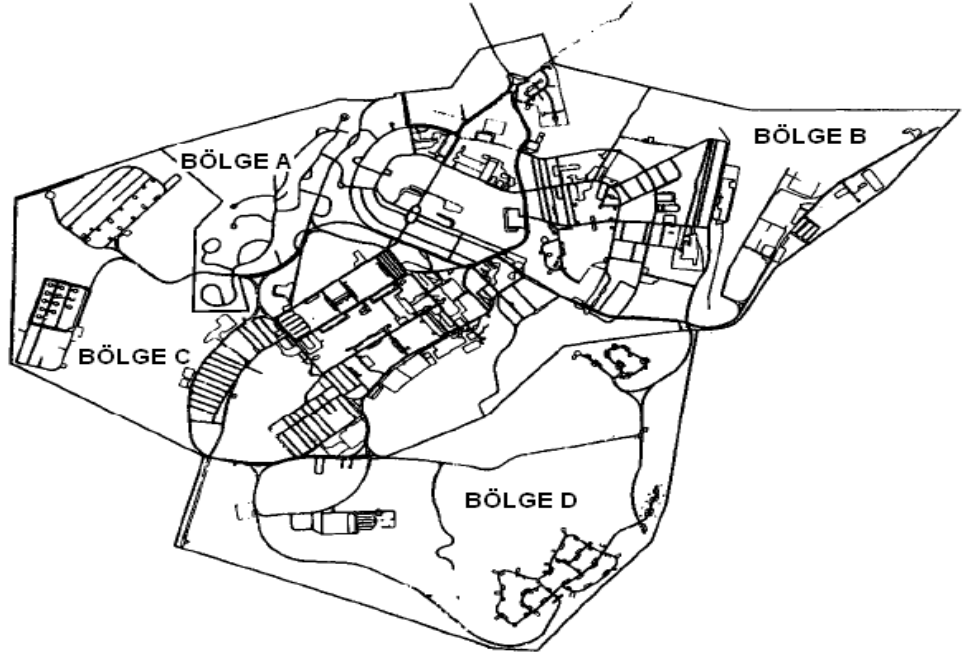
Bazı otoriteler yolların kesimlere ayrılması işlemi içine park alanları ve saklama bölgelerini de katarak tek bir ağ oluşturmayı önermişlerdir. Ayrıca birbirine çok yakın ve çok küçük park alanlarında (10 araçtan daha az) tüm alanların bir bölgenin veya ağın kesimleri olarak da düşünülebileceği kabul edilmiştir. Yine park alanları için, araçların kullandığı şeritler ayrı birer kesim olarak düşünülebilmektedir.



Şekil 3.4: Park alanı kesimlere ayırma örneği (Shahin, 2002).

3.1.1.3. Diğer Kesim Sınıflamaları

Kesimleri sınıflama kararları kesimlerin ilgili kurumlar tarafından detaylıca değerlendirilmeleri sonucunda alınır. PAVER sisteminde iki opsiyonlu sınıflama sistemi mevcuttur; “Bölge” ve “Kesim Kategorisi”. Genel olarak bölgelere ayırmak için ağın karakteristiğini belirleyen coğrafi gruplandırma kullanılır. Bölgeler, kontrol alanlarını göstermede, bakım ve onarım işlerine bütçe kaynaklarını aktarmada ayrıca karla mücadele güzergahlarının belirlenmesinde de verimli olarak kullanılabilir.



Şekil 3.5: Bölgelere ayrılmış bir üstyapı ağı (Shahin, 2002).

3.1.2. PAVER Sistemi Üstyapı Performans Araştırma ve Oranlama Prosedürü

Üstyapı yönetim sistemlerinin en önemli özelliği üstyapı ağının mevcut durumunu belirleme ve gelecek durumunu tahmin edebilme yeteneğidir. Gelecek durum tahmini güvenilirliğini sağlayabilmek için üstyapıların performans oranlaması diğer bir deyişle bozulma etüdü tekrarlanmalıdır. Burada tanımlanan üstyapı performans oranlaması (PCI belirleme), prosedürü ABD Ordusu Mühendislik Birimi (Eaton Gerard, ve Gate 1987; Kohn ve Shahin 1984; Shahin ve Walther 1990; Shahin vd. 1976-1984) tarafından geliştirilmiştir. PCI belirleme prosedürü hava alanları, karayolları ve park alanları olmak üzere üç farklı üstyapı kullanım alanı için geliştirilmiş ve dünya çapında üstyapı bakım ve onarımından sorumlu birçok kuruluş tarafından kabul görmüş ve standart prosedür olarak kendi sorumluluk alanlarında kullanılmaktadır.

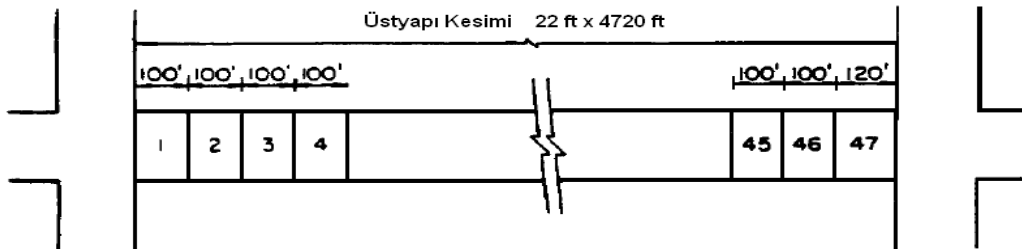
PCI değeri 0'dan (bozuk durumu ifade eder) 100'e (iyi durumu ifade eder) kadar sayısal olarak değerler alan oranlama indeksidir. PCI değerinin hesabı, tipi, yoğunluğu ve miktarı tanımlanmış bozulmaların görsel durum araştırmalarının sonuçlarına dayanarak yapılır. Bozulma bilgileri PCI performans araştırmasının bir parçası olarak bozulmaların sebeplerini de (yük, iklim vb.) anlamayı kolaylaştırır.

Üstyapı bozulma derecesi bozulma tipi, bozulma yoğunluk düzeyi ve bozulmaların miktarının bir fonksiyonudur. Çok sayıda üstyapıdaki durumu belirleyen bozulma tipi bir arada olabileceğinden dolayı, bir indeks değeri belirlemek için bu üç faktörü de hesaba katmak önemli bir problem olmaktadır. Bu problemin üstesinden gelmek için, üstyapı mevcut performansında görülen bozulma tipi, bozulma yoğunluk düzeyi ve bozulma miktarının her kombinasyonun etkilerinin derecesini gösteren ağırlık faktörü olarak “sonuç değerleri” tanımlanmıştır.

3.1.2.1. Üstyapının Örnek Alanlara Bölünmesi

Bir üstyapı kesiminin PCI değerini belirlemek için öncelikle kesim “örnek alan” adı verilen kontrol birimlerine ayrılmalıdır. Örnek alan üstyapı kontrolünün amacına göre üstyapı kesiminin bir parçası şeklinde tanımlanır. Kaplamasız veya asfalt kaplamalı yollarda, örnek alan $232 \pm 93 \text{ m}^2$ ($2500 \pm 1000 \text{ ft}^2$) olarak belirlenir. Değerlendirme sonuçlarının doğruluğu için örnek alan boyutlarının belirlenen sınırların içinde tutulması gerektiği unutulmamalıdır.

Bir üstyapı kesiminin örnek alanlara bölünmesinde en önemli nokta örnek alanların tutarlılığıdır. Örneğin, 6.7 m (22 ft) genişliğinde ve 1438.6 m (4720 ft) uzunluğundaki bir üstyapı 30.48 m (100 ft) uzunluğunda ve 204.3 m^2 (2200 ft^2) boyutunda kesimlere ayrılabilir. Kesim uzunluklarının standart olmamasından dolayı bazı örnek alan boyutları diğerlerinden farklı olabilir. Tüm örnek alanların boyutları ve alanlarının birbirinin aynı olması gerekmez, fakat örnek alanların büyüklüğü mutlaka daha önceden belirtilen sınırlar içinde olmalıdır.



Şekil 3.6: Örnek alanlara ayrılmış bir üstyapı kesimi örneği (Shahin, 2002).

Yukarıdaki örnekte görüldüğü gibi 46 adet kesim 30.48 (100 ft) uzunluğunda ve 1 adet kesim 36.58 m (120 ft) uzunluğunda olacak şekilde kesimlere ayrılmıştır. Son örnek alanı 245.26 m² (2640 ft²) alanındadır. Bu nedenle kontrolü yapılan her örnek alan için örnek alanın konumunu ve boyutlarını gösterir bir krokisinin çizilmesi gerektiği mutlaka tavsiye edilmektedir. Bu krokiler sonraki gözlemlerde de bozulma verilerini toplayan kişilerin işini oldukça kolaylaştırmaktadır.

3.1.2.2. Bozulma Verileri Toplanacak Örnek Alanların Belirlenmesi

Bir üstyapı kesiminde her bir örnek alanın kontrolü özellikle kesim büyükse çok fazla emek gerektirir. Gözlemler için ayrılan kaynakların kısıtlı oluşundan dolayı makul doğrulukta PCI değerinin kestirilebileceği sınırlı sayıda örnek alanda veri toplama işleminin yapılacağı bir örnekleme planı yapılmalıdır. Bu örnekleme planında kullanılacak örnek alan sayısı üstyapı kesiminin kullanım türüne ve toplanacak verilerden oluşturulacak yönetim sisteminin seviyesine (ağ, proje) göre değişiklik gösterir.

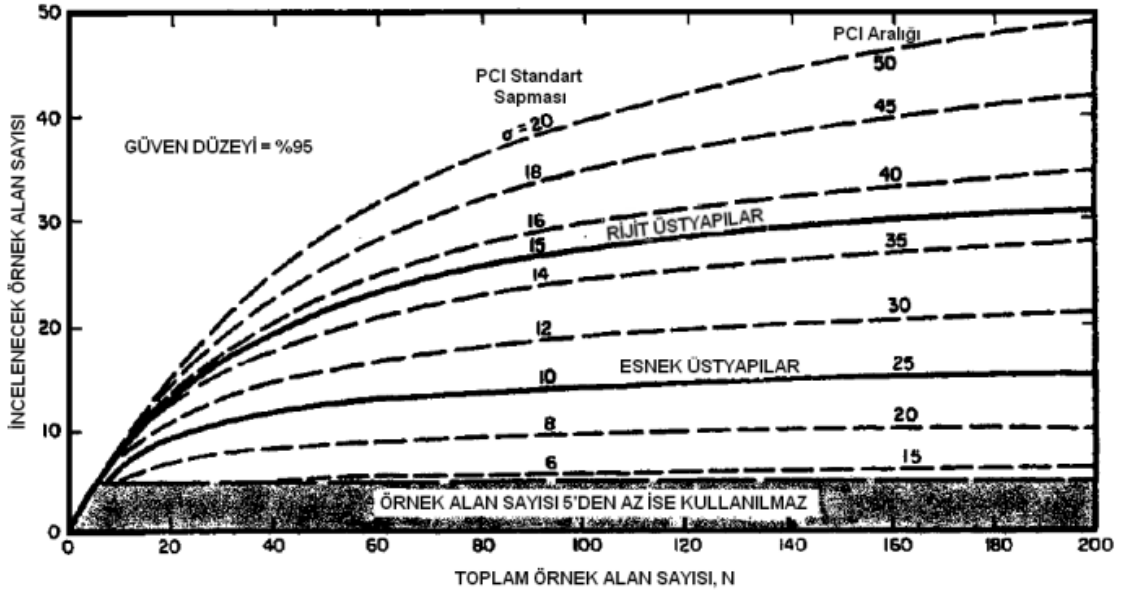
Eğer amaç bütçe planlama gibi ağ düzeyi kararların verileceği bir yönetim sistemi kurmaksa, her kesim için çok az sayıda örnek alanın verilerinin toplanması yeterlidir. Fakat, amaç kesimleri proje düzeyinde değerlendirebilmek ise daha çok sayıda örnek alan verisi toplanmalı ve gerçeğe daha yakın PCI verileri elde edilmelidir.

Proje Düzeyi Değerlendirme

Proje düzeyi değerlendirmede uygulanması gereken adımlar şunlardır.

Veri Toplanması Gereken Örnek Alan Sayısının Belirlenmesi

Proje düzeyi yönetimde iş planlarının hazırlanması için doğruluğu yüksek verilere ihtiyaç vardır. Aynı zamanda ağ düzeyi yönetim sistemine oranla çok daha fazla örnek alanın incelenmesi gerekmektedir. Örneklemede ilk adım, bir kesimin PCI değerini belirlemek için gerekli minimum örnek alan sayısının (n) bulunmasıdır. Bu sayı proje düzeyi değerlendirme için aşağıdaki grafikte verilen eğriler yardımıyla belirlenebilir.



Şekil 3.7: Minimum örnek alan sayısı belirleme grafiği (Shahin, 2002).

Grafikten belirlenen sayıda örnek alan verisi kullanılarak kesimin PCI değeri kabul edilebilir bir doğrulukta tahmin edilebilir. Bu tahmin gerçek değer ± 5 sayı yaklaşığında veya %95 güven aralığında olduğu söylenebilir. Yukarıdaki grafik şu denklemlerle sayısal hale getirilebilir;

$$n = \frac{[N \cdot s^2]}{[(e^2 / 4) \cdot (N - 1) + s^2]} \quad (3.1)$$

Burada;

n = Gerekli minimum örnek alan sayısı,

N = Üstyapı kesimindeki toplam örnek alan sayısı,

e = Kesimin tahmin edilen PCI değerinde kabul edilebilir hata (grafikte 5 olarak kabul edilmiştir),

s = Kesimde örnek alanlar arasındaki standart sapma'dır.

Yukarıdaki şekilde görülen eğriler tüm kesimler üzerindeki PCI standart sapma değerine veya PCI aralığı (Kesimde hesaplanan en yüksek PCI değeri ile en düşük PCI değeri arasındaki fark) değerine bağlı olarak kullanılır. Planlamada başlangıç değeri olarak esnek üstyapılar için standart sapma değeri 10 veya PCI değeri aralığı 25 olarak kabul

edilebilir. Bu değerleri birçok veri toplama işleminin sonucunda arazi verilerini değerlendirerek belirlemek daha doğru sonuçlar vermeye yardımcı olur. Bununla beraber tecrübeler veya yorumlar aradaki farkların bu değerlerden daha farklı sonuçlara ulaşılabilceği yönünde ise, başlangıç PCI standart sapma değeri veya PCI aralığı uygun görülen bir değer kabul edilerek incelenecek minimum örnek alan değeri belirlenir. Daha sonraki arazi çalışmalarında önceki çalışmaların neticesinde belirlenen PCI standart sapma değeri veya PCI aralığı değerleri kullanılarak incelenecek minimum örnek alanı sayısı belirlenmelidir. İlgili şekil'den de görüldüğü gibi örnek alan sayısı toplamı 5'den az olan kesimlerde tüm örnek alanların incelemesi yapılmalıdır.

Verileri Toplanacak Örnek Alanların Seçimi

Burada tavsiye edilen yöntem örnek alanların kesim boyunca eşit aralıklarla kesimin sonuna kadar seçimidir. Bununla beraber başlangıç olarak seçilen örnek alan rasgele seçilebilir. Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi bu teknik "sistemik rasgelelik" olarak nitelendirilir ve şu adımlarla tanımlanabilir;

- Örneklem aralığı $i = N/n$, Burada; N değeri kesimdeki toplam örnek alan sayısını ve n minimum sayıda incelenecek örnek alanı sayısını tasvir etmektedir. Örneklem aralığı olarak bulunan değer alta yuvarlanarak kullanılır.
- Başlangıç örnek alanı değeri 1 ile örneklem aralığı (i) arasında rasgele olarak seçilir. Örneğin, eğer $i = 3$ ise başlangıç sayısı 1 ile 3 aralığında olmalıdır.
- İncelenecek örnek alanların değeri s, s+i, s+2i şeklinde seçilir. Örneğin, 3 nolu örnek alandan başlanmışsa örneklem alanları olarak 6, 9, 12 ... nolu örnek alanlar şeklinde devam etmelidir.

Örnek alan sayısının az olduğu kesimlerde incelenecek minimum örnek alan sayısı şartını sağlamak koşulu ile i değeri gözetilmeksizin incelenecek örnek alanlar tüm kesim üzerine homojen olacak şekilde dağıtılarak işlemler tamamlanabilir.

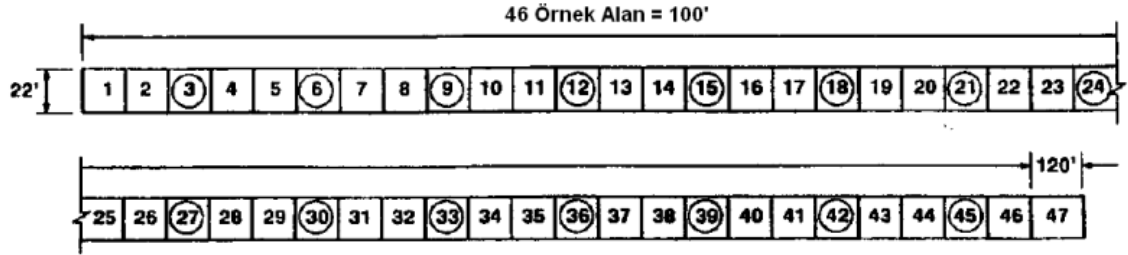
Örnek:

Kesimde bulunan toplam örnek alan sayısı (N) = 47

İncelenecek minimum örnek alan sayısı (n) = 13

$$\text{Aralık (i)} = \frac{N}{n} = \frac{47}{13} = 3.6 = 3$$

$$\text{Rasgele Başlangıç (s)} = 3$$



Şekil 3.8: Sistemik rasgele örnekleme örneği (Shahin, 2002).

Ağ Düzeyi Değerlendirme

Ağ düzeyi değerlendirmede uygulanması gereken adımlar şunlardır.

Veri Toplanması Gereken Örnek Alan Sayısının Belirlenmesi

Ağ düzeyi karar verme her kesimde yalnızca birkaç örnek alanın incelenmesiyle gerçekleştirilebilir. Aşağıdaki tabloda ağ düzeyi karar vermede kurumlar tarafından kullanılan örnek alan sayıları gösterilmektedir.

Tablo 3.1: Kabul edilen Ağ düzeyi örnekleme kriterleri (shahin, 2002).

Kesimdeki toplam örnek alan sayısı (N)	İncelenecek örnek alan sayısı (n)
1 – 5	1
6 – 10	2
11 – 15	3
16 – 40	4
40 üzeri	%10 (bu oranlama ile bulunan değer yukarı yuvarlanarak kullanılır)

Bundan başka daha önceden anlatılan incelenecek minimum örnek alanı sayısı belirlemede kullanılan eğri denklemine dayanarak da aşağıdaki tabloda gösterilen değerler kabul edilmektedir. Burada standart sapma (s)'nin da, kabul edilebilir hata oranı (e)'nin da 5 olduğu kabul edilmiştir. Burada yapılan kabulün hiçbir bilimsel dayanağı olmamakla birlikte, farklı boyutlardaki kesimlerde farklı sayıda kullanılan örnek alan değerleri kullanılarak yapılan değerlendirme sonucu bu karara varılmıştır.

Tablo 3.2: Eğri denklemine dayalı ağ düzeyi örnekleme kabulü (shahin, 2002).

Kesimdeki toplam örnek alan sayısı (N)	İncelenecek örnek alan sayısı (n)
1	1
2 – 4	2
5 – 20	3
20 üzeri	4

Her iki çizelgede verilen değerler yalnızca örnek amaçlıdır. Ağ düzeyi bakım-iş planlarının hazırlanması, üstyapı performansının değerlendirilmesi ve detaylı proje düzeyi değerlendirmenin yapılması gerekli kesimlerin tanımlanması için her iki tabloda gösterilen örnekleme değerleri yeterlidir.

Verileri Toplanacak Örnek Alanların Seçimi

Ağ düzeyinde tüm kesimin performansını yansıtacak örnek alanlar seçilmelidir. Ağ durum değerlendirmesi ve bütçe tahmini için temel amaç en düşük bütçe ile anlamlı bir üstyapı oranlaması oluşturmaktır.

Yukarıdaki tablolardan rahatlıkla görülebileceği gibi ağ düzeyi değerlendirmede kullanılacak örnek alanı olabildiğince azdır. Bu nedenle seçilen örnek alanlar kesimi ifade edebilmelidir. İncelenecek örnek alanların konumu kesimde daha önce yürüyerek veya yavaş bir şekilde bir taşıtla tüm kesimi kontrol ederek karar verilmelidir.

Diğer bir yöntem olarak örneğin tüm kesim alanın 7.6 x 121.9 m (25 x 400 ft) boyutlarında olduğunu ve 7.6 x 30.5 m (25 x 100 ft) boyutunda bir örnek alanın inceleneceğini kabul edelim. 7.6 x 30.5 m (25 x 100 ft) boyutunda bir örnek alanı incelemek yerine 7.6 x 6.1 m (25 x 20 ft) boyutlarında 5 adet küçük alanı inceleyerek karar vermek daha doğru sonuçlar vereceği için $121.9 / 5 = 24.4$ m ($400 / 5 = 80$ ft)

aralıklarla 6.1 m (20 ft) uzunluğunda alanı inceleyerek tek bir örnek alanmış gibi değerlendirmek daha doğru sonuçlar elde etmemize yardımcı olur. Fakat kesim boyutları oldukça büyük olan kesimler için uygulanması oldukça güç bir yöntemdir.

İlave Örnek Alan Seçimi

Proje düzeyinde sistematik rasgele örnekleme ve ağ düzeyinde temsili örnekleme yöntemlerinin her ikisinde de en önemli sakınca istisnai kötü durumdaki örnek alanların bu değerlendirmede içine alınmayabilme olasılığıdır. Aynı zamanda herhangi bir örnek alanda sadece bir kez görülebilecek bir bozulma tipi (Ör. Demiryolu geçişi) görülebilmektedir.

Bu sakıncaların üstesinden gelebilmek için arazi çalışmaları sırasında bozulmaların beklenenden çok olduğu veya özel tip bozulmaların olduğu görülen örnek alanlarda “ilave” örnek alanlar tahsis edilerek bozulma verileri toplanır. Kesimin PCI değerinin hesaplaması sırasında bu ilave örnek alanların sonuç değere etkisi farklı bir şekilde belirlenmelidir.

3.1.2.3. Bozulma Verilerinin Toplanması

PCI değerini belirlemede kullanılan yöntem incelenen üstyapının türüne göre tamamen değişiklikler gösterir. Tüm üstyapı türleri için, daha önce anlatıldığı şekilde kesimler mutlaka örnek alanlara bölünmeli ve inceleme için uygun olanları seçilmelidir. Araziye çıkılmadan önce asfalt yol ve park alanlarında görülen bozulma türleri ve yoğunluk düzeyleri bozulma verilerini toplayacak arazi ekibi tarafından iyice incelenmelidir. Toplanan veriler örnek alan üstyapı performansı inceleme sayfalarına işlenmelidir.

Ekipman

Arazi verilerini toplayacak ekipte örnek alanın konumunu ve alanını belirlemek için el kilometre sayacı, 3.05 m (10 ft) uzunluğunda cetvel ve çökme veya tekerlek izlerinin derinliğini ölçmek için cetvel gibi araçlar mutlaka bulunmalıdır.

İşlem Prosedürü

İncelenecek örnek alanın yeri ve sınırları belirlendikten sonra bu alanda bulunan bozulmalar PCI bozulma kılavuzunda belirtilen standartta ve doğrulukta ölçülerek esnek

üstyapılar için tasarlanmış üstyapı performansı inceleme sayfalarına her bir örnek alanı bir sayfayı temsil edecek şekilde işlenmelidir. Bu işlem sırasında bozulma türleri ve yoğunluklarının dikkatlice karar verilip ölçülmesi örnek alanın PCI değerinin doğru bir şekilde belirlenmesinde oldukça büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle her zaman araziye çıkan ekibin yanında mutlaka PCI bozulma kılavuzu bulunmalıdır. Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi her bozulma tipi bir kodla belirlenmiş ve sayfadaki her satır bir bozulma tipine ait verileri göstermektedir. Ayrıca kullanıcı kolaylığı açısından bu bozulma tiplerinin kodları PAVER sistemini kullanan ÜYS yazılımının'da da aynı şekildedir.

Bu bozulma verileri PAVER programı ile uyumlu çalışabilen PoqetPad (Fujitsu 1994) adı verilen bir çeşit el bilgisayarı ile de toplanarak kayıt altında tutulabilmektedir. Fujitsu firması tarafından geliştirilmiş bu el bilgisayarının geniş ve dokunmatik özelliği bulunan ekranına veriler farklı sınıf ve türlerinde özel kalem vasıtasıyla girilebilmektedir. İncelenen örnek alandan kaydedilen bilgiler metre biriminde kaydedilerek daha sonra ya feet birimine çevrilerek sonuç değerler hesaplanmalı ya da metre birimini kabul eden sonuç değer grafikleri kullanılmalıdır.

ASFALT KAPLAMALI YOLLAR VE PARK ALANLARINDA ÖRNEK ALAN İÇİN ÜSTYAPI DURUMU İNCELEME SAYFASI										KROKİ:			
BÖLÜM: Barbaros			KESİM: 10/1			ÖRNEK ALAN: 23							
İNCELEYEN: Ufuk KIRBAŞ						TARİH: 12.03.2007							ALAN: 2500
1. Timsah Sırtı Çatlak (ft ²)		6. Çökme (ft ²)		11. Yama (ft ²)		16. Toplanma (ft ²)		17. Tabaka Kayması Çatlağı (ft ²)		18. Şişme (ft ²)		19. Sökülme ve Ayrışma (ft ²)	
2. Kusma (ft ²)		7. Kenar Çatlağı (ft)		12. Cilalanma (ft ²)		13. Oyulma (sayı)		14. Demiryolu Geçiş (ft ²)		15. Tekerlek izi (ft ²)			
3. Blok Çatlak (ft ²)		8. Yansıma Çatlağı (ft)		9. Kenar/Banket Düşüklüğü (ft)		10. Boyuna ve Enine Çatlak (ft)							
4. Kabarma ve Oturma (ft)		5. Ondülasyon (ft ²)											
BOZULMA TİPİ	MİKTAR									TOPLAM	YÜZDE %	SONUÇ DEĞER	
10 D	17									17	0.68	1	
10 O	14	5								19	0.76	7	
1 D	10									10	0.4	6	
5 O	2	8								10	0.4	9	
13 D	1									1	0.04	11	

Şekil 3.9: Üstyapı performansı inceleme sayfası örneği (Shahin, 2002).

3.1.2.4. *PCI Değerinin Hesaplanması*

Seçilen her örnek alanı için bozulma verileri toplandıktan sonra bu veriler kullanılarak PCI değerleri hesaplanır. PCI değerleri el ile hesaplanabileceği gibi bilgisayar programları kullanılarak da hesaplanabilir. Aynı zamanda PAVER sistemini kullanan ÜYS yazılımı bu amaçla geliştirilmiştir. PCI değeri hesaplama her bozulma değerinin üstyapı üzerine etkilerinin ağırlıkları ile 0 – 100 arasındaki bulunan sonuç değerler vasıtasıyla hesaplanır. Sistemde örnek alanların PCI hesabının uygulama prensipleri ASTM D 6433-11 kodlu standartta örneklerle açıklanmıştır. Eğer kesime ait tüm örnek alan'ların bozulma verileri ve PCI değerleri hesaplanmışsa o kesimin PCI değeri tüm değerlerin ortalaması alınarak belirlenir. İncelenen örnek alanlar rasgele örnekleme veya alanı tasvir eden örnekleme gibi tekniklerle belirlenmiş de olabilir. Bu durumda da yine yapılması gereken, incelenen örnek alanlarının PCI değerleri ortalaması alınarak kesimin PCI değerinin belirlenmesidir.

Arazi etüdüleri sırasında herhangi bir ilave örnek alan belirleme ve inceleme ihtiyacı duyulmuş ise kesimin PCI değeri aşağıdaki formülde belirtildiği gibi ağırlıklı ortalama alınarak hesaplanır.

$$PCI_s = \frac{(N - A).PCI_r + A.PCI_a}{N} \quad (3.2)$$

Burada;

PCI_s = Üstyapı kesimine ait PCI değeri,

PCI_r = Örnek alanların PCI değerlerinin ortalaması,

PCI_a = İlave örnek alanların PCI değerlerinin ortalaması,

N = Kesimdeki toplam örnek alanı sayısı,

A = İncelenen ilave örnek alanı sayısı'dır.

Çalışmada, PAVER sistemine ait çalışmaların tamamı İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'nce desteklenen 21794 numaralı "Üstyapı Yönetim Sistemlerinin Şehiriçi Yollarda Uygulanabilirliğinin Araştırılması" başlıklı Doktora Tezi araştırma projesi kapsamında temin edilen PAVER yazılımı aracılığıyla yapılmıştır.

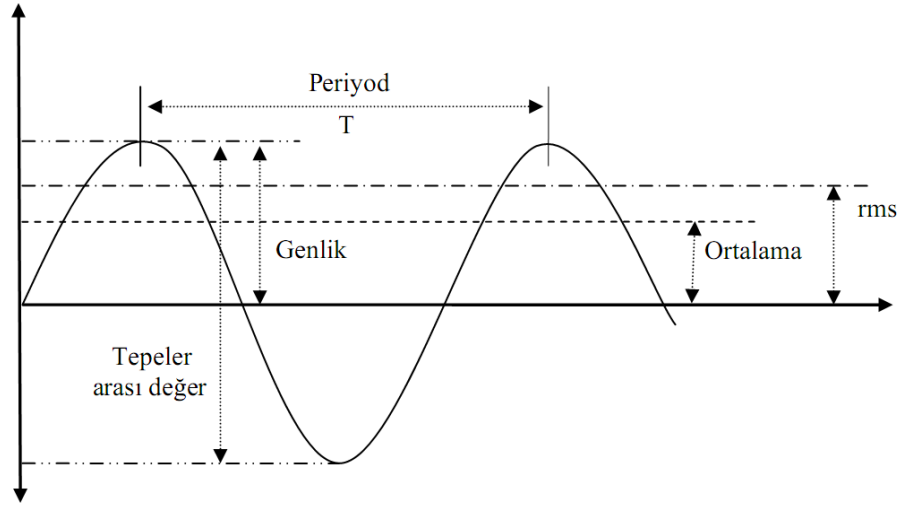
3.2. TİTREŞİM VERİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Yapılan literatür taramasında, üstyapının mevcut performansı belirlemek için kullanılan ve Sürüş Konforu'nu yansıtan Hizmet Yeteneği İndeksi (Present Serviceability Index, PSI) ile yüzey pürüzlüğü arasında oldukça yüksek korelasyonun olduğu saptanmıştır. Bu nedenle, yüzey pürüzlülüğü bileşeni araç içerisinde düşey doğrultuda ölçülen ivme verilerinin analiz edilmesi yöntemiyle değerlendirilmiştir. Söz konusu değerlendirme, ISO 2631-1 kodlu 'Mekanik Titreşim ve Şok – Tüm Vücut Titreşimine Maruz Kalma Değerlendirmesi (Mechanical vibration and shock -Evaluation of human exposure to whole-body vibration)' isimli standart kurallarına uyularak yapılmıştır. ISO (the International Organization for Standardization) tarafından son olarak 1997 yılında yayınlanan standart, tüm vücut titreşimine maruz kalınan her türlü araçta konfor ve sağlık düzeyini belirlemekle birlikte değerlendirmede kullanılacak hesap prensiplerinin açıklamaktadır.

Titreşim, bir mekanik sistemin hareket veya konumuna ait bir niceliğin (uzanım, hız veya ivme) zamana bağlı olarak düzenli veya düzensiz değişimidir. Titreşimin etkisini belirleyen faktörler, genliği, frekansı, etki süresi, zamana göre değişimi, titreşim yönü ve titreşimin etki noktasıdır. Titreşime bağlı en önemli kavramlardan biri frekanstır. Saniyedeki titreşim sayısı frekans olarak adlandırılır. Diğer bir önemli kavram olan genlik, salınımın en yüksek dalga boyunu ifade eder. İvme, birim zamandaki titreşim hızı değişimidir. Mekanik titreşimde kullanılan temel büyüklükler aşağıda görülmektedir. Ölçülen genel titreşim ivmesinin (m/s^2 veya g -yerçekimi ivmesi) birinci integrali ile titreşimin hızı, ikinci integrali ile de genliği elde edilir. Titreşim, titreşen parçada ölçüldüyse "emisyon" büyüklüğü, insan bedeni üzerinde ölçüldüyse "imisyon" büyüklüğü olarak adlandırılır (Melemez ve Tunay, 2010).

$$\text{Efektif değer} = \text{rms} = \left[\frac{1}{T} \int_0^T a^2 dt \right]^{1/2} (\text{ms}^{-2}) \quad (3.3)$$

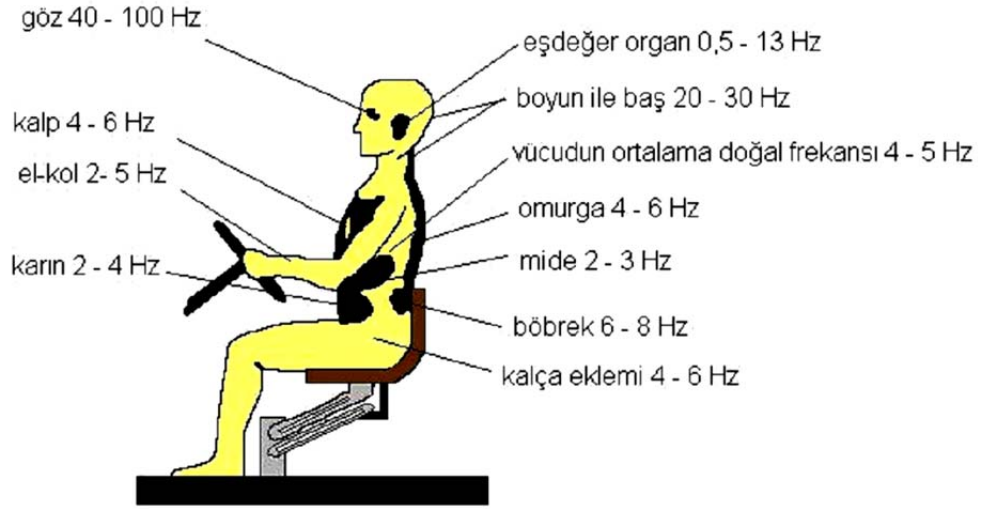
Çalışmada kullanılan ISO 2631 no'lu standardın 1. bölümü (ISO 2631, Part 1), periyodik, rastlantısal ve süreksiz titreşim hareketlerinin, insanların sağlık, algı, konfor tepkileri ile ilişkili olarak değerlendirilmesini kapsamaktadır.



Şekil 3.10: Mekanik titreşimlerde temel büyüklükler (Sabancı, 1999).

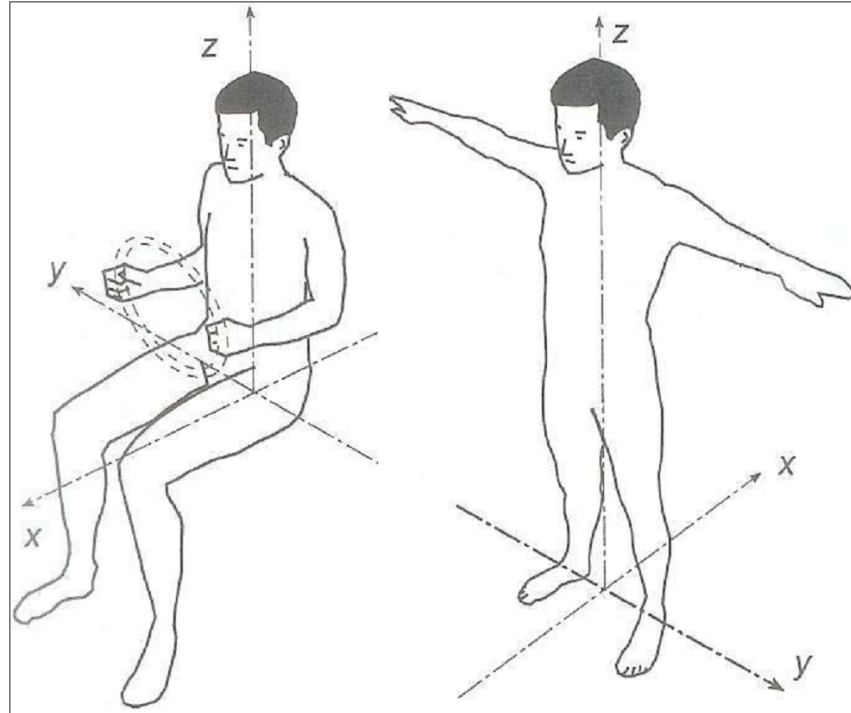
Standartta taşıt içinde maruz kalınan 3 boyutlu ivme ölçüm verilerinin farklı pozisyonlarda (oturarak, ayakta durarak ve sırt üstü uzanarak) ölçüm noktaları ile Ağırlıklandırılmış Karekök Ortalama (weighted root mean square - aw), Maksimum Aktarılan Titreşim Değeri (the maximum transient vibration value – MTVV) ve Titreşim Miktarı Değeri (the fourth power vibration dose value – VDV) değerlendirme parametrelerinin hesap prensipleri açıklanmaktadır. Bu standart, inşa üzerine olan etkileri açısından titreşimleri 0.5 Hz ile 80 Hz frekans aralığında konforsuzluk hissi, yorgunluk ve sağlık problemlerine yol açacak düzeyde, 0.1 Hz ile 0.5 Hz frekans aralığındaki titreşimleri ise yol tutmasına yol açacak şekilde sınıflandırmıştır.

Bir sürücüye sürüş esnasında, koltuğun oturma yüzeyinden, sırt bölgesinden, ayak bölgesinden ve direksiyondan olmak üzere dört farklı bölgeden titreşimler etki etmektedir. Titreşim kaynakları iki ana kategoride toplanmaktadır; iç titreşimler ve dış titreşimler. Lastiklerden, güç aktarma organlarından ve motordan kaynaklanan titreşimler iç titreşimler olarak sınıflandırılırken, yol pürüzlülüğünden kaynaklanan titreşimler ise dış titreşimler olarak sınıflandırılmaktadır. İç titreşimler her bir unsurun (tekerlek, güç aktarma organları ve motor) farklı hızlarda dönmeleriyle farklı frekanslara sahip olmaları nedeniyle deterministik olarak karakterize edilebilmelerine rağmen dış titreşimler yol pürüzlülüğünün kesin olarak ön görülememesi nedeniyle stokastik yaklaşımlarla karakterize edilmeye çalışılmaktadır (Karen ve diğerleri, 2011).



Şekil 3.11: İnsan vücudunun titreşime duyarlı olduğu frekans aralıkları (Çay, 2006).

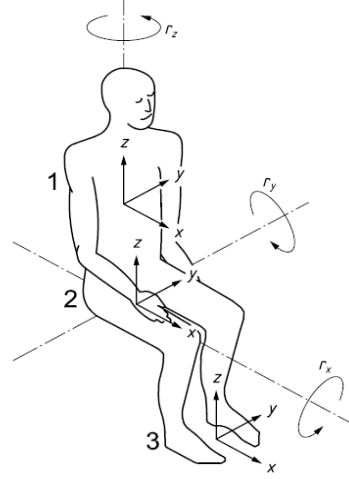
Titreşim sadece el-kol düzeyinde olabileceği gibi bütün vücudu da etkileyebilir. Titreşim türleri; sürekli ve sabit yoğunluklu titreşimler, şok darbe etkili titreşimler ve rastlantısal titreşimler olarak üç gruba ayrılabilir. Titreşimin insan vücuduna etkisini inceleyebilmek için, aşağıdaki şekilde görülen koordinat sistemi geliştirilmiştir. Bunlardan X-ekseni sırt-göğüs, Y-ekseni omuzdan-omuza, Z-ekseni ayak-baş doğrultusunda olan eksenidir.



Şekil 3.12: İnsanı etkileyen titreşimlerin x, y ve z eksenleri (South, 2004).

Titreşim ölçümünde el aracı kullananlarda elin aracın sapını kavradığı yerden, tüm vücut titreşimi sürücünün oturduğu koltuğun oturma yastığının üzerinde yapılır. Tüm vücut titreşimi çeşitli tipteki endüstriyel makineler ile tüm araçlar tarafından meydana getirilir.

ISO 2631-1 kodlu standartta belirtilen tanımlamalara uyarak tüm vücut titreşimini değerlendirebilmek için, bir ivmeölçerin yolcu ile olan etkileşimini sağlamak amacıyla sürücünün tam altına yerleştirilmiş olması gerekmektedir. Bahsedilen ölçüm noktası Şekil 3.13'de görülmektedir.



Şekil 3.13: ISO standardına göre ivmeölçerin konumu (2 nolu nokta).

Zamana bağlı titreşimleri belirleyen büyüklükler, titreşim yolu (m), titreşim hızı (m/s), titreşim ivmesi (m/s^2) veya titreşim darbesi (m/s^3) olarak ifade edilmektedir ve ölçülebilen büyüklüklerden oluşmaktadır.

Titreşimle konfor arasındaki ilişkiyi daha iyi anlamak için sistematik olarak yapılan deneysel çalışmalar, kişilerin rahatsızlığını tanımlama yargılarının hangi çeşitteki titreşimlere göre değiştiğini belirlemeye yönelmiştir. Genel anlamda insanlara etki eden titreşimlerin etkilerini üç ana grupta toplamak gerekmektedir. Bunlar, titreşimlerin konforu engelleme, titreşimlerin insan hareketlerini engelleme, titreşimlerin insan sağlığını engelleme seviyeleridir. İnsandaki konforsuzluk hissi kişinin maruz kaldığı enerji seviyesi ile artış göstermektedir. Titreşim sinyallerinin ivme değeri, bu enerjiyle

orantılı bir enerji olup, meydana gelen konforsuzluğu ölçmek için kullanılmaktadır (Melemez ve Tunay, 2010).

ISO 2631-1 standardında titreşim sinyalleri 1/3 oktav band frekans limitlerine göre butterworth filtreleme tekniği kullanılarak sinyallerin düzenlenmesi tavsiye edilmektedir. Bu kapsamda, titreşim sinyalleri alçak geçiren ve yüksek geçiren filtreler kullanılarak ilgili band frekanslarına dönüştürülerek dijital filtreleme yapılması gerekmektedir. Bu amaçla standardın kullanılmasını tavsiye ettiği yüksek geçiren filtre olarak tavsiye edilen transfer fonksiyonu şu şekildedir.

$$|H_h(p)| = \left| \frac{1}{1 + \sqrt{2} \omega_1 / p + (\omega_1 / p)^2} \right| = \sqrt{\frac{f^4}{f^4 + f_1^4}} \quad (3.4)$$

Burada;

ω_1 : $2\pi f_1$ (açısal frekans);

f_1 : köşe frekans değerini göstermektedir.

Ayrıca, standardın kullanılmasını tavsiye ettiği alçak geçiren filtre olarak tavsiye edilen transfer fonksiyonu şu şekildedir.

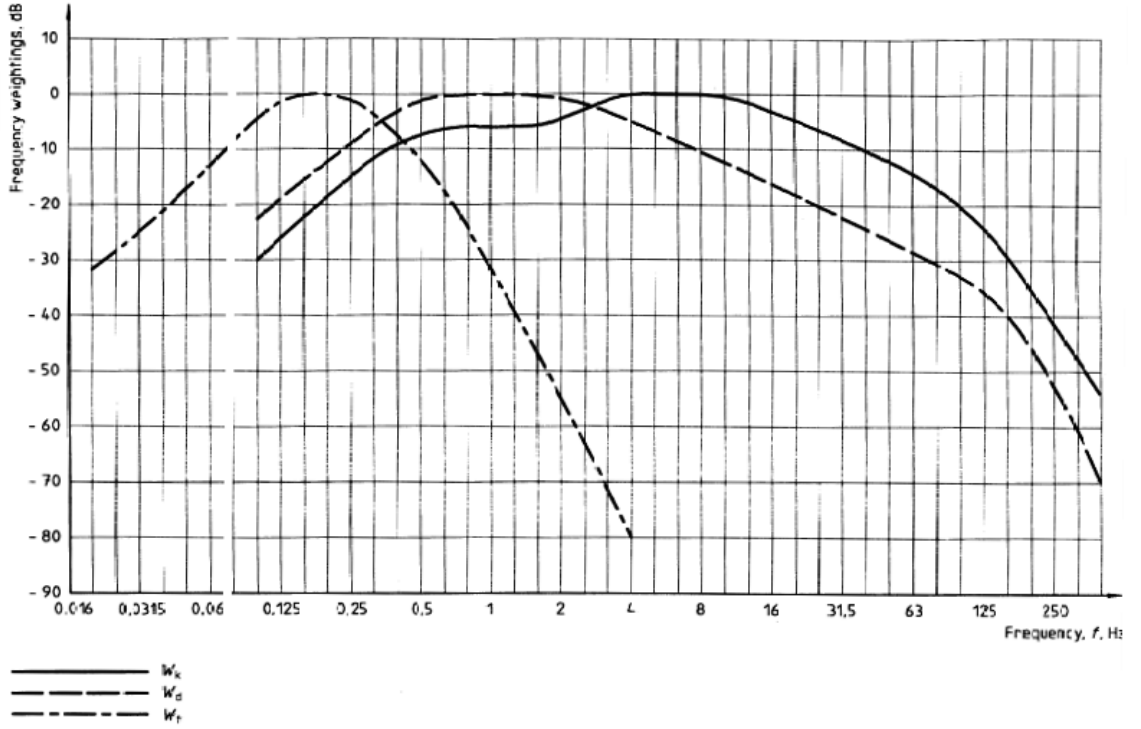
$$|H_l(p)| = \left| \frac{1}{1 + \sqrt{2} p / \omega_2 + (p / \omega_2)^2} \right| = \sqrt{\frac{f_2^4}{f^4 + f_2^4}} \quad (3.5)$$

Burada;

ω_2 : $2\pi f_2$ (açısal frekans);

f_2 : köşe frekans değerini göstermektedir.

Standarda göre Yatay ve düşey yönlerde, titreşim hızının (rms) değerleri, frekansa bağlı olarak, 0.1 Hz - 400 Hz frekans aralığında ve 1/3 oktav bantlarında gerçekleştirilmektedir. Ölçülen ivme değerlerine, ilgili standartlarda açıklanan taşıtın boyuna titreşimlerine (x eksen) W_d , enine titreşimlerine (y eksen) W_d , düşey yöndeki titreşimlerine (z eksen) W_k frekans ağırlık filtreleri uygulanır. Bu frekans filtreleri kazancının frekansa bağlı olarak değişimleri örnek olması amacıyla aşağıdaki şekilde görülmektedir.



Şekil 3.14: Frekans ağırlık filtresi kazancının frekansa bağlı olarak değişimi.

Ölçümler sonucunda 1/3 oktav bantlarında elde edilen ivme değerlerine, frekans ağırlık filtrelerinde tanımlanan kazançları uygulanarak, ilgili eksen doğrultusunda ağırlıklandırılmış toplam değerleri (a_w) aşağıdaki bağıntılardan elde edilmiştir. 1/3 oktav band frekanslarına göre ayrılan ivme frekansları standartta tanımlanan ağırlıklarla çarpılarak ağırlıklandırılmış ivme değerleri bulunmuştur.

$$a_w = \left[\sum_i (w_i a_i)^2 \right]^{1/2} \quad (3.6)$$

Burada;

a_w : Frekans ağırlıklandırılmış ivmeyi;

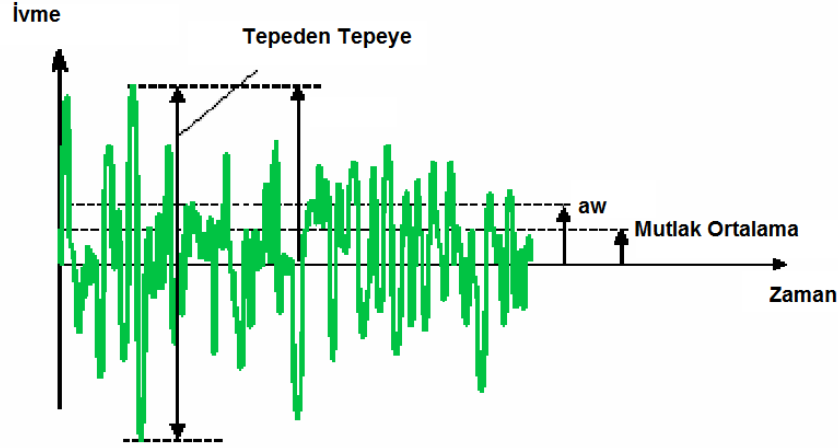
w_i : İlgili frekans tanımlanan ağırlık faktörünü;

a_i : i inci 1/3 oktav bandı için ivmelenme rms değerini göstermektedir.

Frekans tanım alanında tanımlanan fonksiyonun zaman tanım alanındaki karşılığı aşağıda görüldüğü şekildedir.

$$a_w = \left[\frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(t) dt \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3.7)$$

ISO 2631-1 standartına göre a_w bileşeninin etkilenen kişiye aktarılan, dolayısıyla hissedilen ivmenin açıklanmasında en uygun parametre olduğu ifade edilmektedir.



Şekil 3.15: Grafik olarak a_w gösterimi.

Hareketli karesel ortalama (the running rms method) değerlendirme yöntemi sabit kısa zaman aralıklarında oluşan rastlantısal şok ve kişiye aktarılan titreşimlerin değerlendirmesinde uygulanan yöntemidir. Diğer bir deyişle, bir değerlendirme zaman aralığında kaydedilen tüm ivme değerlerini belirli kısa zaman aralıklarında değerlendirme münasebetiyle yol kullanıcılarına aktarılan rasgele şok titreşimlerini tanımlamanın bir ifadesidir. Yapılan değerlendirme, belirlenen bir zaman aralığında oluşan ağırlıklandırılmış karesel ortalamasının ($a_w(t_0)$) maksimumu bulunarak Maksimum Aktarılan Titreşim Değeri parametresi üretilir. Söz konusu hareketli karesel ortalama değeri şu şekilde ifade edilmektedir.

$$a_w(t_0) = \left\{ \frac{1}{\tau} \int_{t_0 - \tau}^{t_0} [a_w(t)]^2 dt \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (3.8)$$

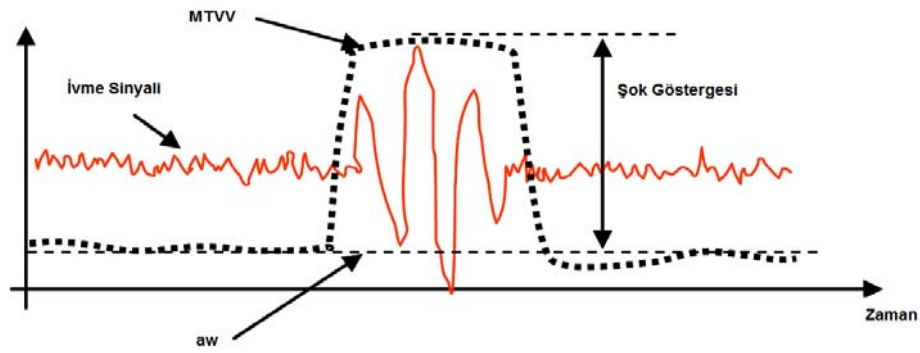
Burada;

$a_w(t)$ = anlık frekans ağırlıklandırılmış ivmelenme değeri,

τ = hareketli ortalama zaman dilimini,
 t = ölçüm değişkenini,
 t_0 = ölçüm zamanını ifade etmektedir.

Değerlendirmede oldukça kısa zaman aralıklarında yapılan değerlendirmelerin uzun zaman aralıklarına göre Maksimum Aktarılan Titreşim Değeri bulunmasında %30'a varan artışların olduğu saptanmıştır. Bu anlamda, ISO 2631-1 standardında hareketli ortalamanın zaman dilimi olarak 1 saniye seçilmesi tavsiye edilmektedir. Bu bilgiler ışığında Maksimum Aktarılan Titreşim Değeri aşağıdaki şekilde bulunmaktadır.

$$MTVV = \max [a_w(t_0)] \quad (3.9)$$



Şekil 3.16: MTVV şematik gösterimi.

Kabul edilen ölçüm süresince en büyük ivme verilerinin değerlendirilmesinde a_w değerlendirmesine göre daha hassas olan dördüncü güç titreşim doz yöntemi (the fourth power vibration dose method) zaman aralığında yapılan ivme ölçümlerinin 2. katı yerine 4. katı alınarak yapılmaktadır. Titreşim Miktarı Değeri (VDV) ($m/s^{1.75}$) şu ifadeyle hesap edilmektedir.

$$VDV = \left\{ \int_0^T [a_w(t)]^4 dt \right\}^{\frac{1}{4}} \quad (3.10)$$

Burada;

$a_w(t)$ = anlık frekans ağırlıklandırılmış ivmelenme değeri,

T = toplam ölçüm zamanını ifade etmektedir.

Birden çok zaman aralığında yapılan ivme ölçüm verilerinin toplam karşılığı aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$VDV_{\text{total}} = \left(\sum_i VDV_i^4 \right)^{\frac{1}{4}} \quad (3.11)$$

Formülasyondan da anlaşılacağı üzere VDV değeri ölçüm zamanının artışına bağlı olarak değeri artan bir parametredir. Bu amaçla, ISO 2631-1 standardında belirtilen günlük 8 saatlik çalışma boyunca maruz kalınan titreşim etkilerinin ifade edilmesinde kullanılmaktadır. Bu amaçla, titreşimin tüm vücut titreşiminde oluşturduğu olumsuz etkilerin matematiksel bir göstergesi olarak kabul edilmektedir. Diğer bir deyişle, VDV titreşimin insan sağlığı yönünden değerlendirilmesinde kullanılan bir göstergedir.

4. BULGULAR

Üstyapı yönetim sisteminin yolların yönetiminden sorumlu herhangi bir kurum ve/veya kuruluş için vazgeçilmez bir araç olduğu daha önceki konularımızda vurgulanmıştır. Özellikle ABD başta olmak üzere birçok ülkede ulusal ölçekte yolların üstyapılarının yönetiminde çeşitli türlerde ÜYS'lerin kullanıldığı bilinmektedir. Öte yandan, gerek ulusal gerekse uluslar arası literatür incelendiğinde şehiriçi yollarda uygulanan ÜYS'lerin çeşitliliğinin az oluşu ve uygulanmalarının zorluğu dikkat çekmektedir. Bir ÜYS'de en önemli zorluğun üstyapının mevcut performansını belirlemek olduğu açıkça görülmektedir. Amerika Test ve Malzemeler Birliği (American Society Testing and Materials, ASTM)'nin ilk olarak 1999 yılında standart haline getirdiği ASTM D 6433 kodlu standardında açıklanan PAVER isimli üstyapı yönetiminde kullanılan sistemin şehiriçi yollarda oldukça sık kullanıldığı bilinmektedir. Son olarak 2011 yılında ASTM D 6433-11 koduyla yayınlanan standarda göre uygulanan PAVER sistemini daha pratik bir hale getirmek, şehiriçi yolların üstyapılarının yönetilmesinde sayısız avantajlar sağlayacağı aşıkardır.

Bu amaçla çalışmada, öncelikli olarak Samsun İli sınırlarında farklı türde belediyelerin sorumluluğunda, farklı hizmet seviyelerindeki 20 adet karayolunda PAVER sistemine göre üstyapıların mevcut performansları belirlenmiştir. Daha sonra, İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine sunulan ve devam etmekte olan "Üstyapı Yönetim Sistemlerinin Şehiriçi Yollarda Uygulanabilirliğinin Araştırılması" başlıklı proje kapsamında satın alınan üç adet ivmeölçer ($\pm 4g$, hassasiyet 500 ± 15 mV/g), GPS anteni (< 15 m doğruluk) ve veri toplama cihazı (datalogger)'ndan oluşan ivme ölçüm seti ile aynı yollarda düşey doğrultudaki titreşim verileri kaydedilmiştir. Kaydedilen titreşim verileri ISO 2631-1 kodlu 'Mekanik Titreşim ve Şok – Tüm Vücut Titreşimine Maruz Kalma Değerlendirmesi (Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration)' isimli standart kurallarına uyularak değerlendirilmiştir. Sonuç değerler, PAVER sisteminin çıktısı olan PCI değerleri ile karşılaştırılarak, PCI değerini titreşim verileri aracılığıyla tahmin edebilen

tahmin modelleri oluşturulmuştur. Böylelikle üstyapının mevcut performansını belirlemede kullanılan PAVER sisteminin zor ve meşakkatli olan arazi çalışmaları minimuma indirilerek, Ülkemizde muhtelif belediyelerin üstyapı yönetiminde kullanılabilir hale getirilmeye çalışılmıştır.

4.1. YOL AĞI VE ÜSTYAPILARIN MEVCUT PERFORMANSI

Çalışmada, öncelikli olarak değerlendirilecek karayolları saptanarak, ASTM D 6433-11 standardına uygun ağ tanımlaması yapılmış ve ardından üstyapılarının mevcut performansları belirlenmiştir. İncelemeler kapsamında Samsun İli sınırlarında Büyükşehir ve Merkez İlçe Belediyesi sorumluluk sınırlarında bulunan karayolu ağında bulunan muhtelif yollarda değerlendirmelerin yapılması öngörülmüştür. Söz konusu arazi çalışmaların başlanmadan önce Samsun iline ait karayolu ağı Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) formatında elde edilerek güncellenmiştir. Tezin ilerleyen aşamalarında toplanan verilerin görselleştirilme aracı olarak Coğrafi Bilgi Sistemlerinden faydalanılmıştır. Güncelleme işlemi sırasında değerlendirilmesi planlanan karayollarında değerlendirme kesimleri oluşturularak numaralandırılmıştır. Kesimlerin oluşturulması işleminde ASTM D 6433-11 kodlu standartta (PAVER sistemi) belirtilen kesimlere ayırma stratejilerinden eşdüzey yuvarlak ada ve normal kavşak noktaları kesişim noktaları olarak kabul edilmiştir. Bu amaçla kesim ayırma noktaları olarak büyükşehir belediyesi sorumluluğundaki yollarda yuvarlak ada kavşaklar kabul edilirken alt belediyelerde kavşak birleşim noktaları kabul edilmiştir.

Yapılan bu çalışma sonucunda toplam 20 adet farklı karayolunda 98 adet kesimde, diğer bir deyişle yaklaşık olarak 55 750 m uzunluğundaki yolda 337 867 m² alanda PAVER sisteminin öngördüğü ASTM D 6433-11 kodlu standart esasına uygun yüzey bozulma verileri toplanmıştır. Samsun iline ait güncellenmiş karayolu ağı ve yüzey bozulma verilerinin toplandığı yollar aşağıda görülmektedir. Söz konusu 20 adet yolda yüzey bozulma değerlendirmesi yapılması amacıyla PAVER sistemi kurallarına uyan 1415 adet örnek alan öngörülmüş olup 1375 adet örnek alanda yüzey bozulma verileri toplanmıştır. Bu anlamda, öngörülen örnek alanların % 97.2'sinde yüzey bozulma verileri toplanmakla birlikte, incelenen tüm kesimlerde PAVER sistemi tanımına göre

proje düzeyi hassasiyetini sağlayacak sayıda örnek alanda yüzey bozulma değerlendirmeleri yapılmıştır.



Şekil 4.1: Samsun İline ait güncellenmiş yol ağı.



Şekil 4.2: Yüzey bozulma değerlendirmelerinin yapıldığı yollar (mavi çizgi).

Yüzey bozulma çalışmaları, CBS destekli arazi çalışma planları hazırlanarak devam ettirilmiştir. Arazi çalışma planları, incelenmesi planlanan kesimlerin yerlerinin CBS ortamında belirlenmesi ve kesimlere ait planlanan sayıda örnek alanın önceden

saptanarak, bozulmaların standarda uygun şekilde arazide yüzey bozulma formlarına not alınması şeklinde yapılmıştır. Söz konusu arazi çalışma planlarının CBS örneği aşağıda görülmektedir.



Şekil 4.3: Arazi çalışma planı örneği.

Toplanan yüzey bozulma verileri İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine sunulan ve devam etmekte olan “Üstyapı Yönetim Sistemlerinin Şehirçi Yollarda Uygulanabilirliğinin Araştırılması” başlıklı proje kapsamında satın alınan ASTM D 6433-11 kodlu standardın teorik temelleri üzerine hazırlanmış olan PAVER Paket Yazılımı aracılığıyla değerlendirilmiştir.

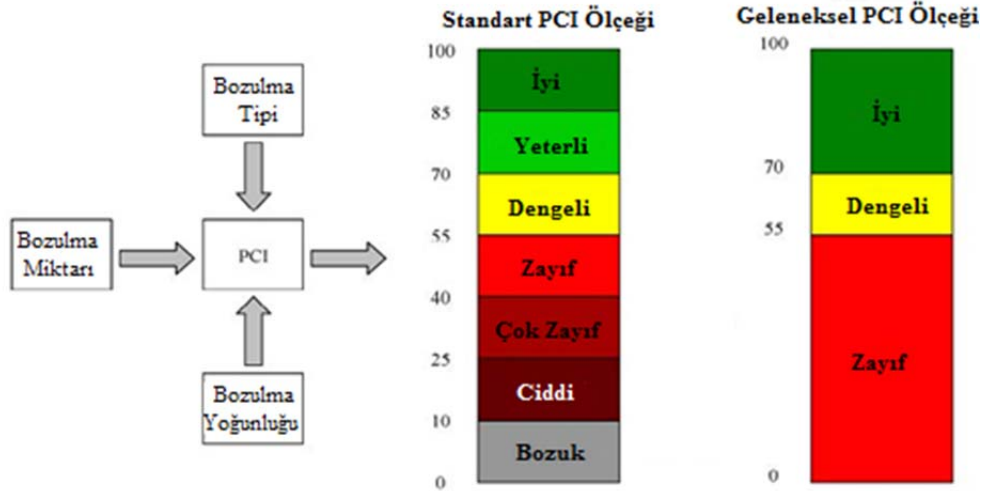
Önceki bölümde teorik temelleri anlatılan PAVER sisteminin, CBS destekli olarak hazırlanan arazi çalışma planları yardımıyla rasgele dağılım prensiplerine göre seçilen $232 \pm 93 \text{ m}^2$ ($2500 \pm 1000 \text{ ft}^2$) örnek alanlarda, ASTM D 6433-11 kodlu bozulma tanımlama kılavuzuna göre toplanan bozulma verilerinin değerlendirilerek, üstyapının mevcut performansını ortaya koyan bir değerlendirme prosedürü olduğu açıklanmıştır. Değerlendirme düşük (D), orta (O) ve yüksek (Y) yoğunluk düzeylerinde toplanan verilerin, örnek alan’ın büyüklüğüne oranlanarak elde edilen değer bozukluk türüne göre hazırlanmış sonuç değer tablolarından sonuç değerleri okunarak yapılmaktadır. Elde edilen sonuç değerler 100’den çıkarılarak üstyapının performansını 0 – 100 arasında bir değerle tanımlayan PCI değeri elde edilir. Bir üstyapı için hesaplanan PCI

değeri olarak 100 hiç bozukluk bulunmayan en iyi derecedeki üstyapıyı 0 ise tamamen bozulmuş kullanılmayacak derecedeki üstyapıyı tasvir etmektedir.

Daha önce, PCI indeksinin üstyapıya ait bozulma tipi, bozulma yoğunluğu ve bozulma miktarı bileşenlerinin ortak değerlendirilmesi sonucunda üstyapının mevcut performansını gösteren bir indeks olduğu vurgulanmıştır. PAVER sisteminde üstyapıların mevcut performansı iki farklı kategoride değerlendirilmektedir. Bunlardan, standart PCI ölçeği üstyapıları 7 farklı sınıfa ayırarak değerlendirirken geleneksel PCI ölçeği 3 farklı sınıfta değerlendirmektedir. Üstyapıların mevcut performansını tanımlamak amacıyla kullanılan Standart ve Geleneksel PCI ölçekleri kavramı PAVER paket programında mevcut durumu farklı renklerle betimlemede de kullanılmaktadır. Aynı zamanda bu ölçeklerde üstyapı performansını “ iyi ”, “ yeterli ” gibi sözel ifadelerle de tanımlamak mümkündür. Aşağıdaki şekilde, PCI hesabı bileşenleri ve PCI ölçeklerinin karşılaştırılması grafik olarak gösterilmiştir. Ayrıca, PAVER sisteminin altlık olarak kullandığı ASTM D 6433-11 kodlu standartla tanımlanan bozulma sınıflamaları aşağıdaki tabloda görülmektedir.

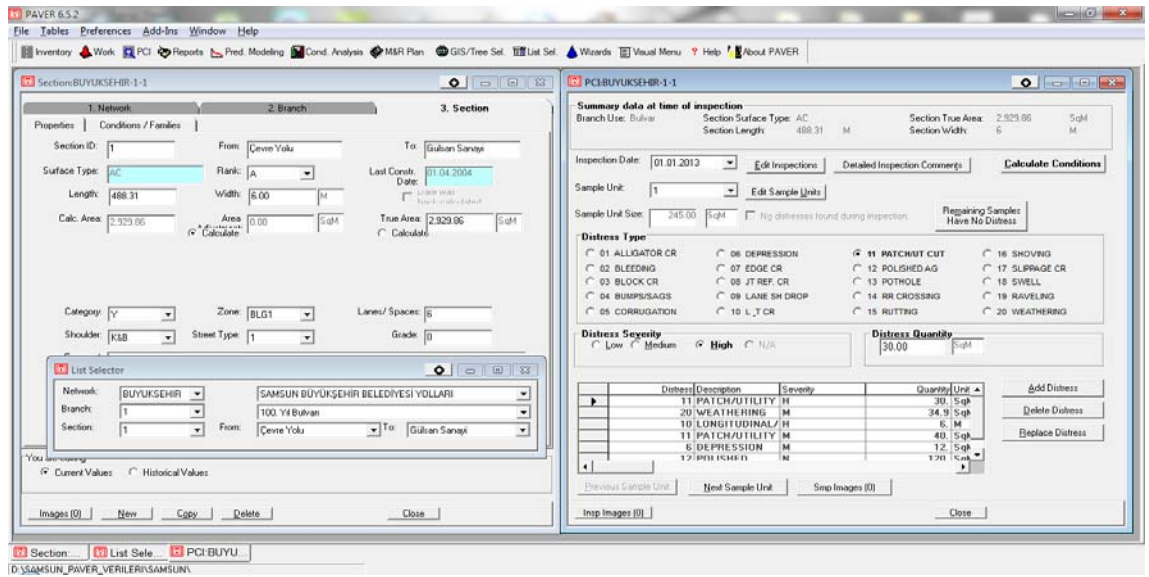
Tablo 4.1: ASTM bozulma sınıflandırmaları.

Kod	Bozulma	Ölçüm Birimi	Yoğunluk Düzeyi	Bozulma Nedeni
1	Timsah Sırtı Çatlak	Metre kare	Evet	Yük
2	Kusma	Metre kare	Evet	Diğer
3	Blok Çatlak	Metre kare	Evet	İklim
4	Kabarma ve Oturma	Metre	Evet	Diğer
5	Ondülasyon	Metre kare	Evet	Diğer
6	Çökme	Metre kare	Evet	Diğer
7	Kenar Çatlağı	Metre	Evet	Yük
8	Yansıma Çatlağı	Metre	Evet	İklim
9	Kenar/Banket Düşüklüğü	Metre	Evet	Diğer
10	Boyuna ve Enine Çatlak	Metre	Evet	İklim
11	Yama	Metre kare	Evet	Diğer
12	Cilalanma	Metre kare	Hayır	Diğer
13	Oyulma	Sayı	Evet	Yük
14	Demiryolu Geçışı	Metre kare	Evet	Diğer
15	Tekerlek izi	Metre kare	Evet	Yük
16	Toplanma	Metre kare	Evet	Diğer
17	Tabaka Kayması Çatlağı	Metre kare	Evet	Diğer
18	Şişme	Metre kare	Evet	Diğer
19	Soyulma ve Sökülme	Metre kare	Evet	İklim
20	Ayrışma	Metre kare	Evet	İklim



Şekil 4.4: PCI hesabı bileşenleri ve PCI ölçeklerinin karşılaştırılması.

Oldukça kullanıcı dostu bir yazılım olan PAVER paket yazılımı, sistemin işleyiş yordamıyla aynı doğrultuda çalışmaktadır. Diğer bir deyişle, programa önce yol ağı, bölüm ve kesim tanımlamalarının yapılması gerekmektedir. Çok sayıda veriyi envanter olarak kaydetmeye olanak tanıyan yazılımda üstyapıların performansını belirlemenin yanında kesimlere ait defleksiyon vb. diğer performans değerlendirme verilerinin de saklanabilmesine olanak sağlanmaktadır. Ayrıca yazılım aracılığıyla, belirlenen kesimlerin geçmiş yıllara ait değerlendirme verileri bir arada saklanabilmekte, program içerisinde oluşturulan bozulma modeli aracılığıyla gelecek tahmini yapılarak ÜYS'nin bütçeleme optimizasyonu oluşturulabilmektedir. Yazılımla ilgili örnek ekran görüntüleri aşağıda görülmektedir.



Şekil 4.5: PAVER paket yazılımı kesim tanımlama ekranı.

The screenshot displays the PAVER 6.5.2 software interface for data entry. The main window is titled 'PAVER 6.5.2 - [PCI-BUYUKSEHIR-1-1]'. The interface includes a menu bar (File, Tables, Preferences, Add-Ins, Window, Help) and a toolbar with icons for Inventory, Work, PCI, Reports, Prod. Modeling, Cond. Analysis, MMR Plan, GIS/Tree Sel., List Sel., Wizards, Visual Menu, Help, and About PAVER.

Summary data at time of inspection:
 Branch Use: Bulvar Section Surface Type: AC Section True Area: 2,923.00 Sqm
 Section Length: 488.01 M Section Width: 6 M

Inspection Date: 01.01.2013 [Edit Inspections] [Detailed Inspection Comments] [Calculate Conditions]
 Sample Unit: 1 [Edit Sample Units]
 Sample Unit Size: 245.00 Sqm [No distresses found during inspection] [Remaining Samples Have No Distress]

Distress Type:
 01 ALLIGATOR CR 06 DEPRESSION 11 PATCH/UT CUT 16 SHOING
 02 BLEEDING 07 EDGE CR 12 POLISHED AG 17 SLIP/AGE CR
 03 BLOCK CR 08 JT REF. CR 13 POTHOLE 18 SWELL
 04 BUMPS/SAGS 09 LANE SH DROP 14 RR CROSSING 19 RAVELING
 05 CORRUGATION 10 L,T CR 15 RUTTING 20 WEATHERING

Distress Severity: Low Medium High N/A

Distress Quantity: 30.00 Sqm

Distress	Description	Severity	Quantity	Units	Comments
11	PATCH/UTILITY	H	30	Sqm	
20	WEATHERING	M	34.9	Sqm	
10	LONGITUDINAL/H		6	M	
11	PATCH/UTILITY	M	40	Sqm	
6	DEPRESSION	M	12	Sqm	
12	POLISHED	N	120	Sqm	

Inspections:

Date	Total Samples	Surface Type	Comments
01.01.2013	12.0	AC	
01.04.2004	0.0	AC	Construction

Summary Tables:

Date	Total Samples	Surface Type	Comments
01.01.2013	12.0	AC	
01.04.2004	0.0	AC	Construction

Samples Surveyed	PCI
12	65.0
0	700.0

Buttons: Previous Sample Unit, Next Sample Unit, Smp Images (0), Insp Images (0), Close.

Footer: Section: List Sele... PCI BUYU... D:\SAMSUN_PAVER_VEHILER\SAMSUN

Şekil 4.6: PAVER paket yazılımı örnek alan tanımlama ve veri girişi ekranı.

Tablo 4.2: Değerlendirme yapılan yollar.

Bölüm No	Bölüm Adı	Kesim Sayısı	Uzunluk (m)	Alan (m ²)	İncelenen Örnek Alan Sayısı	Toplam Örnek Alan Sayısı	Örnek Alan Sayısı (%)
1	100. Yıl Bulvarı	16	9,678	60,207	218	258	84.5
2	İşmet İnönü Bulvarı	12	12,676	67,742	294	294	100
3	Rıhtım Bulvarı	4	522	3,501	16	16	100
4	19 Mayıs Bulvarı	4	1,213	7,866	34	34	100
5	Şehit Korhan Ekiz Bulvarı	6	6,341	38,046	158	158	100
6	Lise Caddesi	5	1,415	8,578	35	35	100
7	İstiklal Caddesi	5	1,613	10,453	44	44	100
8	Muhittin Özkefeli Bulvarı	4	782	4,694	20	20	100
9	Ali Rıza Bey Bulvarı	6	2,364	15,164	66	66	100
10	2. Bulvar	4	2,909	17,459	74	74	100
11	Barış Bulvarı	10	7,349	47,552	194	194	100
12	Cağaloğlu Caddesi	5	3,129	18,775	78	78	100
13	Mustafa Kemal Bulvarı	4	1,481	10,370	36	36	100
14	Alparslan Bulvarı	4	1,805	12,626	48	48	100
15	Ali Gaffar Okkan Caddesi	2	583	3,501	13	13	100
16	Vatan Caddesi	2	732	4,387	18	18	100
17	Doğupark Sokak	1	572	3,432	14	14	100
18	20. Sokak	1	131	787	4	4	100
19	23. Sokak	2	276	1,654	7	7	100
20	26. Sokak	1	179	1,073	4	4	100
TOPLAM		98	55,750	337,867	1375	1415	97.2

Söz konusu 20 adet üstyapısı BSK olan karayolunda, yüzey bozulma incelemesi yapılması amacıyla 1415 adet örnek alan öngörülmüş olup 1375 adet örnek alanda yüzey bozulma verileri toplanmıştır. Bu anlamda, öngörülen örnek alanların % 97.2'sinde değerlendirme yapılmış, incelenen tüm kesimlerde proje düzeyinde değerlendirme yapılmıştır. Kesimlerde belirlenen ve değerlendirilen yolların özet bilgileri yukarıdaki tabloda görülmektedir. Çalışmada, elde edilen yüzey bozulma değerlendirme sonuçlarının güvenilirliğini arttırmak amacıyla proje hassasiyet düzeyinde veri toplanmıştır. Fakat elbette ki bu durum, çalışmanın sonucunda elde edilen titreşim verilerinden PCI tahmini yapabilen modelin proje düzeyi hassasiyetinde sonuç verdiğini göstermemektedir. Bu anlamda, verilerin toplanmasındaki proje düzeyi hassasiyet modelin doğruluğunu ve güvenilirliğini arttırmak amacıyla tercih edilmiştir.

Değerlendirilen kesimlerin belirlenmesine ait örnek sayılabilecek bir çalışma aşağıdaki şekilde görülmektedir. Örnekte gösterilen önemli bir ulaşım aksı olan 100. Yıl Bulvarı aynı zamanda ölçüm hızının belirlenmesinde değerlendirmelerin yapıldığı değerlendirme yoludur.



Şekil 4.7: Kesimlerin belirlenmesi (Ör. 100. Yıl Bulvarı).



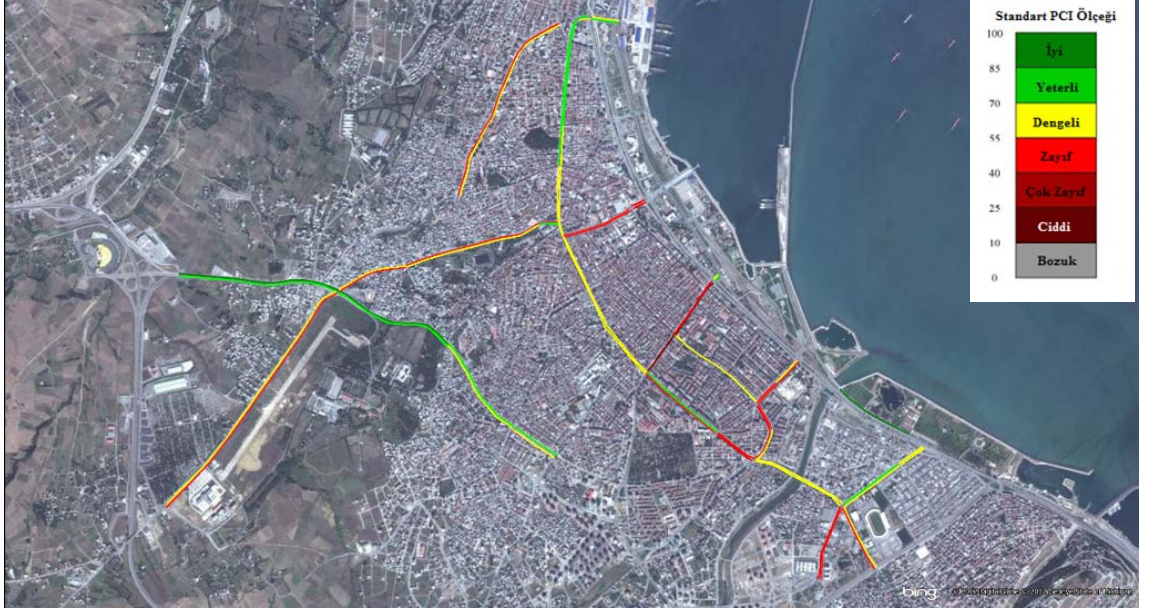
Şekil 4.8: Çalışmada değerlendirilen yollar.

Değerlendirme yapılan yollara ait 98 adet kesimde yüzey bozulma verileri toplanarak PAVER sistemi kurallarına göre PCI değerlerinin PAVER yazılımı aracılığıyla hesaplandığı daha önce vurgulanmıştır. Bu anlamda, hesaplanan PCI değerlerinin Standart ve Geleneksel PCI Ölçeklerine göre renklendirilmiş yol ağı durumu aşağıdaki şekillerde görülmektedir.

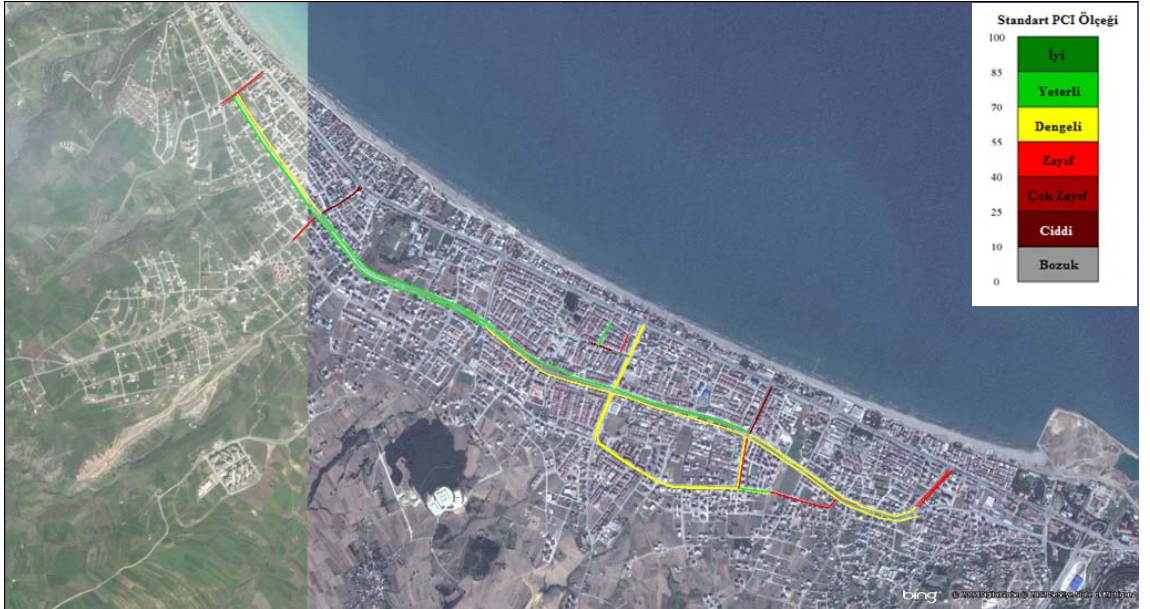


Şekil 4.9: Değerlendirme yapılan yolların Standart PCI Ölçeği değerlendirmesi.

Ağın mevcut durumunun daha açık şekilde bir şekilde görülmesi amacıyla yukarıdaki şekilde gösterilen tüm ağ iki bölüm halinde aşağıdaki şekillerde genişletilmiş olarak görülmektedir.



Şekil 4.10: Standart PCI Ölçeği değerlendirme (1. Bölüm).



Şekil 4.11: Standart PCI Ölçeği değerlendirme (2. Bölüm).



Şekil 4.12: Değerlendirme yapılan yolların Geleneksel PCI Ölçeği değerlendirilmesi.

Ağın mevcut durumunun daha açık şekilde bir şekilde görülmesi amacıyla yukarıdaki şekilde gösterilen tüm ağ iki bölüm halinde aşağıdaki şekillerde genişletilmiş olarak görülmektedir.

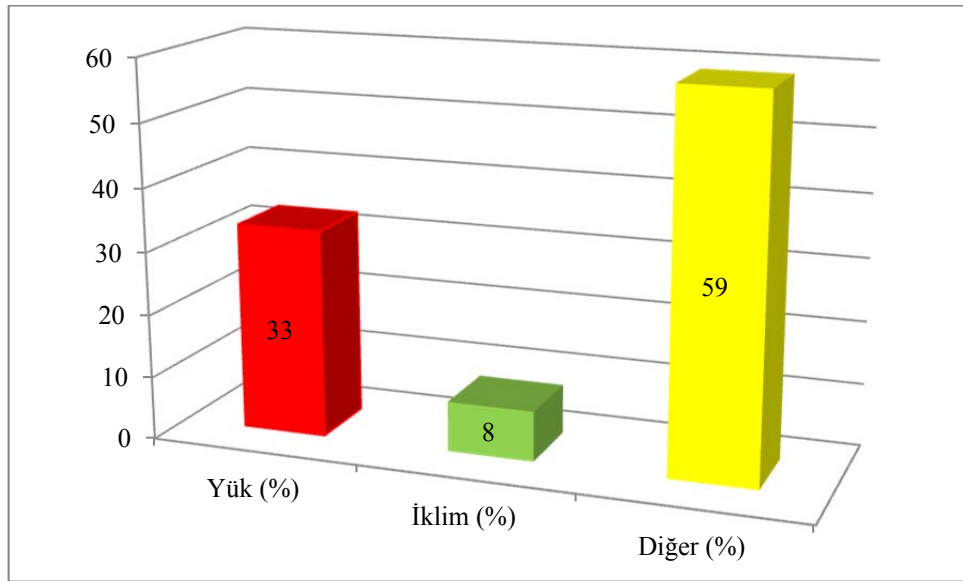


Şekil 4.13: Geleneksel PCI Ölçeği Değerlendirmesi (1. Bölüm).



Şekil 4.14: Geleneksel PCI Ölçeği Değerlendirmesi (2. Bölüm).

PAVER sisteminin temel aldığı ASTM D 6433-11 kodlu standardın içeriğinde bozulmaların oluşma nedenlerinin yük, iklim ve diğer sebepler olmak üzere üç ana kategoride toplandığı daha önce anlatılmıştır. Bu anlamda tanımlanan yük, iklim ve diğer sebeplerden oluşan bozulmaların ağ genelindeki yüzdelerinin dağılımı grafik olarak şu şekilde karşımıza çıkmaktadır.

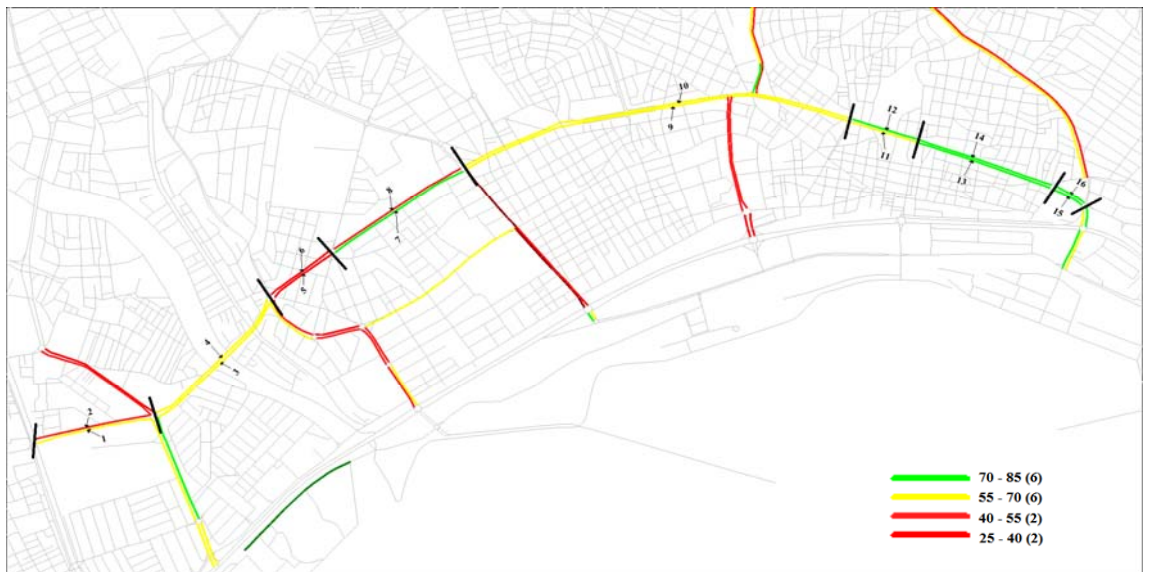


Şekil 4.15: Değerlendirme Yapılan Yollara Ait Bozulma Türü Dağılımları.

İncelenen yollar oluşturulması planlanan PCI tahmin modeline altlık oluşturması amacıyla seçildiği için Samsun iline ait tüm karayolu ağını tanımlamadığı varsayılarak yolların yüzey bozulma çıktıları yorumlanmamıştır. Çalışmalara örnek olması açısından, önemli bir ulaşım aksı olan ve ölçüm hızının belirlenmesinde pilot değerlendirme yolu olarak seçilen 100. Yıl Bulvarı'nın 16 adet kesiminin PAVER sistemine göre değerlendirilmesi neticesinde bulunan sonuçlar aşağıda görülmektedir.

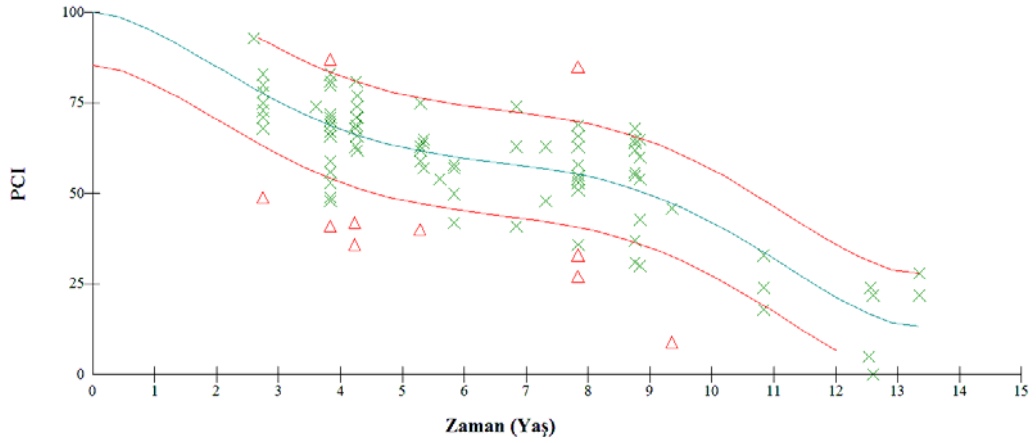
Tablo 4.3: 100. Yıl Bulvarı PCI değerleri.

	PCI
Kesim 1	65
Kesim 2	55
Kesim 3	68
Kesim 4	64
Kesim 5	37
Kesim 6	31
Kesim 7	75
Kesim 8	49
Kesim 9	62
Kesim 10	56
Kesim 11	68
Kesim 12	71
Kesim 13	73
Kesim 14	78
Kesim 15	83
Kesim 16	80



Şekil 4.16: 100. Yıl Bulvarı PCI değerleri CBS görünümü.

Güncel olarak yapılan yüzey bozulma değerlendirme çalışmalarına ilaveten yolların ilk yapım tarihleri ve bugünkü durumları arasındaki farklar değerlendirilerek Üstyapı Bozulma Tahmin Modeli geliştirilmiştir. Söz konusu bozulma tahmin modelinin mevcut Bakım & Onarım stratejisini değiştirmeksizin üstyapıların gelecek durumlarının tahmin edilmesinde kullanılabileceği düşünülmektedir. Aşağıdaki şekil ve tabloda şehiriçi BSK kaplamalı yollar için oluşturulan üstyapı bozulma tahmin modeli görülmektedir. Modelin oluşturulması sırasında korelasyonun yükseltilmesi amacıyla verilerin % 90'ını kapsama kriteri öngörüldüğü için 10 adet veri değerlendirme dışı bırakılmıştır.



Şekil 4.17: Üstyapı bozulma tahmin modeli grafik gösterimi.

Tablo 4.4: Üstyapı bozulma tahmin modeli ve parametreleri.

$$PCI = 100 - 1.26809*(Yaş) - 5.30623*(Yaş)^2 + 1.32579*(Yaş)^3 - 0.12082*(Yaş)^4 + 0.00368*(Yaş)^5$$

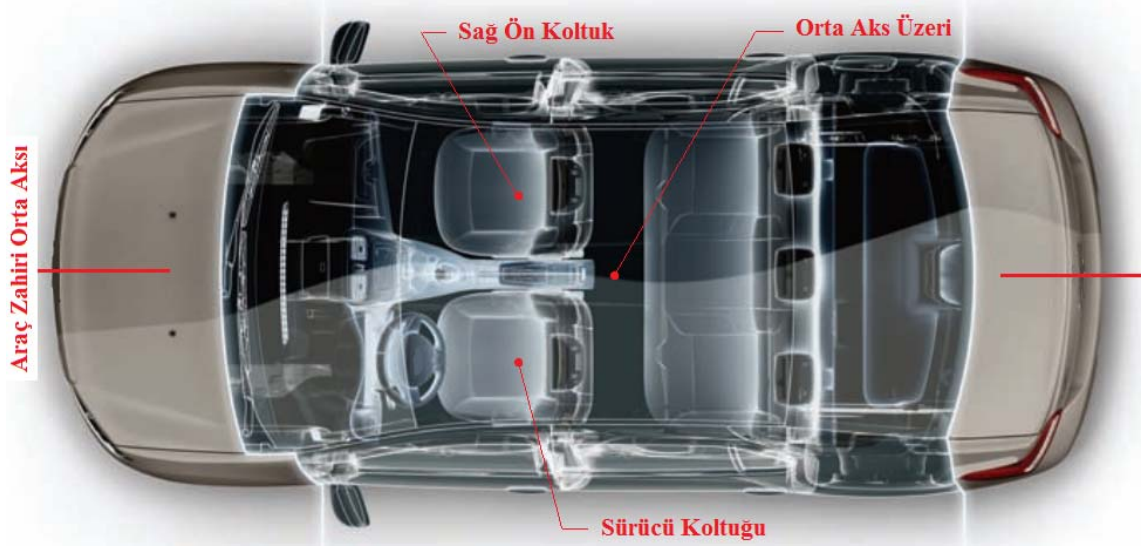
Korelasyon	: 0.838
Regresyon (R^2)	: 0.703
Hataların Standart Sapması	: 10.157
Hataların Mutlak Ortalaması	: 7.727
Hataların Aritmetik Ortalaması	: 0.003

Söz konusu oluşturulan bu bozulma modeli ile gerek daha önce detaylıca açıklanan PAVER sistemi kullanılarak gerekse çalışma kapsamında üretilen ve titreşim verilerini girdi olarak kullanan PCI tahmin modeli kullanılarak kesimlere ait hesaplanan PCI değerlerinin gelecek yıllara ait bozulma tahminleri yapılabilecek ve ilgilenen ağa ait Üstyapı Yönetim Sistemi oluşturulabilecektir.

4.2. TİTREŞİM DEĞERLENDİRMESİ

Üstyapılarda görülen bozulmaların etkilerinin taşıt sürücü ve yolcularına olumsuz etkisinin olduğu bilinen bir gerçektir. Söz konusu bu olumsuz etkilerin başında taşıt içerisinde oluşan titreşimlerin olduğu incelenen birçok araştırmada görülmektedir. Araştırmacılar tarafından, özellikle düşey eksen doğrultusunda oluşan titreşimlerin ana sebeplerinin taşıtın mekanik yapısı ve taşıtın seyahat ettiği yolda görülen yüzey bozulmaları olduğu saptanmıştır. Öte yandan, ÜYS teorisinin temellerinin atıldığı, elektronik ölçüm cihazlarının henüz geliştirilmediği yıllarda uzmanlar tarafından karayolu üstyapılarının mevcut performanslarının seyahat halindeki bir taşıtın içerisinde sürüş konforunu kriter olarak panel değerlendirmeleriyle yapıldığı önceki konularımızda vurgulanmıştır. Bu anlamda, arazi çalışmalarının ikinci ayağında, kesimlerde görülen üstyapı bozulmalarının seyahat sırasında taşıta olan düşey doğrultudaki etkileri araştırılmıştır. Bu anlamda, üstyapılarda görülen bozulmaların etkilerinin değerlendirilebilmesi için taşıtın seyahat halindeki düşey titreşimleri (ivmelenme değerleri) ölçülmüştür. Düşey titreşim ölçümleri, Euro Car segment değerlendirmesine göre 4100-4600 mm uzunluk aralığında alt orta sınıf C segmentine giren bir araçla yapılmıştır.

Daha önce vurgulandığı üzere düşey titreşim verileri İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine sunulan ve devam etmekte olan “Üstyapı Yönetim Sistemlerinin Şehiriçi Yollarda Uygulanabilirliğinin Araştırılması” başlıklı proje kapsamında satın alınan üç adet ivmeölçer, GPS anteni ve veri toplama cihazından oluşan ivme ölçüm seti aracılığıyla toplanmıştır. Söz konusu ivme ölçüm seti, bilgisayarla bağlantılı çalışarak eşzamanlı olarak düşey ivmelenme ve GPS verilerinin toplanmasına yardımcı olmuştur. Düşey ivmelenme verileri saniyede 1000 adet (1000 Hz) ve GPS verileri saniyede 1 adet aralıklarla toplanmış ve anlık olarak bilgisayara aktarılmıştır. Ölçümler sırasında ivmeölçerler, sürücü koltuğu (üzerinde sürücü var), sağ ön koltuk (üzerinde yolcu yok) ve orta aks üzeri (ayak hizası) olmak üzere üç farklı noktaya yerleştirilmiştir. Söz konusu ivme ölçümlerinin ISO 2631-1 kodlu standartta belirtilen tanımlamalara uyarak, yolcu ile olan etkileşimini değerlendirmek amacıyla bir ivmeölçer sürücünün tam altına yerleştirilmiş, diğerleri ilgili noktalara sabitlenmiştir. Söz konusu ivme ölçüm noktaları Şekil 4.18’de görülmektedir.



Şekil 4.18: Araç içerisine yerleştirilen ivmeölçerlerin konumu.

Ölçümler sonucu cihazın verdiği standart olan G birimindeki düşey titreşim ölçümleri değerlendirme sırasında m/sn^2 ye çevrilerek değerlendirilmiştir. Düşey titreşim ölçümlerini görsel olarak değerlendirilebilmek amacıyla ilgili ISO standardında bahsedilen aralıklar ölçeklendirilmiştir. İlgili ölçek aşağıdaki tabloda görülmektedir.

Tablo 4.5: ISO 2631-1 standardına göre titreşim verileri ölçeği.

Titreşim Verileri Ölçeği (m/sn^2)		
0	not uncomfortable	konforlu
0.315	a little uncomfortable	az konforlu
0.5	fairly uncomfortable	biraz konforlu
0.8	uncomfortable	konforsuz
1.25	very uncomfortable	çok konforsuz
2	extremely uncomfortable	aşırı konforsuz

Bahsedilen titreşim ölçümlerinin kullanım amacı titreşim değerleri ile yüzey bozulmalar arasındaki ilişkileri araştırmak olduğu için dolaylı olarak ölçümlerden yolun boyuna profilinin değerlendirilmesi gerektiği açıkça görülmektedir. Bu sebeple, titreşim ölçümlerinde genel prensip olarak ASTM E 950, E 1082 – 90, E 1926 – 08 vb. kodlu standartlarda tariflenen boyuna profil ölçüm prensipleri kabul edilmiştir. Söz konusu standartların genel yaklaşımı göz önüne alındığında ölçümlerin;

- Sabit bir şeritte,
- Sabit bir hızda,
- Minimum 20 km/sa hızda,

yapılacağı kriterleri ölçüm kriterleri olarak kabul edilmiştir.

Söz konusu ölçümlerde kullanılan ivme ölçüm seti ve ölçüm aracı aşağıda görülmektedir.



Şekil 4.19: İvme ölçüm seti görünümü.



Şekil 4.20: İvme ölçüm seti görünümü.



Şekil 4.21: İvme ölçümünde kullanılan araç.

Bu noktada en temel problem olarak karşımıza ölçümlerin hangi hızda yapılması gerektiği sorusu çıkmaktadır. Bu amaçla, seçilen pilot ölçüm bölgesinde düşey ivme ölçümleri 20, 30, 40 ve 50 km/sa hızlarda her şerit için ayrı ayrı yapılmıştır. Ayrıca, arazi çalışmaları sırasında 50 km/sa üzerinde hızlarda ölçüm yapabilmenin mümkün olamayacağı saptanmıştır. Önemli bir ulaşım aksı olan ve çeşitli yoğunlukta verilerin aynı anda gözlemlenebildiği 100. Yıl Bulvarı, pilot bölge olarak seçilmiştir. Pilot bölge seçilen 100.Yıl Bulvarı gibi birbirini takip eden kesimlerin bulunduğu bir yolda ölçüm hızının da değiştirilmeden yapılabilmesi için aynı platform ve şerit boyunca durmadan devam edilerek ve hız mümkün olduğunca korunmaya çalışılarak ölçümler tamamlanmıştır.

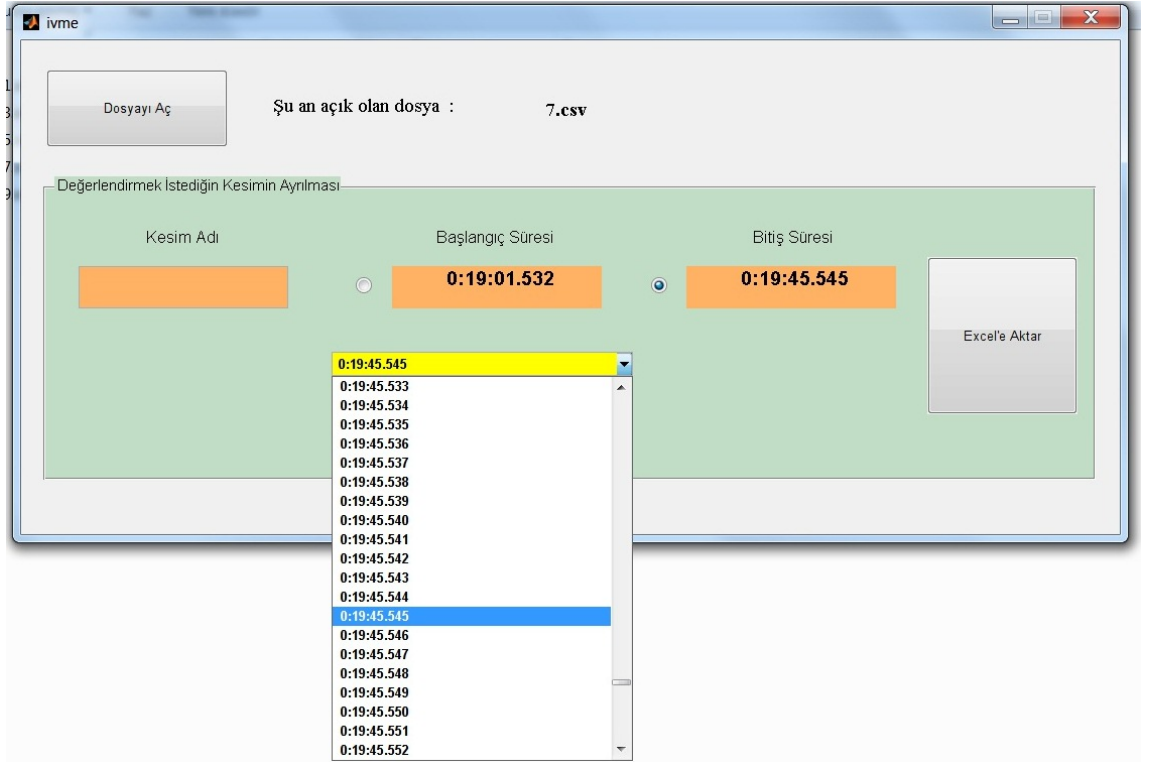
Sonraki adımda, bütün halinde yapılan ölçümler kesimlere ayrılmıştır. Bu anlamda, öncelikli olarak toplanan GPS ölçümleri CBS programında okunur hale getirilerek kesimlerin başlangıç ve sonunu gösteren noktalardaki zaman verileri okunarak, değerlendirme kesimleri birbirlerinden ayrılmıştır. Söz konusu çalışmanın yapıldığı CBS uygulaması aşağıdaki şekilde görülmektedir.

CBS ortamında GPS verilerinin nokta olarak okunduğu yol üzerinden görsel olarak saniyenin 100 katı hassasiyetinde okunabilen zaman verileri aracılığıyla, kesimin başlangıcını ve sonunu gösteren zaman aralıkları okunmuştur. Daha sonra, okunan bu zaman aralıkları vasıtasıyla değerlendirme kesimlerine ait olan titreşim verileri ölçüm dosyasından MATLAB ticari yazılımıyla geliştirilen bir programla ayrılmış, ayrı ayrı

kesimlerin titreşim özelliklerini gösteren karakteristik ivme ölçüm verileri bulunmuştur. Söz konusu yazılımın program görüntüsü aşağıda görülmektedir.



Şekil 4.22: Titreşim ölçümlerinin kesimlere ayrılması (CBS uygulaması).



Şekil 4.23: İvme verilerinin kesimlere ayrılması (MATLAB uygulaması).

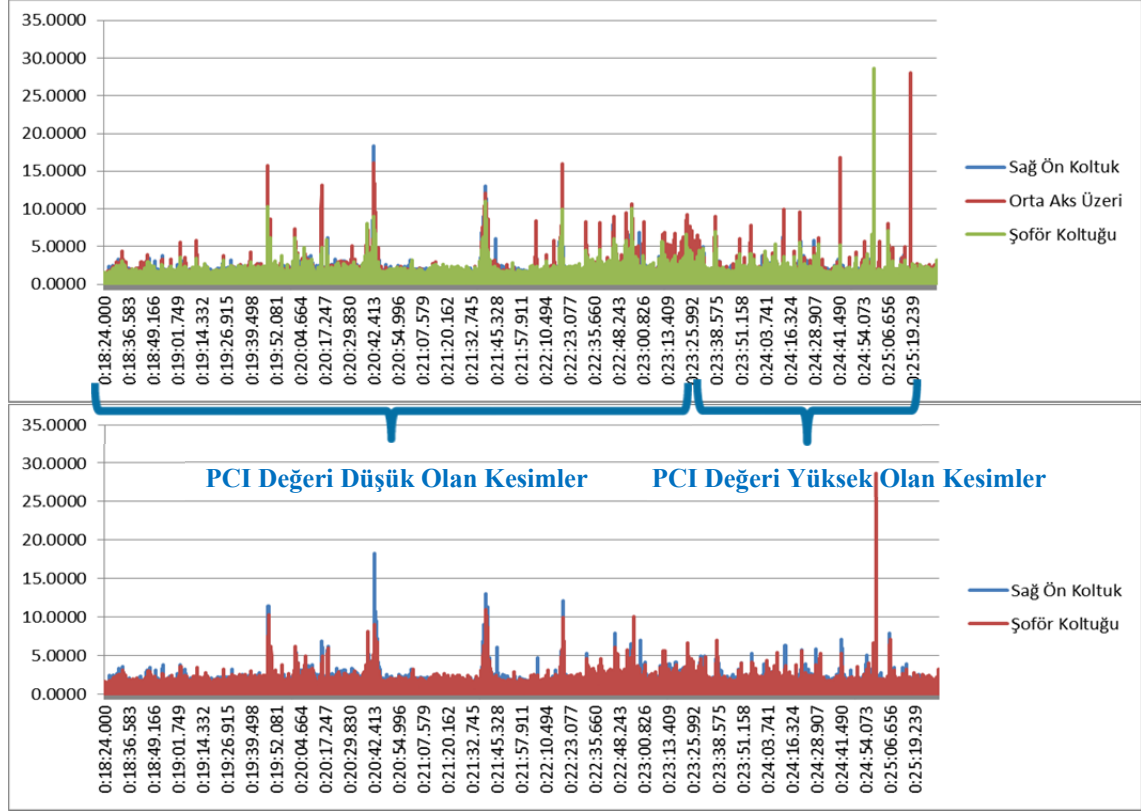
Ölçümler sırasında kesim boyunca sabit hızın korunması esası gereğince, aracın ölçüm hızına ulaşması için kesimin başlangıcından yeter mesafe kadar önce ölçüme başlanıp, kesimin bitişinden itibaren durma mesafesi kadar sonra ölçüm sonlandırılmıştır. Bu anlamda, gerek birbirini takip eden kesimlerin ivme verilerinin ayrılmasında gerekse, hızlanma ve yavaşlama evrelerinde yapılan ölçümlerin kesimi gösteren ölçümlerden ayrılmasında yukarıda bahsedilen yazılımlar kullanılmıştır.

Söz konusu bu yazılımda, www.vibrationdata.com sitesinde yayınlarını paylaşan, Araştırmacı Tom Irvine tarafından geliştirilen ISO 2631-1 standardı kaynak kodları altlık olarak kullanılmıştır. Hazırlanan yazılım aracılığıyla, standartta kabul edilen Butterworth sinyal filtreleme tekniğine göre filtrelenen verilerin sonuçları, her bir ölçüm noktasına göre excel tablosu olarak kaydedilmiştir. Yukarıda bahsedilen prensip, değerlendirilmesi yapılan tüm titreşim ölçümlerinde kabul edilmiş ve uygulanmıştır.

Samsun Büyükşehir Belediyesi'nin sorumluluğunda olan karayollarında yuvarlak ada kavşak noktalarının, merkez ilçe belediyelerin sorumluluğunda olan yollarda ise kavşak noktalarının kesim kesişim noktaları olarak belirlendiği çalışmada, söz konusu yazılım yardımıyla kesimlerin başlangıç ve sonlarını belirleyen ölçüm aralıklarındaki düşey ivme verileri kullanılarak kesimlerin ISO 2631-1 kodlu standarda uygun olacak şekilde titreşim parametreleri hesaplanmıştır. Söz konusu titreşim parametreleri olarak Ağırlıklandırılmış Karekök Ortalama (weighted root mean square - aw), Maksimum Aktarılan Titreşim Değeri (the maximum transient vibration value – MTVV), Titreşim Miktarı Değeri (the fourth power vibration dose value – VDV), Crest Faktör (en büyük ivme / aw), MTVV / aw, VDV / (aw.T^{1/4}), Aritmetik Ortalama, Karekök Ortalama (Root Mean Square - RMS), En Büyük İvme değerleri hesaplanmıştır.

Yapılan ölçümler sonucunda, öncelikli olarak ölçülen ham veriler grafik olarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar genel itibarıyla incelendiğinde yolcu olmayan sağ ön koltuk ivmelenme değerinin en fazla, araç zemininde bulunan orta aks ivmelenmesinin orta düzeyde, üzerinde sürücü bulunan koltukta ise en az olduğu saptanmıştır. Birçok kesimde yapılan bu değerlendirmede benzer sonuçlar elde edilmiş olmakla beraber örnek olması açısından 40 km/sa ölçüm hızında 100. Yıl Bulvarı gidiş yönünde

(Stadyum- Liman istikameti) sağ şerit için yapılan değerlendirme aşağıdaki şekilde görülmektedir.



Şekil 4.24: 100. Yıl Bulvarı 40 km/sa hızla ivmelenme değişimi.

Yapılan tüm çalışmalar kapsamında her şerit için farklı konumlarda (Sağ ön koltuk, Orta aks üzeri ve Sürücü koltuğu) ölçülen titreşim verilerinin o kesimde bulunan her şerit için ISO 2631-1 standardında tanımlanan prensiplere göre parametrik değerleri bulunmuştur. Yapılan bu değerlendirme sonucunda da bulgular incelendiğinde genel itibariyle yolcu olmayan sağ ön koltuk ivmelenme değerinin en fazla, araç zemininde bulunan orta aks ivmelenmesinin orta düzeyde, üzerinde sürücü bulunan koltukta ise en az olduğu saptanmıştır.

Titreşim verilerinin değerlendirilmesi konusunda esas kabul edilen ISO 2631-1 kodlu standarda göre herhangi bir kesimin düşey doğrultuda titreşim karakteristiğini genel manada 'aw' değişkeninin yansıttığı ayrıca, standartta kabul edilen ölçüm noktası tarifine en uyan noktanın sürücü koltuğunda yapılan ölçüm olduğu bilinmektedir. Bu nedenle, en uygun ölçüm hızının belirlenmesi araştırmasında sürücü koltuğundan

ölçülen ivme verilerinden elde edilen a_w değerlerinin kullanılması en doğru seçim olarak görülmektedir.

Öte yandan, yapılan değerlendirmenin geliştirilmesi için araçtan kaynaklı oluşan düşey titreşimlerin etkisinden kurtulmak amacıyla her bir ölçüm noktası için kalibrasyon parametreleri üretilmiştir. Söz konusu parametrelerin üretilmesinde temel amaç araç mekanik yapısından kaynaklı oluştuğu varsayılan ve her durumda oluşması beklenen düşey titreşim değerlerinin belirlenmesidir. Böylece, herhangi bir yolda yapılan ölçüm sonrasında bulunan parametrik titreşim değerlerinden kalibrasyon için bulunan parametrik titreşim değerlerinin çıkarılması ile düzeltilmiş titreşim parametresinin bulunacağı kabul edilmiştir. Söz konusu değerlendirmenin a_w parametresi için formülasyonu aşağıdaki eşitlikte görülmektedir.

$$\text{düz.}a_w = a_w_{\text{ham}} - a_w_{\text{kalibrasyon}} \quad (4.1)$$

Daha önce en uygun ölçüm hızının belirlenmesi için 20, 30, 40 ve 50 km/sa hızlarda pilot değerlendirme yolu olarak seçilen 100. Yıl Bulvarı yolunda ölçümlerin yapıldığı vurgulanmıştır. Söz konusu ölçüm hızlarında gerekli düzeltmeleri yapabilmek amacıyla aynı hızlarda kalibrasyon ölçümleri yapılmıştır. Kalibrasyon ölçümleri Samsun İli Ondokuzmayıs İlçesinde bulunan imalatı 2012 yılı Kasım ayında tamamlanan üstyapısı Bitümlü Sıcak Karışım olarak imal edilen ve herhangi bir yüzey bozulmasına rastlanmayan eğitim ve sportif amaçlı kullanılan havaalanında yapılmıştır. Söz konusu BSK kaplamalı yol (havaalanı pist yolu) PAVER sistemine göre değerlendirildiğinde PCI değeri 100 kabul edilebilecek niteliktedir. Bununla beraber, benzer bir çalışmanın başka bölgelerde yapılması durumunda yüzey bozulma özellikleri olarak PCI = 100 değerini karşılayabilen ve boyuna eğimi düşük herhangi bir yolda kalibrasyon ölçümlerinin yapılması ve kalibrasyon değerlerinin bulunarak düzeltilmiş titreşim parametreleri ile değerlendirmelerin yapılması gerektiği kabul edilmiştir.

Kalibrasyon parametrelerinin üretebilmek amacıyla her bir farklı hızda toplam onikişer adet ölçüm yapılmıştır. Her bir ölçüm hızına ait elde edilen ve ISO 2631-1 standardı kurallarına göre değerlendirilerek üretilen kalibrasyon titreşim parametrelerinin aritmetik ortalamaları alınarak verilerin düzeltilmesinde kullanılacak kalibrasyon parametreleri üretilmiştir. Tekrar vurgulamak gerekirse çalışmada, kesimlere ait düşey

titreşim verilerinin belirlenmesinde, titreşim ölçümleri yapılarak her bir kesime ait hesaplanan titreşim parametrelerinden üretilen kalibrasyon parametrelerinin çıkartılması sonucu bulunan düzeltilmiş titreşim parametrelerinin kullanılması ve buna göre değerlendirmelerin yapılması kabul edilmiştir. 40 km/sa ölçüm hızı için üretilen kalibrasyon parametreleri aşağıdaki tabloda görülmektedir.

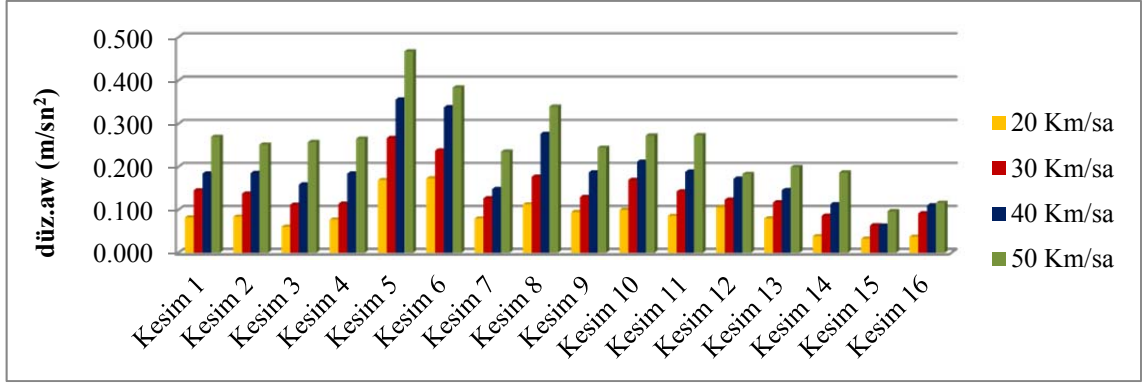
Tablo 4.6: 40 km/sa hız için üretilen kalibrasyon parametreleri.

Parametreler	Sağ Ön Koltuk	Orta Aks Üzeri	Sürücü Koltuğu	Ortalamalar
aw	0.3555	0.2183	0.1629	0.2456
MTVV	0.5124	0.3050	0.2444	0.3539
VDV	1.3625	0.8353	0.6624	0.9534
Crest Faktör	4.6359	4.6937	6.1714	5.1670
MTVV/aw	1.4394	1.3967	1.5001	1.4454
VDV/aw	1.3328	1.3306	1.4099	1.3578
Aritmetik Ortalama	-0.4745	0.0800	-0.7136	-0.3693
RMS	0.7165	0.4397	0.7424	0.6329
En Büyük İvme	2.0258	2.3952	1.2756	1.8989

Bulunan kalibrasyon parametreleri yardımıyla en uygun ölçüm hızını belirlemek amacıyla 100. Yıl Bulvarı yolunda ölçülen ve değerlendirilen, sürücü koltuğuna ait düşey titreşim ölçümleri kalibre edilmiştir. Burada, ISO 2631-1 kodlu standartta tanımlanan ölçüm yöntemine en uygun ölçüm noktasının Sürücü Koltuğu'nda yapılan ölçümlerin olduğu dolayısıyla, en uygun ölçüm hızının seçimine sürücü koltuğundan yapılan titreşim ölçümleri ile karar verilmesi gerektiği kabul edilmiştir.

En uygun ölçüm hızını belirlemek amacıyla seçilen pilot değerlendirme yolu kabul edilen 100. Yıl Bulvarı'nda PAVER sistemini kesimlere ayırma prensibine uyularak saptanan 16 adet kesimin her bir şeridinde, aynı güzergahlarda 20, 30, 40 ve 50 km/sa hızlarda yapılan düşey titreşim ölçümlerinin parametreleri ISO 2631-1'e göre hesaplanmış ve aynı hızlarda ölçülen kalibrasyon parametreleri ile düzeltilerek düzeltilmiş aw (düz.aw) değerleri bulunmuştur.

Sonrasında, titreşim verileri ölçülen değerlendirilen kesimlerde PAVER sistemine göre (ASTM D 6433-11) yüzey bozulma değerlendirmeleri yapılarak bulunan PCI değerleri karşılaştırılmıştır. Ölçüm hızını belirlemek amacıyla yapılan değerlendirmeler grafik ve tablo olarak aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 4.25: 100. Yıl Bulvarı düşey titreşim parametreleri.

Tablo 4.7: En uygun ölçüm hızının belirlenmesinde kullanılan veriler.

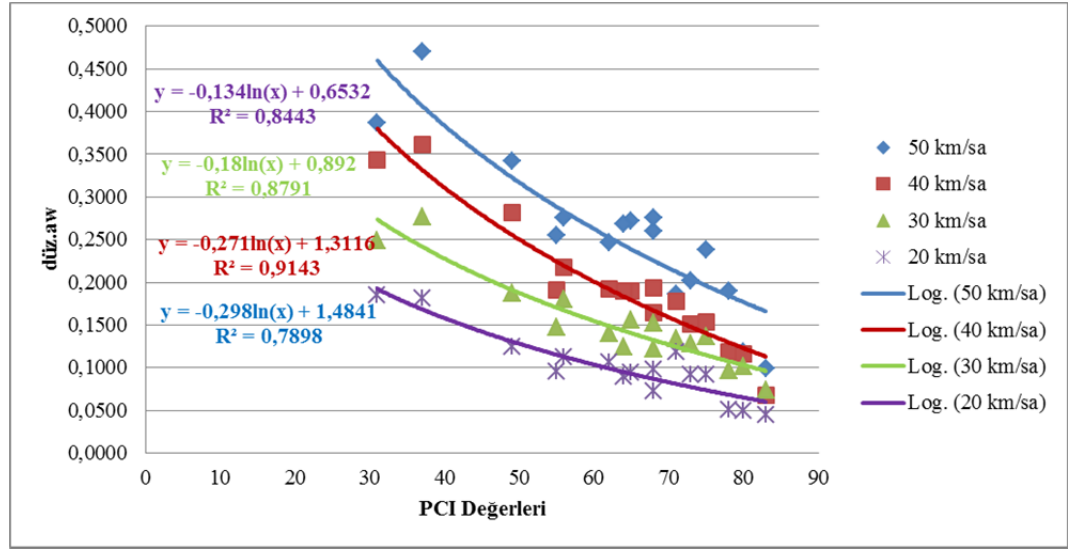
düz.aw	Teorik Hız (Km/sa)				PCI	Standart PCI Ölçeği Sonuç	40 km/sa düz.aw Titreşim Sonuç
	20 Km/sa	30 Km/sa	40 Km/sa	50 Km/sa			
Kesim 1	0.082	0.145	0.184	0.270	65	Dengeli	Az Konforlu
Kesim 2	0.084	0.137	0.185	0.252	55	Zayıf	Az Konforlu
Kesim 3	0.060	0.112	0.159	0.258	68	Dengeli	Az Konforlu
Kesim 4	0.077	0.114	0.184	0.265	64	Dengeli	Az Konforlu
Kesim 5	0.169	0.267	0.356	0.467	37	Çok Zayıf	Biraz Konforlu
Kesim 6	0.173	0.238	0.338	0.384	31	Çok Zayıf	Az Konforlu
Kesim 7	0.079	0.127	0.148	0.235	75	Yeterli	Konforlu
Kesim 8	0.112	0.177	0.277	0.339	49	Zayıf	Az Konforlu
Kesim 9	0.095	0.130	0.187	0.244	62	Dengeli	Az Konforlu
Kesim 10	0.100	0.169	0.212	0.273	56	Dengeli	Az Konforlu
Kesim 11	0.086	0.142	0.189	0.273	68	Dengeli	Az Konforlu
Kesim 12	0.106	0.124	0.172	0.183	71	Yeterli	Az Konforlu
Kesim 13	0.080	0.117	0.146	0.200	73	Yeterli	Konforlu
Kesim 14	0.038	0.086	0.113	0.187	78	Yeterli	Konforlu
Kesim 15	0.032	0.063	0.063	0.097	83	Yeterli	Konforlu
Kesim 16	0.037	0.091	0.110	0.116	80	Yeterli	Konforlu

Yapılan tüm bu değerlendirmeler ışığında en uygun ölçüm hızını belirlemek amacıyla düşey titreşim parametreleri (düz.aw) ile yüzey bozulma verileri arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Söz konusu ilişkilerin araştırılmasında öncelikli olarak korelasyonlara bakılmıştır. Aşağıdaki tabloda düz.aw verileri ile PCI verileri arasındaki korelasyon ilişkileri görülmektedir.

Tablo 4.8: düz.aw – PCI doğrusal korelasyon ilişkisi.

	20	30	40	50	PCI
20	1.00				
30	0.95	1.00			
40	0.96	0.98	1.00		
50	0.88	0.94	0.95	1.00	
PCI	-0.92	-0.94	-0.97	-0.91	1.00

Yukarıdaki değerlendirmelere bakıldığında PCI değeri ile titreşim verileri arasında en yüksek korelasyonun -0.97 ile 40 km/sa hızda yakalandığı görülmektedir. Doğrusal ilişkiyi tanımlayan korelasyondan başka daha birçok değerlendirme yapılmakla birlikte dikkate değer bir başka ilişkinin logaritmik ilişki olduğu gözlemlenmiştir. Söz konusu ilişki grafik olarak aşağıda görülmektedir. Yine logaritmik ilişkilerde de en yüksek regresyon değerlerinin 40 km/sa hızda karşımıza çıktığı görülmektedir.

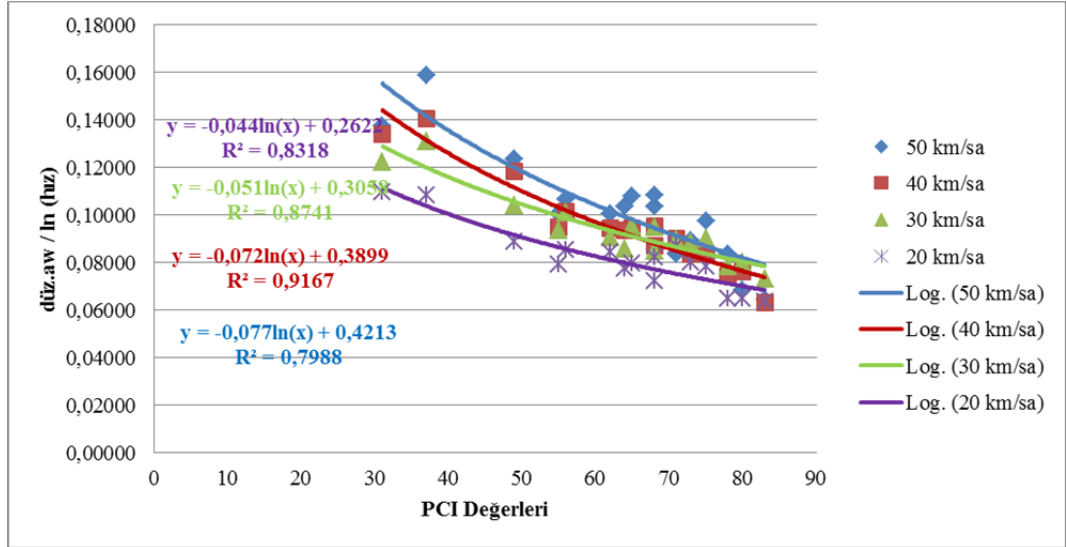
**Şekil 4.26:** düz.aw - PCI logaritmik ilişkisi.

Yapılan bu ölçümlerde arazide ve gerçek trafik şartlarında ölçüm yapılmasıyla ilişkili olarak ölçüm hızlarında kabul edilen teorik hızdan sapmaların olduğu da tartışılmaz bir gerçektir. Bu nedenle, kesimlerde ölçülen pratik ölçüm hızlarıyla düz.aw parametreleri arasında bulunan bileşenlerin birlikte kullanıldığı yeni bileşenlerle PCI arasındaki ilişkiler de araştırılmıştır. Söz konusu bu değerlendirmede, çeşitli denemeler sonucunda en yüksek düzeyde ilişkinin düz.aw / ln (Hız) bileşeninde yakalandığı saptanmıştır. Parametrelerin doğrusal korelasyon ilişkisini gösteren tablo aşağıda görülmektedir.

Tablo 4.9: düz.aw / ln(Hız) - PCI doğrusal korelasyon ilişkisi.

	20	30	40	50	PCI
20	1.00				
30	0.96	1.00			
40	0.95	0.97	1.00		
50	0.88	0.94	0.95	1.00	
PCI	-0.91	-0.93	-0.97	-0.91	1.00

Yukarıdaki değerlendirmelere bakıldığında PCI değeri ile titreşim - hız verileri arasında yine en yüksek korelasyonun -0.97 ile 40 km/sa hızda yakalandığı görülmektedir. Doğrusal ilişkiyi tanımlayan korelasyondan başka daha birçok değerlendirme yapılmakla birlikte dikkate değer bir başka ilişkinin logaritmik ilişki olduğu gözlemlenmiştir. Söz konusu ilişki grafik olarak aşağıda görülmektedir. Grafikte yapılan değerlendirmede, yine logaritmik ilişkide de en yüksek regresyon değerinin 40 km/sa hızda karşımıza çıktığı görülmektedir.

**Şekil 4.27:** düz.aw / ln(Hız) - PCI logaritmik ilişkisi.

Hız parametresinin değerlendirmeye katılması ve katılmaması durumları incelendiğinde hız faktörünün doğrusal ilişkide korelasyonu zayıflatırken logaritmik ilişkide bir miktar arttırdığı gözlemlenmiştir. Fakat, değerler karşılaştırıldığında ilişkiler arasındaki değişimlerin çok az derecede olduğu açıklıkla görülmektedir. Ayrıca pratikte edinilen tecrübeye göre pratik ölçüm hızlarının araç mekanik yapısı sebebiyle zorunlu olarak teorik hızdan ± 5 km/sa hızlarda değiştiği görülmüştür.

Ölçüm değerlendirmelerinin yapıldığı ve çalışmanın ilerisi için kararların alınması gerektiği tam bu noktada, standardın en uygun ölçüm yeri olarak tanımladığı üzerinde sürücü varken sürücü koltuğu üzerinden yapılan titreşim ölçümlerinde sürücünün ağırlığının değerlendirme sonuçlarını etkileyip etkilemediği akıllara gelmektedir. Bu amaçla, yüzey düzgünlük karakteristiğinin homojen olduğu kabul edilebilecek kalibrasyon ölçüm yolunda farklı ağırlıklı sürücülerle de ölçümler yapılmıştır. Diğer bir deyişle, yalnızca sürücü ağırlıklarının titreşim parametreleri üzerine olan etkilerini değerlendirebilmek amacıyla üstyapı PCI değeri 100 kabul edilebilecek durumda olan kalibrasyon ölçümlerinin yapıldığı 19 Mayıs Havaalanında 58 kg, 80 kg ve 113 kg ağırlığındaki sürücülerle 20, 30, 40 ve 50 km/sa ölçüm hızlarında aynı güzergahta çok sayıda ölçümler yapılmış ve titreşim parametreleri hesaplanmıştır.

Elde edilen bu titreşim parametreleri hem parametrik hem de parametrik olmayan istatistik yöntemlerle değerlendirilmiş, değerler arasında istatistik olarak anlamlı bir fark olup olmadığı araştırılmıştır. Yapılan tüm istatistik değerlendirmelerde SPSS paket programı kullanılmıştır. Öncelikli olarak, parametrik olmayan yöntemlerle değerlendirme yapılmıştır. Bu anlamda, parametrik olmayan verilere sahip ikiden fazla grubun ölçümlerinin karşılaştırılmasında Kruskal-Wallis H Testi kullanılmıştır. 58, 80 ve 113 kg olmak üzere farklı sürücü ağırlıklarında ve 20, 30, 40 ve 50 km/sa hızlarda yapılan ölçümler sürücü koltuğu, orta aks üzeri ve sağ ön koltuk ölçüm noktalarının her biri için istatistik olarak değerlendirmiştir. SPSS programı kullanılarak yapılan değerlendirme sonucunda bulunan istatistik anlamlılık değerleri (p) aşağıdaki tabloda görülmektedir.

Tablo 4.10: Kruskal-Wallis H testi istatistik anlamlılık değerleri.

Hızlar	Sürücü Koltuğu			Orta Aks Üzeri			Sağ Ön Koltuk		
	aw	MTVV	VDV	aw	MTVV	VDV	aw	MTVV	VDV
20	0.033	0.526	0.030	0.001	0.018	0.008	0.000	0.001	0.000
30	0.147	0.687	0.034	0.004	0.037	0.025	0.001	0.034	0.001
40	0.056	0.190	0.066	0.085	0.118	0.172	0.000	0.000	0.000
50	0.090	0.263	0.069	0.593	0.125	0.162	0.001	0.001	0.001

İstatistik değerlendirmede, H_1 hipotezinin gerçekleştiği yani istatistik anlamlılık değeri 0.05 değerinden büyük olan parametreler tabloda sarı dolgu ile gösterilmiştir. Diğer bir deyişle, tabloda sarı dolgulu hücrelerde, %95 doğruluk hassasiyetinde, 58, 80 ve 113 kg

sürücü ağırlıklarında ölçülen ve hesaplanan titreşim parametreleri arasındaki farkların sürücü ağırlığına göre istatistik olarak anlamsız olduğu durumlar görülmektedir. Değerlendirme sonucunda, yalnızca 40 ve 50 km/sa hızlarda yapılan ölçümlerde üretilen titreşim parametrelerinin farklarının istatistik olarak anlamsız olduğu saptanmıştır.

Bir diğer değerlendirme de parametrik yöntemlerden ikiden fazla grubun ölçümlerinin karşılaştırılmasında kullanılan Bağımsız Örneklem Tek Yönlü Varyans Analizi (ANOVA Testi) kullanılarak yapılmıştır. Bilindiği üzere istatistik değerlendirmelerde parametrik değerlendirmelerin yapılabilmesi için verilerin homojen olması ve normal dağılıma uyması şartları aranmaktadır. Bu nedenle, öncelikli olarak varyans testi homojenliğine göre yapılan değerlendirme sonucu bulunan değerler aşağıda ki tabloda görülmektedir. Değerlendirmeye göre 40 ve 50 km/sa hızlarda sürücü koltuğu ve orta aks üzerinde yapılan ölçümlerden üretilen titreşim parametrelerinin homojen olduğu görülmüştür.

Tablo 4.11: Varyans homojenlik değerlendirmesi istatistik anlamlılık değerleri.

Hızlar	Sürücü Koltuğu			Orta Aks Üzeri			Sağ Ön Koltuk		
	aw	MTVV	VDV	aw	MTVV	VDV	aw	MTVV	VDV
20	0.121	0.005	0.918	0.055	0.003	0.098	0.002	0.281	0.001
30	0.568	0.010	0.195	0.204	0.100	0.952	0.003	0.049	0.005
40	0.206	0.093	0.258	0.623	0.063	0.113	0.033	0.427	0.047
50	0.129	0.069	0.062	0.056	0.107	0.095	0.342	0.053	0.225

Parametrik istatistik değerlendirmelerin yapılabilmesi için bir diğer şartın verilerin normal dağılıma uygun olması gerektiği daha önce vurgulanmıştır. Normal dağılıma uygunluğun belirlenmesi için aw, MTVV ve VDV titreşim parametrelerinin her biri için Tek Örneklem Kolmogorov Smirnov Testi uygulanmıştır. Değerlendirmeler sonucunda, her bir titreşim parametresi için 20, 30, 40 ve 50 km/sa hızlarında sürücü koltuğu, orta aks üzeri ve sağ ön koltukta yapılan ölçümlerin parametrelerinin istatistik anlamlılık değerleri 58, 80 ve 113 kg ağırlığındaki sürücüler için bulunmuştur. Değerlendirme sonuçları aşağıdaki tablolarda görülmektedir. Tablolarda, veriler arasındaki farkın istatistik olarak anlamsız olduğu hücreler sarı dolgu ile gösterilmiştir. Yapılan tüm bu değerlendirmelerin sonucunda, her bir titreşim parametresinin normal dağılıma uyduğu tespit edilmiştir.

Tablo 4.12: aw normal dağılıma uygunluk istatistik anlamlılık değerleri.

aw	Sürücü Koltuğu			Orta Aks Üzeri			Sağ Ön Koltuk		
	58 kg	80 kg	113 kg	58 kg	80 kg	113 kg	58 kg	80 kg	113 kg
20	0.965	0.813	0.972	0.877	0.967	0.999	0.980	0.700	0.518
30	0.979	0.764	1.000	0.996	0.805	0.712	0.826	0.877	0.976
40	0.867	0.953	0.786	0.890	0.820	0.766	0.715	1.000	0.952
50	0.999	0.316	0.981	0.976	0.993	0.638	0.988	0.731	0.998

Tablo 4.13: MTVV normal dağılıma uygunluk istatistik anlamlılık değerleri.

MTVV	Sürücü Koltuğu			Orta Aks Üzeri			Sağ Ön Koltuk		
	58 kg	80 kg	113 kg	58 kg	80 kg	113 kg	58 kg	80 kg	113 kg
20	0.994	0.933	0.828	0.872	0.478	0.839	0.655	0.117	0.651
30	0.999	0.999	0.152	0.997	0.986	0.990	0.782	0.972	0.908
40	0.937	0.949	0.293	0.837	0.450	0.999	0.995	0.809	0.937
50	0.731	0.641	0.401	0.975	0.974	0.906	0.966	0.992	0.853

Tablo 4.14: VDV normal dağılıma uygunluk istatistik anlamlılık değerleri.

VDV	Sürücü Koltuğu			Orta Aks Üzeri			Sağ Ön Koltuk		
	58 kg	80 kg	113 kg	58 kg	80 kg	113 kg	58 kg	80 kg	113 kg
20	0.574	0.641	0.875	0.991	0.690	0.979	0.779	0.578	0.822
30	0.993	0.974	0.359	0.951	0.992	0.896	0.724	0.943	0.569
40	0.831	0.240	0.999	0.953	0.998	0.940	0.772	1.000	0.894
50	0.868	0.100	0.957	0.832	0.754	0.950	0.997	0.933	0.856

Homojenlik ve normal dağılıma uygunluk değerlendirmesi yapılan verilerde genel olarak 40 ve 50 km/sa hızlarda, sürücü koltuğu ve orta aks üzerinde yapılan ölçümlerin titreşim parametrelerinin söz konusu kriterleri sağladığı tespit edilmiştir. Yapılan bu uygunluk değerlendirmesinden sonra Bağımsız Örneklem Tek Yönlü Varyans Analizi (ANOVA Testi) uygulanarak farklı sürücü ağırlıklarında ölçülen titreşim verilerinin parametrelerinin aralarındaki farkın istatistik olarak anlamlı olup olmadığı araştırılmıştır. Yapılan değerlendirme sonuçları aşağıdaki tabloda görülmektedir.

Tablo 4.15: ANOVA testi istatistik anlamlılık değerleri.

Hızlar	Sürücü Koltuğu			Orta Aks Üzeri			Sağ Ön Koltuk		
	aw	MTVV	VDV	aw	MTVV	VDV	aw	MTVV	VDV
20	0.027	0.368	0.029	0.000	0.000	0.012	0.000	0.116	0.000
30	0.125	0.568	0.156	0.001	0.026	0.020	0.000	0.013	0.000
40	0.051	0.079	0.292	0.065	0.083	0.086	0.000	0.000	0.000
50	0.544	0.100	0.108	0.202	0.061	0.121	0.000	0.000	0.000

İstatistik anlamlılık değeri 0.05 değerinden büyük olan parametreler yani %95 doğruluk hassasiyetinde 58, 80 ve 113 kg sürücü ağırlıklarında ölçülen ve hesaplanan titreşim

parametreleri arasındaki farkların sürücü ağırlığına göre istatistik olarak anlamsız olduğu durumlar yukarıdaki tabloda sarı dolgu ile gösterilmiştir. Parametrik istatistik değerlendirme yöntemi olan ANOVA analizi sonucunda da tıpkı parametrik olmayan istatistik analiz Kruskal-Wallis H Testi değerlendirmesi sonucunda olduğu gibi yalnızca 40 ve 50 km/sa hızlarda yapılan ölçümlerde üretilen titreşim parametrelerinin farklarının istatistik olarak anlamsız olduğu saptanmıştır.

%95 güven aralığında istatistik anlamlılık değeri $p > 0.05$ olan sonuçlarda yapılan hipotez testlerine göre istatistik olarak anlamlı bir farkın olmadığı daha önce vurgulanmıştır. Bu değerlendirmede 58, 80 113 kg sürücü ağırlıklarına göre yapılan titreşim ölçümlerinde elde edilen verileri gerek parametrik gerekse parametrik olmayan yöntemle değerlendirdiğimizde, üstyapı düzgünsüzlüğünün homojen kabul edildiği bir karayolunda yalnızca 40 ve 50 km/sa hızlarda, veriler arasındaki farkın anlamsız olduğu saptanmıştır. Diğer bir deyişle, istatistik değerlendirmeler sonucu yalnızca 40 ve 50 km/sa hızlarda sürücü ağırlığının önemsiz olduğu kabul edilebilmektedir.

Ayrıca, yapılan bu istatistiki değerlendirmeler sonucunda sağ ön koltuk üzerinde yapılan ölçümlerden üretilen titreşim parametrelerinin arasındaki farkların gerek parametrik gerekse parametrik olmayan değerlendirmelerde istatistik olarak anlamlı olduğu saptanmıştır. Çalışmada, düşey titreşim değerlerinin minimum olduğu, başka bir deyişle PCI değerinin 100 kabul edildiği bir üstyapıda bile sağ ön koltukta yapılan ölçümler sonucu bulunan titreşim parametreleri arasındaki farkın istatistik olarak anlamlı olması bu noktada yapılan ölçümlerin güvenilir olmadığı bir göstergesi olarak kabul edilmiştir. Bu nedenle, çalışmanın ana çıktılarından olan düşey titreşim - PCI tahmin modelleri oluşturulurken sağ ön koltukta yapılan ölçümlerin değerlendirmeye alınmaması daha uygun görülmüştür.

Öte yandan, yalnızca 40 ve 50 km/sa hızlarda yapılan ölçümlerde sürücü koltuğu ve orta aks üzerinde yapılan ölçümlerden üretilen parametreler arasındaki farkların istatistik olarak anlamsız olduğu saptanmıştır. Dolayısıyla tüm istatistik değerlendirmeler sonucunda 20, 30, 40 ve 50 km/sa ölçüm hızlarından 40 ve 50 km/sa hız değerlerinin kabul edilebilir ölçüm hızı değerleri olduğu saptanmıştır.

Yapılan tüm bu analizler sonucunda gerek PCI değerleri ile sürücü koltuğu aw parametresi değerleri arasında en yüksek korelasyonun 40 km/sa hızda oluşmasından gerekse istatistik değerlendirmeler sonucu ölçüm hızı olarak 40 ve 50 km/sa hızların kullanılabilir olmasından dolayı en uygun **ölçüm hızı olarak 40 km/sa** kabul edilmiştir. Bunun sonucu olarak, yapılan ölçümlerin kalibrasyonunun 40 km/sa hız için üretilen kalibrasyon parametreleri ile düzeltilerek değerlendirmelerin yapılması gerektiği saptanmıştır.

Yapılan bu çalışmada, değerlendirilecek tüm kesimlerde düşey titreşim ölçümleri 80 kg ağırlığındaki sürücü ile yapılması gerekmektedir. Ölçüm hızı olan 40 km/sa hızda, 80 kg ağırlığındaki sürücü ile yapılan kalibrasyon ölçümlerinden üretilen titreşim parametrelerinin aritmetik ortalaması alınarak 40 km/sa hız için bulunan kalibrasyon parametrelerinin 58, 80 ve 113 kg ağırlıklarındaki sürücülerle elde edilen parametreler kümesini diğer bir deyişle, kabul edilen kalibrasyon parametrelerinin geneli yansıtip yansıtmadığı istatistik olarak değerlendirilmiştir. Bu anlamda, her bir ölçüm noktası için Tek Örneklem t testi yapılmıştır. Yapılan t testi sonucunda değerlendirmede t dağılımının anlamlılık değerleri 0.05 değerinden büyük olduğu için H_1 hipotezinin doğru olduğu yani diğer bir deyişle 40 km/sa ölçüm hızı için kalibrasyon parametresi olarak kabul edilen ortalama değerlerin parametreler kümesini yansıttığı saptanmıştır. Yapılan istatistik anlamlılık değerlendirme sonuçları aşağıdaki tabloda görülmektedir.

Tablo 4.16: Kalibrasyon parametreleri ve t testi istatistik anlamlılık değerleri.

		Sürücü Koltuğu	Orta Aks Üzeri	Sağ Ön Koltuk
aw	kalibrasyon parametresi	0.1629	0.2183	0.3555
	istatistik anlamlılık	0.14	0.09	0.44
MTVV	kalibrasyon parametresi	0.2444	0.3050	0.5124
	istatistik anlamlılık	0.24	0.05	0.50
VDV	kalibrasyon parametresi	0.6624	0.8353	1.3625
	istatistik anlamlılık	0.79	0.35	0.57

Çeşitli değerlendirmeler sonucunda en uygun ölçüm hızının 40 km/sa olması gerektiği ve 80 kg ağırlığındaki sürücü ile ölçümlerin yapılmasının bir farklılık arz etmeyeceğinin istatistik olarak tespitinden sonra PAVER sistemine göre değerlendirilen 20 adet karayolunda yapılan düşey ivme ölçümleri ISO 2631-1 standardı esaslarına göre değerlendirilmiştir. 98 adet kesimin her birinin her ölçüm noktası için titreşim

parametreleri hesaplanmıştır. Bulunan parametreler, kalibrasyon parametreleri ile azaltılarak düzeltilmiş düşey titreşim parametreleri elde edilmiştir.

Daha önceden vurgulandığı üzere yapılan analizler sonucunda ölçüm hızı olarak 40 km/sa hızın en uygun hız olduğu belirlenmiştir. Fakat uygulamada, şehiriçi trafik koşullarında, belirli bir şeritten tam olarak belirli bir hızda gitmenin trafik, yolların boyuna eğimi gibi geometrik kısıtlar vb. muhtelif sebeplerle sabit hızın korunmasının mümkün olmadığı görülmüştür. Bu nedenle, ölçüm hızı 40 ± 5 km/sa olarak kabul edilmiştir. Ölçümler sırasında, cihaz dahilinde bulunan gps anteni ile bir saniye aralıkla konum verilerinin yanında hız verileri de kaydedilmiştir. Dolayısıyla değerlendirmede, 1 sn aralıklarla toplanan araç hızının aritmetik ortalaması kesimin ortalama hızı olarak kabul edilmiş ve kesimlere ait km/sa biriminde hız bileşenleri elde edilmiştir.

Hız bileşeninin düz.aw ile birlikte değerlendirmesinde en uygun ilişkinin logaritma e tabanında karşılığı alınarak düz.aw parametresinin bölümü ile elde edilmiştir. Söz konusu değerlendirme aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir.

$$\text{düz.aw} / \ln (\text{Hız}) \quad (4.2)$$

Çalışmanın veri toplama ve parametrik değerleri elde etme aşamasından sonra veriler arasındaki anlamlı ilişkiler araştırılmıştır. Bu maksatla öncelikli olarak yüzey bozulma verileri ile düzeltilmiş titreşim parametrelerinden geneli yansıtan ‘düz.aw’ parametresi arasındaki benzerlikler araştırılmıştır. Öncelikli olarak, düz.aw parametresi ile hız faktörü değerlendirmeye katılarak ya da katılmaksızın PCI değerleri arasındaki doğrusal korelasyon değerleri incelenmiştir. Bulunan sonuçlar aşağıdaki tabloda görülmektedir.

Tablo 4.17: Titreşim parametresi – PCI doğrusal korelasyon ilişkisi.

	düz.aw - PCI	düz.aw / ln (Hız) - PCI
Sürücü Koltuğu	-0.9199	-0.9226
Orta Aks Üzeri	-0.9036	-0.9037
Sağ Ön Koltuk	-0.8305	-0.8334
Ortalamalar	-0.8955	-0.8978

Değerlendirme sonrasında, PCI değerleri ile düz.aw parametreleri arasında doğrusal ilişkinin oldukça yüksek olduğu görülmüştür. En yüksek korelasyonun sürücü koltuğu

üzerinde olduğu bunu sırasıyla orta aks üzeri ve sağ ön koltuğun izlediği saptanmıştır. Ayrıca, değerlendirmeye hız bileşeni dahil edildiğinde korelasyonun çok az miktarda arttığı belirlenmiştir. SPSS programında yapılan değerlendirmede %95 hassasiyet oranında korelasyonlar anlamlı çıkmıştır. Bir başka değerlendirme de PAVER sisteminin kabul ettiği yük oluşma nedenlerine göre yapılmıştır. Bilindiği üzere PAVER sistemi taşıt dingil yüklerinin farzla olmasından kaynaklı bozulmaları ‘Yük’ türü, gece ve gündüz sıcaklık farkı ile yaz kış koşulları iklim etkilerinden kaynaklı bozulmaları ‘İklim’ türü, imalat hataları, tuzlama çalışmaları vb. kaynaklı bozulmaları ‘Diğer’ türü bozulmalar olarak 3 ana alt başlıkta birleştirmiştir. PAVER sistemi hesap esaslarında her bir bozulmanın genel sonuca etkisi Sonuç Değer (Deduct Value, DV) ile gösterilmektedir. Bu nedenle, Yük, İklim ve Diğer türü bozulma sınıflarına giren her bir bozulmanın DV değerleri hesaplanarak titreşim parametreleri ile benzerliği araştırılmıştır. Söz konusu değerlendirmeler aşağıdaki tablolarda görülmektedir.

Tablo 4.18: Titreşim – Yükden kaynaklı bozulmaların korelasyon ilişkisi.

	düz.aw - Yük (DV)	düz.aw / ln (Hız) - Yük (DV)
Sürücü Koltuğu	0.6636	0.6658
Orta Aks Üzeri	0.7010	0.7012
Sağ Ön Koltuk	0.6363	0.6389
Ortalamalar	0.6809	0.6829

Tablo 4.19: Titreşim – İklmiden kaynaklı bozulmaların korelasyon ilişkisi.

	düz.aw - İklim (DV)	düz.aw / ln (Hız) - İklim (DV)
Sürücü Koltuğu	0.3668	0.3649
Orta Aks Üzeri	0.3500	0.3460
Sağ Ön Koltuk	0.3992	0.3977
Ortalamalar	0.3917	0.3894

Tablo 4.20: Titreşim – Diğer Seb. kaynaklı bozulmaların korelasyon ilişkisi.

	düz.aw - Diğer (DV)	düz.aw / ln (Hız) - Diğer (DV)
Sürücü Koltuğu	0.7301	0.7281
Orta Aks Üzeri	0.6190	0.6143
Sağ Ön Koltuk	0.6230	0.6222
Ortalamalar	0.6621	0.6600

Değerlendirmeler sonucunda, genel olarak yüksek korelasyonun diğer sebeplerden ve yükten kaynaklı bozulmalarda olduğu iklimden kaynaklı bozulmaların korelasyonun ise daha az olduğu saptanmıştır. Bu durumun sebebi olarak, boyuna ve enine çatlak,

blok çatlak, soyulma ve sökülme vb. iklimden kaynaklı bozulmaların yüzey düzgünsüzlüğü üzerine dolayısıyla düşey titreşime etkilerinin az oluşu olduğu rahatlıkla söylenebilmektedir. Yükten kaynaklı bozulmalar ile diğer sebeplerden kaynaklı bozulmalar sürüş konforunu olumsuz etkilemekle birlikte titreşim parametreleri ile arasında anlamlı bir ilişkinin olduğunu söylemek mümkündür. DV değişkenleri ile titreşim verileri arasındaki ilişkiler incelendiğinde göreceli olarak yükten kaynaklı bozulmalarda orta aks üzerindeki ölçümlerde korelasyon daha yüksek iken diğer sebeplerden kaynaklı bozulmalarda sürücü koltuğu üzerindeki korelasyon daha yüksek olmaktadır. SPSS programında yapılan değerlendirmede %95 hassasiyet oranında korelasyonlar anlamlı çıkmıştır. Ayrıca yukarıdaki tablolarda, genel itibarıyla farklı ölçüm noktalarındaki korelasyonlar arasındaki farkların küçük olduğu ve hız bileşeninin değerlendirmeye katılmasıyla da korelasyonlarda önemli farkların oluşmadığı açıklıkla görülmektedir.

Benzer bir değerlendirme de ayrı ayrı her bir bozulma türü için yapılmıştır. Değerlendirme sonucunda, 1 nolu 'Timsah Sırtı Çatlak', 4 nolu 'Kabarma ve Oturma', 6 nolu 'Çökme', 11 nolu 'Yama', 13 nolu 'Oyulma', 15 nolu 'Tekerlek izi', 18 nolu 'Şişme', 19 nolu 'Soyulma ve Sökülme' ve 20 nolu 'Ayrışma' türü bozulmaların titreşim verileri ile korelasyonlarının diğer bozulma türlerine oranla yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca söz konusu bozulmalarda, SPSS programında yapılan değerlendirmede %95 hassasiyet oranında korelasyonlar anlamlı çıkmıştır. İlgili bozulmalar aşağıdaki tabloda görülmektedir.

Tablo 4.21: düz.aw titreşim parametresi ile korelasyonları anlamlı bozulmalar.

Bozulma Kodu	Bozulma	Bozulma Nedeni
1	Timsah Sırtı Çatlak	Yük
4	Kabarma ve Oturma	Diğer
6	Çökme	Diğer
11	Yama	Diğer
13	Oyulma	Yük
15	Tekerlek izi	Yük
18	Şişme	Diğer
19	Soyulma ve Sökülme	İklim
20	Ayrışma	İklim

Yapılan değerlendirmede, düz.aw titreşim parametresi ile korelasyonları anlamlı çıkan bu bozulma türleri oluşma nedenlerine göre değerlendirildiğinde her üç oluşma nedenine göre de bozulmaların titreşim parametresi üzerinde etkili olduğu gözlemlenmiştir. İncelenen yollarda ağırlıklı olarak görülen bozulmalar ve titreşim parametreleri ile korelasyonları aşağıdaki tablolarda görülmektedir.

Tablo 4.22: Titreşim – Muhtelif bozulmaların doğrusal korelasyon ilişkisi.

	düz.aw - 1 (DV)	düz.aw - 2 (DV)	düz.aw - 4 (DV)	düz.aw - 5 (DV)
Sürücü Koltuğu	0.4502	0.2029	0.3111	0.1514
Orta Aks Üzeri	0.4592	0.2037	0.2911	-0.0189
Sağ Ön Koltuk	0.4927	0.0227	0.3009	0.1292
Ortalamlar	0.4908	0.1218	0.3086	0.0919
	düz.aw - 6 (DV)	düz.aw - 10 (DV)	düz.aw - 11 (DV)	düz.aw - 12 (DV)
Sürücü Koltuğu	0.5040	-0.0458	0.6051	0.2630
Orta Aks Üzeri	0.4482	-0.0457	0.6437	0.3033
Sağ Ön Koltuk	0.4364	-0.1212	0.5280	-0.0193
Ortalamlar	0.4663	-0.0894	0.5937	0.1396
	düz.aw - 13 (DV)	düz.aw - 14 (DV)	düz.aw - 15 (DV)	düz.aw - 16 (DV)
Sürücü Koltuğu	0.3287	-0.1194	0.4832	0.1370
Orta Aks Üzeri	0.3461	-0.1784	0.5410	0.1357
Sağ Ön Koltuk	0.3653	-0.0655	0.4470	0.6317
Ortalamlar	0.3646	-0.1091	0.4967	0.3826
	düz.aw - 17 (DV)	düz.aw - 18 (DV)	düz.aw - 19 (DV)	düz.aw - 20 (DV)
Sürücü Koltuğu	0.2742	0.5121	0.5406	0.3882
Orta Aks Üzeri	0.1869	0.4337	0.5225	0.4356
Sağ Ön Koltuk	0.0588	0.4510	0.5401	0.5175
Ortalamlar	0.1471	0.4703	0.5435	0.4883

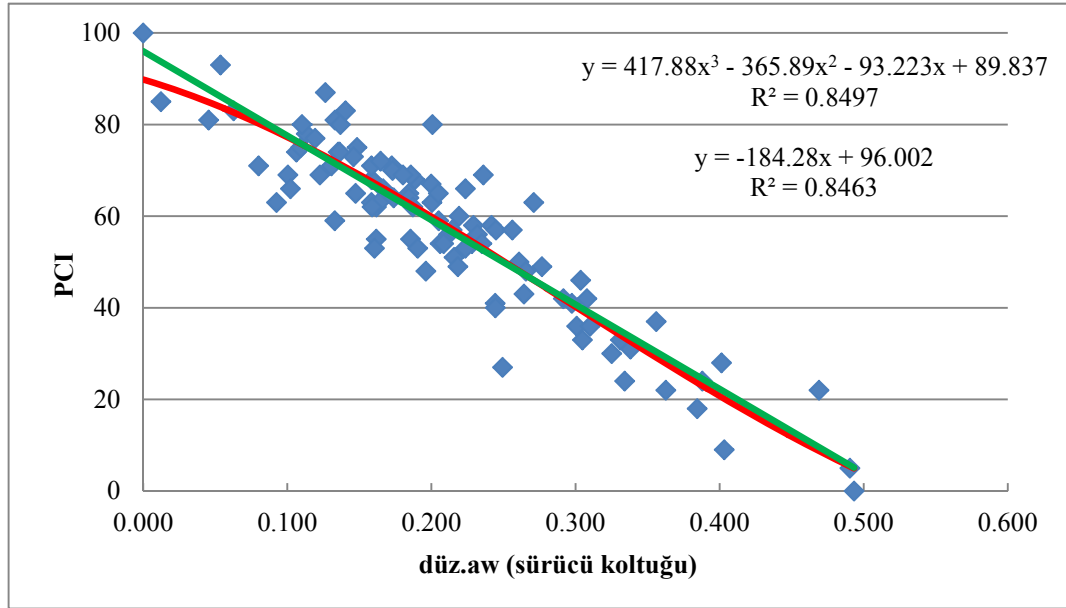
Tablo 4.23: Titreşim – Hız - Muhtelif bozulmaların doğrusal korelasyon ilişkisi.

	düz.aw / ln (Hız) - 1 (DV)	düz.aw / ln (Hız) - 2 (DV)	düz.aw / ln (Hız) - 4 (DV)	düz.aw / ln (Hız) - 5 (DV)
Sürücü Koltuğu	0.4508	0.1962	0.3079	0.1502
Orta Aks Üzeri	0.4580	0.1974	0.2869	-0.0202
Sağ Ön Koltuk	0.4937	0.0174	0.2994	0.1277
Ortalamlar	0.4912	0.1158	0.3061	0.0904
	düz.aw / ln (Hız) - 6 (DV)	düz.aw / ln (Hız) - 10 (DV)	düz.aw / ln (Hız) - 11 (DV)	düz.aw / ln (Hız) - 12 (DV)
Sürücü Koltuğu	0.5004	-0.0516	0.6085	0.2591
Orta Aks Üzeri	0.4441	-0.0525	0.6458	0.2965
Sağ Ön Koltuk	0.4340	-0.1252	0.5319	-0.0194
Ortalamlar	0.4631	-0.0948	0.5973	0.1367
	düz.aw / ln (Hız) - 13 (DV)	düz.aw / ln (Hız) - 14 (DV)	düz.aw / ln (Hız) - 15 (DV)	düz.aw / ln (Hız) - 16 (DV)
Sürücü Koltuğu	0.3287	-0.1174	0.4981	0.1320
Orta Aks Üzeri	0.3458	-0.1770	0.5539	0.1297
Sağ Ön Koltuk	0.3659	-0.0644	0.4588	0.6273
Ortalamlar	0.3648	-0.1077	0.5096	0.3780
	düz.aw / ln (Hız) - 17 (DV)	düz.aw / ln (Hız) - 18 (DV)	düz.aw / ln (Hız) - 19 (DV)	düz.aw / ln (Hız) - 20 (DV)
Sürücü Koltuğu	0.2659	0.5100	0.5389	0.3856
Orta Aks Üzeri	0.1782	0.4288	0.5213	0.4313
Sağ Ön Koltuk	0.0525	0.4491	0.5375	0.5157
Ortalamlar	0.1391	0.4671	0.5415	0.4857

Ayrıca yukarıdaki tablolarda, genel itibariyle farklı ölçüm noktalarındaki korelasyonlar arasındaki farkların küçük olduğu ve hız bileşeninin değerlendirmeye katılmasıyla da korelasyonlarda önemli farkların oluşmadığı açıklıkla görülmektedir.

Doğrusal ilişkileri tanımlayan korelasyonlardan başka daha birçok değerlendirme yapılmakla birlikte dikkate değer bir başka ilişkinin 3. derece polinom ilişkisi olduğu tespit edilmiştir. Söz konusu ilişkiler her ölçüm noktası için ayrı ayrı grafik olarak aşağıda görülmektedir.

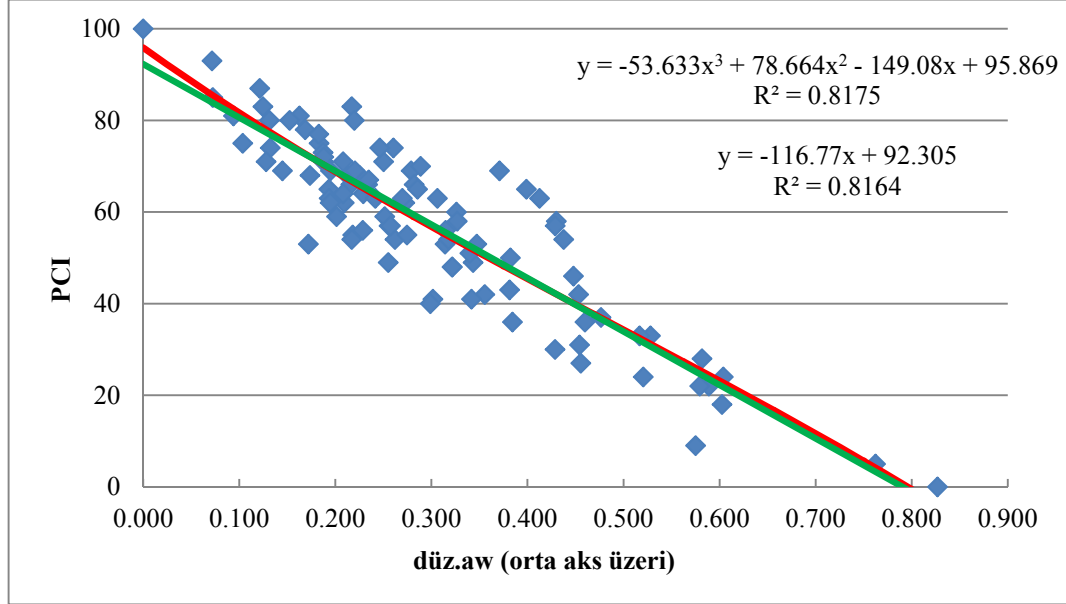
Değerlendirmeler sonucunda benzerliklerin oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Öte yandan, benzerliklerin hız bileşeninin değerlendirmeye alındığı durumda, alınmadığı durumdan daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca, en yüksek ilişkinin sürücü koltuğunda yapılan ölçümlerde olduğu görülmektedir. Sürücü koltuğunu sırasıyla orta aks üzeri ve üç noktada (sürücü koltuğu, orta aks üzeri ve sağ ön koltuk) yapılan ölçümlerin ortalamalarının alınarak oluşturulan toplam ortalamalar değerinin takip ettiği görülmektedir. En düşük ilişki sağ ön koltukta yapılan ölçümlerde görülmektedir.



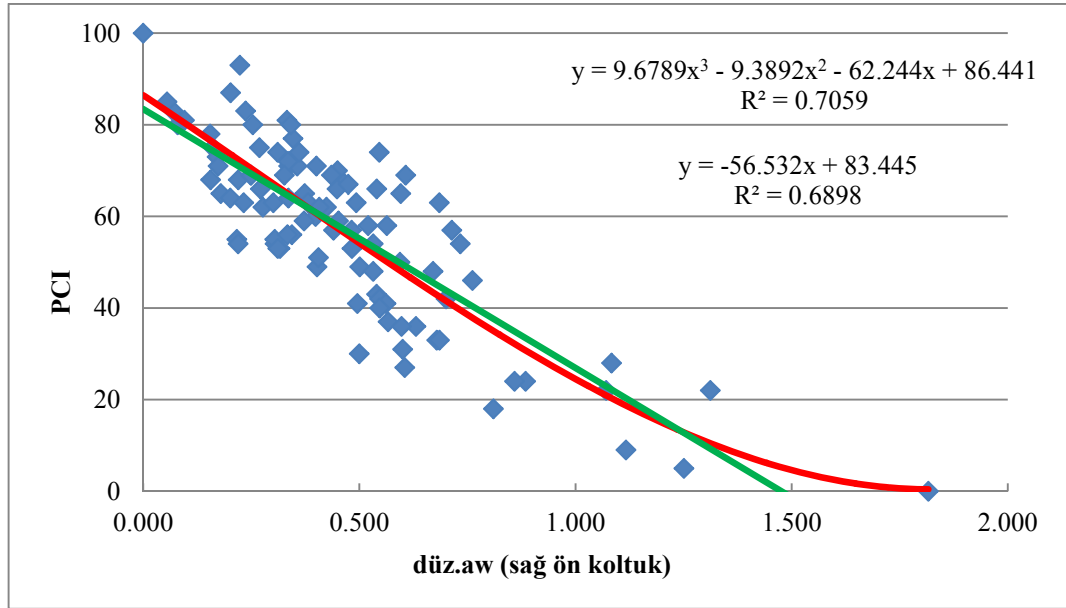
Şekil 4.28: Sürücü koltuğu titreşim – PCI ilişkisi.

Sürücü koltuğu üzerinde oluşan düz.aw parametresi ile PCI arasında 3. derece polinom ilişkisi $R^2=0.8497$, doğrusal ilişkisi $R^2=0.8463$ regresyon değeri ile belirlenmiştir. Yapılan tüm değerlendirmelerde, ağırlıklı olarak sürücü koltuğu üzerinde oluşan titreşimlerden üretilen parametrelerle, yüzey bozulma çıktıları arasında yüksek bir ilişkinin olduğu göze çarpan bir gerçektir. Bu nedenle, titreşim parametrelerinden

üstyapının durumunu tahmin eden modellerin oluşturulmasında sürücü koltuğu üzerinden kaydedilen titreşim verileri önemli bir rol oynamaktadır.



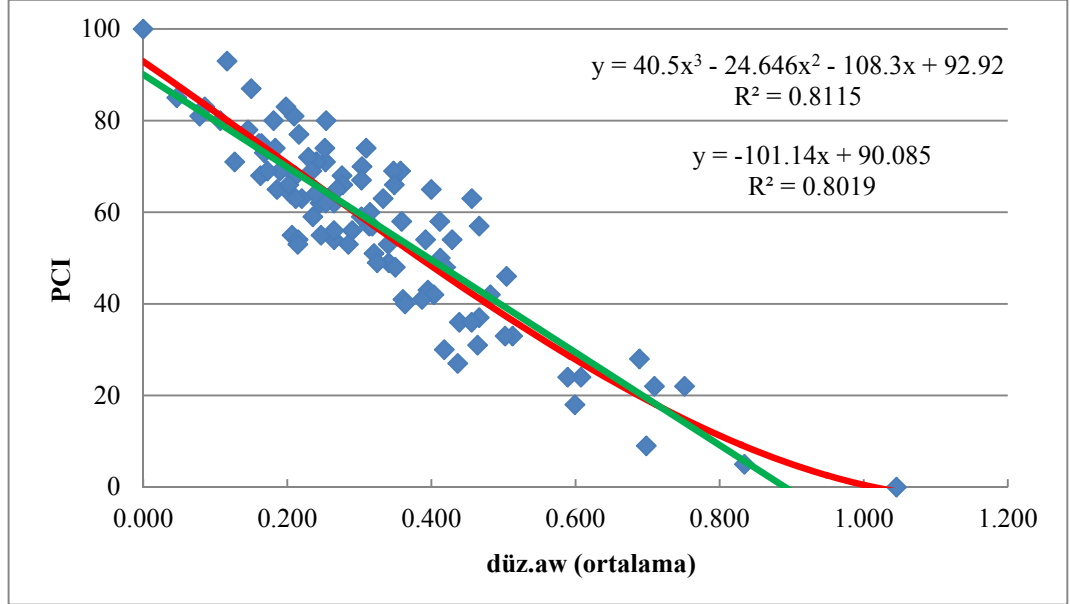
Şekil 4.29: Orta aks üzeri titreşim – PCI ilişkisi.



Şekil 4.30: Sağ ön koltuk titreşim – PCI ilişkisi.

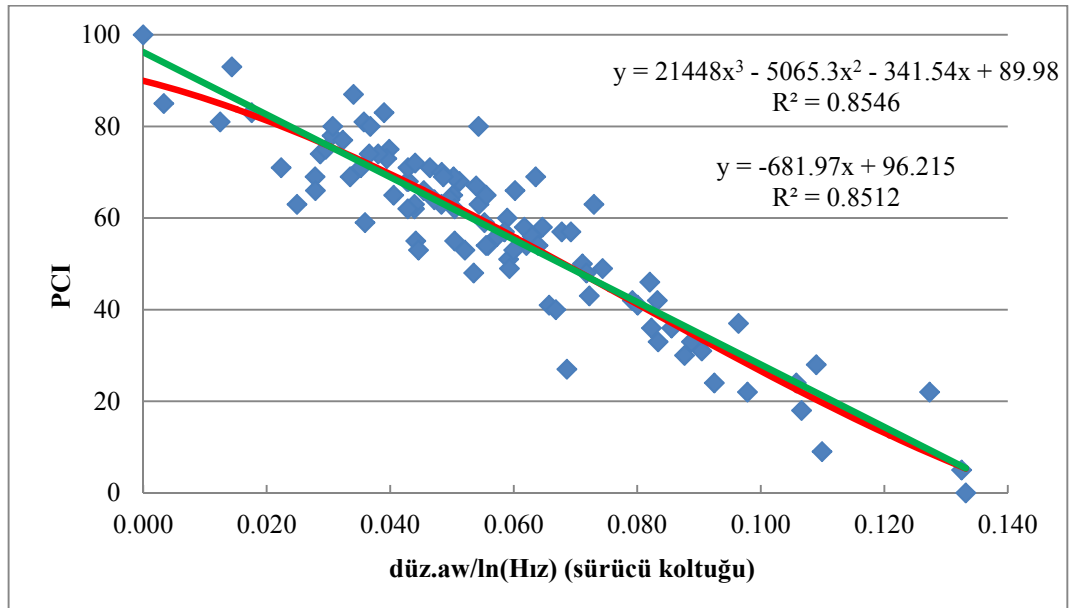
Orta aks üzeri ve sağ ön koltukta yapılan değerlendirmelerde sırasıyla polinom regresyon değerleri $R^2=0.8175$ ve $R^2=0.7059$, doğrusal regresyon değerleri $R^2=0.8164$ ve $R^2=0.6898$ olarak karşımıza çıkmaktadır. Oldukça yüksek olan bu regresyon

katsayıları, orta aks üzeri ve sağ ön koltukta yapılan titreşim ölçümlerinin de PCI değeri ile yakından ilişkili olduğunu göstermektedir. Yapılan ölçümlerin ortalamalarında ise polinom regresyon $R^2=0.8115$ doğrusal regresyon $R^2=0.8019$ olarak karşımıza çıkmaktadır.

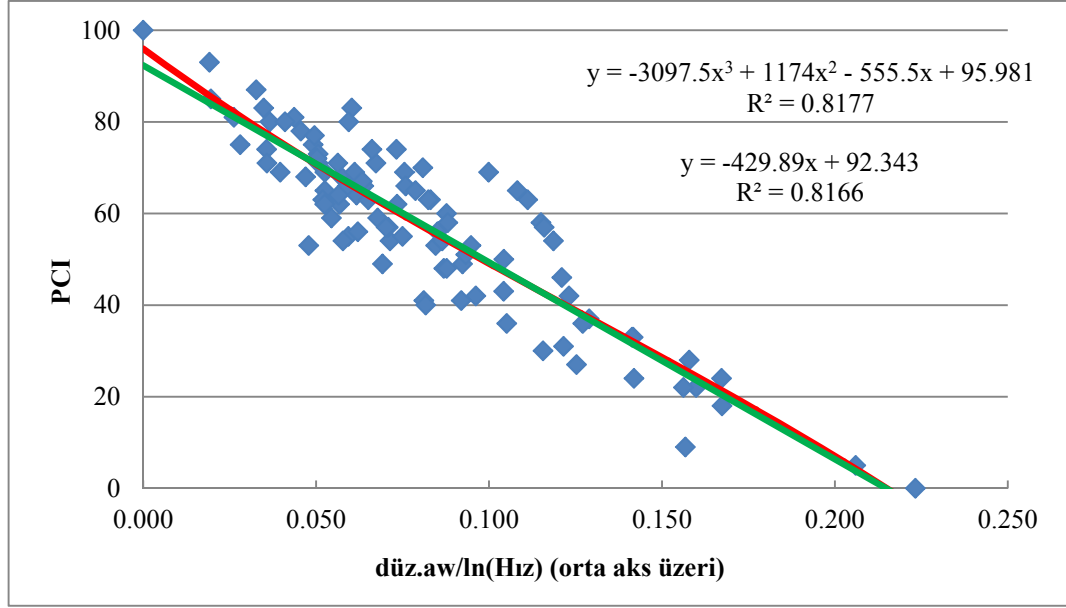


Şekil 4.31: Toplam ortalamalar titreşim – PCI ilişkisi.

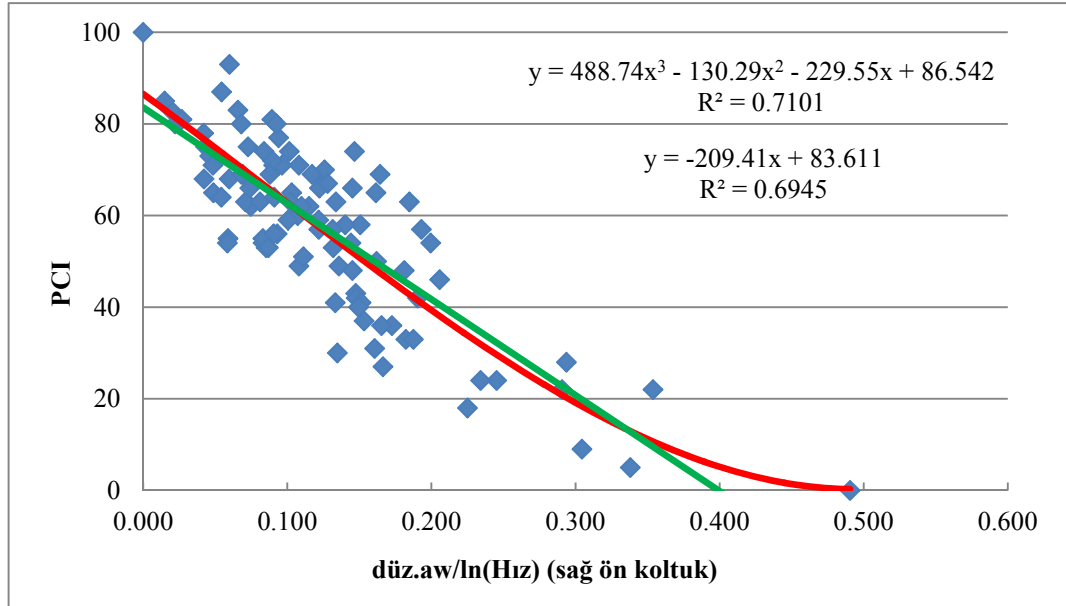
Sonraki aşamada, değerlendirmeler hız bileşeni de eklenerek yapılmıştır.



Şekil 4.32: Sürücü koltuğu titreşim - hız - PCI ilişkisi.



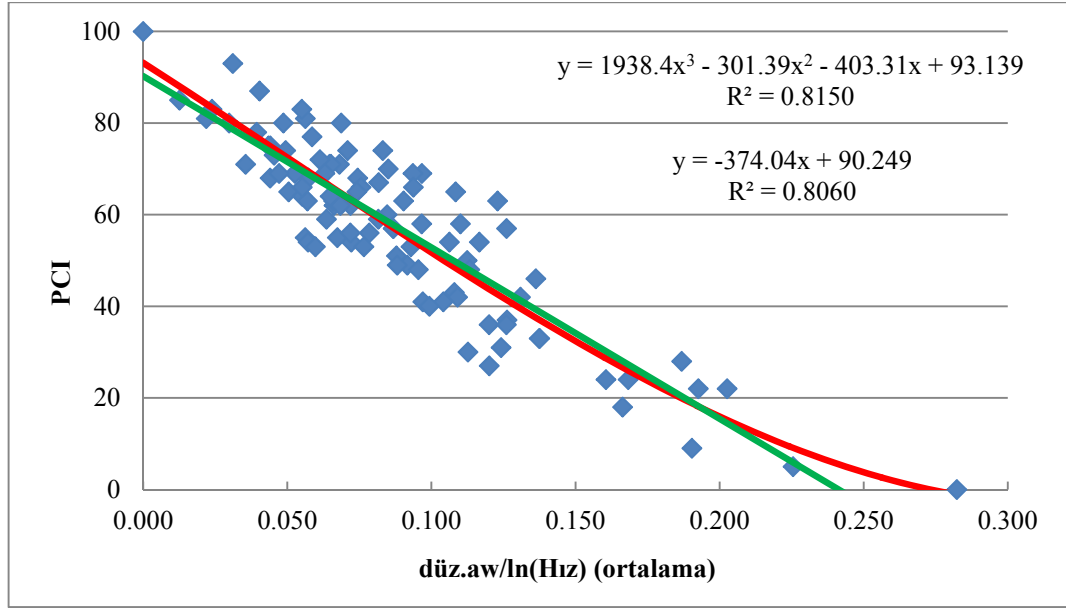
Şekil 4.33: Orta aks üzeri titreşim - hız - PCI ilişkisi.



Şekil 4.34: Sağ ön koltuk titreşim - hız - PCI ilişkisi.

Genel olarak, hız bileşeninin katsayı olarak değerlendirmeye girmesiyle regresyon katsayılarının dolayısıyla ilişkilerin derecesinin arttığı gözlemlenmiştir. Hız bileşeni değerlendirilmeye alındığında da en yüksek regresyon polinom regresyon $R^2=0.8546$ doğrusal regresyon $R^2=0.8512$ olarak sürücü koltuğunda, daha sonra polinom regresyon $R^2=0.8177$ doğrusal regresyon $R^2=0.8166$ ile orta aks üzeri, polinom regresyon $R^2=0.8150$ doğrusal regresyon $R^2=0.8060$ ile toplam ortalamalar ve son olarak polinom

regresyon $R^2=0.7101$ doğrusal regresyon $R^2=0.6945$ ile sağ ön koltukta görülmektedir. Ölçülen ivme ölçüm değerlerinden elde edilen titreşim parametreleri PCI ile yüksek korelasyonlu olduğu gözlemlenmiş olsa da tekrar yapılan ölçümlerin istatistik analizi sonucunda istatistik olarak güvenilir olmadıkları tespit edildiğinden, modelleme çalışmalarında kullanılmamıştır.



Şekil 4.35: Toplam ortalamalar titreşim - hız - PCI ilişkisi.

Doğrusal ve polinom değerlendirmeler sonucu bulunan regresyon ilişkileri aşağıdaki tabloda özet haliyle görülmektedir.

Tablo 4.24: Doğru ve polinom değerlendirme korelasyon değerleri.

Regresyonlar (R^2)		düz.aw - PCI	düz.aw/ln(Hız) - PCI
Doğrusal İlişki	Sürücü Koltuğu	0.8463	0.8512
	Orta Aks Üzeri	0.8164	0.8166
	Sağ Ön Koltuk	0.6898	0.6945
	Ortalamalar	0.8019	0.8060
Polinom İlişki	Sürücü Koltuğu	0.8497	0.8546
	Orta Aks Üzeri	0.8175	0.8177
	Sağ Ön Koltuk	0.7059	0.7101
	Ortalamalar	0.8115	0.8150

Söz konusu verilerin karşılaştırılması sonucu üstyapı performansı tahmininde kullanılmak üzere yeni ölçekler de oluşturulmuştur. Bu kapsamda, eldeki veri kümesinin analizi sonucu 'standart PCI ölçeği'nin karşılığında her ölçüm noktası için titreşim parametresi değerleri belirlenmiştir. Geliştirilen bu ölçekler yardımıyla, herhangi bir ölçüm noktasında, m/sn^2 biriminde ölçülen ve değerlendirilen titreşim parametresinin PCI olarak karşılığını tespit etmek mümkün olacaktır. Bu amaçla, a_w ve 1 sn aralıklarla ölçülen verilerden üretilen a_w parametresinin en büyüğü olan MTVV parametresinin yeni ölçekleri aşağıdaki tablolarda görülmektedir. Her bir ölçüm noktası için üretilen değerler m/sn^2 birimindedir. VDV parametresi kesimin titreşim değerinden çok kişinin (sürücü ve/veya yolcu) maruz kaldığı toplam titreşim değerini yansıtan bir çıktıdır. Titreşimin sağlık yönünden değerlendirmesinde kullanılan bu parametre için ölçek üretilmesine ihtiyaç duyulmamıştır.

Tablo 4.25: a_w – PCI değerlendirme ölçeği.

PCI Ölçeği	Sürücü Koltuğu	Orta Aks Üzeri	Sağ Ön Koltuk
100	0.063 + a_w kalb	0.071 + a_w kalb	0.112 + a_w kalb
85	0.107 + a_w kalb	0.166 + a_w kalb	0.300 + a_w kalb
70	0.182 + a_w kalb	0.287 + a_w kalb	0.435 + a_w kalb
55	0.234 + a_w kalb	0.312 + a_w kalb	0.489 + a_w kalb
40	0.323 + a_w kalb	0.440 + a_w kalb	0.791 + a_w kalb
25	0.402 + a_w kalb	0.562 + a_w kalb	1.061 + a_w kalb
10	> 0.448 + a_w kalb	> 0.701 + a_w kalb	> 1.466 + a_w kalb

Tablo 4.26: MTVV – PCI değerlendirme ölçeği.

PCI Ölçeği	Sürücü Koltuğu	Orta Aks Üzeri	Sağ Ön Koltuk
100	0.354 + MTVV kalb	0.345 + MTVV kalb	0.603 + MTVV kalb
85	0.447 + MTVV kalb	0.738 + MTVV kalb	1.055 + MTVV kalb
70	0.521 + MTVV kalb	0.923 + MTVV kalb	1.767 + MTVV kalb
55	0.642 + MTVV kalb	1.068 + MTVV kalb	1.947 + MTVV kalb
40	0.706 + MTVV kalb	1.227 + MTVV kalb	2.094 + MTVV kalb
25	0.900 + MTVV kalb	1.356 + MTVV kalb	2.573 + MTVV kalb
10	> 0.997 + MTVV kalb	> 1.507 + MTVV kalb	> 2.809 + MTVV kalb

4.3. PCI TAHMİN MODELİ OLUŞTURULMASI

Yapılan bu değerlendirmeler ile elde edilen sonuçlar doğrultusunda PCI değerini ivme ölçümlerinden tahmin edebilen modeller oluşturulmuştur. Modelleme çalışmalarına geçmeden önce yapılan analizlerin birbirlerine karşı rölatif doğrulukları incelenmiştir. Bu anlamda, istatistikte bir ölçme aracının tekrarlanan ölçümlerde aynı sonucu verme derecesinin göstergesi olarak kullanılan ‘Güvenilirlik Değeri’ incelenmiştir. Güvenirlik kavramı yapılan her ölçüm için gereklidir, çünkü güvenilirlik bir test ya da ankette yer alan soruların birbirleri ile olan tutarlılığını ve kullanılan ölçeğin ilgilenilen sorunu ne derece yansıttığını ifade eder. Güvenirlik analizinde kullanılan modellerden biri de Alfa Modelidir (Cronbach’s Alpha Coefficient). Ölçekte yer alan k adet veri setinin varyansları toplamının genel varyansa oranlanması ile bulunan ve 0 ile 1 arasında değerler alan Alfa katsayısı, bir ağırlıklı standart değişim ortalamasıdır. Alfa (α) katsayısına bağlı olarak ölçeğin güvenilirliği aşağıdaki gibi yorumlanır (Kalaycı Ş., 2006).

- $0.00 \leq \alpha < 0.40$ ise ölçek güvenilir değildir,
- $0.40 \leq \alpha < 0.60$ ise ölçeğin güvenilirliği düşük,
- $0.60 \leq \alpha < 0.80$ ise ölçek güvenilir, ve
- $0.80 \leq \alpha < 1.00$ ise ölçek yüksek derecede güvenilir bir ölçektir.

Bilindiği gibi, tüm değerlendirme çalışmalarında, Sürücü koltuğu, Orta aks üzeri ve Sağ ön koltuk ölçüm noktalarında ve bu noktaların ortalaması olmak üzere dört adet titreşim ölçümünden üretilen a_w , MTVV ve VDV titreşim parametrelerinin hız faktörü ile birlikte veya ayrı olacak şekilde değerlendirilmesiyle her kesim için 24 adet farklı parametre üretilmiştir. Tam bu noktada, üretilen parametrelerinin istatistik olarak anlamlılığını ve tutarlılığını kontrol etmek amacıyla SPSS paket programı kullanılarak üretilen veriler arasında ‘Güvenilirlik Analizi’ yapılmıştır. Güvenilirliği denetlenen 24 adet parametrenin Cronbach's Alpha değeri $\alpha = 0.943$ olarak bulunmuştur. Bu sonuç, yukarıda verilen ölçek aralıklarında kıyaslandığında verilerin ‘Yüksek Derecede Güvenilir’ olduğu sonucuna ulaşılmaktadır.

Önceki yapılan istatistik analizlerde aynı yol koşullarında sağ ön koltuk üzerinden ölçülen tekrarlı titreşim ölçümlerinden üretilen parametrelerin aralarındaki farkın

istatistik olarak anlamlı olduğu sonucu saptanmıştı. Bu değerlendirme ışığında, sağ ön koltuk'da yapılan ölçümlerden üretilen parametrelerin istatistik olarak tutarlı olmadığı kabul edilmiş ve dolayısıyla modelleme çalışmalarında kullanılmamıştır. Öte yandan, değerlendirmelerde kullanılan ISO 2631-1 standardında VDV parametresi yalnızca titreşimin sağlık yönünden incelenmesinde kullanılması tavsiye edildiğinden söz konusu bu parametre de modelleme çalışmalarında kullanılmamıştır. Bu kabuller ışığında, modelleme çalışmalarında kullanılacak değişkenlerin sürücü koltuğu ve orta aks üzerinden yapılan ölçümlerden elde edilen aw ve MTVV titreşim parametrelerinin, ölçülen kesimin ölçüm hızı ile kombinasyonlarından üretilen değişkenlerden olacağı belirlenmiştir. Bu anlamda, söz konusu bu 8 adet parametrenin Cronbach's Alpha değeri $\alpha = 0.841$ olarak bulunmuştur. Bu sonuç da, yukarıda verilen ölçek aralıklarında kıyaslandığında verilerin 'Yüksek Derecede Güvenilir' olduğu sonucuna ulaşmaktadır.

Ayrıca, söz konusu bu parametrelerin birbirlerine göre korelasyonları aşağıdaki tabloda görülmektedir. Aşağıdaki tabloda alt indislerden SK= Sürücü Koltuğu, OAU= Orta Aks Üzeri ölçüm yerlerinde yapılan titreşim ölçümlerinden üretilen parametreleri göstermektedir.

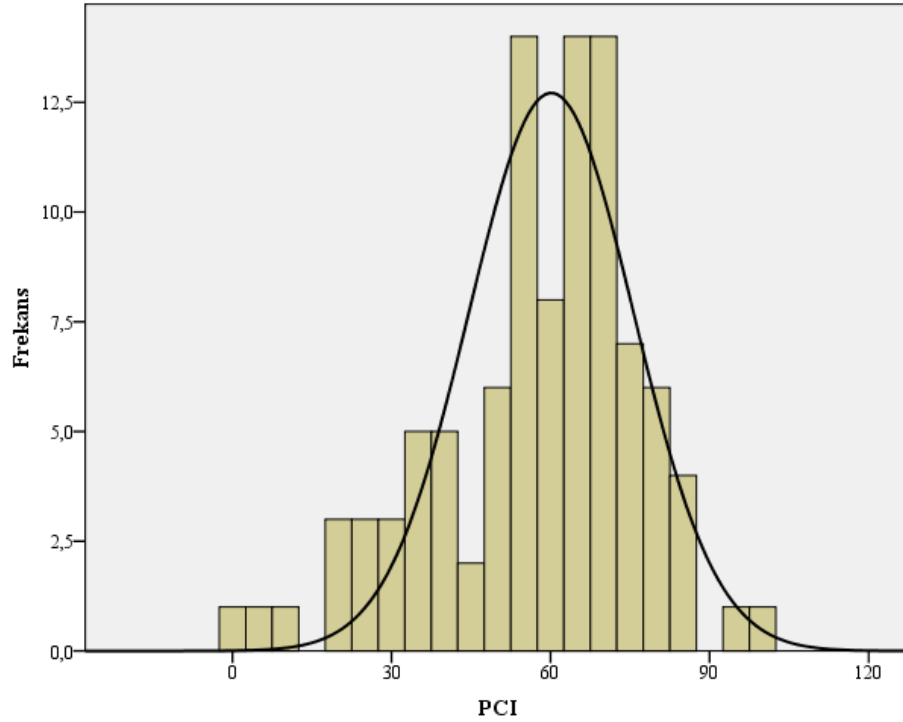
Tablo 4.27: Modelleme çalışmasında kullanılacak parametreler ve korelasyonları.

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

Yukarıdaki tablo incelendiğinde güvenilirliği oldukça yüksek olan bu değişkenlerin aynı zamanda korelasyonlarının da oldukça yüksek ve birbirlerine yakın olduğu görülmektedir. Bu durumun, regresyon analizinde oldukça sık karşılaşılan kolinerite

(bağımlılık) probleminin karşılaşılmasına neden olacağı açıkça görülmektedir. Bu amaçla, uygun modelin belirlenmesinde adım adım her bir değişken ayrı ayrı değerlendirilerek PCI tahmin modeli oluşturulmuştur.

Bilindiği üzere, bir regresyon modelinin kurulmasında olmazsa olmaz koşulun modellenecek bağımlı değişkenin normal dağılıma uygun olması gerektiğidir. Bu amaçla, oluşturacağımız PCI tahmin modelinde bağımlı değişken PCI değerlerinin normal dağılıma uygunluğunu test etmek amacıyla Tek Örneklem Kolmogorov Smirnov Testi uygulanmıştır. Değerlendirme sonucunda, çift kuyuklu anlamlılık değeri $0.175 > 0.05$ bulunarak PCI değerlerinin %95 güven aralığında normal dağılıma uygun olduğu saptanmıştır. Ayrıca, histogram grafiği aşağıdaki şekilde görülmekte olan PCI değerlerinin önemli miktarda çarpıklık arz etmediği de söz konusu şekilden görülmektedir.



Şekil 4.36: PCI değerlerinin normal dağılım histogramı.

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

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

Burada; (4.3)

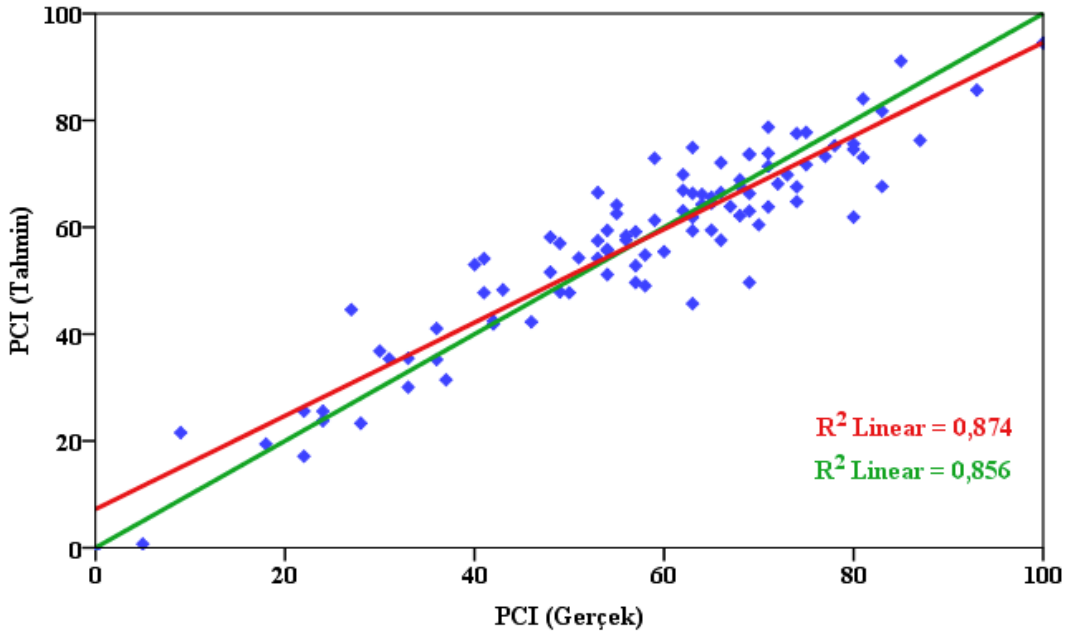
$\text{düz. } aw_{SK} = \text{düzeltilmiş } aw_{\text{Sürücü Koltuğu}} \text{ (m/sn}^2\text{)}$

$\text{düz. } aw_{OAU} = \text{düzeltilmiş } aw_{\text{Orta Aks Üzeri}} \text{ (m/sn}^2\text{)}$

$\text{düz. } MTVV_{OAU} = \text{düzeltilmiş } MTVV_{\text{Orta Aks Üzeri}} \text{ (m/sn}^2\text{)}$

$\text{Hız} = \text{Kesimin ortalama ölçüm hızı (km/sa)}$

Oluşturulan bu modelde, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında regresyon değeri 0.874 ($R = 0.935$) gibi oldukça yüksek bir ilişki yakalanabilmiştir. Gerçek ve model kullanılarak elde edilen PCI değerleri arasındaki farklar grafik olarak şu şekildedir.



Şekil 4.37: PCI değerleri arasındaki farklar.

Oluşturulan modele ait istatistik parametreler aşağıdaki tabloda görülmektedir. tabloda görüldüğü üzere gerek katsayılar da gerekse korelasyon değerlerinde istatistik anlamlılık değeri 0.05'den küçük yani, bulunan sonuçların istatistik olarak %95 anlamlılık sınırında anlamlı olduğu saptanmıştır.

Tablo 4.28: PCI Tahmin Modeli istatistik verileri.

	Sabitler		t	Anlamlılık	Korelasyonlar		Kolinerite İstatistiği
	Katsayılar	Standart Hata			PCI ile	Anlamlılık	Kondüsyon indeksi
Sabit	94.508	1.824	51.817	.000			1
düz.aw_{SK} / ln(Hız)	-453.472	73.158	-6.199	.000	-.923	.000	5.496
düz.aw_{OAU} / ln(Hız)	-196.310	49.460	-3.969	.000	-.904	.000	7.088
duz.MTVV_{OAU}	5.227	2.264	2.309	.023	-.563	.000	17.371

Bağımsız değişkenler arasındaki kolinerite (bağımlılık) problemi için yapılan değerlendirmede, kondüsyon indeksi sınır değeri için genel kabul görmüş değerlendirme; orta seviyede bir kolinerite problemi için 10 veya 15, ileri seviyede bir kolinerite problemi için ise 30 değerleri kriter alınmıştır (Pektaş, A.O., 2013). Bu değerlendirmeye göre bağımsız değişkenler arasında önemli bir kolinerite probleminin olmadığı görülmektedir.

Bilindiği üzere yapılan bu çalışmada, geliştirilen bir ivme ölçüm seti ile ölçümler yapılmış ve elde edilen sonuçlardan tahmin modeli geliştirilmiştir. Modelin regresyon sonuçlarının istatistik olarak anlamlı olmasının yanında tahmin yakınlığı da oldukça yüksektir. Bu özelliklerinin yanında, modelde, girdi olarak iki noktadan ölçülen verilerin kullanılması ile beraber iki adet titreşim parametresinin de değerlendiriliyor olması ölçümler sırasında yapılacak hataların azaltılması yönünde modeli oldukça güçlü kıldığı aşıkardır. Bununla beraber, titreşim ölçümünün, ISO 2631-1 'Tüm Vücut Titreşimi' standardı değerlendirmelerini nihai olarak verebilen doz ölçer ve çözümleyici cihazlarının var olduğu bilinmektedir. Öte yandan, günümüzde gelişen cep telefonu teknolojisiyle beraber ivme ölçerler cep telefonlarında teşkil edilmekte ve muhtelif programlar aracılığıyla titreşim verilerine ulaşılabilir. Bu amaçla, tek bir ölçüm noktasında, hassasiyeti, kalibrasyonu ve güvenilirliği yüksek herhangi bir ivmeölçer ile ölçülen ve değerlendirilerek elde edilen titreşim parametrelerinin de kullanılarak PCI değerinin tahminine yönelik modeller de geliştirilmiştir. Sürücü koltuğu ve orta aks üzerinde ölçülen verilerden üretilen düz.aw parametresini kullanabilen, hız bileşeni dahil edilerek ve edilmeyerek toplam dört adet model oluşturulmuştur. Model analizlerinin tamamında istatistik olarak anlamlı sonuçlar kabul edilmiştir.

İlk olarak, sürücü koltuğu üzerinde yapılan ölçümden üretilen düz.aw ve PCI arasında bir model oluşturulmuştur. Birçok farklı ilişkinin araştırılmasından sonra en uygun ve en uç noktalarda verilere anlamlı sonuçlar verebilen regresyonu 0.846 (R=0.920) olan doğrusal model oluşturulmuştur. Oluşturulan model şu şekildedir.

$$PCI = -184.276 * düz. aw_{SK} + 96.002 \quad (4.4)$$

Burada;

$$düz. aw_{SK} = düz. aw_{Sürücü Koltuğu} (m/sn^2)$$

Tablo 4.29: Sürücü koltuğu modeli istatistik verileri.

	Sabitler		t	Anlamlılık
	Katsayılar	Standart Hata		
Sabit	96.002	1.845	52.025	0.00
düz.aw_{SK}	-184.276	7.974	-23.110	0.00

İkinci olarak, orta aks üzerinde yapılan ölçümden üretilen düz.aw ve PCI arasında bir model oluşturulmuştur. Birçok farklı ilişkinin araştırılmasından sonra en uygun ve en uç noktalarda verilere anlamlı sonuçlar verebilen regresyonu 0.816 (R=0.904) olan doğrusal model oluşturulmuştur. Oluşturulan model şu şekildedir.

$$PCI = -116.773 * düz. aw_{OAU} + 92.305 \quad (4.5)$$

Burada;

$$düz. aw_{OAU} = düz. aw_{Orta Aks Üzeri} (m/sn^2)$$

Tablo 4.30: Orta aks üzeri modeli istatistik verileri.

	Sabitler		t	Anlamlılık
	Katsayılar	Standart Hata		
Sabit	92.305	1.886	48.947	0.00
düz.aw_{OAU}	-116.773	5.622	-20.771	0.00

Üçüncü model olarak, sürücü koltuğu üzerinde yapılan ölçümden üretilen düz.aw ve araç ölçüm hızı ile PCI arasında bir model oluşturulmuştur. Birçok farklı ilişkinin araştırılmasından sonra en uygun ve en uç noktalarda verilere anlamlı sonuçlar

verebilen regresyonu 0.856 (R=0.925) olan doğrusal model oluşturulmuştur. Oluşturulan model şu şekildedir.

$$PCI = -186.483 * düz. aw_{SK} + 0.948 * Hız + 58.868 \quad (4.6)$$

Burada;

$$düz. aw_{SK} = düz. aw_{Sürücü Koltuğu} \quad (m/sn^2)$$

$$Hız = Kesimin ortalama ölçüm hızı \quad (km/sa)$$

Tablo 4.31: Sürücü koltuğu ve Hız modeli istatistik verileri.

	Sabitler		t	Anlamlılık
	Katsayılar	Standart Hata		
Sabit	58.868	14.496	4.061	0.000
düz.aw_{SK}	-186.483	7.798	-23.914	0.000
Hız	0.948	0.367	2.582	0.011

Son model olarak, Orta aks üzerinde yapılan ölçümden üretilen düz.aw ve araç ölçüm hızı ile PCI arasında bir model oluşturulmuştur. Birçok farklı ilişkinin araştırılmasından sonra en uygun ve en uç noktalarda verilere anlamlı sonuçlar verebilen regresyonu 0.817 (R=0.904) olan doğrusal model oluşturulmuştur. Oluşturulan model şu şekildedir.

$$PCI = -429.890 * \frac{düz.aw_{OAU}}{\ln(Hız)} + 92.343 \quad (4.7)$$

Burada;

$$düz. aw_{OAU} = düz. aw_{Orta Aks Üzeri} \quad (m/sn^2)$$

$$Hız = Kesimin ortalama ölçüm hızı \quad (km/sa)$$

Tablo 4.32: Orta aks üzeri ve Hız modeli istatistik verileri.

	Sabitler		t	Anlamlılık
	Katsayılar	Standart Hata		
Sabit	92.343	1.886	48.957	0.00
düz.aw_{OAU} / ln(Hız)	-429.890	20.682	-20.785	0.00

Yapılan çalışma çerçevesinde PAVER sistemi genel prensipleri, işleyişi ve hesap metodolojileri açıklanmıştır. Sonrasında seçilen farklı türde ve yoğunlukta bozulmaların bulunduğu yollarda kesimler oluşturulmuş ve değerlendirmeleri yapılmıştır. Değerlendirilen kesimler ışığında PCI bozulma tahmin modeli oluşturulmuştur. Öte yandan, değerlendirilen tüm bu kesimlerde titreşim ölçümleri yapılmış ve ISO 2631-1 standardı kapsamında titreşim parametreleri oluşturulmuştur. Farklı ölçüm noktalarından ölçülen titreşim parametreleri ile PCI verileri arasında en uygun regresyon araştırması yapılarak titreşim parametrelerinden PCI tahmin modelleri oluşturulmuştur. Söz konusu bu çalışma kapsamında, üretilen titreşim parametrelerinden PCI tahmin modelleri ve PCI bozulma modeli aracılığıyla PAVER sisteminin zor olan veri toplama ve değerlendirme zahmetine girmeksizin bir taşıtla titreşim ölçümü yapılarak üstyapıların mevcut performansını gösteren PCI değeri tahmin edilebilecek ve yine oluşturulan PCI bozulma modeli ile kesimlerin gelecek tahmini yapılabilecektir. Yapılan bu çalışma ve üretilen modeller yardımıyla herhangi bir belediyenin sorumluluğunda bulunan üstyapıları bitümlü sıcak karışım türündeki karayolu ağına ait Ağ Düzeyinde bir ÜYS kurulmasının oldukça kolay ve işlevsel olacağı düşünülmektedir. Şüphesiz ki söz konusu bu modeller yardımıyla hayata geçirilecek bir ÜYS çerçevesinde kesimlere ait bakım&onarım ve/veya yenileme uygulama projelerinin oluşturulabilmesi için yerinde gözlem ve ölçümlerin yapılması gerekmektedir.

4.4. ÜYS KURULMASINDA İZLENECEK ADIMLAR

Çalışmanın son aşamasında, tezin amacına uygun olarak herhangi bir BSK üstyapılı karayolu ağına Ağ Düzeyinde bir Üstyapı Yönetim Sistemi kurulması için izlenecek adımlar sırasıyla açıklanmıştır. Çalışma kapsamında yalnızca BSK kaplamalı yollar değerlendirildiği için ÜYS kurulması planlanan karayolu ağına üstyapıları diğer türlerde olan yollar mutlaka değerlendirme dışı bırakılmalı ve/veya üstyapıları diğer türlerde olan bu yollarda, üstyapının türüne göre literatürde tavsiye edilen bir başka ÜYS sistemi kurulmalıdır. Ülkemizde, şehiriçi karayolu yol ağlarında bulunan yolların bakım, onarım ve yenileme sorumluluğu, yolların hizmet düzeylerine (anaarter, arter, cadde, sokak vb.) göre çeşitli türlerde belediyelerce paylaşıldığı bilinmektedir. Oysaki, ÜYS temel prensipleri gereği, hizmet düzeyi bilgisi envanter verisi olarak tutulmak

kaydıyla bir şehirdeki tüm yolların aynı ağ üzerinde değerlendirilmesinin oldukça ekonomik kazançlar sağlayacağı göz ardı edilmemelidir. Bu nedenle, eldeki mevcut olan bütçeyi daha ekonomik olarak değerlendirebilmek amacıyla yol ağının mümkün olduğunca büyük tutulması tavsiye edilir. Bu gerçekler ışığında, BSK kaplamalı bir karayolu ağına ait ÜYS kurulması adımları şu şekildedir;

Adım 1: Karayolu Ağının Tanımlanması

ÜYS kurulmasında ilk adım hizmet verilecek yol ağının belirlenmesidir. Üstyapı yöneticileri yollar, park alanları, hava alanları ve buna benzer kaplamalı veya kaplamasız imal edilmiş, taşıtlara ait alanların yönetiminden sorumlu olabilirler. Bu alanların üstyapıları üzerinde yönetim kararları verebilmek için her bir birimi ayrı birer ağ elemanı olarak tanımlanmak gereklidir. Bunun yanında her bir eleman ayrı tanımlanmasına rağmen tüm elemanlar bilgisayar ortamında aynı veritabanında tutulmalıdır. ÜYS kurulması planlanan yol ağında bulunan her bir yol bir bölüm olarak kabul edilmelidir. Örneğin bir x isimli bir bulvar bir bölüm olarak kabul edilmelidir. Ardından belirlenen bölümler kesimlere ayrılmalıdır. Bu anlamda PAVER sisteminin kesim belirlemede kabul edilen geometrik kısıtlar, üstyapı mekanik yapısı, trafik, imalat tarihi, yol hizmet düzeyi, drenaj durumu, üstyapı mevcut performansı kriterleri göz önüne alınarak kesimler belirlenmelidir. Bu bilgiler doğrultusunda, ilgili mahalli idarenin bir bölüm olarak kabul ettiği hizmet düzeyi ana arter ve üzeri bir yolda (Örneğin, X bulvarı), yol boyunca hizmet düzeyi, şerit sayısı ve üstyapı türü gibi önemli yol karakteristikleri değişmiyorsa yuvarlak ada kavşaklar vb. türde önemli kesişim noktaları kesimlerin başlangıç ve bitiş noktaları olarak kabul edilmesi tavsiye edilir. Ayrıca, yine mahalli idarenin bir bölüm olarak kabul ettiği hizmet düzeyi arter ve altı bir yolda (Örneğin, X caddesi veya X sokak) yine yol karakteristiğinde önemli değişikliklerin olmaması durumunda tüm kavşak kesişim noktalarının kesimlerin başlangıç ve bitiş noktaları olarak kabul edilmesi tavsiye edilir. Öte yandan, bu değerlendirme kriterlerinin değerlendirilmesi sırasında kesimlerin uzunluklarının en az 100 m ve en çok 2000 m aralığında olması tercih edilmelidir. Yukarıda atfedilen kriterlere göre belirlenen kesimler bu aralığın dışında kalıyorsa kısa olan komşu kesimlerin birleştirilmesi, uzun olan kesimlerin uygun noktalardan ayrılması gerekmektedir. İlgili karayolu ağında alt birimlere ayrılan bölüm ve kesimlerin bozulma seyri izlemek amacıyla tekerrür verilerin toplanacağı ve yıllar içinde değişimlerin

inceleneyeceği göz önüne alındığında ağ tanımlamasının çok dikkatli yapılması gerektiği açıklıkla görülmektedir. Ayrıca, seçilen her kesimde üstyapı performansı ölçümleri yapılacağı göz önüne alındığında kesimlerin başlangıç ve bitiş noktalarının araç içerisinde farkedilebilir rijit noktalara göre röper krokileri oluşturulmasının ölçümleri kolaylaştıracağı unutulmamalıdır. Günümüz teknolojik koşullarında, yapılan ÜYS kurma çalışmalarında kayıtların tutulması için bilgisayar desteğinin alınması gerektiği kaçınılmaz bir gerçektir. Bu amaçla, konumsal ve sözel ifadelerin aynı anda kayıt altına alınmasına olanak tanıyan Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yazılımlarının tercih edilmesinin sayısız avantajlar sağlayacağı açıktır. CBS yazılımları yardımıyla derlenen tekerrür verilerin rahatlıkla kayıt altında tutulabileceği, görsel sunumlarının daha kolay yapılabileceği ve ilgili kurum/kuruluşların yöneticilerine karar verme konusunda kolaylıklar sağlayacağı düşünüldüğünde altlık olarak CBS yazılımlarının tercih edilmesi tavsiye edilmektedir.

Adım 2: Belirlenen Kesimlerin Envanter Bilgilerinin Elde Edilmesi

Bir ÜYS kurulmasında ikinci adım tanımlanan karayolu ağına ait kesimlerin envanter bilgilerinin tutulmasıdır. Bu amaçla, her değerlendirme periyodu için ve her bir kesime ait aşağıdaki envanter bilgileri kaydedilmelidir.

- Bölüm adı
- Kesim adı
- Kesim kodu (ID Numarası)
- Kesimin PCI değeri
- Kesim uzunluğu
- Kesim şerit genişliği
- Kesim şerit sayısı
- Kesimin banket ve şeritler dahil (platform) genişliği
- Kesimin hizmet düzeyi (anaarter, arter vb.)
- Kesimin kaplamasının ilk yapım tarihi
- Yön sayısı (çift yön, tek yön)
- Kesim kaplama türü
- Kesim kaplaması tabaka kalınlıkları
- Kesim kaplaması yenileme tarihleri
- Kesim kaplaması yenileme miktarı (kullanılan malzeme miktarı (ton))
- Bakım-onarım tarihleri
- Bakım-onarım miktarları
- Varsa kesimlerin Trafik verileri
 - Yıllık ortalama günlük trafik (YOGT)
 - Araç türleri oranları (otomobil, orta yüklü ticari taşıt, otobüs, kamyon, çekici+römork)

- Varsa kesimlerin İklim verileri
 - Yıllık maksimum kuru termal sıcaklık
 - Yıllık minimum kuru termal sıcaklık
 - Yıllık ortalama kuru termal sıcaklık
 - Yıllık maksimum yaş termal sıcaklık
 - Yıllık minimum yaş termal sıcaklık
 - Yıllık ortalama yaş termal sıcaklık
 - Yıllık ortalama yağış miktarı

Yukarıda sıralanan envanter verilerinden başka değerlendirilen kesimlerde ÜYS'yi kuran kurum/kuruluşların karar vermede göz önünde bulundurabileceği diğer envanter verilerinin de eklenebileceği unutulmamalıdır. Söz konusu envanter verilerinin her yıl güncellenerek veri tabanının güncel halde tutulması gerekmektedir.

Adım 3: Kesimlerin PCI Değerlerinin Belirlenmesi

Kurulması planlanan ÜYS'de yolların mevcut performanslarının belirlenmesi aşamasında, yapılan tez çalışması kapsamında oluşturulan yöntemin kullanılması tavsiye edilmektedir. Bu anlamda, üstyapıların mevcut performansını belirlemek için titreşim ölçüm cihazına ihtiyaç duyulmaktadır. Öncelikli olarak ilgili kurum/kuruluşun titreşim ölçümünde kullanacağı cihazı ve operatörü tespit etmesi gerekmektedir. Yapılan bu tez çalışmasında sürücü koltuğu ve orta aks üzerinden yapılan titreşim ölçümlerini kullanarak üretilen titreşim parametreleri ve aracın ortalama hız bileşeni dahil ederek PCI değerini tahmin edebilen PCI tahmin modelleri geliştirilmiştir. Söz konusu tahmin modelleri parametrik olarak şu şekilde özetlenebilir.

- $PCI = f(\text{düz. } aw_{SK}, \text{ düz. } aw_{OAU}, \text{ düz. } MTVV_{OAU}, Hız), R^2 = 0.874$
- $PCI = f(\text{düz. } aw_{SK}), R^2 = 0.846$
- $PCI = f(\text{düz. } aw_{OAU}), R^2 = 0.816$
- $PCI = f(\text{düz. } aw_{SK}, Hız), R^2 = 0.856$
- $PCI = f(\text{düz. } aw_{OAU}, Hız), R^2 = 0.817$

Burada;

$\text{düz. } aw_{SK} = \text{düzeltilmiş } aw_{\text{Sürücü Koltuğu}} \text{ (m/sn}^2\text{)}$

$\text{düz. } aw_{OAU} = \text{düzeltilmiş } aw_{\text{Orta Aks Üzeri}} \text{ (m/sn}^2\text{)}$

$\text{düz. } MTVV_{OAU} = \text{düzeltilmiş } MTVV_{\text{Orta Aks Üzeri}} \text{ (m/sn}^2\text{)}$

$Hız = \text{Kesimin ortalama ölçüm hızı (km/sa)}$

Üretilen tahmin modellerinin parametrik gösteriminden de anlaşıldığı üzere iki adet ölçüm noktasında (sürücü koltuğu ve orta aks üzeri) yapılan ölçümlerden üretilen dört adet veri ($düz.aw_{SK}$, $düz.aw_{OAU}$, $düz.MTVV_{OAU}$ ve Hız) kullanılarak PCI değeri tahmin edilebilmektedir. Bu amaçla, öncelikli olarak kullanılması planlanan model seçilerek modele uygun verilerin toplanabileceği titreşim ölçüm cihazı seçilir. Yukarıda parametrik gösterimleri bulunan PCI tahmin modellerinden hangisinin kullanılacağına tahmin doğruluğunun bir göstergesi olan regresyon (R^2) değerine göre kendi sorumluluğunda bulunan karayolu ağına ÜYS kurmayı planlayan kurum/kuruluşlarca karar verilmelidir. İlgili regresyon değeri arttıkça modelin tahmin doğruluğunun arttığı istatistik olarak kabul edilen bir gerçektir.

Ölçüm cihazında bulunan ivmeölçer(ler)'in minimum $\pm 4g$ ve 500 ± 15 mV/g hassasiyetinde olması ayrıca, minimum saniyede 1000 adet ivme verisi kaydedilmesine olanak tanıyabimesi gerekmektedir. Eğer PCI tahmininde hız verisi kullanılması öngörülmüşse, ölçüm aracı içerisinde minimum 15 m doğrulukta ölçüm yapabilen ve minimum 1 sn aralıklarda noktasal hız verisi kaydedilmesine olanak tanıyan GPS aparatı da bulundurulmalıdır. Seçilen cihazda sürücü koltuğunda yapılan ölçümlerden üretilen titreşim parametrelerinin kullanılması öngörülmüşse sürücü koltuğu üzerine yerleştirilen ivmeölçerin kaplamasının ISO 2631-1 standardında belirtildiği şekilde olması gerektiği unutulmamalıdır. ÜYS kurulması planlanan ağda ivme ölçümlerine geçilmeden önce Bölüm 4.2'de açıklandığı şekilde kalibrasyon ölçümlerinin yapılması gerekmektedir. Söz konusu kalibrasyon ölçümlerinden üretilen titreşim parametreleri karayolu ağına ait kesimler için üretilen titreşim parametrelerinin düzeltilmesinde kullanılacaktır. Bu amaçla, ölçümlerin yapılacağı Euro Car segment değerlendirmesi alt orta sınıf C segmentine göre hususi amaçlarla kullanılan bir araç (otomobil) belirlenmelidir. Titreşim ölçümleri için kullanılması kabul edilen bu aracın aynı yıl içerisinde yapılacak tüm titreşim ölçümlerinde değiştirilmemesi gerektiği tavsiye edilmektedir. Aracın değiştirilmesi durumunda yeni araç için kalibrasyon ölçümlerinin tekrar yapılması ve kesimlerin değerlendirilmesi için bulunan titreşim parametrelerinin aynı aracın ölçümleriyle kalibre edilmesi gerektiği mutlaka unutulmamalıdır. Diğer bir deyişle, kesimlerin titreşim ölçümleri hangi araçla yapılırsa, o ölçümlerin kalibrasyon parametreleri de aynı araçla yapılacak ölçümlerden bulunması ve aralarındaki fark alınarak düzeltilmiş titreşim parametrelerinin elde edilmesi gerekmektedir. Tüm

ölçümler sırasında ilgili ölçüm aracının tekerlek hava basınçlarının, taşıt içerisindeki zati yüklerin ağırlığının ve operatörün (sürücü) değişmemesi gerektiği ve tüm ağırlık ölçümleri (kalibrasyon ölçümleri dahil) bitirilmeden aracın yürür aksanında herhangi bir tamirat ve yenileme yapılmaması gerektiği de dikkat edilmesi gereken önemli bir noktadır. Ayrıca, titreşim ölçümlerinin yıl içerisinde üstyapı yapım ayları olarak kabul edilen Nisan ayı başı ve Ağustos ayı sonunda yapılması tavsiye edilmektedir. Yıl içerisinde kabul edilecek bu ölçüm döneminde yağışlı günlerde titreşim ölçümlerinin yapılmaması dikkat edilmesi gereken bir diğer noktadır. Ayrıca, farklı yıllarda yapılan titreşim ölçümlerinde ölçümler için aynı sürücü ve aracının kullanılması halinde dahi kalibrasyon ölçümleri her yıl için yinelenmeli, kesimlerin titreşim parametrelerinin o yıl için yapılan kalibrasyon ölçüm parametreleri ile düzeltilmesi gerekmektedir. Mevcut performansı belirlenmek istenen kesimlerin ve kalibrasyon parametrelerinin titreşim ölçümleri, seçilen titreşim ölçüm cihazı ve seçilen ölçüm aracı kullanılarak bu iş için uygun görülen operatör tarafından 40 ± 5 km/sa hızında yapılmalıdır. Kalibrasyon için kullanılacak titreşim parametre ölçümlerinin yapılacağı karayolunun ve üstyapısının, yeni yapılmış BSK kaplamalı, imalat hatalarının (ondülasyon, segregasyon vb.) yok denecek kadar az ve boyuna eğiminin % 4'den küçük olmasına dikkat edilmelidir. Söz konusu kalibrasyon ölçümlerini yapmak için seçilen yol, mevcut performansı belirlenmek istenen kesimlerde yapılacak titreşim ölçümleri için göreceli olarak üstyapının en iyi durumunu tasvir ettiği kabul edildiğinden ve kesimlerde yapılan titreşim değerlendirmesinde aracın mekanik sisteminden kaynaklı titreşim etkilerinden kurtulmak için kullanıldığından özenle seçilmelidir. Kalibrasyon ölçümleri yapılacak yolun uzunluğunun minimum 400 m olması gerekmektedir. Kalibrasyon parametreleri mümkün olduğunca aynı taşıt yörüngesinde yapılan minimum 12 adet ölçüm sonucu üretilen parametrelerin aritmetik ortalaması alınarak bulunur.

Mevcut performansı belirlenmek istenen tüm kesimler ve kalibrasyon için yukarıda belirtilen prensipler göz önünde tutularak titreşim ölçümleri yapılır. Belirlenen kesimlerde, kesim boyunca devam eden her bir trafik şeridi için (yol kullanıcılarının ağırlıklı olarak kullandığı tekerlek izi yörüngeleri takip edilerek) titreşim ölçümleri yapılmalıdır. Ayrıca yapılan tüm ölçümler, kesimin başlangıç ve bitiş noktaları arasında belirlenen 40 ± 5 km/sa hız aralığında fakat mümkün olduğunca 40 km/sa sabit hıza sadık kalınmaya çalışılarak tamamlanmalıdır. Ölçümleri yapan operatör tarafından

yukarıda atfedilen kısıtların bir ya da birkaçına uyulmadığı düşünülen ölçümlerin yeniden yapılması gerekmektedir. Ölçümler sırasında, taşıtın trafik şeridinden sapmalarını ya da ölçüm hızındaki ani değişimleri önlemek amacıyla ölçüm yapılan şeridin trafiğe kapatılması veya ölçümlerin trafiğin sakin olduğu gece saatlerinde yapılması tavsiye edilir. Ayrıca, yolda güvenlik amacıyla yapılan, önemli ölçüde büyük hız kesicilerin ölçüm değerleri veri dosyasından çıkarılarak değerlendirme yapılmalıdır. Yapılan tüm ölçümler sonucu elde edilen ivme verileri ISO 2631-1 standardında belirtilen kurallara göre değerlendirilerek titreşim parametreleri üretilir. Belirlenen kesimler için bulunan titreşim parametrelerinden kalibrasyon için bulunan titreşim parametreleri çıkarılarak kesimlerin düzeltilmiş titreşim parametreleri elde edilir. Söz konusu titreşim parametreleri ve öngörülümüşse hız verisi kullanılarak, kullanılması planlanan PCI tahmin modeli aracılığıyla kesimlerin mevcut performansını gösteren PCI değerleri elde edilir.

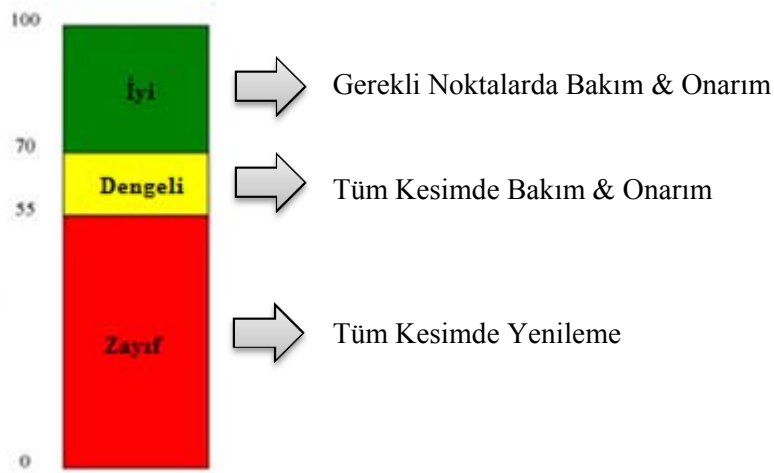
Adım 4: Kesimlerin Sonraki Yıllara ait PCI Değerlerinin Tahmin Edilmesi

ÜYS kurma çalışmalarının bu aşamasında yol ağına ait kesimlerin mevcut performans değerleri ve üstyapının yaşı verileri kullanılarak Şekil 4.17 ve Tablo 4.4’de gösterilen ‘Üstyapı Bozulma Tahmin Modeli’ yardımıyla kesimlerin sonraki 5 yıl için tahmini PCI değerleri elde edilir. Çalışma kapsamında geliştirilen ‘Üstyapı Bozulma Tahmin Modeli’nin, model kurmaya elverişli sayılacak yeter sayıda veri toplanmasından sonra, envanter verileri çerçevesinde tutulan ve kesimlerin karakteristiklerini yansıtan Trafik ve İklim verileri ile yeniden oluşturulması önerilmektedir. Böyle bir çalışma yapılması durumunda, sonraki 5 yıl için tahmini PCI değerleri, geliştirilen bu tahmin modeli kullanılarak bulunmalıdır. Ayrıca, tahmini PCI değerlerinin bulunmasında, kesimlerin sonraki 5 yıla ait tahmin edilen trafik ve iklim verilerinin modele girdi olarak kullanılması gerekmektedir. Bu anlamda, ÜYS’yi işleten ilgili kurum/kuruluş tarafından etkili olduğunu düşünülen başka bileşenlerinde modele girdi olarak kullanılabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Öte yandan, yeterli veri birikimi ve edinilen tecrübe ışığında ‘Üstyapı Bozulma Tahmin Modeli’nin sürekli olarak geliştirilmesinin ve güncellenmesinin, çalışan ÜYS’nin güçlendirilmesi açısından önemli bir zorunluluk olduğu unutulmamalıdır. Mevcut bütçenin tahsisi konusunda en önemli değerlendirme kriteri olarak, mevcut ve sonraki 5 yıl için tahmin edilen PCI değerlerinin olduğu yadsınamaz bir gerçektir. Bu nedenle, tahmin edilen PCI değerlerinin doğruluğu gerek

mevcut bütçenin harcanması gerekse gelecek yıllara ait ihtiyaç duyulan bütçenin belirlenmesinde karar vericilere en doğru kararın verilmesinde yardımcı olacaktır.

Adım 5: Kesimlerin Bakım, Onarım ve Yenileme Kararlarının Verilmesi

ÜYS kurma çalışmalarında, kesimlerin mevcut PCI değerleri ile sonraki 5 yıl için bulunan tahmini PCI değerlerinin belirlenmesinden sonra ilgili kurum/kuruluşların BSK üstyapılı yollarının yönetimine ayracağı ödenek doğrultusunda bütçe tertibi yapılır. Bu amaçla, Geleneksel PCI Ölçeği kavramının kullanılması tavsiye edilmektedir. Bu kapsamda, kabul edilen değerlendirmeye göre PCI değeri 70 üzeri yollarda varsa yapılması zaruri olan noktalarda bakım ve onarım işlemlerinin yapılması, PCI değeri 70 ve 55 arasında olan yollarda gerekli olan tüm noktalarda esaslı bakım ve onarım çalışmalarının yapılması, PCI değeri 55 ve altında olan yollarda kesim boyunca projelendirilerek tüm üstyapının yenilenmesi gerekmektedir. Söz konusu değerlendirme grafik olarak şu şekildedir.



Şekil 4.38: Bakım&Onarım ve yenileme stratejileri şematik gösterimi.

İlgili kurum/kuruluş tarafından bu kararların alınmasında, sonraki 5 yıl için bulunan tahmini PCI değerleri altlık olarak kullanılarak eşik değerlere yakın olan kesimlerin bir üst yatırım seviyesinde (bakım&onarım veya yenileme) değerlendirilmesi tavsiye edilir.

Yapılan bu çalışma kapsamında oluşturulan yöntemde elde edilen sonuçlar ağ düzeyi ÜYS kurmaya yönelik olarak tasarlanmıştır. Bu anlamda çıktılar, ÜYS kurulan tüm

karayolu ağının makro düzeyde değerlendirilmesine olanak tanımaktadır. Bu nedenle, ilgili kurum/kuruluşun karar vericilerinin aldığı kararlar sonucu iyileştirme öngörülen kesimleride ilgili teknik personeller tarafından yerinde incelemeler yapılarak uygulama projelerinin hazırlanması ve hazırlanan bu uygulama projelerine göre iyileştirme çalışmalarının yapılması gerekmektedir. Tüm bakım, onarım ve yenileme çalışmaları için hazırlanan uygulama projelerinde yardımcı kılavuz olarak Karayolları Teknik Şartnamesinin kullanılması gerekmektedir.

Bütçeleme sırasında hangi kesimlerde öncelikli müdahalenin yapılacağı konusunda karar verme kriteri olarak literatürde kabul edilen öncelik belirleme yöntemlerinden birinin kullanılması en doğru karara ulaşılmasını kolaylaştıracaktır. Söz konusu öncelik belirleme yöntemleri şu şekilde özetlenebilmektedir.

Ömür Döngü Maliyeti: Bir yol üstyapısının ekonomik ömür boyu dikkate alınarak değerlendirmesidir.

- Üstyapının durumu tanımlandıktan sonra, bozulma ilerleme şekli belirlenir.
- Bakım eşik değerleri belirlenir
- Birim maliyetler belirlenir.
- Standart üstyapı enkesit tipleri belirlenir.
- Veri setlerine göre değerlendirme yapılır
- Ömür döngü maliyeti hesaplanır.

Net Bugünkü Değer (NBD): İlk yapım maliyeti, bakım maliyeti, rehabilitasyon maliyeti, taşıt işletme maliyetleri vb. ilerideki yıllara ait maliyetler, faiz oranı dikkate alınarak, bugünkü değer üzerinden hesaplanır.

$$NBD = \text{Gelecekteki Maliyet} / (1+i)^n \quad (4.8)$$

Burada;

i= faiz oranı (borçlanma faizi)

n= yıl

Fayda – Maliyet Analizi: Belirlenen iyileştirme seçenekleri arasında yol kullanıcıları ve yönetici kurum/kuruluşa ait faydaların toplam yapım ve bakım maliyetlerine

oranlanmasıyla elde edilir. Fayda / Maliyet oranı en yüksek olandan itibaren uygun kesimlerin uygun iyileştirme stratejileri programa alınır.

Politik Kararların Ön Planda Olması: Karar vericinin veya üstyapı mühendisinin kendisine veya politikayı dikkate alarak önceliğe karar vermesi şeklinde uygulanır.

Tersine Öncelik Belirleme: Bu stratejide iyi kesimler önce bakıma alınarak, ömürleri uzatılır ve en kötü durumda olan kesimler en son dikkate alınır.

Birden Fazla Faktörün Dikkate Alınması: Üstyapı mevcut performansı, kesimin trafik hacmi vb. birden fazla değerlendirme kriterinin uygun ağırlık katsayıları ile çarpılması ile her kesimin puanı ortaya çıkarılır. En az çıkan kesim önce olmak üzere öncelik sıralamaları yapılır. Yapılan öncelik sıralamasına göre iyileştirme programı hazırlanır.

İlk Yapım Maliyeti Düşük Olan Kesim Önceliği: Tüm kesimlerde ihtiyaç duyulan Bakım&Onarım çalışmaları tamamlandıktan sonra üstyapısı yenilenecek kesimlerde en düşük yapım maliyetine sahip kesimlere öncelik verilerek iyileştirme programı hazırlanır.

Beklenen Faydaya Göre Öncelik Belirleme: Trafik, iklim vb. bileşenler dikkate alınarak karayolunun hizmet seviyesine göre kesimlerin önem katsayıları belirlenir. Yapım, bakım ve gelecekteki bakım maliyetleri dikkate alınarak en büyük faydayı sağlayan kesime öncelik verilerek iyileştirme programı hazırlanır.

Bütçe Kısıtı Dikkate Alınarak Öncelik Belirleme: Kesimlerin gerekli bakım, onarım ve yenileme maliyetlerinin belirlenmesinden sonra küçükten büyüğe doğru öncelik verilerek iyileştirme programı hazırlanır.

En Kötü Kesim En Öncelikli Kesim Yaklaşımı: Kesimlerin mevcut performansını belirleyen PCI değerleri küçükten büyüğe sıralanır ve buna göre öncelik verilerek iyileştirme programı hazırlanır.

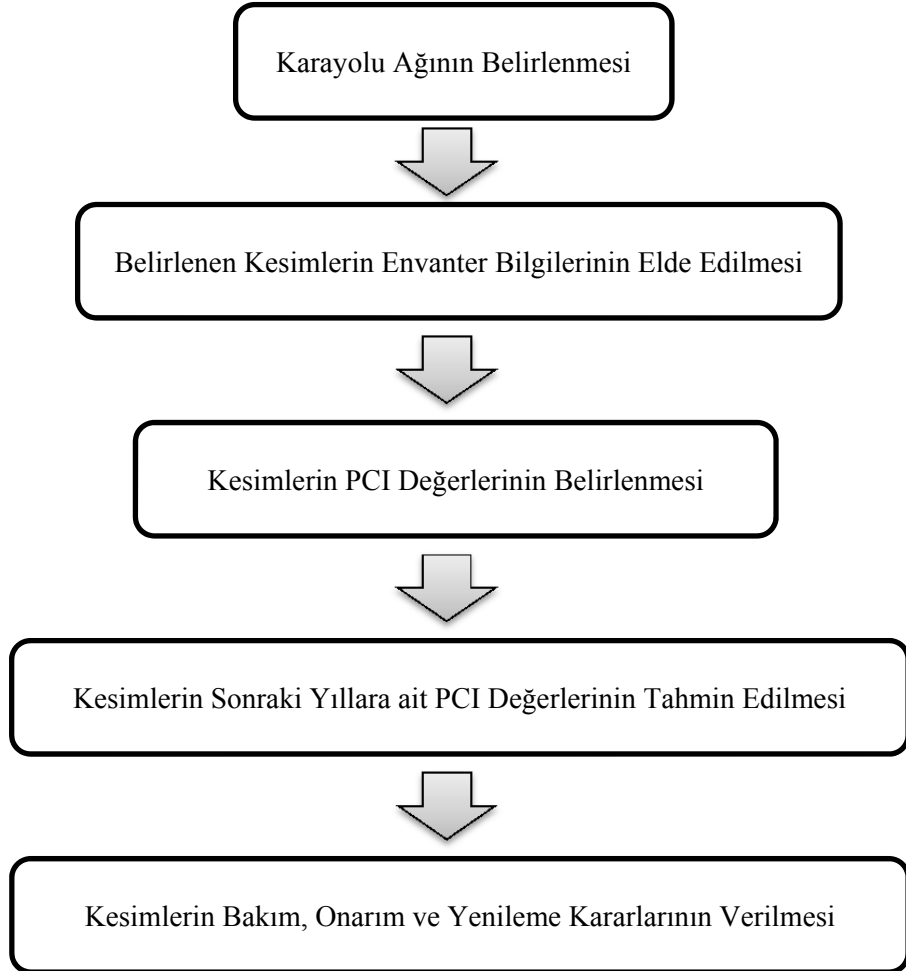
Üstyapı yönetim sistemini işleten ilgili kurum/kuruluşça, sorumluluğunda bulunan yol ağında iyileştirme çalışmasının hangi kesimlerde öncelikli olarak yapılacağını belirleyen iyileştirme programının hazırlanmasında, yukarıda tanımlanan yöntemlerden bir veya birkaçı kullanılabilir. İlgili kurum/kuruluşun öncelik belirleme stratejisi, üstyapılarda uyguladığı yönetim politikasının bir ürünü olacağı kabul edilen bir gerçektir. Bu anlamda öncelik belirleme konusunda, ilgili kurum/kuruluşlara mutlak bir öncelik belirleme stratejisinin zorunlu tutulması mümkün değildir.

Bununla beraber çalışmada, karar vericilere kolaylık sağlaması açısından bir öncelik belirleme stratejisi tavsiye edilmesi gerektiği düşünülmüştür. Bu amaçla, mevcut performansı belirlenen kesimlerde, mevcut bütçenin yeterli ölçüsünde, iyileştirme programı oluşturulmasında önceliklerin şu sıra ile belirlenmesi gerekmektedir;

1. Mevcut PCI değeri 70 üzerinde olan tüm kesimlerde gerekli görülen yerlerde bakım ve onarımların yapılması gerekmektedir. İyi durumda olduğu kabul edilen kesimlerin üstyapılarının ömrünü uzatmayı hedefleyen bu stratejide, çatlak tamiri, çukurların tamiri veya noktasal tranşe geçişlerinde küçük yamaların yapılması düşünülebilir.
2. Anaarter ve üstü (bulvar, çevre yolu vb.) hizmet seviyesindeki yollarda mevcut PCI değeri 55'in altında olan tüm kesimlerde üstyapıların yenilenmesi gerekmektedir.
3. Arter ve altı (cadde, sokak vb.) hizmet seviyesindeki yollarda mevcut PCI değeri 40'ın altında olan tüm kesimlerde üstyapıların yenilenmesi gerekmektedir.
4. Mevcut PCI değeri 70 ile 55 arasında olan tüm kesimlerde, kesimlerin tamamının bakım ve onarımların yapılması gerekmektedir.
5. Arter ve altı (cadde, sokak vb.) hizmet seviyesindeki yollarda mevcut PCI değeri 55 ile 40 arasında olan tüm kesimlerde üstyapıların yenilenmesi gerekmektedir.
6. Anaarter ve üstü (bulvar, çevre yolu vb.) hizmet seviyesindeki yollarda 5 yıl sonraki tahmini PCI değeri 55'in altında olan tüm kesimlerde üstyapıların bugünkü PCI değerine göre gerekli iyileştirilmelerinin yapılması gerekmektedir.
7. Arter ve altı (cadde, sokak vb.) hizmet seviyesindeki yollarda 5 yıl sonraki tahmini PCI değeri 55'in altında olan tüm kesimlerde üstyapıların bugünkü PCI değerine göre gerekli iyileştirilmelerinin yapılması gerekmektedir.

Yukarıda bahsedilen önceliklendirme sırasına göre yapılacak tüm üstyapı iyileştirme imalatlarında Karayolları Teknik Şartnamesinde (KTŞ) belirtilen bakım, onarım ve yenileme çalışmalarında dikkat edilmesi gereken teknik kurallara mutlaka uyulması gerekmektedir.

Bu bölümde detaylarıyla açıklanan ÜYS kurma adımları şematik olarak aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.



Şekil 4.39: ÜYS kurulmasında izlenecek adımların şematik gösterimi.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Üstyapı Yönetim Sistemi, sistem genelindeki tüm işlerin koordinasyonunu kurarak, topluma ait olan bütçeyi en uygun biçimde yapılan harcamalarla kullanıp düzgün, güvenli ve ekonomik olarak üstyapıların işletimini sağlamayı amaçlayan çalışmaların tamamına verilen genel isimdir. ÜYS'nin tanımından da anlaşılacağı gibi yaklaşık 75 milyon insanın bir arada yaşadığı ve nüfusunun yaklaşık %76'sının şehirlerde yaşadığı Ülkemizde, insanların ağırlıklı oranda (% 83.5) yaşadığı çeşitli türlerdeki belediye sınırlarında, ülke genelinde yılda yaklaşık 1 milyar 800 milyon TL asfalt yatırımının yapıldığı göz önüne alındığında, şehiriçi yolların üstyapılarını yöneten sistemin ya da sistemlerin bulunması zorunluluğu kaçınılmazdır.

Yapılan literatür taraması neticesinde, çeşitli bölgeler için oluşturulan yönetim sistemlerinin, üstyapı teknolojisindeki yerel alışkanlıklar, konuyla ilgilenen kurum/kuruluşun belirlediği bakım organizasyon politikası, iklim, jeolojik ve geoteknik özellikler (taban zemini, agrega türü vb.), bölgedeki hakim trafik özellikleri gibi parametrelerdeki farklılıklar nedeniyle aynı olmadıkları görülmüştür. Bu nedenle, ülkemiz sınırlarında herhangi bir şehiriçi yol ağında kurulacak bir ÜYS için, tüm parametreler titizlikle incelenmeli ve eldeki imkanlar araştırılarak dünyada kullanılan mevcut sistemlerden birinin uygulanabilirliği denetlenmeli veya ilgili yol ağına özel bir ÜYS geliştirilmelidir.

Üstyapıların yönetimini sağlamak amacıyla kurulan bir sistemde en zor olan adımın üstyapıların mevcut performansını belirlemek olduğu bilinmektedir. Çalışmada esas amaç olarak, şehiriçi yolların yönetiminde sıklıkla tercih edilen PAVER üstyapı yönetim sisteminde üstyapıların mevcut performansını belirlemede kullanılan yöntemin kolay hale getirilmesidir. PAVER sistemi, yol yüzeyinde, yerinde, gözle teşhis edilebilen farklı yoğunluklarda (düşük, orta, yüksek) 20 adet bozulmanın $232 \pm 93 \text{ m}^2$ ($2500 \pm 1000 \text{ ft}^2$) örnek alanlarda incelenmesi ve değerlendirilmesi yoluyla işleyen bir sistemdir. Bilindiği üzere üstyapının yapısal performansı ile sürüş konforu arasında

yüksek bir ilişkinin olduğu yapılan birçok çalışmada saptanmıştır. Söz konusu bu prensipten yola çıkarak, üstyapıların mevcut performansının belirlenmesi işlemi, sürüş konforunu en iyi yansıttığı kabul edilen, araç içinde oluşan düşey doğrultudaki titreşim değerleri ile yapılabileceği düşünülmüştür. Bu hedefle, kesimin mevcut performansını gösteren PCI değerleri ile düşey titreşim parametreleri arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Böylelikle üstyapının mevcut performansını belirlemede kullanılan PAVER sisteminin zor ve meşakkatli olan arazi çalışmaları minimuma indirilerek, Ülkemizde muhtelif türde belediyelerin üstyapı yönetiminde kullanılabilir hale getirilmeye çalışılmıştır.

Çalışma kapsamında öncelikle, ÜYS kavramı açıklanarak kullanıcı düzeyleri hakkında bilgiler verilmiş, günümüze kadar kullanılan verilerin sınıflandırılarak yönetim düzeylerinde hangi amaçlar için kullanılabilmesine değinilmiş ve ayrıca verilerin toplanmasında kullanılan ekipmanlar hakkında oluşum süreçlerine değinilerek bilgiler verilmiştir. Daha sonra, ağ tanımlaması anlatılmış ve sistemin kullandığı herhangi bir kesimin üstyapı performansını gösteren PCI indeksinin hesaplanma prosedürü açıklanmıştır. Ayrıca, üstyapı bozulmalarını sınıflandırmada kullanılan ASTM D 6433-11 standardına göre bozulma türleri, oluşma nedenleri ve toplanma biçimleri özet tablo halinde açıklanmıştır. Ardından, titreşim verilerinin değerlendirilmesinde dünya genelinde kabul edilmiş ISO 2631-1 kodlu standart açıklanmıştır. Söz konusu bu standardın orijinal metniyle Ülkemizde de TS ISO 2631-1 koduyla kabul edildiği bilinmektedir. Ayrıca, ilgili standartta tanımlanan titreşim parametrelerinin teorik karşılıkları ve kullanım amaçları açıklanmıştır.

Bu tez çalışması kapsamında, İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine sunulan ve devam etmekte olan “Üstyapı Yönetim Sistemlerinin Şehirçi Yollarda Uygulanabilirliğinin Araştırılması” başlıklı proje kapsamında üç adet ivmeölçer ($\pm 4g$, hassasiyet 500 ± 15 mV/g), GPS anteni (< 15 m doğruluk) ve bir adet veri toplama cihazı (datalogger)’ndan oluşan ivme ölçüm seti ile PAVER sisteminin paket programı olan PAVER yazılımı satın alınmıştır.

Ardından tahmin modeli çalışmaları için veri toplama ve değerlendirme çalışmaları yapılmıştır. Bu amaçla çalışmada, öncelikli olarak Samsun İli sınırlarında farklı türde belediyelerin sorumluluğunda, farklı hizmet (anaarter, arter, sokak vb) ve yönetim

(büyükşehir belediyesi, ilçe belediyesi vb.) seviyelerindeki farklı türde ve yoğunlukta bozulmaların bulunduğu, üstyapısı Bitümlü Sıcak Karışım (BSK) olan 20 adet karayolunda üstyapıların mevcut performansları belirlenmiştir. Kesimlerin oluşturulması işleminde ASTM D 6433-11 kodlu standartta belirtilen kesimlere ayırma stratejilerinden eşdüzey yuvarlak ada ve normal kavşak noktaları kesim noktaları olarak kabul edilmiştir. Bu amaçla kesim ayırma noktaları olarak büyükşehir belediyesi sorumluluğundaki yollarda yuvarlak ada kavşaklar kabul edilirken alt belediyelerde kavşak birleşim noktaları kabul edilmiştir. Yapılan bu çalışma sonucunda toplam 20 adet karayolunda 98 adet kesimde diğer bir deyişle yaklaşık olarak 55 750 m uzunluğundaki yolda 337 867 m² alanda ASTM D 6433-11 kodlu standart esasına uygun yüzey bozulma verileri toplanmış ve PAVER paket programıyla değerlendirilerek kesimlerin mevcut performansları belirlenmiştir. Söz konusu 20 adet yolda yüzey bozulma değerlendirmesi yapılması amacıyla 1415 adet örnek alan öngörülmüş olup 1375 adet örnek alanda yüzey bozulma verileri toplanmıştır. Bu anlamda, öngörülen örnek alanların % 97.2'sinde değerlendirme yapılmış olup, incelenen tüm kesimlerde proje düzeyinde değerlendirme yapılmıştır. Değerlendirilen 20 adet karayolunun mevcut performansı 7 farklı kalite sınıfından oluşan Standart PCI ölçeği ve 3 farklı kalite sınıfından oluşan Geleneksel PCI ölçeğine göre belirlenmiştir. Söz konusu değerlendirmeler, CBS ortamında görselleştirilerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bununla birlikte, değerlendirilen yolların ilk yapım tarihleri ve bugünkü performansları arasındaki farklar değerlendirilerek mevcut Bakım & Onarım stratejisini değiştirmeksizin BSK üstyapılı yolların gelecek performanslarının tahmin edilmesinde kullanılabilecek bozulma tahmin modeli geliştirilmiştir.

Daha sonra, yukarıda bahsedilen ivme ölçüm seti ile aynı yollarda düşey doğrultudaki titreşim verileri kaydedilmiştir. Kaydedilen titreşim verileri ISO 2631-1 kodlu 'Mekanik Titreşim ve Şok – Tüm Vücut Titreşimine Maruz Kalma Değerlendirmesi (Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration)' isimli standart kurallarına uyularak değerlendirilmiştir. Düşey ivmelenme verileri saniyede 1000 adet ve GPS verileri saniyede 1 adet aralıklarla toplanmış ve anlık olarak bilgisayara aktarılmıştır. Ölçümler sırasında ivmeölçerler, sürücü koltuğu (üzerinde sürücü var), sağ ön koltuk (üzerinde yolcu yok) ve orta aks üzeri (ayak hizası) olmak üzere üç farklı noktaya yerleştirilmiştir. Titreşim ölçümlerinde ASTM E 950, E 1082 –

90, E 1926 – 08 vb. kodlu standartlarda tariflenen boyuna profil ölçüm prensipleri kabul edilmiştir. Söz konusu standartların genel yaklaşımı göz önüne alındığında ölçümlerin, sabit bir şeritte, sabit bir hızda, minimum 20 km/sa hızda, yapılacağı kriterleri ölçüm kriterleri olarak kabul edilmiştir.

Çalışmanın ilk aşamasında, ölçüm hızı belirlenmiştir. Bu amaçla, pilot bölge olarak seçilen 100. Yıl Bulvarı'nda düşey ivme ölçümleri 20, 30, 40 ve 50 km/sa hızlarda her şerit için ayrı ayrı yapılmıştır. Ayrıca, arazi çalışmaları sırasında 50 km/sa üzerinde hızlarda ölçüm yapabilmenin mümkün olamayacağı saptanmıştır. Ölçümler sırasında toplanan GPS verileri CBS programına aktararak kesimlere ait ivme ve hız verileri çalışma kapsamında geliştirilen yazılım aracılığıyla ayrılmıştır. Her üç noktada yapılan düşey titreşim ölçümleri için kesimlerin ISO 2631-1 kodlu standartına uygun olarak Ağırlıklandırılmış Karekök Ortalama (weighted root mean square - aw), Maksimum Aktarılan Titreşim Değeri (the maximum transient vibration value – MTVV), Titreşim Miktarı Değeri (the fourth power vibration dose value – VDV) titreşim parametreleri hesaplanmıştır. Yapılan bu değerlendirme sonucunda da bulgular incelendiğinde genel itibariyle yolcu olmayan sağ ön koltuk ivmelenme değerinin en fazla, araç zemininde bulunan orta aks ivmelenmesinin orta düzeyde, üzerinde sürücü bulunan koltukta ise en az olduğu saptanmıştır.

Öte yandan, yapılan değerlendirmenin geliştirilmesi için araçtan kaynaklı oluşan düşey titreşimlerin etkisinden kurtulmak amacıyla her bir ölçüm noktası için kalibrasyon parametreleri üretilmiştir. Böylece, herhangi bir yolda yapılan ölçüm sonrasında bulunan parametrik titreşim değerlerinden kalibrasyon için bulunan parametrik titreşim değerlerinin çıkarılması ile düzeltilmiş titreşim parametresinin bulunacağı kabul edilmiştir. Bu maksatla PCI değeri 100 kabul edilebilecek bir yolda yukarıda vurgulanan hızlarda ölçümler yapılarak ilgili ölçümlerin de her bir ölçüm hızı ve her bir ölçüm noktası için ayrı ayrı titreşim parametreleri hesaplanmıştır. Söz konusu hesaplanan bu parametreler kalibrasyon parametreleri kabul edilerek, pilot değerlendirme bölgesinde her kesim için ayrı ayrı hesaplanan titreşim parametrelerinden bulunan bu kalibrasyon titreşim parametreleri çıkartılarak her bir ölçüm hızı ve her bir ölçüm noktası için kesimlere ait düzeltilmiş titreşim parametre değerleri bulunmuştur. ISO 2631-1 kodlu standarda göre kesimin düşey doğrultuda titreşim karakteristiğini

'aw' değişkeninin yansıttığı ve ilgili standardın ölçüm noktası olarak sürücü koltuğunu tarif etmesinden dolayı, en uygun ölçüm hızının belirlenmesi araştırmasında sürücü koltuğundan alınan ivme verileri ile elde edilen aw değerleri kullanılmıştır. Yapılan tüm bu değerlendirmeler ışığında en uygun ölçüm hızını belirleme amacıyla düşey titreşim parametreleri (düz.aw) ile yüzey bozulma verileri arasındaki doğrusal ve logaritmik ilişkiler araştırılmıştır. Her iki değerlendirme de de en yüksek ilişkinin 40 km/sa hızda oluştuğu saptanmıştır.

Öte yandan çalışmada, yapılan düşey titreşim ölçümlerinde sürücü ağırlığından kaynaklı farklılıkların oluşup oluşmadığı da araştırılmıştır. Bu anlamda, kalibrasyon ölçümlerinin yapıldığı yolda 58 kg, 80 kg ve 113 kg ağırlığındaki sürücülerle 20, 30, 40 ve 50 km/sa ölçüm hızlarında aynı güzergahta çok sayıda ölçümler yapılmış ve titreşim parametreleri hesaplanmıştır. Bulunan titreşim parametreleri arasındaki farklar hem parametrik hem de parametrik olmayan istatistik yöntemlerle değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda 40 ve 50 km/sa hızlarda 'sürücü koltuğu' ve 'orta aks üzeri'nde yapılan titreşim ölçümlerinin arasındaki farkların istatistik olarak anlamsız olduğu saptanmıştır. Değerlendirmeler sonucunda 'sağ ön koltuk'ta yapılan ölçümlerde, düşey ivmelenme değerinin minimum olduğu kabul edilen ve kalibrasyon ölçümlerinin yapıldığı ayrıca PCI değerinin 100 kabul edildiği bir yolda dahi bulunan titreşim parametrelerindeki farkların istatistik olarak anlamlı olduğu dolayısıyla, 'sağ ön koltuk'ta ölçülen titreşim verilerinin modelleme çalışmalarında kullanılmaması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca yukarıda tutarlılığı kabul edilen ölçüm noktalarında, 80 kg ağırlığında sürücü ile yapılan ölçümler sonucunda üretilen parametreler ile diğer ağırlıklardaki sürücülerle yapılan ölçümlerden üretilen parametreler arasında istatistik değerlendirmeler yapılmış ve 40 ve 50 km/sa hızlarda sürücü ağırlığından oluşan farkların istatistik olarak anlamsız olduğu saptanmıştır. Bu sonuçlar ışığında, titreşim verileri ile PCI değerleri arasındaki korelasyon ilişkileri de gözetilerek kesimlerdeki ölçüm hızı 40 km/sa olarak belirlenmiştir. Fakat uygulamada, şehiriçi trafik koşullarında, trafik, yolların boyuna eğimi gibi geometrik kısıtlar vb. muhtelif sebeplerle sabit hızın korunmasının mümkün olmadığı görülmüştür. Bu nedenle, ölçüm hızı 40 ± 5 km/sa olarak kabul edilmiştir. Belirlenen bu ölçüm hızında ve sürücü ağırlığında, yukarıda bahsi geçen 98 adet kesimde her bir ölçüm noktasında titreşim ölçümleri yapılmış ve titreşim parametreleri hesaplanmıştır. Hesaplanan titreşim parametreleri kalibrasyon parametreleri ile

azaltılarak kesimlere ait her bir ölçüm noktasında düzeltilmiş titreşim parametreleri elde edilmiştir.

Ölçümler sırasında, cihaz dahilinde bulunan gps anteni ile 1 saniye aralıkla hız verileri kaydedilmiş, ortalamaları alınarak kesimlerin km/sa biriminde ölçüm hızı bileşenleri elde edilmiştir. Hız bileşeninin titreşim parametreleri ile birlikte değerlendirmesinde en uygun ilişkinin logaritma e tabanında karşılığı alınarak ilgili parametreye bölünmesi ile yakalanmıştır.

Sonuçların değerlendirilmesi aşamasında öncelikli olarak titreşim parametreleri ile PAVER sistemi çıktıları arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Kesimin genelini yansıtmaması münasebetiyle titreşim parametrelerinden düzeltilmiş aw parametresi kontrol parametresi kabul edilmiş ve yüzey bozulmaları ve PCI değerleri karşılıklı değerlendirilmiştir.

Öncelikli olarak, düz.aw parametresi ile hız faktörü değerlendirmeye katılarak ya da katılmaksızın PCI değerleri arasındaki doğrusal korelasyon değerleri incelenmiştir. Değerlendirme sonrasında, PCI değerleri ile düz.aw parametreleri arasında doğrusal ilişkinin oldukça yüksek olduğu görülmüştür. En yüksek korelasyonun sürücü koltuğu üzerinde yapılan ölçümlerde olduğu bunu sırasıyla orta aks üzeri ve sağ ön koltuğun izlediği saptanmıştır. Ayrıca, değerlendirmeye hız bileşeni dahil edildiğinde korelasyonun çok az miktarda arttığı belirlenmiştir. İkinci değerlendirme bozulma oluşma nedenlerine (yük, iklim, diğer sebepler) göre yapılmıştır. Değerlendirmeler sonucunda, genel olarak en yüksek korelasyonun diğer sebeplerden ve yükten kaynaklı bozulmalarda olduğu iklimden kaynaklı bozulmaların korelasyonun ise daha az olduğu saptanmıştır. Yükten kaynaklı bozulmalar ile diğer sebeplerden kaynaklı bozulmalar sürüş konforunu olumsuz etkilemekle birlikte titreşim parametreleri ile arasında anlamlı bir ilişkinin olduğunu tespit edilmiştir. Göreceli olarak yükten kaynaklı bozulmalarda orta aks üzerindeki ölçümlerde korelasyon daha yüksek iken diğer sebeplerden kaynaklı bozulmalarda sürücü koltuğu üzerindeki korelasyonun daha yüksek olduğu saptanmıştır. Benzer bir değerlendirme de ayrı ayrı her bir bozulma türü için yapılmıştır. Değerlendirme sonucunda, 1 nolu 'Timsah Sırtı Çatlak', 4 nolu 'Kabarma ve oturma', 6 nolu 'Çökme', 11 nolu 'Yama', 13 nolu 'Oyulma', 15 nolu

'Tekerlek izi', 18 nolu 'Şişme', 19 nolu 'Soyulma ve sökölme' ve 20 nolu 'Ayrışma' türü bozulmaların titreşim verileri ile korelasyonlarının diğeri bozulma türlerine oranla daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Genel itibariyle farklı ölçüm noktalarındaki korelasyonlar arasındaki farkların küçük olduğu ve hız bileşeninin değerlendirmeye katılmasıyla korelasyonlarda az miktarda artışın olduğu saptanmıştır. Doğrusal ilişkileri tanımlayan korelasyonlardan başka daha birçok değerlendirme yapılmakla birlikte dikkate değer bir başka ilişkinin 3. derece polinom ilişkisi olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, en yüksek ilişkinin sürücü koltuğunda yapılan ölçümlerde olduğu saptanmış, sürücü koltuğunu sırasıyla orta aks üzeri, toplam ortalamalar ve sağ ön koltuk değerlerinin takip ettiği görölmüştür. Çalışmanın ilgili kısmında, yapılan tüm değerlendirmelerde oluşturulan ilişkiler grafik olarak gösterilmiş, ilişki modelleri ile regresyonları grafik üzerinde gösterilmiştir. PCI ve titreşim parametreleri arasında en yüksek korelasyonlu ilişkinin sürücü koltuğu üzerinde yapılan ölçümlerden üretilen düz.aw parametresinde olduğu saptanmıştır.

Çalışmanın nihai çıktısı olarak, PCI değerini titreşim verileri aracılığıyla tahmin edebilen tahmin modelleri oluşturulmuştur. Regresyon yöntemi kullanılarak geliştirilen modellerde, eldeki verilerin model kurulması açısından zaruri istatistiki kısıtları sağladığı tespit edilmesinden sonra, öncelikli olarak ölçüm hızı, sürücü koltuğu düz.aw, orta aks üzeri düz.aw ve düz.MTVV bileşenlerine bağlı olarak geliştirilen bir PCI tahmin modeli üretilmiştir. Oluşturulan bu modelde, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında regresyon değeri 0.8738 ($R = 0.935$) gibi oldukça yüksek bir ilişki yakalanabilmiştir. Modelin regresyon sonuçlarının istatistik olarak anlamlı olmasının yanında tahmin yakınlığı da oldukça yüksektir.

Bununla beraber, titreşim ölçümünün, ISO 2631-1 'Tüm Vücut Titreşimi' standardı değerlendirmelerini nihai olarak verebilen doz ölçer ve çözümleyici cihazlarının var olduğu bilinmektedir. Öte yandan, günümüzde gelişen cep telefonu teknolojisiyle beraber ivmeölçerler cep telefonlarında teşkil edilmekte ve muhtelif programlar aracılığıyla titreşim verilerine ulaşılabilir. Bu amaçla, hassasiyeti, kalibrasyonu ve güvenilirliği istenilen kısıtlarda olan herhangi bir ivmeölçer ile ölçülen titreşim verilerinden değerlendirilerek elde edilen titreşim parametrelerinin de kullanılarak PCI değerini tahmin etmeye yönelik ilave modeller geliştirilmiştir. Sürücü koltuğu ve orta

aks üzerinde ölçülen verilerden üretilen düz.aw parametresini ve/veya ölçüm hızı bileşenini girdi olarak kabul eden farklı kombinasyonlarda dört adet ilave model oluşturulmuştur. Ayrıca, sonuçların doğrudan değerlendirilmesi amacıyla modellerin kullanılması sonucu elde edilen PCI değerlerinin kullanılabilmesi için yeni değerlendirme ölçekleri de oluşturulmuştur.

Söz konusu bu çalışma kapsamında üretilen PCI tahmin modeli/modelleri ve PCI bozulma tahmin modeli aracılığıyla herhangi bir otomobil ile titreşim ölçümü yapılarak üretilen parametrelerden üstyapıların mevcut performansını gösteren PCI değeri tahmin edilebilecek ve yine oluşturulan PCI bozulma tahmin modeli ile kesimlerin sonraki yıllara ait performansı kestirilebilecektir. Yapılan bu çalışma ve üretilen modeller yardımıyla herhangi bir belediyenin sorumluluğunda bulunan, üstyapıları bitümlü sıcak karışım türündeki bir karayolu ağına ait Ağ Düzeyinde bir ÜYS kurmasının oldukça kolay ve işlevsel olacağı düşünülmektedir. Şüphesiz ki yapılan bu çalışma yardımıyla hayata geçirilecek bir ÜYS çerçevesinde kesimlere ait bakım&onarım veya yenileme uygulama projelerinin oluşturulabilmesi için yerinde gözlem ve ölçümlerin yapılması gerekmektedir. Çalışmanın son aşamasında, tezin amacına uygun olarak herhangi bir BSK üstyapılı karayolu ağında Ağ Düzeyinde bir Üstyapı Yönetim Sistemi kurulması için izlenecek adımlar sırasıyla açıklanmıştır.

Yapılan bu tez çalışmasına ilaveten çalışmanın sonraki adımı olarak, muhtelif bölgelerde ve muhtelif araçlarla uygulamaların hayata geçirilmesi, sonuçların kıyaslanarak incelenmesi ve modellerin tahmin doğruluğunun güçlendirilmesi sağlanabilir. Pratik uygulamaya katkı sağlamak amacıyla, yapılan tüm çalışma bir paket program haline getirilerek ilgili belediyelerin kullanımına sunulabilir. Öte yandan, değerlendirme algoritması güçlendirilerek güvenlik sebebiyle sürüş hızını azaltmak amacıyla yapılan hız kesici vb. engellerden oluşan titreşimlerin otomatik olarak değerlendirme dışı bırakılabileceği akıllı bir paket programın oluşturulabilir. Çalışmada son aşama olarak ÜYS kurulması amacıyla yapılacak çalışmaların standart haline getirilebilmesi için TSE'ye standart teklif edilebilir.

KAYNAKLAR

- Ahlin K., Granlund N.O.J., 2002, Relating Road Roughness And Vehicle Speeds To Human Whole Body Vibration And Exposure Limits, *The International Journal of Pavement Engineering*, Vol. 3 (4), 207–216.
- Amado, V, 2001, *Expanding the Use of Pavement Management Data*, Thesis (MSc), Dept. of Civil and Environmental Engineering, University of Missouri.
- Ayvalık C.K., 1996, *Combining Pavement Management Sections To Obtain Rehabilitation Projects*, Yüksek Lisans Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Abat-Bangasan R., 2006, *Application of Low-Volume Road Maintenance Management Systems In New Zealand To The Philippines*, Thesis (MSc), University Of Canterbury (In Christchurch, New Zealand).
- Ay S., 2001, *Antalya Bölgesindeki Devlet Yollarının Üstyapı Performanslarının Analizi Ve İyileştirme Çalışmaları*, Yüksek Lisans Tezi, Antalya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Bandara N., Gunaratne M., 2001, Current And Future Pavement Maintenance Priorization Based On Rapid Visual Condition Evaluation, *Journal Of Transportation Engineering*, 127(2):116-123.
- Bolling A., Jansson J., Hjort M., Lidström M., Nordmark S., Sehammar H., Sjögren L., 2011, An Approach For Realistic Simulation Of Real Road Condition In A Moving Base Driving Simulator, *Journal Of Computing And Information Science In Engineering*, Vol. 11, 1-7.
- Cantisani G., Loprencipe G., 2010, Road Roughness And Whole Body Vibration: Evaluation Tools And Comfort Limits, *Journal Of Transportation Engineering*, Vol. 136, No. 9, 818-826.
- Chou J.S., Le T.S., 2011, Reliability-Based Performance Simulation For Optimized Pavement Maintenance, *Reliability Engineering And System Safety*, 96(10), 1402-1410.
- Chongpeepien T., Ammarapala V., 2008, A Review Of Thailand Pavement Management System (Tmps), *IEEE 978-1-4244-2330-9*, 554-558.
- Chootinan P., Chen A., Horrocks M.R., Bolling D., 2006, A Multi-Year Pavement Maintenance Program Using Stochastic Simulation-Based Genetic Algorithm Approach, *Transportation Research, Part A* (40), 725-743.

- Cline D. G., Shahin M. Y., Burkhalter J. A., 2003, Automated Data Collection For Pavement Condition Index Survey, *Transportation Research Board*, 2003 Annual Meeting Cd-Rom.
- Choi J., Adams M. T., Hussain U. B., 2004, Pavement Roughness Modeling Using Back-Propagation Neural Networks, *Computer-Aided Civil And Infrastructure Engineering*, 19(2004):295-303.
- Chan C.Y., Huang B., Yan X., Richards S., 2010, Investigating Effects Of Asphalt Pavement Conditions On Traffic Accidents İn Tennessee Based On The Pavement Management System (Pms), *Journal Of Advanced Transportation*, 45, 150-161.
- Çay, C.İ., 2006, *Tarım Traktörleri Sürücü Koltukları Titreşim Sönümleme Elemanları Üzerine Bir Araştırma*, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ferreira A. J. L., Meneses S. C. N. And Vicente F. A. A., 2008, Pavement-Management System For Oliveira Do Hospital, Portugal, *Proceedings Of The Institution Of Civil Engineers*, Transport 162, 157-169.
- Flintsch G.W., 1996, *An Expert Project Recommendation Procedure Fort He Arizona Department Of Transportation Pavement Management System*, Thesis (PhD), Arizona State University,
- Gao B., 2004, *A Gis-Enabled Multi-Year Pavement Rehabilitation Needs Analysis System*, Thesis (PhD), Georgia Institute of Technology.
- Golabi K., Pereira P., 2003, Innovative Pavement Management And Planning System For Road Network Of Portugal, *Journal Of Infrastructure Systems*, 10.1061/(Asce)1076-0342(2003)9:2(75), 75-80.
- González A., O'Brien E. J., Li Y.-Y. And Cashell K., 2008, The Use Of Vehicle Acceleration Measurements To Estimate Road Roughness, *Vehicle System Dynamics*, 46 (6), 483-499.
- Haas R., Hudson W. R., Zaniewski J., 1994, *Modern Pavement Management*, Krieger Publishing Company, Florida.
- Holt F.B., Gramling., W.L., 1992, *Pavement Management Implementation*, Astm Publication Code Number 04-011210-08.
- Ibraheem A.F., 2008, Prediction of Surface Roughness In Turning By Multiple Regression Model, *Eng. & Tech.*, Vol.26, No.9.
- Irvine, T., 2012, Software, <http://vibrationdata.com/> [Ziyaret Tarihi: 10 Eylül 2012].
- Ismail A.R., Nuawi M.Z., Kamaruddin N.F., Bakar R.A., 2010, Comparative Assessment Of The Whole Body Vibration Exposure Under Different Car Speed Based On Malaysian Road Profile, *Journal Of Applied Sciences*, Vol.10, No.14,

1428-1434.

ISO Standart 8608, 1995, Mechanical Vibration – Road Surface Profiles – Reporting Of Measured Data.

ISO Standart 2631-1, Mechanical Vibration And Shock -Evaluation Of Human Exposure To Whole-Body Vibration, Part 1: General Requirements.

İstanbul Büyükşehir Belediyesi, 2013, Faaliyet Raporları, <http://www.ibb.gov.tr/tr-tr/pages/anasayfa.aspx> [Ziyaret Tarihi: 15 Eylül 2013].

İyınam Ş., 1997, *Karayollarında Üstyapı Bakım Çalışmalarını Planlama Metodolojisi*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Karen İ., Kaya N., Öztürk F. ve Korkmaz İ., 2011, Taşıt Sürüş Konfor Özelliklerinin Fiziksel Testle ile Belirlenmesi ve Analizi, *12. Otomotiv Ve Üretim Teknolojileri Sempozyumu*, 13-14 Mayıs Bursa, Mühendis ve Makine, 69-74.

Kalaycı, Ş., 2006, *SPSS Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistik Teknikleri*, Asil Yayın Dağıtım, Ankara, ISBN : 9799759091148.

Kırbaş U., 2007, *Üstyapı Yönetim Sistemi Ve Beşiktaş İlçesi Örneğinde Uygulama Olanaklarının Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Kirbas U., Gursoy M., 2010, Developing The Basics Of Pavement Management System In Besiktas District And Evaluation Of The Selected Sections, *Scientific Research And Essays*, 5(8), 806–812.

Kirby E.D., Zhang Z., Chen J.C., 2004, Development Of An Accelerometer-Based Surface Roughness Prediction System In Turning Operations Using Multiple Regression Techniques, *Journal Of Industrial Technology*, 20(4), 1-8.

Lin J. D., Yau J. T., Hsiao L. T., 2003, Correlation Analysis Between International Rougness Index (IRI) and Pavement Distress by Neural Networks, *Transportation Research Board*, 2003 Annual Meeting Cd-Rom.

Melemez K., Tunay M., 2010, Ormancılıkta Traktör Titreşiminin Ergonomik Değerlendirmesi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, A(1), ISSN: 1302-7085, 96-108.

Metropolitan Transportation Commission Pavement Mangement, 1998, Pavement Management Report Executive Summary (Local Street And Road Condition), *Research Report*, Metropolitan Transportation Commission.

Monismith C.L., Finn F.N., Epps J.A., Kermit M., 1988, *Pavement Management at the Local Government Level*, Institute Of Transportation Studies, Phase I Report, Research Report Ucb-Its-Rr-88-12, University Of California At Berkeley.

- Moffatt M., Wix R., 2011, *Pavement Roughness Measurement With An Inertial Laser Profilometer*, Research Report, Austroads Test Method Ag:Am/T001.
- Nahvi H., Fouladi M.H., And Nor M.J.M., 2009, Evaluation of Whole-Body Vibration And Ride Comfort In A Passenger Car, *International Journal Of Acoustics And Vibration*, Vol. 14, No. 3, 143-149.
- Oecd, 1987, *Pavement Management Systems, Road Transport Research, Report Prepared By An Oecd Scientific Expert Group*, Organisation for Economic Co-Operation And Development , Paris.
- Öztürk Z., Öztürk T., Erol H., Arlı V., 2009, Demiryolu Titreşimlerinin Konfora Etkisinin Örnek Hatlarda İncelenmesi, *İmo Teknik Dergi*, 314, 4811-4815.
- Pan Y., Kerali H. R., Snaith M. S., 1999, A Network Level Pavement Management System For China, *Proceedings Of The Institution Of Civil Engineers, Engineer Transport*, 131-137.
- Pektaş, A.O., 2013, *SPSS İle Veri Madenciliği*, Dikeyksen Yayın Dağıtım, İstanbul, ISBN : 978-605-86660-4-7.
- Picado-Santos L., Ferreira A., Antunes A., Carvalheira C., Santos B., Bicho M., Quadrado I. And Silvestre S., 2004, Pavement Management System For Lisbon, *Proceedings of The Institution of Civil Engineers, Municipal Engineer (157)*, 157-165.
- Roberts C. A., Okkine N. O., 1998, A Comparative Analysis Of Two Artificial Neural Networks Using Pavement Performance Prediction, *Computer-Aided Civil And Infrastructure Engineering*, 13(1998), 339-348.
- Robinson R., Danielson U., Snaith M., 1998, *Road Maintenance Management: Concepts and Systems*, Palgrave Macmillan, Basingstoke, UK.
- Sabancı, A., 1999. *Ergonomi*, Baki Kitabevi, Adana.
- Samsun Büyükşehir Belediyesi, 2013, Faaliyet Raporları, <http://www.samsun.bel.tr/> [Ziyaret Tarihi: 15 Eylül 2013].
- Shahin M. Y., 2002, *Pavement Management For Airports, Roads And Parking Lots*, Kluwer Academic Publishers, London.
- Smith K.L., Titus-Glover L., Evans L.D., 2002, *Pavement Smoothness Index Relationships: Final Report*, FHWA Research Report Fhwa-Rd-02-057.
- South, T., 2004, *Managing Noise And Vibration At Work*, Elsevier Butterworth-Heinemann, London.
- Spong C., Cartwright R., 2006, *Uk Pavement Management System*, UKPMS Strategic Development Study Final Report, London.

- Sun L., Kennedy T.W., 2002, Spectral Analysis And Parametric Study Of Stochastic Pavement Loads, *Journal Of Engineering Mechanics*, 128(3), 318-327.
- Sunde T., Tax S., Crimmins D., Crommes G., Firoved R., Pope S., Roney M., Shepard D., Whitcher D., Whitcomb B., 1994, *A Guide For Local Agency Pavement Managers*, The Northwest Technology Transfer Center, Washington.
- Sundin S., Ledoux C., 2001, Artificial Intelligence-Based Decision Support Technologies In Pavement Management, *Computer-Aided Civil And Infrastructure Engineering*, 16(2001), 143-147.
- Şen Y. E., 2006, *Uydu Görüntüleri Yardımıyla Yol Üstyapısında Meydana Gelen Değişimlerin Otomatik Tespiti Ve Yol Bakım Planlaması*, Yüksek Lisans Tezi, Gebze İleri teknoloji Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Terzi S., 2006, Modeling The Pavement Present Serviceability Index Of Flexible Highway Pavements Using Data Mining, *Journal Of Applied Science*, 6(1), 193-197.
- Terzi S., 2005, Modeling The Pavement Serviceability Ratio Of Flexible Highway Pavements By Artificial Neural Networks, *Construction And Building Materials*, 1-4.
- Terzi S., 2004, *Coğrafi Bilgi Sistemi Yardımıyla Karayolu Üstyapı Bakım Yönetim Modeli Geliştirilmesi*, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Türkiye Asfalt Mütahhitleri Derneği, 2013, Rakamlarla Afalt, <http://www.asnud.org.tr/> [Ziyaret Tarihi: 10 Ağustos 2013].
- Theodorakopoulos D.D., Chassiakos A.P., Manariotis I.D., Patarias P., 2002, A Decision Support System For Highway Pavement Management in Greece, *Proceedings of the 7th International Conference of Advanced Technology in Transportation*, 5-7 August 2002 Cambridge, American Society of Civil Engineers.
- Veverka V., Gorski M., Ververne P., 1990, *Maintenance Management of Secondary Road Networks In Theory And in Practice*, Belgian Road Research Centre, Final Report, Belgian
- Wang I-L., Tsai Yi-C.J., Li F., 2011, A Network Flow Model For Cluctering Segments And Minimizing Total Maintenance And Rehabilitation Cost, *Computers&Industrial Engineering*, 60, 593-601.
- Wang K. C. P., 2000, Design And Implementations Of Automated Systems For Pavement Surface Distress Survey, *Journal Of Infrastructure Systems*, 6(1):24-34.

- Wahhab H.I., Malkawi R.H., Asi I.M., Yazdani J., 2002, Dammam Municipality Pavement Management System (DMPMS), *The 6th Saudi Engineering Conference*, December 2002 Dhahran, Saudi Arabia, KFUPM, V(3), 355-368.
- Wermers L.G., 1962, Analysis Of Road Roughness Of Flexible Pavements Using The Kentucky Accelerometer, Joint Transportation Research Program Technical, *Research Report*, Purdue University.
- Wilson J.P., 2005, *A Pavement Mangement System For County Roads In The State Of Alabama*, Thesis (MSc), The University of Alabama in Huntsville.
- Wolters A., Zimmerman K., Schattler K., Rietgraf A., 2011, *Implementing Pavement Management Systems For Local Agencies State Of The Art/State Of The Practise*, Illionis Center For Transportaion, Research Report Ict-11-094.
- Yu J., 2005, *Pavement Service Life Estimation And Condition Prediction*, Thesis (PhD), The University of Toledo.
- Zimmerman K. A., Knox R., 1998, Improving Idot's Pavement Condition Rating Process, *Journal Of Infrastructure Systems*, 4(2), 79-85.

EKLER

EK 1. Asfalt Kaplamalı Üstyapılar için Örnek Alanda PCI Hesabı.

EK 2. Kesimlere Ait Değerlendirme Verileri.

EK 1. Asfalt Kaplamalı Üstyapılar için Örnek Alanda PCI Hesabı.

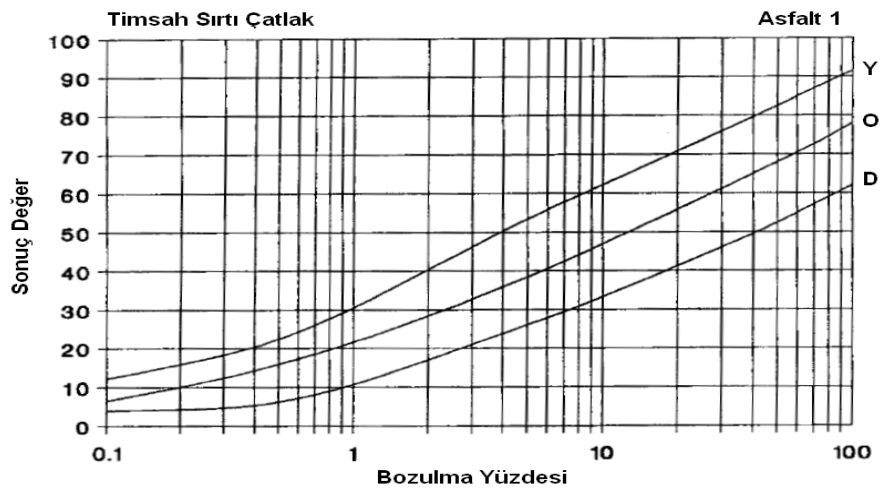
Bitümlü Sıcak karışım (Asfalt) kaplamalı yollarda PCI hesabı yapılmasında izlenecek adımlar şu şekildedir. Söz konusu atfedilen şekil ve grafikler asfalt kaplamalı yollar için kullanılan ölçütler olup kaplama türü ve kullanım amacına göre değişiklikler göstermektedir (Shahin, 2002).

Adım 1: Sonuç değerlerin belirlenmesi.

1.a. Her bozulma tipine ait her yoğunluk düzeyindeki kayıtların toplamı toplam sütununa yazılır. Yukarıdaki örnekte iki adet bulunan 10 no'lu bozulmadan orta yoğunluk düzeyindeki bozulma toplamı toplam hanesine "19" olarak işlenmiştir.

1.b. Her bozulma tipine ait her yoğunluk düzeyindeki kayıtların toplamı örnek alanın alan boyutuna bölünerek 100 katı kadar çoğaltılarak bozulmanın örnek alan içindeki ağırlığı hesaplanır.

1.c. Bulunan bu ağırlıklarla bozulma yoğunluk düzeyi bilgisi uygun eğri grafiğinden okunarak sonuç değerler elde edilir. Şekil 4.11'de asfalt kaplamalı yollarda görülen 1 no'lu timsah sırtı çatlak bozulma türü için hazırlanmış sonuç değer eğri grafiği görülmektedir.



Şekil Ek1.1: Timsah sırtı çatlaklar için sonuç değer grafiği (Shahin, 2002).

Adım 2: Maksimum kabul edilebilir sonuç sayısının belirlenmesi.

2.a. Bulunan sonuç değerler arasında sadece bir sonuç değer 2'den büyükse maksimum düzeltilmiş sonuç değer (DSD) olarak bu değer kabul edilir ve adım 4'e geçilir.

2.b. Bulunan sonuç değerler azalan sırada düzenlenir. Yukarıdaki örnekte 11, 9, 7, 6, 1 şeklindedir.

2.c. Maksimum kabul edilebilir sonuç sayısı aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır:

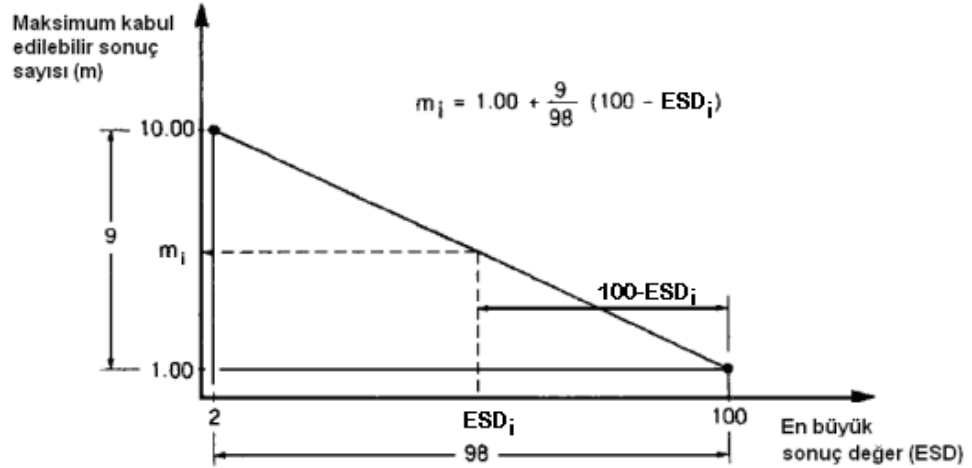
$$m_i = 1 + \left(\frac{9}{98} \right) (100 - ESD_i) \quad (\text{Ek2.1})$$

Burada;

m_i = Örnek alan i için maksimum kabul edilebilir sonuç sayısı.

ESD_i = Örnek alan i için en büyük bireysel sonuç değer'dir.

Yukarıda tartışılan örnekte $m = 1 + (9/98)(100 - 11) = 9.17$ 'dir.



Şekil Ek1.2: m_i değeri grafiksel gösterimi (Shahin, 2002).

2.d. Eğer sonuç değerlerin sayısı bulunan maksimum kabul edilebilir sonuç sayısından küçükse tüm sonuç değerler kullanılarak maksimum düzeltilmiş sonuç değeri hesaplanır. Eğer sonuç değerlerin sayısı bulunan maksimum kabul edilebilir sonuç sayısından büyükse bu sayıdan fazla olan değerler maksimum kabul edilebilir sonuç sayısının virgülden sonraki haneleri kadar küçültülerek hesaba katılır ve maksimum

düzeltilmiş sonuç değeri hesaplanır. İncelediğimiz örnekte $m_i = 9.17 > 5$ olduğu için tüm değerler alınır.

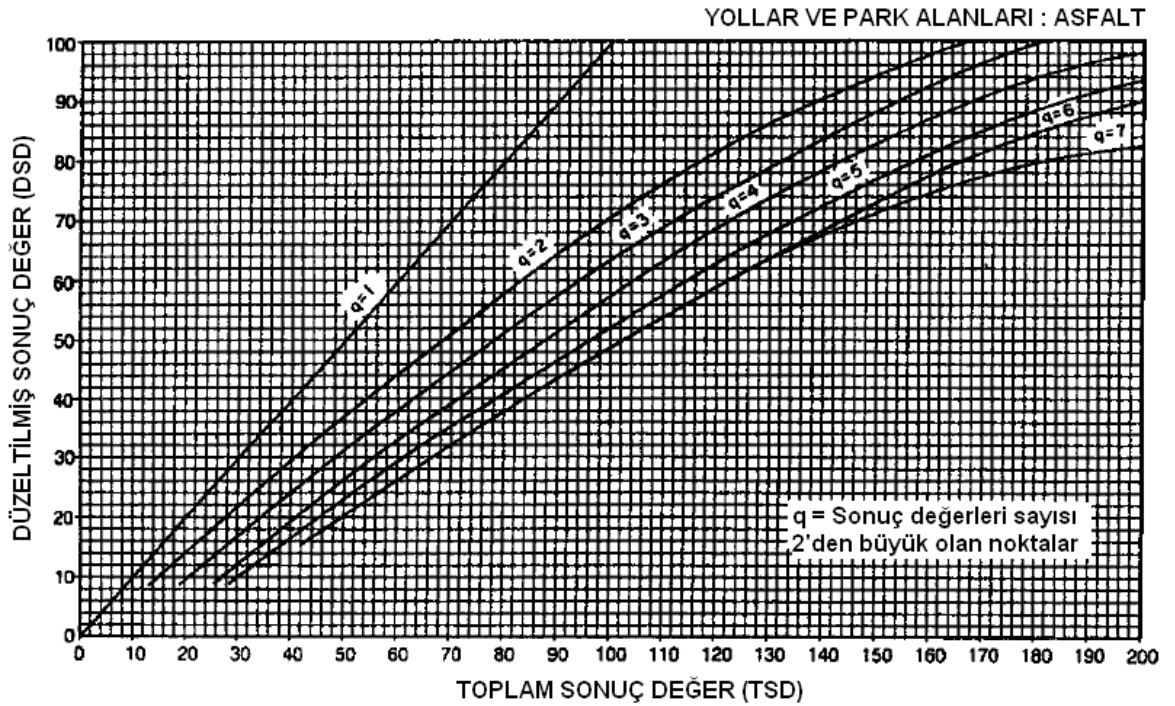
Adım 3: Maksimum düzeltilmiş sonuç değerinin (DSD) belirlenmesi.

Maksimum düzeltilmiş sonuç değeri (DSD) aşağıdaki adımlar iteratif tekrarlanarak bulunur.

3.a. Sonuç değeri 2'den büyük olan sonuç değerlerin sayısı (q) belirlenir. Yukarıda verilen örnekte $q = 4$ 'dür.

3.b. Her bir sonuç değerini tamamı toplanarak toplam sonuç değeri (TSD) belirlenir. Yukarıda verilen örnekte $TSD = 34$ 'dür.

3.c. Toplam sonuç değeri ile q değeri verileri kullanılarak düzeltilmiş sonuç değerler grafiğinden (Şekil 4.13) DSD okunur.



Şekil Ek1.3: Düzeltilmiş sonuç değeri eğrileri (Shahin, 2002).

3.d. 2'den büyük ve 2'ye en yakın sonuç değeri 2 yaparak başlangıç q değeri bir azaltılır. 3.a'dan 3.c'ye kadar q değeri 1'e eşit oluncaya kadar bu adımlar tekrarlanır ve her bir seçenek için DSD değeri tablodan okunur.

3.e. Maksimum DSD değeri hesaplanan DSD değerleri arasından en büyüğü olarak seçilir.

	Sonuç Değerler									Toplam	q	DSD
1	11	9	7	6	1					34	4	15
2	11	9	7	2	1					30	3	17
3	11	9	2	2	1					25	2	18
4	11	2	2	2	1					18	1	18
5												
6												
7												
8												
9												
10												

Şekil Ek1.4: Örnek alana ait PCI hesaplama sayfası örneği (Shahin, 2002).

Adım 4: Örnek alana ait PCI değerinin belirlenmesi.

Maksimum DSD değeri en büyük değer 100 'den çıkarılarak örnek alana ait PCI değeri belirlenir. Yukarıda verilen örnekte $PCI = 100 - 18 = 82$ olarak belirlenir. Ayrıca her bozulmaya ait bozulma miktarı oranı yardımıyla uygun grafikten okunan sonuç değerleri toplam sonuç değerlerine oranlanarak kesime veya ağa ait bozulma nedenleri yüzdesel ifade ile hesaplanabilir.

EK 2. Kesimlere Ait Değerlendirme Verileri.

Tablo Ek2.1: Değerlendirilen yollara ait aw verileri.

Bölüm No	Bölüm Adı	Kesim No	Parametreler	40 km/sa Hızda Toplanan Düzeltilmiş İmve Verileri				Pratik Ölçüm Hızları			Yüzey Bozulma Değerlendirmesi					
				Şerit Ortalamaları			Toplam Ortalamalar	Ölçüm Hızı 40 km/sa			Standart PCI Ölçeği		Geleneksel PCI Ölçeği			
				Sağ Ön Koltuk	Orta Aks Üzeri	Sürücü Koltuğu		Sol Şerit	Sağ Şerit	Ortalama	PCI	Açıklaması	Yük (%)	İklim (%)	Diğer (%)	
	Kalibrasyon Değeri			Konforlu	Konforlu	Konforlu	Konforlu	40,0	40,0	40,0	100	İyi	Müdahaleye Gerek Yok	0	0	0
Bölüm 1	100. Yıl Bulvarı	Kesim 1	aw	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Az Konforlu	Az Konforlu	38,6	40,4	39,5	65	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	21	4	75
Bölüm 1	100. Yıl Bulvarı	Kesim 2	aw	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Az Konforlu	Az Konforlu	39,5	39,5	39,5	55	Zayıf	Yenilenmeli	28	0	72
Bölüm 1	100. Yıl Bulvarı	Kesim 3	aw	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Az Konforlu	Az Konforlu	40,0	40,5	40,2	68	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	13	0	87
Bölüm 1	100. Yıl Bulvarı	Kesim 4	aw	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Az Konforlu	Az Konforlu	40,3	41,7	41,0	64	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	3	6	91
Bölüm 1	100. Yıl Bulvarı	Kesim 5	aw	Konforsuz	Biraz Konforlu	Biraz Konforlu	Biraz Konforlu	39,6	41,0	40,3	37	Çok Zayıf	Yenilenmeli	6	0	94
Bölüm 1	100. Yıl Bulvarı	Kesim 6	aw	Konforsuz	Biraz Konforlu	Biraz Konforlu	Biraz Konforlu	41,8	42,1	42,0	31	Çok Zayıf	Yenilenmeli	44	1	55
Bölüm 1	100. Yıl Bulvarı	Kesim 7	aw	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Konforlu	Az Konforlu	41,5	41,5	41,5	75	Yeterli	Müdahaleye Gerek Yok	16	0	84
Bölüm 1	100. Yıl Bulvarı	Kesim 8	aw	Biraz Konforlu	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Biraz Konforlu	41,1	41,4	41,2	49	Zayıf	Yenilenmeli	19	1	80
Bölüm 1	100. Yıl Bulvarı	Kesim 9	aw	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Az Konforlu	Az Konforlu	41,6	39,9	40,8	62	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	38	7	55
Bölüm 1	100. Yıl Bulvarı	Kesim 10	aw	Biraz Konforlu	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Biraz Konforlu	39,5	41,2	40,3	56	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	30	9	61
Bölüm 1	100. Yıl Bulvarı	Kesim 11	aw	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Az Konforlu	Az Konforlu	40,2	39,5	39,8	68	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	45	35	20
Bölüm 1	100. Yıl Bulvarı	Kesim 12	aw	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Az Konforlu	Az Konforlu	40,7	41,8	41,2	71	Yeterli	Müdahaleye Gerek Yok	3	23	74
Bölüm 1	100. Yıl Bulvarı	Kesim 13	aw	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Konforlu	Az Konforlu	40,9	39,7	40,3	73	Yeterli	Müdahaleye Gerek Yok	13	30	57
Bölüm 1	100. Yıl Bulvarı	Kesim 14	aw	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Konforlu	Az Konforlu	42,2	39,6	40,9	78	Yeterli	Müdahaleye Gerek Yok	13	26	61
Bölüm 1	100. Yıl Bulvarı	Kesim 15	aw	Az Konforlu	Az Konforlu	Konforlu	Az Konforlu	36,7	34,4	35,6	83	Yeterli	Müdahaleye Gerek Yok	6	44	50
Bölüm 1	100. Yıl Bulvarı	Kesim 16	aw	Az Konforlu	Az Konforlu	Konforlu	Az Konforlu	34,7	37,7	36,2	80	Yeterli	Müdahaleye Gerek Yok	0	50	50
Bölüm 2	İsmet İnönü Bulvarı	Kesim 1	aw	Konforsuz	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Biraz Konforlu	40,0	39,3	39,7	42	Zayıf	Yenilenmeli	48	6	46
Bölüm 2	İsmet İnönü Bulvarı	Kesim 2	aw	Konforsuz	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Biraz Konforlu	38,8	38,6	38,7	36	Çok Zayıf	Yenilenmeli	42	2	56
Bölüm 2	İsmet İnönü Bulvarı	Kesim 3	aw	Konforsuz	Az Konforlu	Az Konforlu	Biraz Konforlu	40,8	40,8	40,8	68	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	41	4	55
Bölüm 2	İsmet İnönü Bulvarı	Kesim 4	aw	Konforsuz	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Biraz Konforlu	40,7	39,1	39,9	63	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	50	5	45
Bölüm 2	İsmet İnönü Bulvarı	Kesim 5	aw	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Konforlu	Az Konforlu	41,6	41,1	41,3	81	Yeterli	Müdahaleye Gerek Yok	23	4	73
Bölüm 2	İsmet İnönü Bulvarı	Kesim 6	aw	Konforsuz	Az Konforlu	Az Konforlu	Biraz Konforlu	40,5	40,0	40,2	69	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	38	4	58
Bölüm 2	İsmet İnönü Bulvarı	Kesim 7	aw	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Konforlu	Az Konforlu	40,9	40,5	40,7	71	Yeterli	Müdahaleye Gerek Yok	25	2	73
Bölüm 2	İsmet İnönü Bulvarı	Kesim 8	aw	Konforsuz	Az Konforlu	Az Konforlu	Biraz Konforlu	40,3	37,8	39,1	66	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	17	4	79
Bölüm 2	İsmet İnönü Bulvarı	Kesim 9	aw	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Konforlu	Az Konforlu	40,2	41,2	40,7	74	Yeterli	Müdahaleye Gerek Yok	31	5	64
Bölüm 2	İsmet İnönü Bulvarı	Kesim 10	aw	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Az Konforlu	Az Konforlu	40,1	40,4	40,3	71	Yeterli	Müdahaleye Gerek Yok	22	9	69
Bölüm 2	İsmet İnönü Bulvarı	Kesim 11	aw	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Az Konforlu	Biraz Konforlu	39,3	40,3	39,8	62	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	41	3	56
Bölüm 2	İsmet İnönü Bulvarı	Kesim 12	aw	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Konforlu	Az Konforlu	40,2	40,0	40,1	77	Yeterli	Müdahaleye Gerek Yok	0	4	96
Bölüm 3	Ruhtm Bulvarı	Kesim 1	aw	Konforsuz	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Biraz Konforlu	36,5	34,6	35,5	70	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	47	34	19
Bölüm 3	Ruhtm Bulvarı	Kesim 2	aw	Az Konforlu	Konforlu	Konforlu	Az Konforlu	40,0	34,8	37,4	81	Yeterli	Müdahaleye Gerek Yok	15	73	12
Bölüm 3	Ruhtm Bulvarı	Kesim 3	aw	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Konforlu	Az Konforlu	38,0	35,4	36,7	83	Yeterli	Müdahaleye Gerek Yok	0	13	87
Bölüm 3	Ruhtm Bulvarı	Kesim 4	aw	Biraz Konforlu	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Biraz Konforlu	41,4	40,7	41,1	69	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	21	0	79
Bölüm 4	19 Mayıs Bulvarı	Kesim 1	aw	Konforsuz	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Biraz Konforlu	39,4	40,6	40,0	54	Zayıf	Yenilenmeli	45	0	55
Bölüm 4	19 Mayıs Bulvarı	Kesim 2	aw	Biraz Konforlu	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Biraz Konforlu	38,2	38,5	38,3	51	Zayıf	Yenilenmeli	43	6	51
Bölüm 4	19 Mayıs Bulvarı	Kesim 3	aw	Konforsuz	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Biraz Konforlu	40,8	43,3	42,0	33	Çok Zayıf	Yenilenmeli	38	5	57
Bölüm 4	19 Mayıs Bulvarı	Kesim 4	aw	Konforsuz	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Biraz Konforlu	38,6	36,5	37,6	36	Çok Zayıf	Yenilenmeli	52	0	48
Bölüm 5	Şehit Korhan Ekiz Bulvarı	Kesim 1	aw	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Az Konforlu	Az Konforlu	41,5	39,2	40,3	80	Yeterli	Müdahaleye Gerek Yok	19	16	65
Bölüm 5	Şehit Korhan Ekiz Bulvarı	Kesim 2	aw	Konforsuz	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Biraz Konforlu	39,8	41,9	40,8	66	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	48	5	47
Bölüm 5	Şehit Korhan Ekiz Bulvarı	Kesim 3	aw	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Az Konforlu	Az Konforlu	41,8	42,3	42,0	72	Yeterli	Müdahaleye Gerek Yok	49	8	43
Bölüm 5	Şehit Korhan Ekiz Bulvarı	Kesim 4	aw	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Az Konforlu	Az Konforlu	40,8	41,0	40,9	69	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	46	5	49
Bölüm 5	Şehit Korhan Ekiz Bulvarı	Kesim 5	aw	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Konforlu	Az Konforlu	41,3	40,6	41,0	87	İyi	Müdahaleye Gerek Yok	39	11	50
Bölüm 5	Şehit Korhan Ekiz Bulvarı	Kesim 6	aw	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Konforlu	Az Konforlu	41,2	41,4	41,3	80	Yeterli	Müdahaleye Gerek Yok	23	2	75
Bölüm 6	Lise Caddesi	Kesim 1	aw	Konforsuz	Konforsuz	Biraz Konforlu	Konforsuz	34,0	39,3	36,6	18	Ciddi	Yenilenmeli	41	0	59
Bölüm 6	Lise Caddesi	Kesim 2	aw	Konforsuz	Konforsuz	Az Konforlu	Konforsuz	40,8	34,5	37,6	24	Ciddi	Yenilenmeli	41	1	58
Bölüm 6	Lise Caddesi	Kesim 3	aw	Konforsuz	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Biraz Konforlu	39,4	38,1	38,8	33	Çok Zayıf	Yenilenmeli	55	4	41
Bölüm 6	Lise Caddesi	Kesim 4	aw	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Konforlu	Az Konforlu	35,8	34,2	35,0	74	Yeterli	Müdahaleye Gerek Yok	0	23	77
Bölüm 6	Lise Caddesi	Kesim 5	aw	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Az Konforlu	Az Konforlu	24,5	29,9	27,2	63	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	46	4	50

Tablo Ek2.1 (devam): Değerlendirilen yollara ait aw verileri.

Bölüm No	Bölüm Adı	Kesim No	Parametreler	40 km/sa Hızda Toplanan Düzeltilmiş İmve Verileri				Pratik Ölçüm Hızları			Yüzey Bozulma Değerlendirmesi					
				Şerit Ortalamaları			Toplam Ortalamalar	Ölçüm Hızı 40 km/sa			Standart PCI Ölçeği		Geleneksel PCI Ölçeği	Yük (%)	İklim (%)	Diğer (%)
				Sağ Ön Koltuk	Orta Aks Üzeri	Sürücü Koltuğu		Sol Şerit	Sağ Şerit	Ortalama	PCI	Açıklaması				
Bölüm 7	İstiklal Caddesi	Kesim 1	aw	Biraz Konforlu	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Biraz Konforlu	41.1	41.3	41.2	60	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	38	19	43
Bölüm 7	İstiklal Caddesi	Kesim 2	aw	Konforsuz	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Biraz Konforlu	40.9	40.6	40.8	30	Çok Zayıf	Yenilenmeli	24	7	69
Bölüm 7	İstiklal Caddesi	Kesim 3	aw	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Az Konforlu	Biraz Konforlu	40.6	38.1	39.4	54	Zayıf	Yenilenmeli	38	0	62
Bölüm 7	İstiklal Caddesi	Kesim 4	aw	Konforsuz	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Biraz Konforlu	38.2	39.3	38.8	43	Zayıf	Yenilenmeli	46	2	52
Bölüm 7	İstiklal Caddesi	Kesim 5	aw	Biraz Konforlu	Biraz Konforlu	Konforlu	Biraz Konforlu	40.2	35.8	38.0	65	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	0	0	100
Bölüm 8	Muhittin Özkefeli Bulvarı	Kesim 1	aw	Biraz Konforlu	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Biraz Konforlu	43.0	40.7	41.9	53	Zayıf	Yenilenmeli	73	13	14
Bölüm 8	Muhittin Özkefeli Bulvarı	Kesim 2	aw	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Az Konforlu	Az Konforlu	41.0	45.1	43.0	54	Zayıf	Yenilenmeli	40	13	47
Bölüm 8	Muhittin Özkefeli Bulvarı	Kesim 3	aw	Konforsuz	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Biraz Konforlu	41.3	36.5	38.9	53	Zayıf	Yenilenmeli	51	14	35
Bölüm 8	Muhittin Özkefeli Bulvarı	Kesim 4	aw	Konforsuz	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Biraz Konforlu	42.9	41.1	42.0	58	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	45	16	39
Bölüm 9	Ali Rıza Bey Bulvarı	Kesim 1	aw	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Az Konforlu	Az Konforlu	38.5	39.8	39.2	55	Zayıf	Yenilenmeli	51	13	36
Bölüm 9	Ali Rıza Bey Bulvarı	Kesim 2	aw	Konforsuz	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Biraz Konforlu	37.4	38.3	37.8	27	Çok Zayıf	Yenilenmeli	47	9	44
Bölüm 9	Ali Rıza Bey Bulvarı	Kesim 3	aw	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Konforlu	Az Konforlu	41.1	40.9	41.0	63	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	49	11	40
Bölüm 9	Ali Rıza Bey Bulvarı	Kesim 4	aw	Az Konforlu	Konforlu	Konforlu	Konforlu	40.5	40.4	40.5	85	Yeterli	Müdahaleye Gerek Yok	42	0	58
Bölüm 9	Ali Rıza Bey Bulvarı	Kesim 5	aw	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Konforlu	Az Konforlu	36.9	36.6	36.8	69	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	51	0	49
Bölüm 9	Ali Rıza Bey Bulvarı	Kesim 6	aw	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Konforlu	Az Konforlu	38.3	40.1	39.2	66	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	68	0	32
Bölüm 10	2. Bulvar	Kesim 1	aw	Konforsuz	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Biraz Konforlu	39.0	39.2	39.1	50	Zayıf	Yenilenmeli	54	23	23
Bölüm 10	2. Bulvar	Kesim 2	aw	Konforsuz	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Biraz Konforlu	40.9	41.0	41.0	58	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	47	29	24
Bölüm 10	2. Bulvar	Kesim 3	aw	Konforsuz	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Biraz Konforlu	40.6	40.2	40.4	42	Zayıf	Yenilenmeli	25	17	58
Bölüm 10	2. Bulvar	Kesim 4	aw	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Az Konforlu	Biraz Konforlu	37.2	36.8	37.0	57	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	18	19	63
Bölüm 11	Barış Bulvarı	Kesim 1	aw	Konforsuz	Az Konforlu	Az Konforlu	Biraz Konforlu	41.6	38.1	39.8	49	Zayıf	Yenilenmeli	49	9	42
Bölüm 11	Barış Bulvarı	Kesim 2	aw	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Konforlu	Az Konforlu	36.6	35.0	35.8	71	Yeterli	Müdahaleye Gerek Yok	50	39	11
Bölüm 11	Barış Bulvarı	Kesim 3	aw	Konforsuz	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Biraz Konforlu	40.0	41.0	40.5	48	Zayıf	Yenilenmeli	10	6	84
Bölüm 11	Barış Bulvarı	Kesim 4	aw	Konforsuz	Az Konforlu	Az Konforlu	Biraz Konforlu	40.4	41.0	40.7	67	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	8	10	82
Bölüm 11	Barış Bulvarı	Kesim 5	aw	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Az Konforlu	Biraz Konforlu	39.2	40.6	39.9	56	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	0	12	88
Bölüm 11	Barış Bulvarı	Kesim 6	aw	Konforsuz	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Biraz Konforlu	41.6	40.6	41.1	41	Zayıf	Yenilenmeli	0	6	94
Bölüm 11	Barış Bulvarı	Kesim 7	aw	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Konforlu	Az Konforlu	38.6	38.8	38.7	69	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	0	15	85
Bölüm 11	Barış Bulvarı	Kesim 8	aw	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Az Konforlu	Az Konforlu	40.6	33.4	37.0	53	Zayıf	Yenilenmeli	5	10	85
Bölüm 11	Barış Bulvarı	Kesim 9	aw	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Konforlu	Az Konforlu	40.6	40.4	40.5	59	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	28	7	65
Bölüm 11	Barış Bulvarı	Kesim 10	aw	Konforsuz	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Biraz Konforlu	40.9	41.3	41.1	41	Zayıf	Yenilenmeli	18	5	77
Bölüm 12	Cağaloğlu Bulvarı	Kesim 1	aw	Konforsuz	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Biraz Konforlu	39.6	37.8	38.7	40	Çok Zayıf	Yenilenmeli	50	3	47
Bölüm 12	Cağaloğlu Bulvarı	Kesim 2	aw	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Konforlu	Az Konforlu	40.0	40.5	40.3	75	Yeterli	Müdahaleye Gerek Yok	9	2	89
Bölüm 12	Cağaloğlu Bulvarı	Kesim 3	aw	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Az Konforlu	Az Konforlu	41.5	41.5	41.5	63	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	40	6	54
Bölüm 12	Cağaloğlu Bulvarı	Kesim 4	aw	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Az Konforlu	Az Konforlu	41.2	40.4	40.8	62	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	34	5	61
Bölüm 12	Cağaloğlu Bulvarı	Kesim 5	aw	Konforsuz	Az Konforlu	Az Konforlu	Biraz Konforlu	41.0	40.8	40.9	59	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	50	3	47
Bölüm 13	Mustafa Kemal Bulvarı	Kesim 1	aw	Çok Konforsuz	Konforsuz	Biraz Konforlu	Konforsuz	40.3	40.7	40.5	5	Bozuk	Yenilenmeli	38	8	54
Bölüm 13	Mustafa Kemal Bulvarı	Kesim 2	aw	Konforsuz	Biraz Konforlu	Biraz Konforlu	Konforsuz	39.3	39.2	39.2	24	Ciddi	Yenilenmeli	30	18	52
Bölüm 13	Mustafa Kemal Bulvarı	Kesim 3	aw	Konforsuz	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Biraz Konforlu	39.9	42.2	41.1	63	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	36	8	56
Bölüm 13	Mustafa Kemal Bulvarı	Kesim 4	aw	Konforsuz	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Biraz Konforlu	38.0	40.0	39.0	48	Zayıf	Yenilenmeli	42	7	51
Bölüm 14	Alparslan Bulvarı	Kesim 1	aw	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Az Konforlu	Az Konforlu	39.7	40.3	40.0	64	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	48	4	48
Bölüm 14	Alparslan Bulvarı	Kesim 2	aw	Konforsuz	Az Konforlu	Az Konforlu	Biraz Konforlu	39.1	39.0	39.0	57	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	10	3	87
Bölüm 14	Alparslan Bulvarı	Kesim 3	aw	Konforsuz	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Biraz Konforlu	40.4	39.7	40.0	65	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	35	6	59
Bölüm 14	Alparslan Bulvarı	Kesim 4	aw	Konforsuz	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Biraz Konforlu	40.1	40.7	40.4	57	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	7	8	85
Bölüm 15	Ali Gaffar Okkan Caddesi	Kesim 1	aw	Çok Konforsuz	Konforsuz	Biraz Konforlu	Konforsuz	40.1	39.6	39.8	22	Ciddi	Yenilenmeli	37	2	61
Bölüm 15	Ali Gaffar Okkan Caddesi	Kesim 2	aw	Çok Konforsuz	Biraz Konforlu	Biraz Konforlu	Konforsuz	38.8	40.9	39.9	28	Çok Zayıf	Yenilenmeli	28	2	70
Bölüm 16	Vatan Caddesi	Kesim 1	aw	Konforsuz	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Biraz Konforlu	41.1	39.9	40.5	46	Zayıf	Yenilenmeli	38	20	42
Bölüm 16	Vatan Caddesi	Kesim 2	aw	Çok Konforsuz	Biraz Konforlu	Biraz Konforlu	Konforsuz	39.2	39.1	39.2	9	Bozuk	Yenilenmeli	45	11	44
Bölüm 17	Doğupark Sokak	Kesim 1	aw	Biraz Konforlu	Konforlu	Konforlu	Az Konforlu	42.5	41.6	42.0	93	İyi	Müdahaleye Gerek Yok	0	0	100
Bölüm 18	20. Sokak	Kesim 1	aw	Konforsuz	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Biraz Konforlu	39.6	39.4	39.5	54	Zayıf	Yenilenmeli	31	13	56
Bölüm 19	23. Sokak	Kesim 1	aw	Aşırı Konforsuz	Konforsuz	Biraz Konforlu	Çok Konforsuz	41.7	39.1	40.4	0	Bozuk	Yenilenmeli	31	11	58
Bölüm 19	23. Sokak	Kesim 2	aw	Çok Konforsuz	Biraz Konforlu	Biraz Konforlu	Konforsuz	41.5	40.1	40.8	22	Ciddi	Yenilenmeli	34	17	49
Bölüm 20	26. Sokak	Kesim 1	aw	Konforsuz	Az Konforlu	Konforlu	Biraz Konforlu	41.1	41.7	41.4	74	Yeterli	Müdahaleye Gerek Yok	0	21	79

Tablo Ek2.2: Değerlendirilen yollara ait MTVV verileri.

Bölüm No	Bölüm Adı	Kesim No	Parametreler	40 km/sa Hızda Toplanan Düzeltilmiş İyeme Verileri				Pratik Ölçüm Hızları			Yüzey Bozulma Değerlendirmesi					
				Şerit Ortalamaları			Toplam Ortalamalar	Ölçüm Hızı 40 km/sa			Standart PCI Ölçeği		Geleneksel PCI Ölçeği	Yük (%)	İklim (%)	Diğer (%)
				Sağ Ön Koltuk	Orta Aks Üzeri	Sürücü Koltuğu		Sol Şerit	Sağ Şerit	Ortalama	PCI	Açıklaması				
	Kalibrasyon Değeri			Konforlu	Konforlu	Konforlu	Konforlu	40.0	40.0	40.0	100	İyi	Müdahaleye Gerek Yok	0	0	0
Bölüm 1	100. Yıl Bulvarı	Kesim 1	MTVV	Çok Konforsuz	Konforsuz	Konforsuz	Konforsuz	38.6	40.4	39.5	65	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	21	4	75
Bölüm 1	100. Yıl Bulvarı	Kesim 2	MTVV	Konforsuz	Biraz Konforlu	Biraz Konforlu	Konforsuz	39.5	39.5	39.5	55	Zayıf	Yenilenmeli	28	0	72
Bölüm 1	100. Yıl Bulvarı	Kesim 3	MTVV	Konforsuz	Konforsuz	Biraz Konforlu	Konforsuz	40.0	40.5	40.2	68	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	13	0	87
Bölüm 1	100. Yıl Bulvarı	Kesim 4	MTVV	Çok Konforsuz	Konforsuz	Konforsuz	Konforsuz	40.3	41.7	41.0	64	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	3	6	91
Bölüm 1	100. Yıl Bulvarı	Kesim 5	MTVV	Aşırı Konforsuz	Çok Konforsuz	Konforsuz	Çok Konforsuz	39.6	41.0	40.3	37	Çok Zayıf	Yenilenmeli	6	0	94
Bölüm 1	100. Yıl Bulvarı	Kesim 6	MTVV	Aşırı Konforsuz	Çok Konforsuz	Konforsuz	Çok Konforsuz	41.8	42.1	42.0	31	Çok Zayıf	Yenilenmeli	44	1	55
Bölüm 1	100. Yıl Bulvarı	Kesim 7	MTVV	Çok Konforsuz	Konforsuz	Konforsuz	Çok Konforsuz	41.5	41.5	41.5	75	Yeterli	Müdahaleye Gerek Yok	16	0	84
Bölüm 1	100. Yıl Bulvarı	Kesim 8	MTVV	Çok Konforsuz	Çok Konforsuz	Konforsuz	Çok Konforsuz	41.1	41.4	41.2	49	Zayıf	Yenilenmeli	19	1	80
Bölüm 1	100. Yıl Bulvarı	Kesim 9	MTVV	Aşırı Konforsuz	Çok Konforsuz	Konforsuz	Çok Konforsuz	41.6	39.9	40.8	62	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	38	7	55
Bölüm 1	100. Yıl Bulvarı	Kesim 10	MTVV	Çok Konforsuz	Çok Konforsuz	Konforsuz	Çok Konforsuz	39.5	41.2	40.3	56	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	30	9	61
Bölüm 1	100. Yıl Bulvarı	Kesim 11	MTVV	Konforsuz	Konforsuz	Biraz Konforlu	Konforsuz	40.2	39.5	39.8	68	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	45	35	20
Bölüm 1	100. Yıl Bulvarı	Kesim 12	MTVV	Çok Konforsuz	Konforsuz	Biraz Konforlu	Konforsuz	40.7	41.8	41.2	71	Yeterli	Müdahaleye Gerek Yok	3	23	74
Bölüm 1	100. Yıl Bulvarı	Kesim 13	MTVV	Çok Konforsuz	Konforsuz	Biraz Konforlu	Konforsuz	40.9	39.7	40.3	73	Yeterli	Müdahaleye Gerek Yok	13	30	57
Bölüm 1	100. Yıl Bulvarı	Kesim 14	MTVV	Çok Konforsuz	Konforsuz	Biraz Konforlu	Konforsuz	42.2	39.6	40.9	78	Yeterli	Müdahaleye Gerek Yok	13	26	61
Bölüm 1	100. Yıl Bulvarı	Kesim 15	MTVV	Konforsuz	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Biraz Konforlu	36.7	34.4	35.6	83	Yeterli	Müdahaleye Gerek Yok	6	44	50
Bölüm 1	100. Yıl Bulvarı	Kesim 16	MTVV	Biraz Konforlu	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Biraz Konforlu	34.7	37.7	36.2	80	Yeterli	Müdahaleye Gerek Yok	0	50	50
Bölüm 2	İsmet İnönü Bulvarı	Kesim 1	MTVV	Aşırı Konforsuz	Çok Konforsuz	Konforsuz	Çok Konforsuz	40.0	39.3	39.7	42	Zayıf	Yenilenmeli	48	6	46
Bölüm 2	İsmet İnönü Bulvarı	Kesim 2	MTVV	Aşırı Konforsuz	Konforsuz	Konforsuz	Çok Konforsuz	38.8	38.6	38.7	36	Çok Zayıf	Yenilenmeli	42	2	56
Bölüm 2	İsmet İnönü Bulvarı	Kesim 3	MTVV	Aşırı Konforsuz	Konforsuz	Konforsuz	Çok Konforsuz	40.8	40.8	40.8	68	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	41	4	55
Bölüm 2	İsmet İnönü Bulvarı	Kesim 4	MTVV	Aşırı Konforsuz	Çok Konforsuz	Konforsuz	Çok Konforsuz	40.7	39.1	39.9	63	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	50	5	45
Bölüm 2	İsmet İnönü Bulvarı	Kesim 5	MTVV	Çok Konforsuz	Konforsuz	Biraz Konforlu	Konforsuz	41.6	41.1	41.3	81	Yeterli	Müdahaleye Gerek Yok	23	4	73
Bölüm 2	İsmet İnönü Bulvarı	Kesim 6	MTVV	Aşırı Konforsuz	Çok Konforsuz	Konforsuz	Çok Konforsuz	40.5	40.0	40.2	69	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	38	4	58
Bölüm 2	İsmet İnönü Bulvarı	Kesim 7	MTVV	Aşırı Konforsuz	Çok Konforsuz	Biraz Konforlu	Çok Konforsuz	40.9	40.5	40.7	71	Yeterli	Müdahaleye Gerek Yok	25	2	73
Bölüm 2	İsmet İnönü Bulvarı	Kesim 8	MTVV	Aşırı Konforsuz	Konforsuz	Konforsuz	Çok Konforsuz	40.3	37.8	39.1	66	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	17	4	79
Bölüm 2	İsmet İnönü Bulvarı	Kesim 9	MTVV	Çok Konforsuz	Konforsuz	Biraz Konforlu	Konforsuz	40.2	41.2	40.7	74	Yeterli	Müdahaleye Gerek Yok	31	5	64
Bölüm 2	İsmet İnönü Bulvarı	Kesim 10	MTVV	Çok Konforsuz	Çok Konforsuz	Konforsuz	Çok Konforsuz	40.1	40.4	40.3	71	Yeterli	Müdahaleye Gerek Yok	22	9	69
Bölüm 2	İsmet İnönü Bulvarı	Kesim 11	MTVV	Çok Konforsuz	Konforsuz	Biraz Konforlu	Konforsuz	39.3	40.3	39.8	62	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	41	3	56
Bölüm 2	İsmet İnönü Bulvarı	Kesim 12	MTVV	Çok Konforsuz	Konforsuz	Biraz Konforlu	Konforsuz	40.2	40.0	40.1	77	Yeterli	Müdahaleye Gerek Yok	0	4	96
Bölüm 3	Rıhtım Bulvarı	Kesim 1	MTVV	Çok Konforsuz	Konforsuz	Biraz Konforlu	Konforsuz	36.5	34.6	35.5	70	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	47	34	19
Bölüm 3	Rıhtım Bulvarı	Kesim 2	MTVV	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Konforlu	Az Konforlu	40.0	34.8	37.4	81	Yeterli	Müdahaleye Gerek Yok	15	73	12
Bölüm 3	Rıhtım Bulvarı	Kesim 3	MTVV	Konforsuz	Konforsuz	Biraz Konforlu	Konforsuz	38.0	35.4	36.7	83	Yeterli	Müdahaleye Gerek Yok	0	13	87
Bölüm 3	Rıhtım Bulvarı	Kesim 4	MTVV	Çok Konforsuz	Konforsuz	Biraz Konforlu	Konforsuz	41.4	40.7	41.1	69	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	21	0	79
Bölüm 4	19 Mayıs Bulvarı	Kesim 1	MTVV	Aşırı Konforsuz	Aşırı Konforsuz	Biraz Konforlu	Çok Konforsuz	39.4	40.6	40.0	54	Zayıf	Yenilenmeli	45	0	55
Bölüm 4	19 Mayıs Bulvarı	Kesim 2	MTVV	Çok Konforsuz	Konforsuz	Konforsuz	Çok Konforsuz	38.2	38.5	38.3	51	Zayıf	Yenilenmeli	43	6	51
Bölüm 4	19 Mayıs Bulvarı	Kesim 3	MTVV	Çok Konforsuz	Konforsuz	Biraz Konforlu	Konforsuz	40.8	43.3	42.0	33	Çok Zayıf	Yenilenmeli	38	5	57
Bölüm 4	19 Mayıs Bulvarı	Kesim 4	MTVV	Çok Konforsuz	Konforsuz	Biraz Konforlu	Konforsuz	38.6	36.5	37.6	36	Çok Zayıf	Yenilenmeli	52	0	48
Bölüm 5	Şehit Korhan Ekiz Bulvarı	Kesim 1	MTVV	Çok Konforsuz	Konforsuz	Biraz Konforlu	Konforsuz	41.5	39.2	40.3	80	Yeterli	Müdahaleye Gerek Yok	19	16	65
Bölüm 5	Şehit Korhan Ekiz Bulvarı	Kesim 2	MTVV	Aşırı Konforsuz	Çok Konforsuz	Konforsuz	Çok Konforsuz	39.8	41.9	40.8	66	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	48	5	47
Bölüm 5	Şehit Korhan Ekiz Bulvarı	Kesim 3	MTVV	Aşırı Konforsuz	Konforsuz	Biraz Konforlu	Çok Konforsuz	41.8	42.3	42.0	72	Yeterli	Müdahaleye Gerek Yok	49	8	43
Bölüm 5	Şehit Korhan Ekiz Bulvarı	Kesim 4	MTVV	Çok Konforsuz	Konforsuz	Konforsuz	Çok Konforsuz	40.8	41.0	40.9	69	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	46	5	49
Bölüm 5	Şehit Korhan Ekiz Bulvarı	Kesim 5	MTVV	Çok Konforsuz	Konforsuz	Konforsuz	Çok Konforsuz	41.3	40.6	41.0	87	İyi	Müdahaleye Gerek Yok	39	11	50
Bölüm 5	Şehit Korhan Ekiz Bulvarı	Kesim 6	MTVV	Çok Konforsuz	Çok Konforsuz	Konforsuz	Çok Konforsuz	41.2	41.4	41.3	80	Yeterli	Müdahaleye Gerek Yok	23	2	75
Bölüm 6	Lise Caddesi	Kesim 1	MTVV	Aşırı Konforsuz	Çok Konforsuz	Konforsuz	Çok Konforsuz	34.0	39.3	36.6	18	Ciddi	Yenilenmeli	41	0	59
Bölüm 6	Lise Caddesi	Kesim 2	MTVV	Aşırı Konforsuz	Çok Konforsuz	Konforsuz	Çok Konforsuz	40.8	34.5	37.6	24	Ciddi	Yenilenmeli	41	1	58
Bölüm 6	Lise Caddesi	Kesim 3	MTVV	Aşırı Konforsuz	Çok Konforsuz	Konforsuz	Çok Konforsuz	39.4	38.1	38.8	33	Çok Zayıf	Yenilenmeli	55	4	41
Bölüm 6	Lise Caddesi	Kesim 4	MTVV	Konforsuz	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Biraz Konforlu	35.8	34.2	35.0	74	Yeterli	Müdahaleye Gerek Yok	0	23	77
Bölüm 6	Lise Caddesi	Kesim 5	MTVV	Konforsuz	Konforsuz	Biraz Konforlu	Konforsuz	24.5	29.9	27.2	63	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	46	4	50

Tablo Ek.2.2 (devam): Değerlendirilen yollara ait MTVV verileri.

Bölüm No	Bölüm Adı	Kesim No	Parametreler	40 km/sa Hızda Toplanan Düzeltilmiş İvme Verileri				Pratik Ölçüm Hızları			Yüzey Bozulma Değerlendirmesi					
				Şerit Ortalamaları			Ortalama	Ölçüm Hızı 40 km/sa			PCI	Açıklaması	Geleneksel PCI Ölçeği	Yük (%)	İklim (%)	Diğer (%)
				Sağ Ön Koltuk	Orta Aks Üzeri	Sürücü Koltuğu		Sol Şerit	Sağ Şerit	Ortalama						
Bölüm 7	İstiklal Caddesi	Kesim 1	MTVV	Çok Konforsuz	Konforsuz	Biraz Konforlu	Çok Konforsuz	41.1	41.3	41.2	60	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	38	19	43
Bölüm 7	İstiklal Caddesi	Kesim 2	MTVV	Çok Konforsuz	Konforsuz	Konforsuz	Konforsuz	40.9	40.6	40.8	30	Çok Zayıf	Yenilenmeli	24	7	69
Bölüm 7	İstiklal Caddesi	Kesim 3	MTVV	Çok Konforsuz	Konforsuz	Konforsuz	Konforsuz	40.6	38.1	39.4	54	Zayıf	Yenilenmeli	38	0	62
Bölüm 7	İstiklal Caddesi	Kesim 4	MTVV	Aşırı Konforsuz	Çok Konforsuz	Konforsuz	Çok Konforsuz	38.2	39.3	38.8	43	Zayıf	Yenilenmeli	46	2	52
Bölüm 7	İstiklal Caddesi	Kesim 5	MTVV	Çok Konforsuz	Konforsuz	Biraz Konforlu	Konforsuz	40.2	35.8	38.0	65	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	0	0	100
Bölüm 8	Muhittin Özkefeli Bulvarı	Kesim 1	MTVV	Konforsuz	Konforsuz	Biraz Konforlu	Konforsuz	43.0	40.7	41.9	53	Zayıf	Yenilenmeli	73	13	14
Bölüm 8	Muhittin Özkefeli Bulvarı	Kesim 2	MTVV	Biraz Konforlu	Biraz Konforlu	Biraz Konforlu	Biraz Konforlu	41.0	45.1	43.0	54	Zayıf	Yenilenmeli	40	13	47
Bölüm 8	Muhittin Özkefeli Bulvarı	Kesim 3	MTVV	Çok Konforsuz	Çok Konforsuz	Biraz Konforlu	Çok Konforsuz	41.3	36.5	38.9	53	Zayıf	Yenilenmeli	51	14	35
Bölüm 8	Muhittin Özkefeli Bulvarı	Kesim 4	MTVV	Aşırı Konforsuz	Çok Konforsuz	Biraz Konforlu	Çok Konforsuz	42.9	41.1	42.0	58	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	45	16	39
Bölüm 9	Ali Rıza Bey Bulvarı	Kesim 1	MTVV	Çok Konforsuz	Konforsuz	Konforsuz	Konforsuz	38.5	39.8	39.2	55	Zayıf	Yenilenmeli	51	13	36
Bölüm 9	Ali Rıza Bey Bulvarı	Kesim 2	MTVV	Çok Konforsuz	Çok Konforsuz	Biraz Konforlu	Çok Konforsuz	37.4	38.3	37.8	27	Çok Zayıf	Yenilenmeli	47	9	44
Bölüm 9	Ali Rıza Bey Bulvarı	Kesim 3	MTVV	Çok Konforsuz	Konforsuz	Biraz Konforlu	Konforsuz	41.1	40.9	41.0	63	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	49	11	40
Bölüm 9	Ali Rıza Bey Bulvarı	Kesim 4	MTVV	Konforsuz	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Biraz Konforlu	40.5	40.4	40.5	85	Yeterli	Müdahaleye Gerek Yok	42	0	58
Bölüm 9	Ali Rıza Bey Bulvarı	Kesim 5	MTVV	Çok Konforsuz	Konforsuz	Az Konforlu	Konforsuz	36.9	36.6	36.8	69	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	51	0	49
Bölüm 9	Ali Rıza Bey Bulvarı	Kesim 6	MTVV	Konforsuz	Konforsuz	Az Konforlu	Biraz Konforlu	38.3	40.1	39.2	66	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	68	0	32
Bölüm 10	2. Bulvar	Kesim 1	MTVV	Aşırı Konforsuz	Çok Konforsuz	Çok Konforsuz	Çok Konforsuz	39.0	39.2	39.1	50	Zayıf	Yenilenmeli	54	23	23
Bölüm 10	2. Bulvar	Kesim 2	MTVV	Aşırı Konforsuz	Çok Konforsuz	Biraz Konforlu	Çok Konforsuz	40.9	41.0	41.0	58	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	47	29	24
Bölüm 10	2. Bulvar	Kesim 3	MTVV	Çok Konforsuz	Konforsuz	Konforsuz	Çok Konforsuz	40.6	40.2	40.4	42	Zayıf	Yenilenmeli	25	17	58
Bölüm 10	2. Bulvar	Kesim 4	MTVV	Çok Konforsuz	Konforsuz	Konforsuz	Konforsuz	37.2	36.8	37.0	57	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	18	19	63
Bölüm 11	Barış Bulvarı	Kesim 1	MTVV	Çok Konforsuz	Konforsuz	Konforsuz	Konforsuz	41.6	38.1	39.8	49	Zayıf	Yenilenmeli	49	9	42
Bölüm 11	Barış Bulvarı	Kesim 2	MTVV	Konforsuz	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Biraz Konforlu	36.6	35.0	35.8	71	Yeterli	Müdahaleye Gerek Yok	50	39	11
Bölüm 11	Barış Bulvarı	Kesim 3	MTVV	Aşırı Konforsuz	Çok Konforsuz	Konforsuz	Aşırı Konforsuz	40.0	41.0	40.5	48	Zayıf	Yenilenmeli	10	6	84
Bölüm 11	Barış Bulvarı	Kesim 4	MTVV	Aşırı Konforsuz	Çok Konforsuz	Konforsuz	Çok Konforsuz	40.4	41.0	40.7	67	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	8	10	82
Bölüm 11	Barış Bulvarı	Kesim 5	MTVV	Çok Konforsuz	Konforsuz	Konforsuz	Konforsuz	39.2	40.6	39.9	56	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	0	12	88
Bölüm 11	Barış Bulvarı	Kesim 6	MTVV	Aşırı Konforsuz	Çok Konforsuz	Konforsuz	Çok Konforsuz	41.6	40.6	41.1	41	Zayıf	Yenilenmeli	0	6	94
Bölüm 11	Barış Bulvarı	Kesim 7	MTVV	Çok Konforsuz	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Konforsuz	38.6	38.8	38.7	69	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	0	15	85
Bölüm 11	Barış Bulvarı	Kesim 8	MTVV	Konforsuz	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Biraz Konforlu	40.6	33.4	37.0	53	Zayıf	Yenilenmeli	5	10	85
Bölüm 11	Barış Bulvarı	Kesim 9	MTVV	Aşırı Konforsuz	Çok Konforsuz	Konforsuz	Çok Konforsuz	40.6	40.4	40.5	59	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	28	7	65
Bölüm 11	Barış Bulvarı	Kesim 10	MTVV	Aşırı Konforsuz	Çok Konforsuz	Konforsuz	Çok Konforsuz	40.9	41.3	41.1	41	Zayıf	Yenilenmeli	18	5	77
Bölüm 12	Çağaloğlu Bulvarı	Kesim 1	MTVV	Aşırı Konforsuz	Konforsuz	Konforsuz	Çok Konforsuz	39.6	37.8	38.7	40	Çok Zayıf	Yenilenmeli	50	3	47
Bölüm 12	Çağaloğlu Bulvarı	Kesim 2	MTVV	Çok Konforsuz	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Konforsuz	40.0	40.5	40.3	75	Yeterli	Müdahaleye Gerek Yok	9	2	89
Bölüm 12	Çağaloğlu Bulvarı	Kesim 3	MTVV	Konforsuz	Biraz Konforlu	Biraz Konforlu	Konforsuz	41.5	41.5	41.5	63	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	40	6	54
Bölüm 12	Çağaloğlu Bulvarı	Kesim 4	MTVV	Çok Konforsuz	Çok Konforsuz	Konforsuz	Çok Konforsuz	41.2	40.4	40.8	62	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	34	5	61
Bölüm 12	Çağaloğlu Bulvarı	Kesim 5	MTVV	Aşırı Konforsuz	Çok Konforsuz	Konforsuz	Çok Konforsuz	41.0	40.8	40.9	59	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	50	3	47
Bölüm 13	Mustafa Kemal Bulvarı	Kesim 1	MTVV	Aşırı Konforsuz	Çok Konforsuz	Konforsuz	Çok Konforsuz	40.3	40.7	40.5	5	Bozuk	Yenilenmeli	38	8	54
Bölüm 13	Mustafa Kemal Bulvarı	Kesim 2	MTVV	Aşırı Konforsuz	Çok Konforsuz	Konforsuz	Çok Konforsuz	39.3	39.2	39.2	24	Ciddi	Yenilenmeli	30	18	52
Bölüm 13	Mustafa Kemal Bulvarı	Kesim 3	MTVV	Aşırı Konforsuz	Çok Konforsuz	Konforsuz	Çok Konforsuz	39.9	42.2	41.1	63	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	36	8	56
Bölüm 13	Mustafa Kemal Bulvarı	Kesim 4	MTVV	Aşırı Konforsuz	Çok Konforsuz	Biraz Konforlu	Çok Konforsuz	38.0	40.0	39.0	48	Zayıf	Yenilenmeli	42	7	51
Bölüm 14	Alparslan Bulvarı	Kesim 1	MTVV	Çok Konforsuz	Konforsuz	Konforsuz	Konforsuz	39.7	40.3	40.0	64	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	48	4	48
Bölüm 14	Alparslan Bulvarı	Kesim 2	MTVV	Aşırı Konforsuz	Çok Konforsuz	Biraz Konforlu	Çok Konforsuz	39.1	39.0	39.0	57	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	10	3	87
Bölüm 14	Alparslan Bulvarı	Kesim 3	MTVV	Aşırı Konforsuz	Aşırı Konforsuz	Konforsuz	Aşırı Konforsuz	40.4	39.7	40.0	65	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	35	6	59
Bölüm 14	Alparslan Bulvarı	Kesim 4	MTVV	Aşırı Konforsuz	Aşırı Konforsuz	Konforsuz	Aşırı Konforsuz	40.1	40.7	40.4	57	Dengeli	Bakım ve Onarım Yapılmalı	7	8	85
Bölüm 15	Ali Gaffar Okkan Caddesi	Kesim 1	MTVV	Aşırı Konforsuz	Aşırı Konforsuz	Aşırı Konforsuz	Aşırı Konforsuz	40.1	39.6	39.8	22	Ciddi	Yenilenmeli	37	2	61
Bölüm 15	Ali Gaffar Okkan Caddesi	Kesim 2	MTVV	Aşırı Konforsuz	Aşırı Konforsuz	Çok Konforsuz	Aşırı Konforsuz	38.8	40.9	39.9	28	Çok Zayıf	Yenilenmeli	28	2	70
Bölüm 16	Vatan Caddesi	Kesim 1	MTVV	Aşırı Konforsuz	Çok Konforsuz	Konforsuz	Aşırı Konforsuz	41.1	39.9	40.5	46	Zayıf	Yenilenmeli	38	20	42
Bölüm 16	Vatan Caddesi	Kesim 2	MTVV	Aşırı Konforsuz	Çok Konforsuz	Konforsuz	Aşırı Konforsuz	39.2	39.1	39.2	9	Bozuk	Yenilenmeli	45	11	44
Bölüm 17	Doğupark Sokak	Kesim 1	MTVV	Konforsuz	Biraz Konforlu	Az Konforlu	Biraz Konforlu	42.5	41.6	42.0	93	İyi	Müdahaleye Gerek Yok	0	0	100
Bölüm 18	20. Sokak	Kesim 1	MTVV	Çok Konforsuz	Konforsuz	Biraz Konforlu	Konforsuz	39.6	39.4	39.5	54	Zayıf	Yenilenmeli	31	13	56
Bölüm 19	23. Sokak	Kesim 1	MTVV	Aşırı Konforsuz	Aşırı Konforsuz	Çok Konforsuz	Aşırı Konforsuz	41.7	39.1	40.4	0	Bozuk	Yenilenmeli	31	11	58
Bölüm 19	23. Sokak	Kesim 2	MTVV	Aşırı Konforsuz	Çok Konforsuz	Konforsuz	Çok Konforsuz	41.5	40.1	40.8	22	Ciddi	Yenilenmeli	34	17	49
Bölüm 20	26. Sokak	Kesim 1	MTVV	Çok Konforsuz	Konforsuz	Biraz Konforlu	Konforsuz	41.1	41.7	41.4	74	Yeterli	Müdahaleye Gerek Yok	0	21	79

ÖZGEÇMİŞ



Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı	UFUK KIRBAŞ
Uyruğu	TÜRKİYE CUMHURİYETİ
Doğum tarihi, Yeri	17.07.1980
Telefon	0 532 6400669
E-mail	ufukkirbas@gmail.com
Web adres	

Eğitim

Derece	Kurum/Anabilim Dalı/Programı	Yılı
Doktora	İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü/İnşaat Mühendisliği/İnşaat Mühendisliği	2013
Yüksek Lisans	Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü/ İnşaat Mühendisliği/Ulaştırma Prog.	2007
Lisans	Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü/ İnşaat Mühendisliği	2005
Lisans	Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü/ Jeodezi ve Fotog. Mühendisliği	2004
Önlisans	O.M.Ü. Samsun Meslek Yüksekokulu/ Bilgisayar Programcılığı	1999
Lise	Samsun Ondokuzmayıs Lisesi	1997

Makaleler / Bildiriler

- Kırbaş, U.**, 2007, *Üstyapı Yönetim Sistemi ve Beşiktaş İlçesi Örneğinde Uygulama Olanaklarının Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kırbaş, U.**, Gürsoy, M., 2007, Üstyapı Yönetim Sistemlerinde Kullanılan Veri Türlerinin Sınıflandırma Yöntemleri, *7. Ulaştırma Kongresi*, 19-21 Eylül 2007 İstanbul, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, 364-373.
- Kırbaş, U.**, Özen, H., 2008, Investigation of Travel Time Reliability Between the Origin and the Destination Points of Kozyatagi and Okmeydani, *Advances in Civil Engineering - ACE2008*, 15-17 September 2008 Cyprus, Eastern Mediterranean University, 31-38.
- Yüksel, H. Gürsoy M., Yardım M.S., **Kırbaş, U.**, 2008, Acceptable Congestion Pricing Schemes for Kadikoy CBD, İstanbul, *IIT Bombay Golden Jubilee International Conference and 8th International Workshop on Transportation Planning and Implementation Methodologies For Developing Countries*, 3-6 December 2008 Mumbai.
- Kırbaş, U.**, Gürsoy, M. 2010, Developing Basics of Pavement Management System in Besiktas District and Evaluation of the Selected Sections, *Scientific Research and Essays*, 5(8), 806-812.