

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÜSTYAPI YÖNETİM SİSTEMİ ve  
BEŞİKTAŞ İLÇESİ ÖRNEĞİNDE  
UYGULAMA OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI**

**İnş. Müh. Ufuk KIRBAŞ**

**FBE İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Ulaştırma Programında  
Hazırlanan**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tez Danışmanı: Öğr.Gör.Dr. Mustafa GÜRSOY**

**İSTANBUL, 2007**

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ .....	v
KISALTIMA LİSTESİ .....	vii
ŞEKİL LİSTESİ .....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ .....	xiii
ÖNSÖZ .....	xiv
ÖZET .....	xv
ABSTRACT .....	xvi
1. GİRİŞ .....	1
2. ÜSTYAPI YÖNETİM SİSTEMİ .....	5
2.1 Üstyapı Yönetimine Giriş .....	5
2.2 Karayolu Yapısı .....	11
2.3 Üstyapı Yönetim Kavramı .....	13
2.4 Üstyapı Yönetim Düzeyleri ve Fonksiyonları .....	16
2.4.1 ÜYS Fonksiyonları .....	18
2.5 ÜYS’de Kullanılan Veriler ve Kullanım Amaçları .....	22
2.5.1 Üstyapı Yönetiminde Veri İhtiyaçlarına Genel Bakış ve Sınıflandırma .....	22
2.6 Envanter Veri İhtiyaçları ve Tipleri .....	27
2.7 Üstyapı Performansı .....	29
2.8 Düzgünsüzlük Değerlendirmede Kullanılan Ekipmanlar .....	32
2.8.1 Üstyapı Profil Ölçüm Aygıtları (Profilometreler) .....	33
2.8.2 Profilograflar .....	35
2.8.3 Tepki Tipli Aygıtlar .....	36
2.9 Uluslararası Düzgünsüzlük Ölçüm Standartları .....	37
2.9.1 Çeyrek-araç Simülasyonu (Quarter-car simulation) .....	38
2.9.2 Kök Ortalama Karesi Düşey İvmelenme (RMSVA) .....	40
2.9.3 Eğim Varyansı (SV) .....	41
2.10 Düzgünsüzlük - Hizmet Yeteneği İlişkisi, Evrimi ve Uygulamaları .....	42
3. ÜSTYAPININ YAPISAL KAPASİTESİNİN ve BOZULMALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ .....	45
3.1 Tahribatsız Yapısal Değerlendirme .....	45
3.2 Tahribatlı Yapısal Değerlendirme .....	51
3.3 Yapısal Kapasite İndeksi .....	51
3.4 Yüzey Bozulma Etüdüleri, Prensipleri ve Bileşenleri .....	53
3.4.1 Araştırma Metodolojisi .....	54

3.4.2	Bozulma Tipleri .....	54
3.4.3	Üstyapı Bozukluklarının Değerlendirilmesi için Kullanılan Ekipmanlar .....	57
3.5	Üstyapı Kalitesinin Birleştirilmiş Ölçütleri .....	62
4.	PAVER SİSTEMİ .....	63
4.1	PAVER Sistemi Ağ Tanımlaması .....	64
4.1.1	Bölüm Tanımlama .....	65
4.1.2	Kesim Tanımlama .....	65
4.1.3	Diğer Kesim Sınıflamaları .....	68
4.2	PAVER Sistemi Üstyapı Durum Araştırması ve Oranlama Prosedürü .....	69
4.2.1	Üstyapının Örnek Alanlara Bölünmesi .....	70
4.2.2	Bozulma Verileri Toplanacak Örnek Alanların Belirlenmesi .....	71
4.2.3	Bozulma Verilerinin Toplanması .....	76
4.2.4	PCI Değerinin Hesaplanması .....	77
4.2.4.1	Asfalt Kaplamalı Üstyapılar için Örnek Alanda PCI Hesabı .....	77
4.2.4.2	Bir Üstyapı Kesimin PCI Hesabı .....	81
4.2.4.3	Bir Üstyapı Kesimi Bozulma Miktarının Belirlenmesi .....	81
4.3	PAVER Sistemi Bozulma Tanımlama Kılavuzu .....	82
4.3.1	Timsah Sırtı Çatlaklar .....	83
4.3.2	Kusmalar .....	85
4.3.3	Blok Çatlaklar .....	87
4.3.4	Kabarmalar ve Oturmalar .....	88
4.3.5	Ondülasyonlar .....	90
4.3.6	Çökmeler .....	91
4.3.7	Kenar Çatlakları .....	92
4.3.8	Yansıma Çatlakları .....	94
4.3.9	Kenar / Banket Düşüklükleri .....	96
4.3.10	Boyuna ve Enine Çatlaklar .....	97
4.3.11	Yamalar .....	99
4.3.12	Cilalanmalar .....	101
4.3.13	Oyulmalar .....	101
4.3.14	Demiryolu Geçişleri .....	103
4.3.15	Tekerlek İzi .....	104
4.3.16	Toplanmalar .....	106
4.3.17	Tabaka Kayması Çatlakları .....	107
4.3.18	Şişmeler .....	108
4.3.19	Sökülme ve Ayırışmalar .....	109
5.	BEŞİKTAŞ ÖRNEĞİNDE ÜYS ALTLIĞININ OLUŞTURULMASI .....	111
6.	SONUÇLAR .....	141
	KAYNAKLAR .....	143
	EKLER .....	145
	Ek 1 İBB Yol Bakım Onarım Müdürlüğü İstanbul İli Hizmet Bölgeleri .....	146
	Ek 2 Üstyapı Durumu İnceleme Sayfası .....	147
	Ek 3 Kesim 11 için Örnek alanlara ait PCI Hesaplama Tabloları .....	148





## SİMGE LİSTESİ

$A$	İncelenen ilave örnek alanı sayısı
$A_1$	Sabit (Esnek üstyapılar için -1.91 ve Rijit üstyapılar için -1.80)
$B_1$	Sabit (Esnek üstyapılar için -1.38 ve Rijit üstyapılar için 0)
$B_2$	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 durum ölçümü değeri
$C_s$	Şok önleyici sabiti
$D_1$	Tekerlek izi yüzeyinin fonksiyonu
$D_2$	Yüzey bozulmasının fonksiyonu ( $C + P$ ), burada $C + P =$ çatlak ve yamaların toplam miktarı
$e$	Hata terimi (PSR kullanılarak PSI değeri elde etmede kullanılır)
$e$	Kesimin tahmin edilen PCI değerinde kabul edilebilir hata (PCI belirlemede kullanılır)
$ESD_i$	Örnek alan $i$ için en büyük bireysel sonuç değeri
$g$	Birleşik yıllık trafik artış oranı
$LEF$	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
$R_l$	Düzgünsüzlük 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 durum ölçümü için ağırlık faktörü
$\Delta s$	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 kütlenin kotu (Aks)
$Z_s$	Yaylı kütlenin kotu (araç kütlesi)
$K_t$	Tekerlek yay sabiti
$K_s$	Süspansiyon yay sabiti

## KISALTIMA LİSTESİ

AASHO	American Association of State Highway Officials (1973'den sonra AASHTO)
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation
ASTM	America Society for Testing and Materials
ARAN	Automatic Road Analyzer
BPR	Bureau of Public Roads
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
DSD	Düzeltilmiş Sonuç Değer
ESD	En Büyük Sonuç Değer
ESDY	Toplam Eşdeğer Standart Dingil Yüğü Sayısını
FHWA	Federal Highway Administration
FWD	Falling Weight Deflectometer
HRSI	Highway Safety Research Institute
IRI	International Roughness Index
İBB	İstanbul Büyükşehir Belediyesi
KDD	Knowledge discovery in databases
KGM	Karayolları Genel Müdürlüğü
LTPP	Long Term Pavement Performance
MRM	Mays Ride Meter
MTCO	Municipal Transportation Commission of Ontario
MTD	Maksimum Tolerable Deflection
NCHRP	National Cooperative Highway Research Program
OPI	Overall Pavement Index
PCES	U.S. Pavement Condition Evaluation Services
PCI	Pavement Condition Index
PMLS	Pavement Management System Ltd.
PSI	Present Serviceability Index
PSR	Present Serviceability Ratio
PQI	Pavement Quality Index
QCS	Quarter-Car Statistics
RCI	Ride Comfort Index
RTRRMS	Response Type Road Roughness Measuring System
SAI	Structural Adequacy Index
SDI	Surface Distress Index

SHRP	Strategic Highway Research Program
SI	Serviceability Index
TDI	Time Delayed Integration
TRRL	The Transport and Road Laboratory
TSD	Toplam Sonuç Değer
TF	Truck Factor
ÜYS	Üstyapı Yönetim Sistemi
YOGT	Yıllık Ortalama Günlük Trafik

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Karayolu tip enkesiti .....	12
Şekil 2.2 Karayolu tabakaları .....	13
Şekil 2.3 Bir ÜYS'nin temel bileşenleri ve aralarındaki ilişki .....	15
Şekil 2.4 Üstyapı yönetimi ve temel bileşenlerin uygulamalarının basit işletim şeması .....	17
Şekil 2.5 ÜYS alt sistemlerinin toplam maliyet üzerindeki etki düzeyleri .....	18
Şekil 2.6 Üstyapı değerlendirmesinde kullanılan çıktılar .....	21
Şekil 2.7 Hizmet yeteneği veya sürüş konforunun zaman içinde bozulması .....	30
Şekil 2.8 PSI belirlemede kullanılan form .....	31
Şekil 2.9 AASHO yol testi profilometresi şematik görünümü .....	33
Şekil 2.10 Yüzey çubuğunun şematik görünümü .....	34
Şekil 2.11 TRRL profilometresinin şematik görünümü .....	34
Şekil 2.12 Eylemsizlik profili kavramı .....	35
Şekil 2.13 Profilograf şematik görünümü .....	36
Şekil 2.14 Maysmeter .....	37
Şekil 2.15 Çeyrek simülasyon modeli .....	38
Şekil 2.16 Kök ortalama karesi düşey ivmelenme analizi için üstyapı profili gösterimi .....	40
Şekil 3.1 Benkelman kirişi şematik gösterimi .....	47
Şekil 3.2 Dynaflect'in gösterimi .....	48
Şekil 3.3 Düşen ağırlıklı defleksiyon ölçer (FWD) aleti'nin basit prensipleri .....	50
Şekil 3.4 Dynatest FWD 8000 modeli'nin şematik gösterimi (Haas vd.,1994) .....	50
Şekil 3.5 Pasco Roadrecon sisteminin şematik gösterimi .....	59
Şekil 3.6 Gerpho otomatik fotoğraflama sisteminin şematik gösterimi .....	60
Şekil 3.7 Otomatik yol çözümleyicisi şematik gösterimi .....	61
Şekil 3.8 Lazer yol yüzey test edici şematik gösterimi .....	61
Şekil 4.1 Üstyapı kalitesi - PCI karşılaştırması .....	64
Şekil 4.2 Tipik üstyapı ağı bölüm örneği .....	65
Şekil 4.3 Üstyapı kesimi belirlemede tahribatsız defleksiyon testi kullanımı örneği .....	66
Şekil 4.4 Tipik üstyapı ağı kesim örneği .....	67
Şekil 4.5 Park alanı kesimlere ayırma örneği .....	68
Şekil 4.6 Bölgelere ayrılmış bir üstyapı ağı .....	69
Şekil 4.7 Örnek alanlara ayrılmış bir üstyapı kesimi örneği .....	70
Şekil 4.8 Minimum örnek alan sayısı belirleme grafiği .....	72
Şekil 4.9 Sistemik rasgele örnekleme örneği .....	74

Şekil 4.10 Üstyapı durumu inceleme sayfası örneği .....	77
Şekil 4.11 Asfalt kaplamalı yollarda görülen timsah sırtı çatlaklar için sonuç değer grafiği...	78
Şekil 4.12 Maksimum kabul edilebilir sonuç sayısı (m) grafiksel gösterimi .....	79
Şekil 4.13 Asfalt kaplamalı yollar için düzeltilmiş sonuç değeri eğrileri .....	80
Şekil 4.14 Örnek alana ait PCI hesaplama sayfası örneği .....	80
Şekil 4.15 Düşük yoğunlukta timsah sırtı çatlak .....	84
Şekil 4.16 Orta yoğunlukta timsah sırtı çatlak .....	85
Şekil 4.17 Yüksek yoğunlukta timsah sırtı çatlak .....	85
Şekil 4.18 Düşük yoğunlukta kuma .....	86
Şekil 4.19 Orta yoğunlukta kuma .....	86
Şekil 4.20 Yüksek yoğunlukta kuma .....	86
Şekil 4.21 Düşük yoğunlukta blok çatlak .....	87
Şekil 4.22 Orta yoğunlukta blok çatlak .....	88
Şekil 4.23 Yüksek yoğunlukta blok çatlak .....	88
Şekil 4.24 Düşük yoğunlukta kabarma ve oturma.....	89
Şekil 4.25 Orta yoğunlukta kabarma ve oturma.....	89
Şekil 4.26 Yüksek yoğunlukta kabarma ve oturma.....	90
Şekil 4.27 Düşük yoğunlukta ondülasyon .....	90
Şekil 4.28 Orta yoğunlukta ondülasyon .....	91
Şekil 4.29 Yüksek yoğunlukta ondülasyon .....	91
Şekil 4.30 Düşük yoğunlukta çökme .....	92
Şekil 4.31 Orta yoğunlukta çökme .....	92
Şekil 4.32 Yüksek yoğunlukta çökme .....	92
Şekil 4.33 Düşük yoğunlukta kenar çatlağı .....	93
Şekil 4.34 Orta yoğunlukta kenar çatlağı .....	93
Şekil 4.35 Yüksek yoğunlukta kenar çatlağı .....	94
Şekil 4.36 Düşük yoğunlukta yansıma çatlağı .....	95
Şekil 4.37 Orta yoğunlukta yansıma çatlağı.....	95
Şekil 4.38 Yüksek yoğunlukta yansıma çatlağı.....	96
Şekil 4.39 Düşük yoğunlukta kenar / banket düşüklüğü .....	97
Şekil 4.40 Orta yoğunlukta kenar / banket düşüklüğü .....	97
Şekil 4.41 Yüksek yoğunlukta kenar / banket düşüklüğü .....	97
Şekil 4.42 Düşük yoğunlukta boyuna ve enine çatlaklar.....	98
Şekil 4.43 Orta yoğunlukta boyuna ve enine çatlaklar.....	99

Şekil 4.44 Yüksek yoğunlukta boyuna ve enine çatlaklar.....	99
Şekil 4.45 Düşük yoğunlukta yama.....	100
Şekil 4.46 Orta yoğunlukta yama.....	100
Şekil 4.47 Yüksek yoğunlukta yama.....	101
Şekil 4.48 Cilalanmış üstyapı.....	101
Şekil 4.49 Düşük yoğunlukta oyulma.....	102
Şekil 4.50 Orta yoğunlukta oyulma.....	103
Şekil 4.51 Yüksek yoğunlukta oyulma.....	103
Şekil 4.52 Düşük yoğunlukta demiryolu geçişi kusuru.....	104
Şekil 4.53 Orta yoğunlukta demiryolu geçişi kusuru.....	104
Şekil 4.54 Yüksek yoğunlukta demiryolu geçişi kusuru.....	104
Şekil 4.55 Düşük yoğunlukta tekerlek izi.....	105
Şekil 4.56 Orta yoğunlukta tekerlek izi.....	105
Şekil 4.57 Yüksek yoğunlukta tekerlek izi.....	105
Şekil 4.58 Düşük yoğunlukta toplanma.....	106
Şekil 4.59 Orta yoğunlukta toplanma.....	106
Şekil 4.60 Yüksek yoğunlukta toplanma.....	107
Şekil 4.61 Düşük yoğunlukta tabaka kayması çatlağı.....	107
Şekil 4.62 Orta yoğunlukta tabaka kayması çatlağı.....	108
Şekil 4.63 Yüksek yoğunlukta tabaka kayması çatlağı.....	108
Şekil 4.64 Üstyapıda görülen şişme.....	109
Şekil 4.65 Düşük yoğunlukta sökülme ve ayrışma.....	110
Şekil 4.66 Orta yoğunlukta sökülme ve ayrışma.....	110
Şekil 4.67 Yüksek yoğunlukta sökülme ve ayrışma.....	110
Şekil 5.1 Ağa ait kesimler.....	112
Şekil 5.2 Kesim 7'ye ait incelenecek örnekleme alanı arazi çalışması planı örneği.....	114
Şekil 5.3 Seçilen üstyapı kesimlerinin standart PCI ölçeği sınıflandırması.....	116
Şekil 5.4 Yapılan kabule göre seçilen üstyapının mevcut durumu.....	117
Şekil 5.5 Üstyapı ağı genelinde görülen bozulma nedenleri.....	121
Şekil 5.6 Üstyapı ağında görülen bozulma nedenleri.....	122
Şekil 5.7 Kesimlerde görülen bozulma türlerinin ağ genelindeki ağırlıkları.....	124
Şekil 5.8 Kesim 1'de görülen bozulma türlerinin kesim içindeki ağırlıkları.....	125
Şekil 5.9 Kesim 3'de görülen bozulma türlerinin kesim içindeki ağırlıkları.....	126
Şekil 5.10 Kesim 5'de görülen bozulma türlerinin kesim içindeki ağırlıkları.....	126

Şekil 5.11 Kesim 7’de görülen bozulma türlerinin kesim içindeki ağırlıkları .....	127
Şekil 5.12 Kesim 9’da görülen bozulma türlerinin kesim içindeki ağırlıkları .....	128
Şekil 5.13 Kesim 10/1’de görülen bozulma türlerinin kesim içindeki ağırlıkları .....	129
Şekil 5.14 Kesim 11’de görülen bozulma türlerinin kesim içindeki ağırlıkları .....	129
Şekil 5.15 Kesim 14’de görülen bozulma türlerinin kesim içindeki ağırlıkları .....	130
Şekil 5.16 Kesim 17’de görülen bozulma türlerinin kesim içindeki ağırlıkları .....	131
Şekil 5.17 Kesim 19’da görülen bozulma türlerinin kesim içindeki ağırlıkları .....	131
Şekil 5.18 Geliştirilen tasarım stratejilerine göre tüm ağın durumu .....	133
Şekil 5.19 Timsah sırtı çatlakların ağıdaki kesimlere dağılımı .....	134
Şekil 5.20 Kabarma ve oturmaların kesimlere dağılımı .....	135
Şekil 5.21 Ondülasyonların kesimlere dağılımı .....	135
Şekil 5.22 Çökmelerin kesimlere dağılımı .....	136
Şekil 5.23 Kenar çatlaklarının kesimlere dağılımı .....	136
Şekil 5.24 Boyuna ve enine çatlakların kesimlere dağılımı .....	137
Şekil 5.25 Yamaların kesimlere dağılımı .....	137
Şekil 5.26 Cilalanmaların kesimlere dağılımı .....	138
Şekil 5.27 Oyulmaların kesimlere dağılımı .....	138
Şekil 5.28 Tekerlek izlerinin kesimlere dağılımı .....	139
Şekil 5.29 Sökülme ve ayrışmaların kesimlere dağılımı .....	139



## ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 1.1 İstanbul ili üstyapı yatırım maliyetleri .....	2
Çizelge 1.2 Yol bakım onarım müdürlüğü 3. bölge üstyapı yatırım maliyetleri.....	2
Çizelge 1.3 Beşiktaş ilçesi üstyapı yatırım maliyetleri.....	2
Çizelge 2.1 Üstyapı verilerinin temel sınıfları ve bileşenleri .....	23
Çizelge 2.2 Üstyapı yönetimine ait verilerin tipik kullanım amaçları.....	23
Çizelge 3.1 Yol oranlayıcı modelleri ve özellikleri.....	49
Çizelge 3.2 Bozulma tanımlama kılavuzlarının karşılaştırılması .....	55
Çizelge 3.3 LTPP bozulma sınıflandırmaları .....	56
Çizelge 3.4 ASTM bozulma sınıflandırmaları .....	57
Çizelge 4.1 Bazı kuruluşlar tarafından kullanılan ağ düzeyi örnekleme kriterleri örneği.....	74
Çizelge 4.2 Eğri denklemine dayalı ağ düzeyi örnekleme kabulü .....	75
Çizelge 4.3 Oyulma yoğunluk düzeyi sınırları .....	102
Çizelge 5.1 Ağa ait bölümler .....	111
Çizelge 5.2 Ağa ait kesimler.....	112
Çizelge 5.3 Kesimlere ait incelenen örnek alan sayıları.....	114
Çizelge 5.4 Kesimlere ait PCI değerleri .....	115
Çizelge 5.5 Bozulma türlerine göre bozulma kodları ve oluşma nedenleri.....	118
Çizelge 5.6 Kesim1'deki toplam bozulma miktarları.....	119
Çizelge 5.7 Üstyapı ağının bozulma nedenleri türünden incelenmesi.....	120
Çizelge 5.8 Kesimlerde görülen bozulma türlerinin kesim içindeki ağırlıkları .....	123
Çizelge 5.9 Kesimlerde görülen bozulma türlerinin ağ genelindeki ağırlıkları .....	124
Çizelge 5.10 Kesimlerde yapılacak yenileme çalışmasında belirlenen kararlar .....	132
Çizelge 5.11 Üstyapılarda görülen bozulma türlerinin ağın içindeki dağılımları .....	133

## **ÖNSÖZ**

Bu çalışma konusunu öneren, destek ve görüşlerini esirgemeyen hocam Yard. Doç Dr. Halit ÖZEN'e, verilerin toplanmasında sürekli yanımda bulunan arkadaşlarım Caner ERDOĞAN ve Eser HACILAR'a, her konuda desteğini esirgemeyen oda arkadaşım, hocam Arş. Gör. Dr. Haluk YÜKSEL'e ayrıca çalışmanın her safhasında anlayış gösteren ve manevi katkıda bulunan hocam Öğr. Gör. Dr. Mustafa GÜRSOY'a ve içinde bulunduğum Ulaştırma Anabilim Dalı'nın tüm çalışanlarına teşekkürü borç bilirim.

Ufuk KIRBAŞ

## ÖZET

Otomotiv teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak, ortaya çıkan karayolu ihtiyacını karşılamak amacıyla inşa edilen üstyapıların artması, daha fazla kaynağın üstyapı bakım ve yenileme işlerine aktarılmasını zorunlu kılmıştır. Bakım ve onarım işlemleriyle beraber uygun tasarım ve doğru yapım tekniklerinin yanı sıra tutarlı bir işletimin, yol üstyapısının mevcut durumunda bir iyileşme ve üstyapının ekonomik ömrü sonunda kabul edilebilir bir servis düzeyi sağladığı da bilimsel bir gerçektir.

Üstyapı yönetimi kavramı, mevcut kaynakların en iyi şekilde kullanımını sağlamak amacıyla ilk olarak 1960'lı yıllarda ortaya atılmıştır. Günümüzde özellikle Amerika Birleşik Devletleri'nde çoğu kuruluş gerek kendi geliştirdikleri, gerekse değişken olan, kendi iklim, trafik, arazi, ekipman, kurumsal yapı, bütçe durumlarına göre uyarladıkları yönetim sistemlerini kullanmaktadırlar.

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 periyot süresinde karar vericiler için en uygun bakım ve onarım takviminin belirlenmesinde kullanılacak araçların ve yöntemlerin ayarlanmasını sağlar. İyi bir üstyapı yönetimi sistematik yaklaşımlı ve organize edilmiş bir şekilde düşünmeyi gerektirmesinin yanında, işlerin günü gününe yapılmasını da sağlayan bir sistemin bütünüdür.

Yapılan çalışmada, bir bölgeye ait üstyapıların bakım, onarım ve yenileme periyotlarını belirlemek amacıyla kurulacak bir ÜYS'de kullanılacak veri türleri ve bu veri türlerinin birbirleriyle ilişkileri açıklanarak üstyapı yönetiminde ne amaçlarla kullanılabilceğine değinilmiştir.

Bununla beraber, Beşiktaş ilçesi ana arter yol ağına ait belirlenen 20 kesimde Amerika test ve malzemeler derneğinin (American Society for Testing and Materials, 1999) yayımladığı üstyapı bozulma kılavuzu standardına uygun üstyapı bozukluk verileri toplanmıştır. Toplanan bu veriler PAVER adı verilen yönetim sistemi ile değerlendirilerek, kesimlere ait üstyapıların mevcut durumunu 0 – 100 aralığında bir değerle ifade edebilen Üstyapı Durum İndeksi (Pavement Condition Index – PCI) değerleri hesaplanmıştır. Kesimlere ait bulunan bu PCI değerleri ile üstyapıların mevcut durum 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 her kesimde ve tüm ağda bozulma değerlendirmeleri yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Üstyapı Yönetim Sistemi, PAVER sistemi, Üstyapı durum indeksi (PCI), Bozulma türleri, Bozulma nedenleri

## ABSTRACT

The increase in infrastructure built to meet the highway needs in parallel to the progress in automotive technology, made it necessary to transfer more resources for maintenance and rehabilitation of the infrastructure. It is a scientific fact that consistent operating together with appropriate design and correct building techniques results in improvements in highway infrastructure's existing situation and an acceptable level of service at the end of the infrastructure's the economic life.

Pavement management concept is first introduced in the 1960's to ensure the best use of existing resources. Today many corporations in USA use managements systems either developed by themselves or modified to fit their climate, traffic, land, equipment, corporate stucture and budget constraints.

Pavement management is in a broader sense, a working program that involves all the procedures of planning, programming, designing, building, maintaining, and rehabilitation. A pavement management system (PMS) arranges tools and methods to be used for determining the best maintenance schedule for the decision makers in a given period. A good pavement management is an integrated system which makes it nescessary to think in a systematic and organized way, besides it ensures that necessary work is performed on a daily basis.

In this study, data types and relations between these data types which will be used in a PMS to determine the periods of maintenance and renovation of infrastructure in an area, are explained and the purpose of their use in pavement management is stated.

Infrastructure distress data which is compatible with the distress identification manual published by American Society for Testing and Materials in 1999 is collected from 20 sections selected from the arterial road network in Beşiktaş district. These data is then evaluated by a management system named PAVER and Pavement Condition Index (PCI) values which can represent the existing condition of infrastructure in sections with a number between 0 and 100, are calculated. With these PCI values found, the existing condition of infrastructure are evaluated and foundations of a PMS which can be used in a network or project level for the stated areas, are built. The reasons for formation of distress types in the determined network are studied under headings like load, climate and other (material characteristics), and distress evaluations throughout the whole network and each section are carried out.

**Keywords:** Pavement Management System, PAVER system, Pavement Condition Index (PCI), Distress types, Distress reasons

## 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 büyük şehirlerimizin en önemli sorunlardan biri haline gelmiştir.

Ülkemizde şehir içi ve şehirlerarası yollarda en temel ulaşım ağı olarak karayolu ağları kullanılmaktadır. Karayolu ağlarında güvenlik ve konforu sağlayan en önemli unsur olarak karayolu üstyapısı 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 üst yapıdan olması gerektiği gibi faydalanabilmek için belirli periyotlarda planlı, programlı bir şekilde bakım ve onarımlar yapmak şarttır.

Üstyapı, ulaştırma şebekesinin ucuz olmayan bir parçasıdır. Amerika'da yalnızca şehirlerarası yollardaki üstyapı yatırıma harcanan para 1994 yılı itibariyle 30 milyar dolardır. Ayrıca bu üstyapıların bakımı ve geliştirilmesine yılda 1 milyar dolardan fazla para harcanılmaktadır (Haas vd., 1994). İstanbul'da ise, ana arter ve daha yüksek hizmet hacimli yollarda üstyapıların bakım, onarım ve yenileme faaliyetleri İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) Yol Bakım Onarım Müdürlüğü tarafından yürütülmektedir. İBB Yol Bakım Onarım Müdürlüğü İstanbul ilini hizmet alanı olarak 9 farklı bölgeye ayırarak toplamda 1268 personeli ile karayolu üstyapı yol bakım, onarım ve yenileme faaliyetlerinin yanında yollardaki ışıklandırma, tretuvar, karla mücadele gibi birçok üstyapı ile ilişkili faaliyeti yerine getirmektedir. İstanbul ili için 2003 yılından başlayarak 2007 yılı Mayıs ayına kadar yapılan İstanbul il geneli, içinde Beşiktaş, Beyoğlu, Kağıthane, Şişli ve Sarıyer ilçelerini barındıran 3. bölge ve Beşiktaş ilçesi üstyapı yatırımları İBB Yol Bakım Onarım Müdürlüğü'nün belirlediği 2007 yılı birim fiyatlarıyla şu şekildedir:

Çizelge 1.1 İstanbul ili üstyapı yatırım maliyetleri

	Bitümlü Sıcak Karışım (Ton)	Sathi Kaplama (m <sup>3</sup> )	Miktar (YTL)
2003 Yılı	1.382.334	0	128.604.905,00
2004 Yılı	1.084.369	0	87.766.171,00
2005 Yılı	1.751.860	668.643,00	160.363.112,40
2006 Yılı	2.201.308	857.862,00	209.617.636,60
2007 Yılı	365.451	0	33.250.835,00

Çizelge 1.2 Yol bakım onarım müdürlüğü 3. bölge üstyapı yatırım maliyetleri

	Bitümlü Sıcak Karışım (Ton)	Miktar (YTL)
2003 Yılı	216.255	20.020.651,00
2004 Yılı	157.857	13.989.395,00
2005 Yılı	113.472	10.248.872,00
2006 Yılı	123.078	11.439.950,00
2007 Yılı	39.102	3.725.173,00

Çizelge 1.3 Beşiktaş ilçesi üstyapı yatırım maliyetleri

	Bitümlü Sıcak Karışım (Ton)	Miktar (YTL)
2003 Yılı	30.020	2.834.425,00
2004 Yılı	24.541	2.277.660,00
2005 Yılı	8.923	870.493,00
2006 Yılı	8.729	825.951,00
2007 Yılı	1.725	172.500,00

Üstyapı yönetimi kavramı, mevcut kaynakların en iyi biçimde dağıtımını sağlamak amacıyla ilk olarak 1960'lı yıllarda ortaya atılmıştır. İlk yıllarda üstyapı durumunu belirlemede kullanılan görsel değerlendirmeler, daha sonraki yıllarda yerini çeşitli tahribatlı deneylere (bkz. sayfa 51) bırakmıştır. Tahribatlı deneylerin zorluğu ve çeşitli sakıncaları nedeniyle, tahribatsız deneyler (bkz. sayfa 45) 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 (bkz. sayfa 29) 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.

Daha sonraları üstyapı bozulmaları verilerini toplayarak bozulma etüdü örnekleri geliştirilmiştir. Bir ÜYS'ni yürüten kuruluşlar, bozulma etüdü işlemini ÜYS kapsamı içine alırlar. Bu işlem, mühendislik kararlarına dayanan genel yol durumunu sınıflama işlemi için, özgün bozulma tiplerinin ayrıntılı planını çıkarma ve çok ayrıntılı ölçümlerden oluşur. 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 durum indeksi (PCI) adında bir model geliştirmişlerdir.

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 beklenen düzeyde olmasa da devam etmektedir.

Çalışmada, PAVER sisteminin kullandığı PCI değeri belirleme yöntemi İBB Yol Bakım Onarım Müdürlüğü'nün 3. bölgesinde bulunan Beşiktaş ilçesi ana arter yol ağında belirlenen toplam 20 kesimde bozulma verileri toplanarak üstyapıların mevcut durumunu 0 - 100 aralığında bir değerle ifade edebilen PCI değerleri hesaplanmıştır. Kesimlere ait bulunan bu PCI değerleri ile üstyapıların mevcut durumu 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 görölen bozulma türlerinin oluşma nedenleri yük, iklim ve diğer (malzeme özellikleri vs.) başlıkları altında incelenerek her kesimde ve tüm ağda bozulma değerlendirmeleri yapılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen değerler, coğrafi verilerle sözel verileri ilişkilendirerek sonuçları grafik diliyle anlatmada kullanılan Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) teknolojisiyle değerlendirilmiş ve yorumlanmıştır.



## 2. ÜSTYAPI YÖNETİM SİSTEMİ

### 2.1 Üstyapı Yönetimine Giriş

İyi bir üstyapı yönetimi sistematik yaklaşımli 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 kurum sistemden beklentilerine bağlıdır. Ağ ve Proje olmak üzere iki düzeyde şehir içi 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 yaşam döngüsü (life cycle) optimizasyon prosedürü geliştirilmelidir. Ayrıca, geliştirilen seçeneklerden en yüksek faydayı veren optimum strateji seçilmeli ve uygulanmalıdır.

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.

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 arasından en büyük ölçekli olanı "Project 123" adıyla Teksas Yollar İdaresi (Teksas 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.

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.

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.

Ay (2001), Antalya kentinde bulunan devlet yollarının güncel üstyapı ve yüzey durumlarını araştırmıştır. Değişik performans ltleri altında yol kesimlerini incelemiş, mevcut durum özümlemesi 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.

İyınam (1997) alışmasında, üstyapı yönetim sistemini genel çizgileri ile tanımlamış ve teknolojik gelişimi üzerinde durmuştur. 18 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.

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 dnştrmştur. Ayrıca, Ankara merkezli Karayolları 4. bölge verilerini kullanarak, geliştirdiği bu paket programın kullanılabilirliğini göstermiştir.

Cline, Shahin vd. (2003), 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 m<sup>2</sup> 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.

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.

Amado (2000), 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 durumunu 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 durum 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 durumunu 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 durumu belirleyen indekslerde verilerin otomatik toplanması ve değerlendirilmesinde kullanılan görüntü işleme tekniğinde, yapay sinir ağlarının önemi üzerinde durarak bu teknikle daha doğru sonuçlara ulaşılabileceğini belirtmişlerdir.

Roberts ve Okkine (1998), çalışmalarında belirli kesimlere ait uluslararası düzgünsüzlük 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 ağın, geleneksel çok katmanlı geri dönüşümlü olarak tasarlanan ağa oranla çok daha doğru sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir.

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 durumunu 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 Durum 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 gelinebileceği açıklanmıştır.

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.

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.

Zimmerman ve Knox (1998), Illinois Ulaştırma Bakanlığı'nın kullandığı üstyapı durum değerlendirme etüdlerinin, 1993 yılında kurulan otomatik üstyapı durum 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 durum 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 kullanılamayacağı yanı sıra üstyapının durumu hakkında doğru kararlar

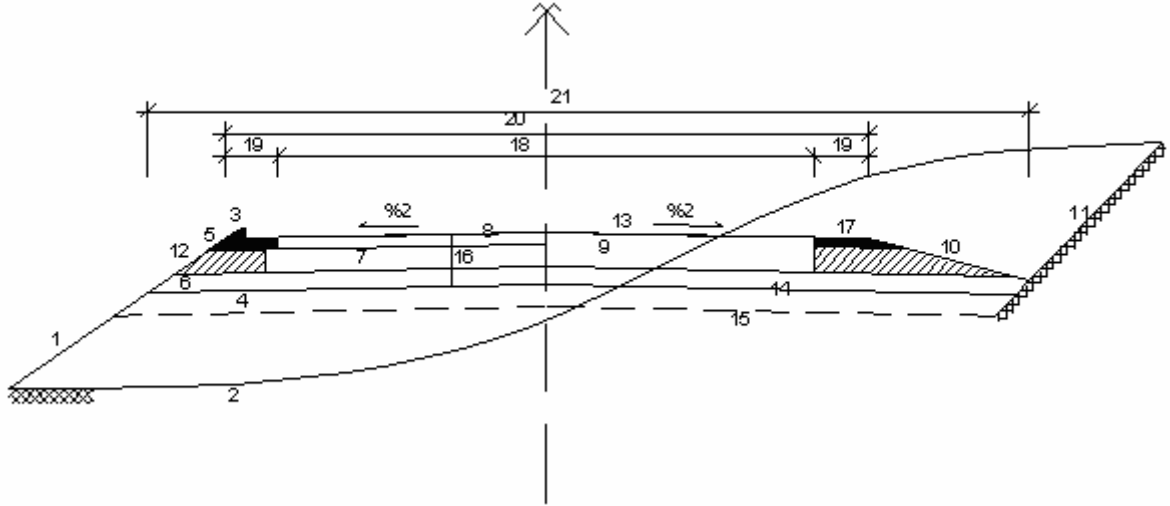
verilemeyeceğinin de altını çizmişlerdir.

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 düzgünsüzlük ölçebilen aygıtları alamayan birimlerin kullanabileceği üstyapı bozulma verilerini kullanarak IRI değerini belirleyebilen bir sistem oluşturmuştur.

Bandara ve Gunaratne (2001), Sri Lanka yol ağı için, bulanık mantık yöntemini kullanarak üstyapı mevcut durumunu ve ağıdaki kesimlerin bakım önceliğini belirleyen bir model oluşturmuşlardır. Timsah sırtı çatlak, oyulma, kenar bozuklukları ve sökölme tipindeki bozuklukları girdi olarak kullandıkları modeli üstyapı durum 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.

## **2.2 Karayolu Yapısı**

Karayolu Yapısı, önceden belirlenen geometrik standartlara bağlı olarak saptanmış olan bir güzergah boyunca doğal zeminin istenen yükseltilere getirilmesi ve üzerinde motorlu taşıtların hız, güvenlik ve konfor koşulları altında hareketlerinin sağlanabilmesi için inşa edilen yapılardır (Özen, 2004).



- |                                 |                           |
|---------------------------------|---------------------------|
| 1- Dolgu Şevi                   | 12- Banket Temel Tabakası |
| 2- Taban Zemini                 | 13- Yol Enine Eğimi       |
| 3- Dolgu Seti                   | 14- Tesviye Yüzeyi        |
| 4- Seçme malzeden oluşan tabaka | 15- Taban Zemini          |
| 5- Banket Kaplaması             | 16- Üstyapı               |
| 6- Alt temel Tabakası           | 17- Banket Eğimi          |
| 7- Temel Tabakası               | 18- Trafik Eğimi          |
| 8- Kaplama Tabakası             | 19- Banket Genişliği      |
| 9- Beton Plak                   | 20- Yol Genişliği         |
| 10- Hendek Plak                 | 21- Üstyapı Genişliği     |
| 11- Yarma Şevi Eğimi            |                           |

Şekil 2.1 Karayolu tip enkesiti (Özen, 2004)

### ***Karayolu Altyapısı***

Yapımı tamamlanmış bir karayolunda tesviye yüzeyi ile doğal zemin çizgisi arasına altyapı denir. Altyapı, dolgu kesimlerinde dışarıdan getirilen dolgu malzemesi, yarma kesimlerinde ise doğal zemindir. Ayrıca, menfez, viyadük, istinat duvarı gibi sanat yapıları da altyapıya dahildir. Görevleri;

- İstenen kotta düzgün bir yüzey sağlamak,
- Üstyapıdan gelen yükleri daha geniş bir alana yaymak,
- Az da olsa yolu dış etkenlerden korumaktır.

Bu görevleri altyapının yerine getirebilmesi için trafik yükleri, don ve su etkilerine karşı dayanıklı malzemeden oluşturulmalıdır (Özen, 2004).

### ***Karayolu Üstyapısı***

Taşıtlara düzgün bir yuvarlanma yüzeyi sağlamak, karayolu üstyapısına gelen trafik yüklerini alt yapının taşıyabileceği değere indirmek, altyapıyı dış etkenlerden korumak amacıyla altyapı



üzerine inşa edilen ve kaplama, temel ve alttemel tabakalarından oluşan tabakalı yol yapısıdır. Aşağıda tipik bir yol üstyapısı kesiti verilmiştir.

KAPLAMA	Aşınma
	Binder
TEMEL	Bağlayıcı
	BağlayıcıSIZ
ALT TEMEL	BağlayıcıSIZ
Taban Zemin	

Şekil 2.2 Karayolu tabakaları (Özen, 2004)

Karayolu üstyapısında bulunan kaplama, temel ve alttemel tabakalarının görevleri şu şekilde ifade edilebilir;

Kaplama tabakasının görevleri taşıtlara düzgün bir yuvarlanma yüzeyi sağlamak ve trafiğin aşındırıcı etkilerine karşı koymaktır. Kaplama tabakasında kullanılan malzemenin özelliğine bağlı olarak üstyapı;

1. Esnek üstyapı (bağlayıcı olarak bitümlü bağlayıcı kullanılır)
2. Rijit üstyapı (bağlayıcı olarak çimento kullanılır) olarak iki gruba ayrılır.

Temel tabakasının görevleri trafik yüklerinden gelen gerilmeleri karşılamak ve suyun uzaklaştırılmasını sağlamaktır. Ayrıca temel tabakası;

*Bağlayıcı:* Çimento, Bitüm

*BağlayıcıSIZ:* Plentmix Temel, Roadmix Temel, Kırmataş Temel

olmak üzere gruplara ayrılır.

Alttemel tabakasının görevleri ince daneli taban zeminlerinin üste çıkmasını engellemek, trafik yüklerini taban zeminine aktarmaktır.

### 2.3 Üstyapı Yönetim Kavramı

İyi bir üstyapı yönetim sistemi düşünülenin aksine sıradan bir iş değildir. Üstyapı yönetimiyle ilgilenen kuruluşlar böyle bir sistemle birlikte karar vermeyi kolaylaştıracak, verilen kararların belirli bir periyot için çıktılarını karşılayabilecek ve aynı zamanda kararların mantıklı, etkili ve koordineli bir şekilde yorumlanmasını sağlayabileceklerdir. Siyasi ve

sosyo-ekonomik faktörler hesaba katıldığında sonuçların karşılaştırılabilmesi bazı rahatsızlıklara yol açabilmektedir, ayrıca bazı insanlar 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 Sisteminde Terminoloji***

Üstyapı yönetim sistemi ile ilişkili öğeleri tanımlamada oldukça farklı görüşler bulunmaktadır. Birçok farklı görüşlerin ortak kabul ettiği tanımlamalara göre;

*Sistem*, birleşmiş bir bütünün sürekli öğelerinden oluşan grupların düzenli olarak etkileşimidir (Haas vd., 1994). Türk Dil Kurumuna göre ise, bir sonuç elde etmeye yarayan yöntemler düzenidir.

*Yönetim*, kimilerine göre “kontrol”, kimilerine göre ise “çeşitli faktörlerin koordinasyonu” olarak tanımlanır (Haas vd., 1994).

*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 ve işleme konulması adımlarının tamamına denir (Haas vd., 1994).

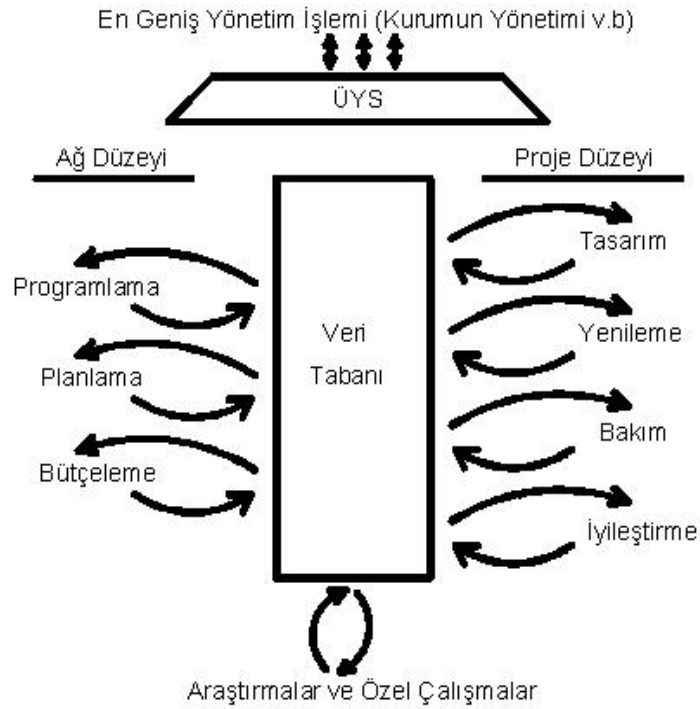
Genel olarak Üstyapı Yönetim Sistemi sistem genelindeki tüm işlemlerin koordineli bir şekilde ayarlanarak, temelde topluma ait olan bütçenin en uygun harcamalarla düzgün, güvenli ve ekonomik olarak üstyapıların işletimini sağlamayı amaçlayan çalışmaların tamamına verilen isimdir.

### Üstyapı Yönetiminin 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 2.3 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 2.3'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 alarak 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.

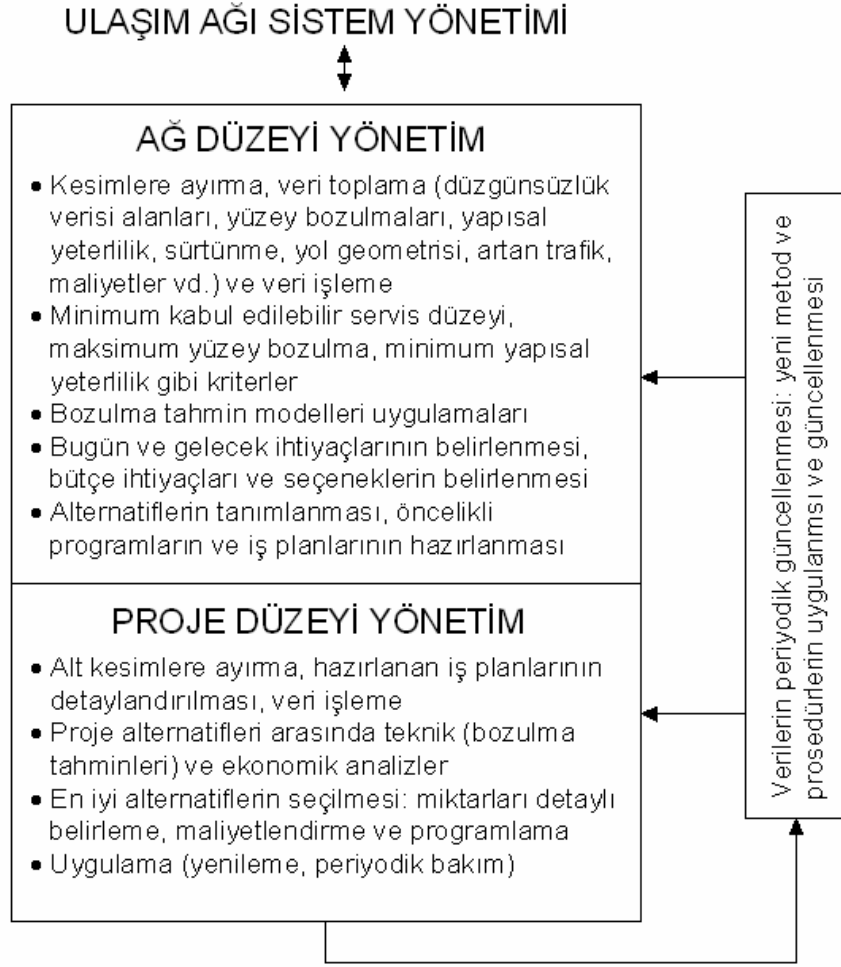
Kararları vermede sonuçları değerlendiren, kural koyucu, yönetici ve teknik düzeyde olmak üzere üç çeşit ÜYS kullanıcısı mevcuttur. Kural koyucu düzeydeki kullanıcılar sistemin yönetiminde bütçe sınırları ve kaynak aktarımı gibi değişmez kısıtları belirleyen kullanıcılarıdır. Yönetici düzeydeki kullanıcılar ağın 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).

#### **2.4 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. Şekil 2.4'de bir ÜYS'de ağ ve proje yapılan işlem adımları ve sistem döngüsü kısaca açıklanmıştır.

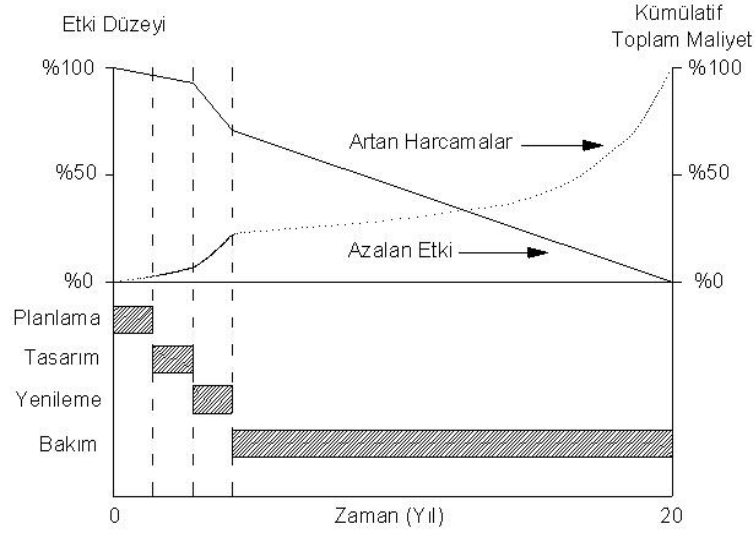


Şekil 2.4 Üstyapı yönetimi ve temel bileşenlerin uygulamalarının basit işletim şeması (Haas vd., 1994)

### ***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 2.5’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 yaşam döngüsü maliyetleri üzerindeki etkisi olarak açıklanabilir. Şekil 2.5’den de görüldüğü gibi bir üstyapının uzun yıllar hizmet verebilmesi için en önemli bileşen bakımdır. Ancak bakım yapılarak, yolların proje ömrüncce kullanılması mümkündür. Yine şekilden proje ömrü boyunca yapılan harcamalar ivmeli bir şekilde artarken etki düzeyinin azaldığı rahatlıkla görülebilir.



Şekil 2.5 ÜYS alt sistemlerinin toplam maliyet üzerindeki etki düzeyleri (Haas vd., 1994)

#### 2.4.1 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.

Bozulmaların (düzgünsüzlük, 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 (Haas vd., 1994).

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 Sistemi*

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 düzgünsüzlük, yüzey bozulmaları ve minimum yapısal yeterlilik, yüzey kayma sürtünmesi gibi kriterler tanımlanmalıdır,
- i. Eklenecek yeni ulaştırma 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 Sistemi*

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. Yaşam dönüm 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 Sistemi*

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 özelliklerinin 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 Sistemi*

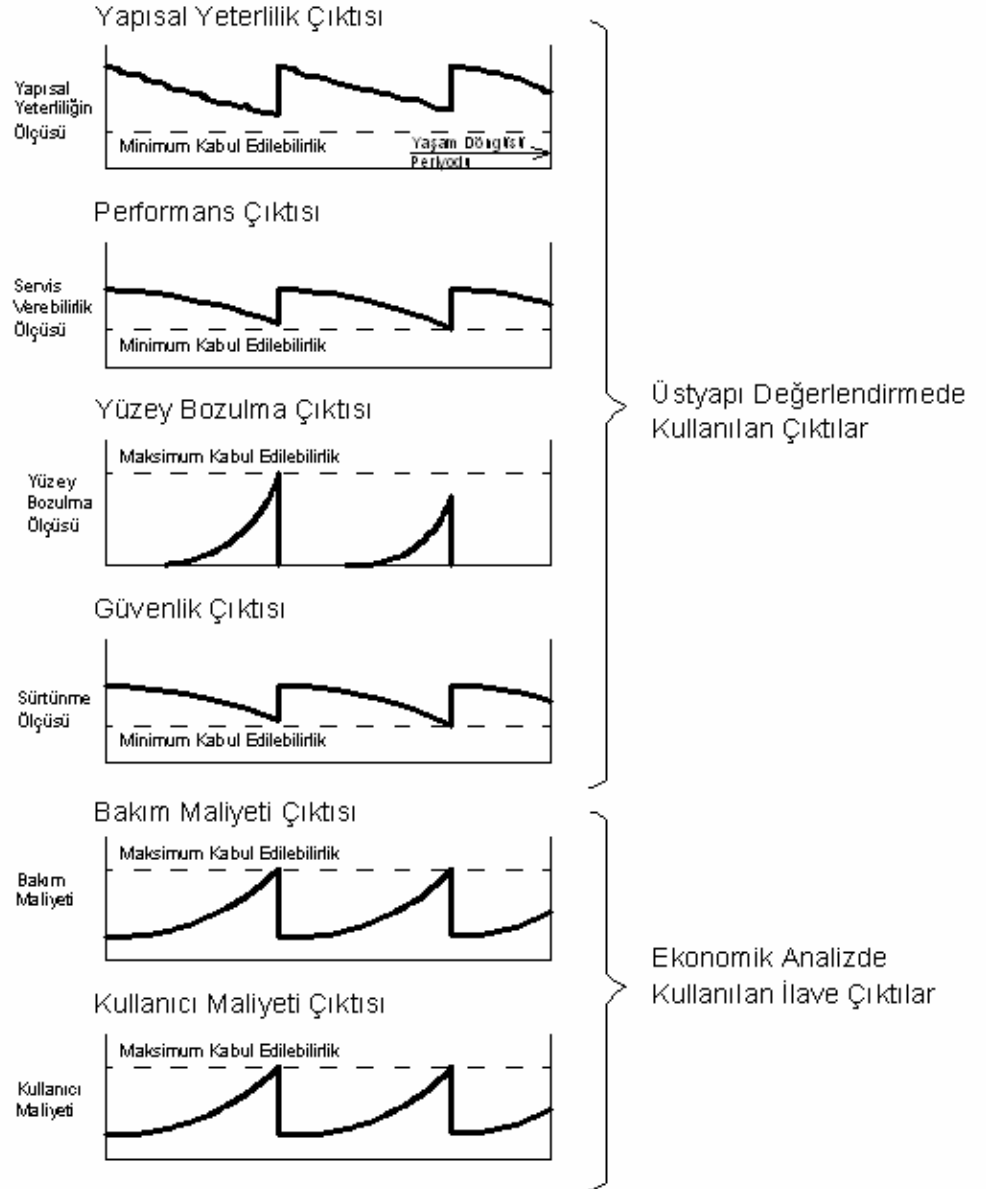
Proje düzeyi analiz alt sistemi öncelikli olarak yeni imalat veya onarım projeleri ile ilişkilidir. Bununla beraber, bu alt sistemde bakım ve iyileştirme alternatifleri de değerlendirilerek çıktılarının hedeflerle ilişkisi kontrol edilir. Bu işlem şu şekilde gerçekleştirilir;

- 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. Yaşam döngüsü maliyeti ve fayda-maliyet analizleri ile alternatiflerin ekonomik analizi yapılmalıdır.

#### ***Üstyapı Değerlendirme Fonksiyonları***

Üstyapı yönetiminde anahtar parça olan değerlendirme planlama, tasarım ve imalat amaçlarının memnuniyetini sorgular. Şekil 2.6'da üstyapı çıktılarının temel tiplerinin zamana karşı değerlendirilmeleri şematik olarak gösterilmiştir. Bu çıktılarının bir kaçı veya tamamı tasarım sırasında tahmin edilir ve üstyapı kullanımda iken ölçümler yapılarak gerekli ise kalibrasyonlar yapılır.





Şekil 2.6 Üstyapı değerlendirilmesinde kullanılan çıktılar (Haas vd., 1994)

Şekil 2.6'da 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 yaşam dönüm 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 çıktılardan 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.

## **2.5 ÜYS’de Kullanılan Veriler ve Kullanım Amaçları**

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 düzgünsüzlük bileşeni açıklanmıştır.

### **2.5.1 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.

Çizelge 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 merkezileştirilmelidir. 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 Çizelge 2.2’de verilmiştir.

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

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

O: Onarım için gerekli veriler

B: Bakım için gerekli veriler

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

Veri Cinsi	Ağ Düzeyi	Proje Düzeyi
<b>1. Performansla ilgili veriler</b>		
Düzensüzlük	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mevcut durumu tanımlar.</li> <li>Gelecek durumu tahmin etmede kullanılır.</li> <li>Analiz ve programlama öncelikleri için temeller oluşturur.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kalite garantisidir (imalatın kalitesini gösterir).</li> <li>Bozulma eğrilerinin yaratılmasına yardımcı olur.</li> <li>Kaplamanın niteliğinin tahminini sağlar.</li> </ul>
Sürtünme	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mevcut durumu tanımlar.</li> <li>Gelecek durumu tahmin etmede kullanılır.</li> <li>Programlama önceliğini belirlemede kullanılır.</li> <li>İyileştirme verimliliğinin belirlenmesini sağlar.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bölgenin veya kesimin iyileştirme ihtiyaçlarını tanımlar.</li> <li>İyileştirme verimliliğinin belirlenmesini sağlar.</li> </ul>
Yüzey Bozulmaları	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mevcut durumu tanımlar.</li> <li>Gelecek durumu tahmin etmede kullanılır.</li> <li>Mevcut ve gelecekteki ihtiyaçları belirlemede yardımcı olur.</li> <li>Öncelikli bakım programlarını belirlemede yardımcı olur.</li> <li>Alternatif iyileştirmelerin verimliliğini belirlemede yardımcı olur.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bakım yönteminin seçiminde kullanılır.</li> <li>Bölgesel yenileme ihtiyaçlarının belirlenmesini sağlar.</li> <li>Bakım kalite tahminlerinin geliştirilmesi sağlar.</li> <li>İyileştirme verimliliğinin belirlenmesini sağlar.</li> </ul>

Veri Cinsi	Ağ Düzeyi	Proje Düzeyi
Defleksiyonlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mevcut durumu tanımlar.</li> <li>Gelecek durumu tahmin etmede kullanılır.</li> <li>Yapısal yetersizliği tanımlar.</li> <li>İyileştirme programlamada önceliğin belirlenmesinde yardımcı olur.</li> <li>Mevsimlik yük taşıma kısıtlarının belirlenmesini sağlar.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tabaka tasarımına girdi teşkil eder.</li> <li>İmalat yapısal yeterliliğini belirlenmesine yardımcı olur.</li> <li>Kalan servis ömrünün tahminine yardımcı olur.</li> <li>Kalan yük taşıma kısıtlarının tahminine yardımcı olur.</li> </ul>
Tabaka malzeme özellikleri	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kesim kesim değişkenliğini belirlenmesini sağlar.</li> <li>Tasarım standartlarının gelişimine yardımcı olur.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tabaka tasarımına girdi teşkil eder.</li> <li>Mevcutta bulunan imalat kayıtlarının tutulmasını sağlar.</li> </ul>
<b>2. Önceki yıllara ait veriler</b>		
Bakım tarihi	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bakım programlarının üretilmesinde kullanılır.</li> <li>Bakımın verimliliğinin belirlenmesinde yardımcı olur.</li> <li>Alternatif tasarımlar ve iyileştirmede, maliyet etkinliğinin sağlanmasında yardımcı olur.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Problemlili kesimlerin belirlenmesinde yardımcı olur.</li> </ul>
Yenileme tarihi	<ul style="list-style-type: none"> <li>Yenileme verimliliğinin değerlendirilmesinde yardımcı olur.</li> <li>Alternatif tasarımların ve yenileme işlemlerinin maliyet etkinliğinin sağlanmasında yardımcı olur.</li> <li>Kalite garantisinin gelişmesi için ihtiyaçların belirlenmesini sağlar.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mevcutta bulunan imalat kayıtlarının tutulmasını sağlar.</li> <li>Tasarım sırasında yorumlama imkanı sağlar.</li> </ul>
Trafik	<ul style="list-style-type: none"> <li>Programlama önceliğini belirlemede kullanılır.</li> <li>Genel performans/ bozulma eğiliminin tahminine girdi teşkil eder.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Üstyapı tasarımı için girdi olarak kabul edilir.</li> <li>Trafik tahmin yöntemlerini tanımlamada kullanılır.</li> <li>Kalan servis ömrünün tahminine yardımcı olur.</li> </ul>
Kazalar	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kazalara karşı tedbirlerin geliştirilmesine yardımcı olur.</li> <li>Programlama önceliğini belirlemede kullanılır.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Yüksek kaza riski taşıyan kesimlerin tanımlanmasında yardımcı olur.</li> <li>Kazalara karşı tedbirlerin geliştirilmesine yardımcı olur.</li> </ul>
<b>3. İşletme politikası ile ilgili veriler</b>		
Bütçe	<ul style="list-style-type: none"> <li>Programlama önceliğini belirlemede kullanılır.</li> <li>Yönetim stratejilerinin seçilmesine yardımcı olur.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Harcama sınırlarının belirlenmesini sağlar.</li> </ul>
Mevcut alternatifler (Bakım&İyileştirme)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Yönetim stratejilerinin seçilmesine yardımcı olur.</li> <li>Programlama önceliğini belirlemede kullanılır.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ekonomik değerlendirme yapılmasını sağlar.</li> <li>Ömür-döngü maliyetinin belirlenmesine yardımcı olur.</li> </ul>

Veri Cinsi	Ağ Düzeyi	Proje Düzeyi
<b>4. Geometri ile ilgili veriler</b>		
Kesim Boyutlandırmaları	<ul style="list-style-type: none"> <li>Genel politika veya standartların geliştirilmesini sağlar.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kesim belirlemede kısıtların belirlenmesini sağlar.</li> </ul>
Eğrilik	<ul style="list-style-type: none"> <li>Genel politika veya standartların geliştirilmesini sağlar.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kesim belirlemede kısıtların belirlenmesini sağlar.</li> <li>Güvenlik değerlendirilmesini sağlar.</li> </ul>
Enine eğim	<ul style="list-style-type: none"> <li>Genel politika veya standartların geliştirilmesini sağlar.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Drenaj yeterliliği değerlendirilmesini sağlar.</li> <li>Güvenlik değerlendirilmesini sağlar.</li> </ul>
Boyuna eğim	<ul style="list-style-type: none"> <li>Genel politika veya standartların geliştirilmesini sağlar.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Drenaj yeterliliği değerlendirilmesini sağlar.</li> <li>Güvenlik değerlendirilmesini sağlar.</li> </ul>
Banket / Kurb	<ul style="list-style-type: none"> <li>Genel politika veya standartların geliştirilmesini sağlar.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Drenaj yeterliliği değerlendirilmesini sağlar.</li> <li>Güvenlik değerlendirilmesini sağlar.</li> </ul>
<b>5. Çevre ile ilgili veriler</b>		
Drenaj	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ağın genel performans değerlendirmesinin yapılmasını sağlar.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kesimin genel performans değerlendirmesinin yapılmasını sağlar.</li> </ul>
İklim	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ağın genel performans değerlendirmesinin yapılmasını sağlar.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kesimin genel performans değerlendirmesinin yapılmasını sağlar.</li> </ul>
<b>6. Harcamalarla ilgili veriler</b>		
Yenileme harcamaları	<ul style="list-style-type: none"> <li>Programlama önceliğini belirlemede kullanılır.</li> <li>Ağın yatırım stratejilerinin seçilmesini sağlar.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ekonomik değerlendirme yapılmasını sağlar.</li> <li>Stratejilerin seçilmesini sağlar.</li> </ul>
Bakım harcamaları	<ul style="list-style-type: none"> <li>Programlama önceliğini belirlemede kullanılır.</li> <li>Ağın bakım stratejisinin seçilmesini sağlar.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bakım verimliliğini değerlendirir.</li> <li>Bakım kesimlerinin seçilmesini sağlar.</li> </ul>
İyileştirme harcamaları	<ul style="list-style-type: none"> <li>Programlama önceliğini belirlemede kullanılır.</li> <li>Ağın iyileştirme stratejisinin seçilmesini sağlar.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ekonomik değerlendirme yapılmasını sağlar.</li> <li>İyileştirme stratejilerin seçilmesini sağlar.</li> </ul>
Kullanıcı harcamaları	<ul style="list-style-type: none"> <li>Programlama önceliğini belirlemede kullanılır.</li> <li>Yönetim stratejilerinin seçilmesini sağlar.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ekonomik değerlendirme yapılmasını sağlar.</li> <li>Maliyeti azaltma stratejilerinin seçilmesini sağlar.</li> </ul>

### ***Performans ile İlişkili Üstyapı Değerlendirilmesinin Önemi***

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 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 servis 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 da oldukça ilişkili olduğu rahatlıkla söylenebilir. Bu dört ölçüt veya karakter kullanıcı maliyetleri ve bakım ile ilgili olarak üstyapının çıktıları gibi düşünülebilir. Bu çıktılar değerlendirilerek üstyapının memnuniyeti 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 kurum eğer yeterli bütçeye sahip ise gerekli bakımlar tam zamanında yapılarak üstyapılardan sağlanan faydalar maksimuma ulaştırılmış olur.

Üstyapı değerlendirmesi birçok kurum/kuruluş'da 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 durumu hakkında bilgi verebilen mekanik veriler de dahil edilmelidir. Böylelikle doğruluğu denetlenebilen, gerçekliği kanıtlanabilen ve insan görüşü içermeyerek homojen kararlar verebilen sistemler elde edilebilir.

## **2.6 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 bizimde Beşiktaş örneğinde uygulamasını yaptığımız PAVER üstyapı yönetim sisteminde kullanılmıştır. Ağda önce genel özellikleri aynı olan yollar bölüm olarak daha sonra homojen birimlere sahip yollar kesim olarak ayrılmıştır ve teker teker isimlendirilir. Coğrafi Bilgi Sistemi de ağın tamamen her noktasının koordinat sisteminde hafızada tutularak Bölüm – Kesim metodunda olduğu gibi ağ önce bölümlere daha sonra kesimlere ayrılarak elde edilir. Coğrafi bilgi sistemini kullanmanın faydası verilen herhangi bir kararın ağın hangi kesimini etkilediğini görsel olarak da kontrol edebilmektir. Özellikle şehir içi 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.

Ağdaki 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***

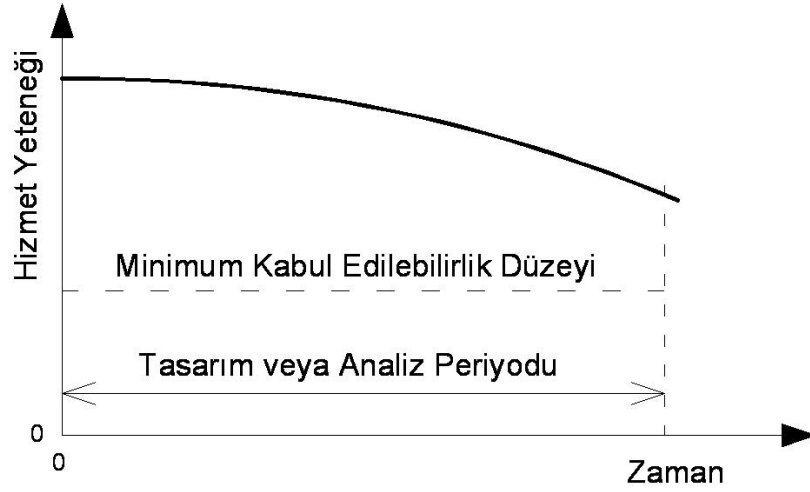
Çevre şartlarının özellikle iklim koşullarının üstyapının performansı üzerine ciddi etkileri bulunmaktadır. Ancak geçmiş dönemlere ait çevre şartları verileri de elde edilebildiği takdirde gelecek dönemlere ait daha gerçeğe yakın bozulma tahminleri ve bu bozulmalara cevap verebilecek bakım ve iyileştirme 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.

## **2.7 Üstyapı Performansı**

Üstyapı performansının değerlendirilmesi, belirlenen kesimlerin detaylı olarak analizini içerir. Fonksiyonel 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 Şekil 2.7'de görülmektedir.



Şekil 2.7 Hizmet yeteneği veya sürüş konforunun zaman içinde 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 durumunu 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 düzgünlüğü gözleminden üstyapıya ait hizmet verebilme yeteneğinin saptanabilmesidir. PSI belirlemede kullanılan form Şekil 2.8'de 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 2.8 PSI belirlemede kullanılan form (Terzi, 2004)

### ***Üstyapı Düzgünlüğünün Belirlenmesi***

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

Üstyapı düzgünlüğü yolcu veya araç kullanıcısı tecrübesiyle elde edilen bir olgudur. Genel bir görüş olarak düzgünlük terimi konforsuz sürüşe neden olacak şekilde üstyapı yüzeyinin

bozukluğuyla tarif edilir.

Üstyapı düzgünsüzlüğü boyuna, enine ve yatay olmak üzere üç temel bileşene ayrılır. Üstyapıda oluşan bozukluklar düşey ve yanal ivmelenmelere (savrulmalara) neden olabilir. Üstyapının boyuna profilinden türetilen düşey ivmelenmeler kullanıcı konforunu en çok etkileyen faktördür. Yanal ivmelenmeler ise aracın seyir ekseninden uzaklaşmasına ve hatta savrularak 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. Bu nedenle boyuna profilin bu tekerlek izlerini takip ederek belirlenmesi en doğru yaklaşım olacaktır. Dahası aynı şeride ait iki tekerlek izinin karşılaştırılması düzgünsüzlük hakkında oldukça verimli değerlendirmeler yapılmasına olanak sağlayabilir. Sürücülerin üstyapı düzgünsüzlüğünden 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 düzgünsüzlük indeksleri geliştirilmiştir.

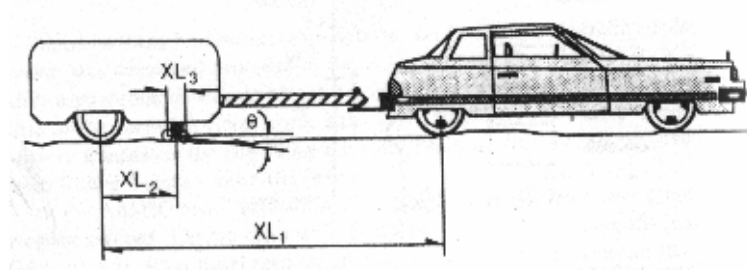
Otoyollarda ve hava meydanlarında üstyapı profilini ölçmeksizin düzgünsüzlük tahmini yapabildiği birçok aygıt bulunmaktadır. Bu yöntemle de yolun düzgünsüzlüğüne aracın etkisi ve araç karakteristikleri ile ölçüm hızının duyarlılığı gibi iki temel parametreyi işin içine katmaksızın düzgünsüzlük indeksini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

## **2.8 Düzgünsüzlük Değerlendirmede Kullanılan Ekipmanlar**

Üstyapının fonksiyonel performans kavramı 1950'lerin sonunda AASHO yol testi ile geliştirilmiş olmasına rağmen, üstyapı düzgünsüzlüğü değerlendirme ihtiyacı 1920'lerde tanımlanmıştır. Düzgünsüzlük, 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 Şekil 2.9'da görülmektedir. Bu aygıt saatte 8.05 km (5 mil) hızla ilerleyerek 30.48 cm (1 ft) aralıklarla  $\theta$  açılarını ölçerek kayıt altına alır. Burada  $\theta$  açısı çapları aynı olan iki küçük tekerleğin eksenlerini birbirine

bağlayan okun yatayla yaptığı açığı temsil eder. Elde edilen  $\theta$  açısı nadiren  $\pm 3$  derece sınırını aşar. Sahadan radyan biriminde toplanan bu açı kullanılarak modelde kullanılan eğim varyansı değeri elde edilir.



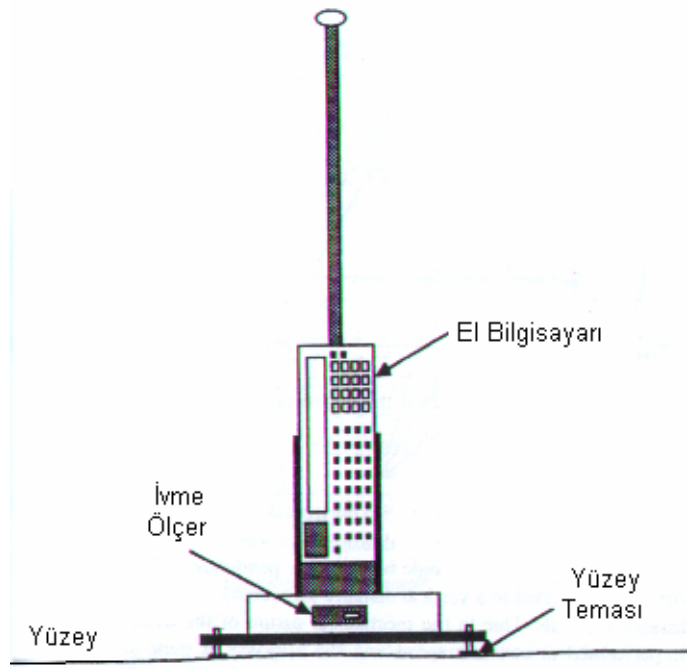
Şekil 2.9 AASHO yol testi profilometresi şematik görünümü (Haas vd., 1994)

Üstyapı düzgünlüğünü ölçen aletler üstyapı profilini ölçen aygıtlar (Profilometreler), profilograflar ve tepki tipli aygıtlar olarak üç temel başlık altında toplanabilir.

### 2.8.1 Üstyapı Profil Ölçüm Aygıtları (Profilometreler)

#### *Yüzey Çubuğu*

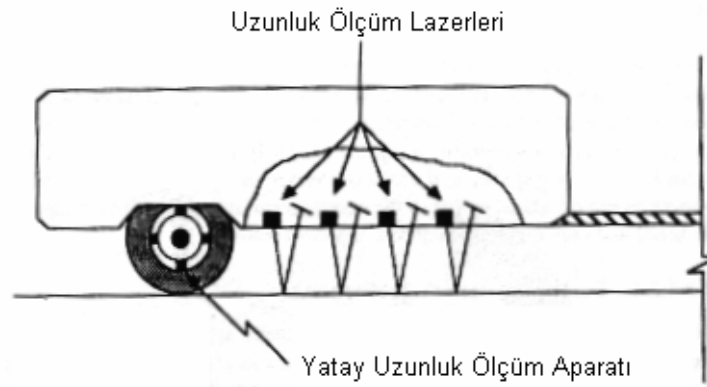
Yüzey çubuğu, üstyapı yüzey profili ölçümünde kullanılan en basit aygıtlardan biridir. Aslında yapıların düzgünlüğünün ölçümü için geliştirilmiş olan bu aygıt üzerinde bir ivme ölçere sahiptir. Bu aygıt el ile yüzey üzerinde 180 derecelik hareket özgürlüğünde gezdirilerek yüzey ölçümü yapılabilir. Aygıtın 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 2.10 Yüzeý 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 yüzeýden 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.



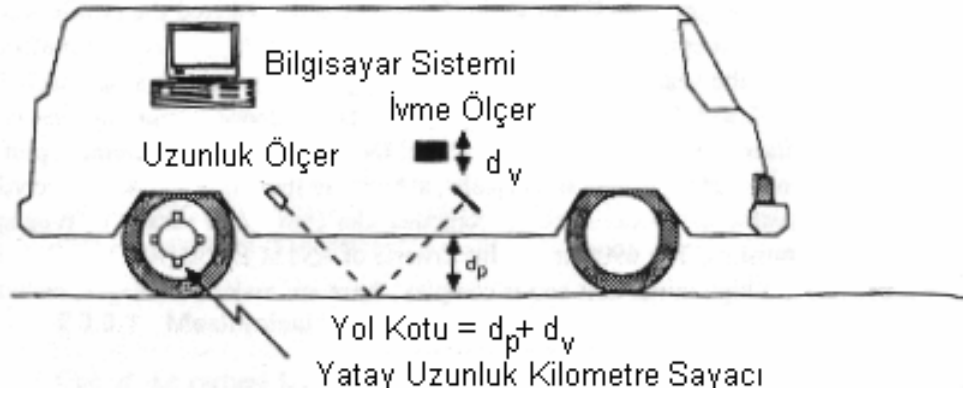
Şekil 2.11 TRRL profilometresinin şematik görünümü (Haas vd., 1994)

### ***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 kütlelerinin düşey hareketinin ( $d_v$ ) niteliği ile ilişkilidir. Profil kotu bu ölçümlerin toplamı ile elde edilir.



Şekil 2.12 Eylemsizlik profili kavramı (Haas vd., 1994)

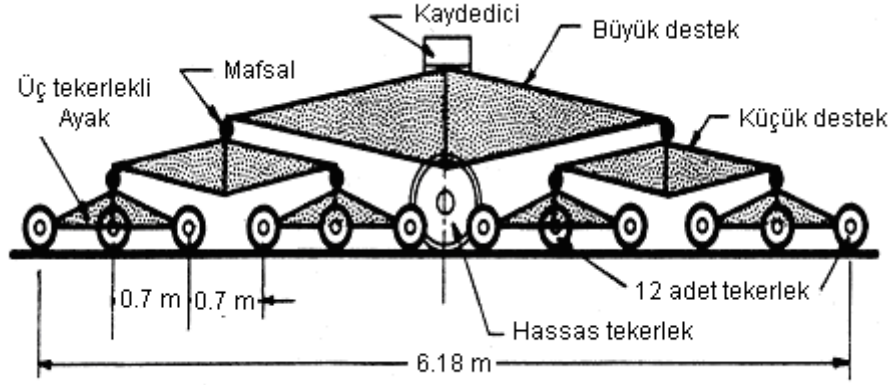
Eylemsizlik profilometreleri şu şekilde sınıflandırılır;

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

### **2.8.2 Profilograflar**

Profilograflar özellikle beton yolların değerlendirilmesinde oldukça çok kullanılmaktadır. Profilograflar, arka arkaya dizilmiş bojili tekerleklerin birbirlerine göre hareketlerinin kaydedilerek grafiklerle gösterimi şeklinde kullanılır. Yol düzensüzlüğünün şerit grafik çıktıları elde edilir ve analizleri yapılabilir. Belirli uzunluktaki bir kesimin birim uzunluklar

şeklinde değerlendirmesi yapılarak çıktılar oluşturulur. Profilografların avantajları, düşük yatırım maliyetleri, kolay işletim ve iyi tekrarlanabilirlik olarak sıralanabilir. Dezavantajları ise, düşük işletim hızı ve eşit dalga boylarında düzgünlük ölçümlerinin yapılamaması olarak verilebilir.



Şekil 2.13 Profilograf şematik görünümü (Haas vd., 1994)

### 2.8.3 Tepki Tipli Aygıtlar

Tepki tipli yol düzgünlük 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 düzgünlüğüne karşın aracın tepkisini ölçmektedirler. Bu aygıtların düşük maliyeti, basit tasarımı ve oldukça yüksek işletim hızlarından dolayı ÜYS'ler için düzgünlük verilerinin kullanılmasında oldukça yaygın şekilde kullanılmaktadır.

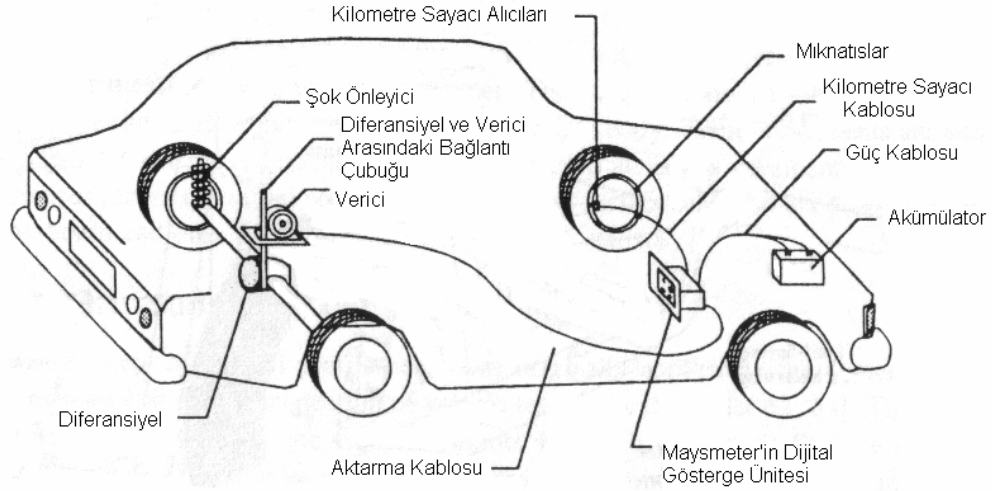
#### **Mekanik RTRRMS**

İlk RTRRMS'lerden biri BPR'nin (Bureau of Public Roads) düzgünlük (roughometer) ölçeridir. İlk aygıt bir otomobile takılı şekilde geliştirilmiştir ancak daha sonra ayrılarak treyler haline dönüştürülmüştür. Treylerin parametreleri otomobilin bir tekerleğinde bulunan aparatlardan oluşmaktadır. Düzgünlük 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



düzensüzlük 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 2.14 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 düzensüzlük 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 düzensüzlük değerine ulaşılır. Yine düzensüzlük ve hizmet yeteneği indeksi (Serviceability index – SI) arasında korelasyon kurularak hizmet yeteneği indeksi elde edilmiş olur.

## **2.9 Uluslararası Düzensüzlük Ölçüm Standartları**

Uluslararası düzensüzlük standardı üstyapı profilini veya üstyapı düzensüzlüğünü değerlendirmek için kullanılan bir gereçtir. IRI belirlemede toplanan yüzey profili verilerini değerlendirirken ilk adımda yapılması gereken üstyapı yüzeyinin düzensüzlüğünü tasvir

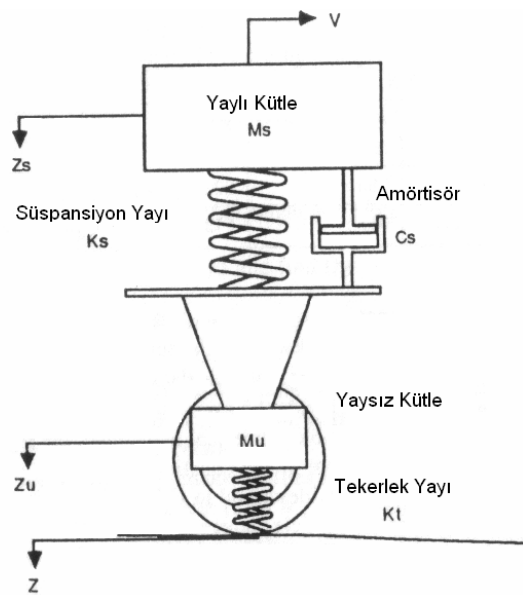
eden verilerin anlamlı bir şekilde azaltılmasıdır. İkinci adımda yapılması gereken ise ölçümler için ortak bir ölçeğin belirlenmesidir. Böylece farklı araçlar kullanılarak elde edilen çıktılar karşılaştırılabilir ve birlikte değerlendirilebilir, hatta gerekli durumlarda araçların kalibrasyonları yapılabilir.

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))'dır.

### 2.9.1 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 2.15 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:

$$M_s \ddot{Z}_s + C_s (\dot{Z}_s - \dot{Z}_u) + K_s (Z_s - Z_u) = 0 \quad (2.1)$$

ve

$$M_s \ddot{Z}_s + M_u \ddot{Z}_u + K_t (Z_u - Z) = 0 \quad (2.2)$$

eşitlikleridir. Burada;

$Z$  = yol profili kot noktaları

$Z_u$  = yaysız kütlenin kotu (Aks)

$Z_s$  = yaylı kütlenin kotu (araç 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.

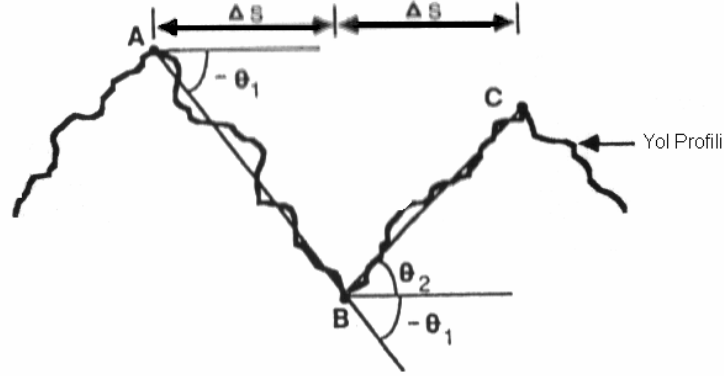
$$QCS = \frac{1}{C} \int_0^T |\dot{Z}_s - \dot{Z}_u| dt \quad (2.3)$$

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.

### 2.9.2 Kök Ortalama Karesi 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 2.16 Kök ortalama karesi düşey ivmelenme analizi için üstyapı profili gösterimi (Haas vd., 1994)

İşlemden yatay uzunluk  $\Delta S$ 'lerin eşit uzunluklarla belirlendiği varsayılmıştır. RMSVA yatay iki nokta arasında bitişik profil eğimlerinin oranının kök ortalama karesi olarak kabul edilmektedir. Eğer birbirini takip eden noktalar ( $Y_A$ ,  $Y_B$ ,  $Y_C$ ) şeklindeki gibi düşünülürse hesaplamalarda aşağıdaki eşitlikler kullanılır:

A noktasındaki eğim;

$$A = \frac{Y_A - Y_B}{\Delta S} = |\theta_1| \quad (2.4)$$

B noktasındaki eğim;

$$B = \frac{Y_C - Y_B}{\Delta S} = |\theta_2| \quad (2.5)$$

Eğimin değişimi;

$$\theta_2 - (-\theta_1) = \theta_2 + \theta_1 = \Delta\theta = \frac{Y_C - Y_B + Y_A - Y_B}{\Delta S} \quad (2.6)$$

Uzunlukla eğim değişiminin oranı;

$$\left(\frac{\Delta\theta}{\Delta s}\right)_B = \frac{(Y_C - Y_B) - (Y_B - Y_A)}{\Delta s^2} \quad (2.7)$$

Böylece RMSVA şu şekilde hesaplanır;

$$RMSVA = \left[ \sum_{i=2}^{n-1} \frac{\left(\frac{\Delta\theta}{\Delta s}\right)^2}{n-2} \right]^{0.5} = \sum_{i=2}^{n-1} \left[ \frac{\{(Y_{i+1} - Y_i) - (Y_i - Y_{i-1})\}^2 / \Delta s^4}{n-2} \right]^{0.5} \quad (2.8)$$

Burada;

n = profil kotlarının sayısı,

$\Delta s$  = 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 ( $RMSVA_4$ ) ve 4.88 ( $RMSVA_{16}$ ) metre baz uzunluklar arasında Maysmeter çıktıları (MC) arasında uygun bir korelasyon gözlenmiştir. Bu korelasyonu ifade eden eşitlik şu şekilde belirlenmiştir.

$$MC = -20 + 23 RMSVA_4 + 58 RMSVA_{16} \quad (2.9)$$

MC istatistiklerinden daha sonra PSI değeri verebilen modeller de geliştirilmiştir.

$$PSI = 5 e^{-c(\ln(a MC) / d)} \quad (2.10)$$

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).

### 2.9.3 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.

### 2.10 Düzensüzlük - Hizmet Yeteneği İlişkisi, Evrimi ve Uygulamaları

AASHO yol testinde hizmet yeteneği indeksini tanımlamada en çok PSI kavramı kullanılmıştır. PSI değerini veren orijinal eşitlik aşağıdaki gibidir.

$$PSI = C + (A_1R_1 + \dots) + (B_1D_1 + B_2D_2 + \dots) \pm e \quad (2.11)$$

Burada;

$C$  = sabit ( Esnek üstyapılar için 5.03 ve Rijit üstyapılar için 5.41),

$A_1$  = sabit (Esnek üstyapılar için -1.91 ve Rijit üstyapılar için -1.80),

$R_1$  = düzensüzlük profilinin fonksiyonu  $[\log(1+SV)]$ , burada  $SV = CHLOE$  profilometresinden elde edilen ortalama eğim varyansı,

$B_1$  = sabit (Esnek üstyapılar için -1.38 ve Rijit üstyapılar için 0),

$D_1$  = tekerlek izi yüzeyinin fonksiyonu (RD), burada RD basit iz derinliği ölçer tarafından ölçülen verilerin ortalamasıdır,

$B_2$  = sabit (Esnek üstyapılar için -0.01 ve Rijit üstyapılar için -0.09),

$D_2$  = yüzey bozulmasının fonksiyonu (  $C + P$  ), burada  $C + P$  = çatlak ve yamaların toplam miktarıdır, AASHO yol testinde geliştirilen prosedürle belirlenir,

$e$  = hata terimidir.

Yukarıda verilen sabitler yol testi çalışmalarında elde edilen farklı tipteki verilerden bulunmuştur. Bu eşitlikte düzensüzlük verisi kullanılmamaktadır. Bunun sebebi olarak düzensüzlükle birinci derecede ilişkili olan çatlak ve yamaların kullanılması kabul edilebilir.

Ölçüm metodlarındaki gelişmeler kullanılarak yeni modellerin geliştirilmesi sağlanmıştır. Bu durum sayesinde eğer elde uygun veriler mevcutsa yeni regresyonların yapılmasına veya eski ölçümler ile yeni yaklaşımların karşılaştırılması imkanına ulaşılmıştır. Hizmet yeteneğinde önemli olan kullanıcıların memnuniyetidir, fakat bu önemli özellik zaman zaman unutulmuş ve değerlendirme sadece yapısal anlamda kullanıcı görüşü düşünülmemiş yapılmaktadır. Mühendisler bu konuda mutlaka hizmet yeteneği oranlamasının da yapılması gerektiğini

vurgulamaktadırlar. PSI modelleri çoklu regresyon teknikleriyle elde edilmişlerdir. Fakat bu modellere panel oranlama değerleri de (PSR) eklenerek kullanıcı görüşleri modellenmeye çalışılmıştır. Bunun neticesinde hizmet yeteneği ile düzgünsüzlük kavramları arasında ilişkiler geliştirilmiştir. Bu ilişkileri gösteren en kaba model 2.12 nolu eşitlikte verilmiştir. Burada e terimi düzeltme faktörü olarak kabul edilmektedir.

$$PSI = PSR \pm e \quad (2.12)$$

Şüphesiz ki üstyapı bozulmalarının ve profil ölçüleriyle saptanan düzgünsüzlüklerin hizmet yeteneği ile ilişkisi olduğu gerçeği hiçbir zaman yadsınamaz. Bu yüzden aletlerle yapılan ölçümler ve sonuçları değerlendirirken kullanıcı faktörü de her zaman göz önünde bulundurulmalıdır.

Üstyapı düzgünsüzlük verileri yönetim fonksiyonunda çeşitli ihtiyaçları yerine getirmede kullanılır. Bu ihtiyaçların en temeli ağ ve proje düzeyinde, kırsal ve kentsel yol üstyapıları veya hava meydanlarında üstyapıların değerlendirilmesidir.

#### ***Ağ Düzeyinde Düzgünsüzlük Değerlendirilmesi***

Düzgünsüzlük verileri ağ düzeyinde proje seçimi ve programlamada kullanılacak, üstyapı yüzeyinin fonksiyonel değerlendirmesini sağlar. Örneğin California'nın üstyapı yönetim sistemi düzgünsüzlüğü proje seçimi için öncelikli değişken olarak kabul etmektedir. Bu felsefeye dayalı olarak düzgün olmayan (pürüzlü) üstyapılar kullanıcılar tarafından kabul edilemez. Bu durumda yapısal olarak bozulmuş olsa da kabul edilebilir sürüş kalitesine sahip yollar, kullanıcılar için halen düzgün yol olarak addedilebilir ki bu durum bu kabulün bir hatasıdır.

Yol düzgünsüzlük verileri ağ düzeyinde kullanılacağından dolayı bilgilerin çok hassas olmasına ihtiyaç yoktur. Ağ düzgünsüzlük araştırmaları değerlendirmeler ve iyileştirme yatırımlarının saptanması için kullanılacaktır. Sonuç olarak yüksek hız, düşük kalitede RTRRMS verileri ağ düzeyi için yeterlidir.

#### ***Proje Düzeyinde Düzgünsüzlük Değerlendirilmesi***

Belirli projeleri için üstyapı performans değerlendirme verileri kesin ölçümlere ihtiyaç duyar. Proje düzeyinde düzgünsüzlük ölçümleri imalat, kalite kontrol, periyodik servis verebilme tahminleri ve iyileştirme seçeneklerinin değerlendirilmesi gibi ihtiyaçlar için kullanılır.

***Kentsel Alanlarda Düzgünsüzlük Değerlendirilmesi***

Birçok üstyapı kuruluşu kentsel alanlarda düzgünsüzlük ölçümleri yaparak sistem yönetiminde bu verileri kullanmaktadır. Fakat düzgünsüzlük ölçümleri kentsel alanlarda daha az tercih edilmektedir. Bunun sebepleri şu şekilde sıralanabilir;

1. RTRRMS aygıtları birçok ilgili kurum tarafından sabit hızlarda kullanılmaktadır, bu durum kentsel alanlarda pek mümkün değildir,
2. Kentsel alanlardaki düşük trafik hızlarından dolayı, düzgünsüzlük etkileri kullanıcılara çok az yansımakta bu yüzden de üstyapı mühendisleri kentsel düzgünsüzlükle daha az ilgilenmektedirler.



### 3. ÜSTYAPININ YAPISAL KAPASİTESİNİN ve BOZULMALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

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.

#### 3.1 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 durumu 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 kütleli 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

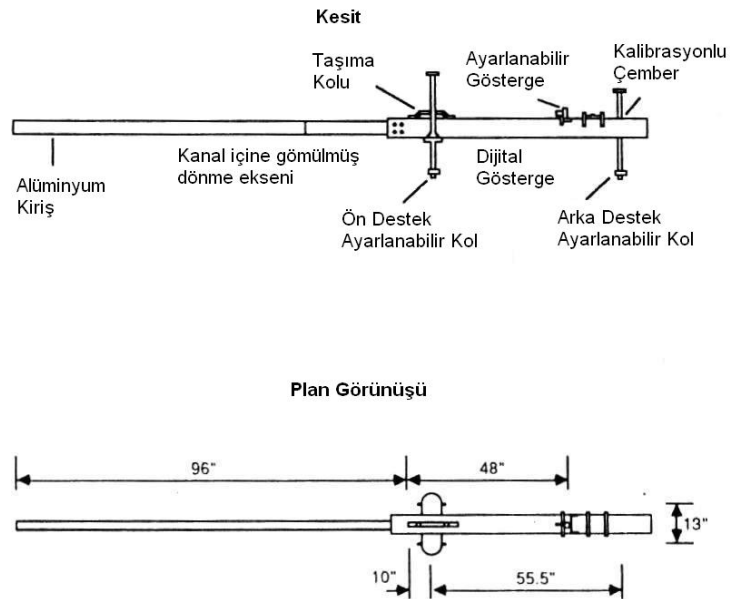
Tabaka taşıma testi bir statik defleksiyon prosedürü içerir. Bu prosedür yükün, 76.2 cm (30 inç) çaplı rijit bir tabakanın bir hidrolik kriko vasıtasıyla tekrarlı olarak üstyapıya iletilmesi şeklinde uygulanır. Bu yavaş ve yorucu testin tamamlanması 30 dakika ile bir saat arasında değişir. Bu sebepten 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 3.1 Benkelman kirişi şematik gösterimi (Haas vd.,1994)

Benkelman kirişi Şekil 3.1'den de görüldüğü gibi basit bir kol'a iştirilmiş alüminyum veya ahşap gövdeden oluşur. Ölçümler 80 KN (18 Kp) yükün uygulandığı ve deformasyonun belirlendiği noktada yapılır ve yük uygulandığındaki esneklik ölçülür. Çok kullanışlı bir aygıt olmasının yanında ölçüm yapmak oldukça emek ister.

#### 4. Otomatik Defleksiyon Kirişi

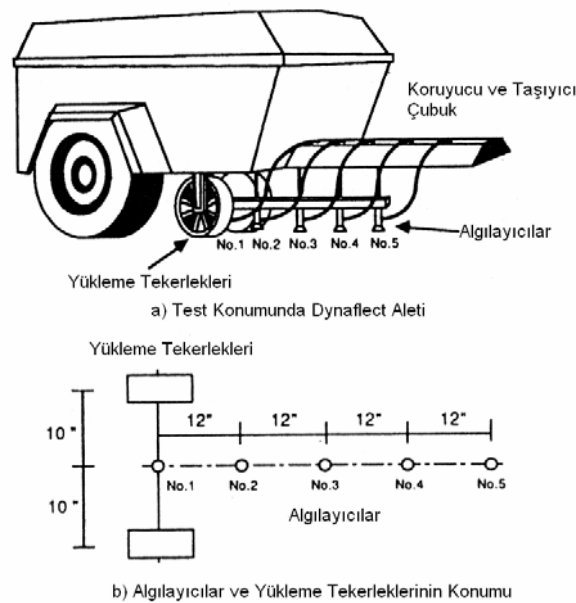
Benkelman kirişi ile aynı prensiplere dayanarak çalışan otomatik defleksiyon kirişi aleti ölçüm hızını arttırmak amacıyla geliştirilmiştir. Defleksiyon kirişi yük aracının üzerine monte edilmiştir. Operatör aracı üstyapı üzerinde hareket ettirirken kirişler istenen noktalara konumlandırılır ve maksimum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

#### Titreşimli Aletler

Bu tipte aletler üstyapıya statik yüke ilaveten 71 KN (16 Kp) sinüsoidal yükle 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 3.2 Dynaflect'in gösterimi (Haas vd.,1994)

## 2. Yol Oranlayıcı

Yol oranlayıcı çeşitli büyük yük ve frekansta çalışabilen titreşimli bir yapısal durum 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. Üç çeşit yol oranlayıcı modeli bulunmaktadır.

Çizelge 3.1 Yol oranlayıcı modelleri ve özellikleri (Haas vd.,1994)

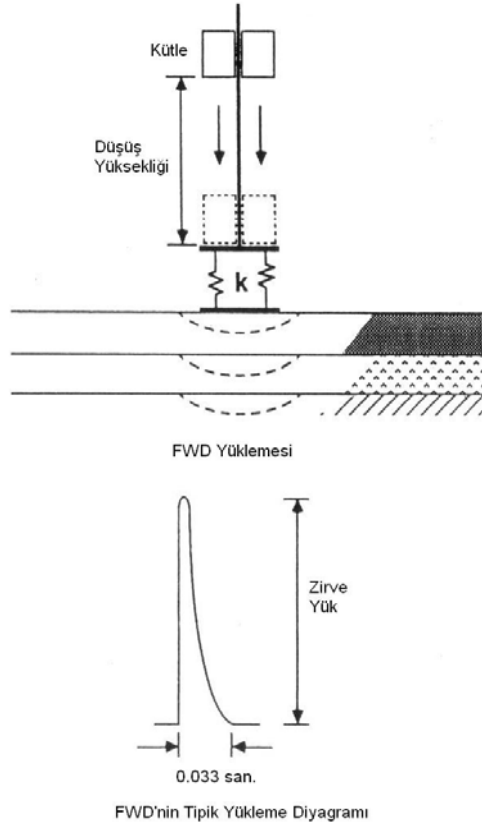
Yol Oranlayıcı Modeli	Uyguladığı Dinamik Yük Aralığı	Frekans (Hz)
400	200 – 3000	-
2000	200 – 5500	6 – 60
2008	500 - 9000	5 – 80

### Düşen Ağırlıklı Aletler

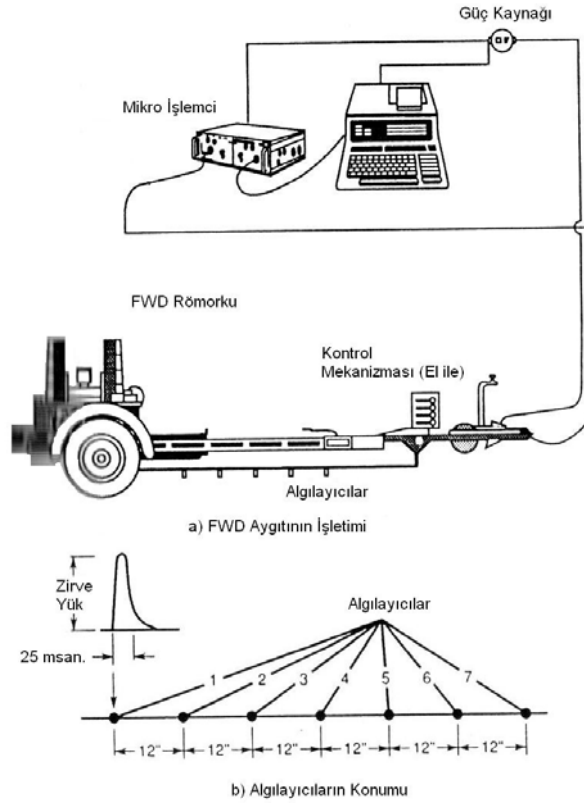
İtme yüklü defleksiyon ölçüm aygıtları tipik olarak bir kütlenin boşlukta düşmesi prensibiyle çalışır. Uygulanan zirve yük yüzeyi varyasyonları düşen kütlenin büyüklüğü ve düşüş yüksekliğindeki değişiklik ile gerçekleştirilir. Düşey zirve deformasyon, düşen kütlenin merkezinden uygulama yüzeyi arasındaki uzunluk ölçülerek belirlenir. Şekil 5.3’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 3.3 Düşen ağırlıklı defleksiyon ölçer (FWD) aleti'nin basit prensipleri (Haas vd.,1994)



Şekil 3.4 Dynatest FWD 8000 modeli'nin şematik gösterimi (Haas vd.,1994)

### 3.2 Tahribatlı Yapısal Değerlendirme

Üstyapı durumu 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 oluştuğundan 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 tamiratı söz konusu olduğundan oluşan performans kayıplarıdır. Yine de, çalışmalarda güvenilir sonuçlara ulaşmak için en etkili yöntemdir.

### 3.3 Yapısal Kapasite İndeksi

Bir üstyapının fonksiyonel davranışı için hizmet yeteneği performansı kavramından başka yapısal kapasiteyi de içeren birleştirilmiş bir indeks bulunmamaktadır. Bununla beraber yalnızca yapısal yeterlik değerlendirme kriteri olarak Yapısal Yeterlik İndeksi (Structural Adequacy Index – SAI) tanımlanmıştır. Yapısal Yeterlik İndeksi 0 - 10 arasında değişen ve yapısal olarak en iyi üstyapıyı 10 ile tanımlayan bir indekstir. Üstyapı mühendisleri yapısal kapasiteyle ilgili olarak iki temel soru üzerinde dururlar. Bunlar;

- Ani bozulmalara yol açmaksızın üstyapının dayanabileceği maksimum araç yükü nedir?
- Üstyapı ne kadar sayıda dingil yüküne dayanabilir?

İlk soru daha çok ağır tonajlı uçakların kullandığı hava meydanlarında düşünülmelidir. Aynı zamanda mevsim değişikliği dönemlerinde yasal sınırı aşan yüksek tonajlarda yüklenmiş kamyonların bulunduğu otoyollarda da geçerlidir.

Tekrarlı yük durumları için yapısal yeterlilik indeksinin gelişimi üstyapı üzerine gelecek trafik tahmini ihtiyacından, özellikle ağır taşıt trafiğinin aks tipi ve ağırlıklarının dağılımını tahmin etmenin zorluğundan dolayı karmaşıktır. Üstyapı analizi için mevcut teoriler kalan ömrün

tahmin edilebilmesinde önemli kolaylıklar sağlar. Bu teoriler şu parametreleri kullanır;

1. Yüzey malzemelerinin yorulma davranışı,
2. Her üstyapı tabakasının özelliklerini gösteren modül,
3. Her üstyapı tabakasının kalınlığı,
4. Üstyapı kesimi için trafik geçmişi,
5. Dingil yükü dağılımın gelecek tahmini.

Yapısal yeterliliği veya yapısal kapasiteyi tanımlamak için PSI, RCI vb. gibi indeksler yaratılmaya çalışılmıştır. Çalışan bir yöntem olarak, tekrarlı yükler ilişkisine karşın maksimum kabul edilebilir defleksiyonu (Maksimum Tolerable Deflection - MTD) kullanarak yorulma analizi tahmini yapan bir model verilebilir. Bu modelde Taşıt Faktörü (Truck Factor -TF), Tasarım Trafik Sayısı (Design Traffic Number – DTN) ve Toplam Eşdeğer Standart Dingil Yükü Sayısını (ESDY) tahmin etmek için aşağıdaki eşitlik kullanılır.

$$TF = 0.0353 + 0.0003 \left( \frac{YOGT}{2} \right) * (SF) * \left[ \frac{(1+g)^n + 1}{2} \right] \quad (3.1)$$

Burada;

YOGT = Yıllık ortalama günlük trafik (her iki yönde),

SF = Şerit dağılım faktörü (2 şerit için 1, 4 şerit için 0.8),

g = Birleşik yıllık trafik artış oranı (%),

n = Analiz periyodu yıl sayısı'dır.

TF'nin minimum değeri 0.75, maksimum değeri 2.0'dır. DTN ise şu şekilde hesaplanır.

$$DTN = \left( \frac{YOGT}{2} \right) * (SF) * (T) * (TF) * \left[ \frac{(1+g)^n + 1}{2} \right] * (LEF) \quad (3.2)$$

Burada;

TF, YOGT, SF, g ve n yukarıda tanımlanmıştır.

T = Ticari trafik oranı,

LEF = Yük eşdeğerlik faktörü'dür.

Hesaplanan DTN sayısı ile toplam geçen 80 KN (18 Kp) ESDY aşağıdaki şekilde belirlenir:



$$ESDY = DTN * 300 * n \quad (3.3)$$

Maksimum kabul edilebilir defleksiyon (Maksimum Tolerable Deflection - MTD) sayısı Benkelman kirişi defleksiyonu kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$MTD_B = 10.0^{[0.40824 - 0.30103 * \log_{10}(ESDY)]} \quad (3.4)$$

$$MTD_B = 0.1 \quad ESDY \leq 47651 \quad (3.5)$$

$$MTD_B = 0.02 \quad ESDY \leq 10^7 \quad (3.6)$$

Benkelman kirişi kriteri uygun Benkelman Kirişi – Dynaflect korelasyonu kullanılarak Dynaflect değerine dönüştürülebilir. Bir üstyapı kesiminde ölçülen veya tasarlanan defleksiyon MTD'den daha büyükse yapısal olarak yetersiz diye düşünülebilir.

Elde edilen MTD değeri ve üstyapının yapısal yeterliliğini tanımlayabilen diğer parametreler (trafik, malzeme mukavemetleri vb.) ile birlikte belirli bir kesime ait yapısal değerlendirme tahmini yapılır.

### 3.4 Yüzey Bozulma Etüdlere, Prensipere ve Bileşenlere

Birçok üstyapı kuruluşu yetki alanları içindeki üstyapıların durumunu görmek için periyodik olarak bozulma etüdlere yapar. Çoğunlukla bu işlem çatlaklar, sökülmele, 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 etüdlere veya diğere adıyla bozulma anketlere üstyapı yönetimi için çok faydalıdır.

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

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

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

Bazı kurumlar kayma direnimi ve düzgünsüzlük ölçümünü de üstyapı durum 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.

### **3.4.1 Araştırma Metodolojisi**

Üstyapı bozulma etüdları çoğunlukla kesim boyunca yürüyerek veya araç ile ilerleyerek yapılır. Yürüyerek yapılan etüdların 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 etüdları 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 düzgünsüzlük ölçümü de yaparak mevcut duruma karar vermek şeklinde olmaktadır.

### **3.4.2 Bozulma Tipleri**

Üstyapı bozulma etüdlarının 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 yönteminin belirlenmesinde kullanılır.

ÜYS'leri yürüten kuruluşlar en az bir bozulma etüdü işlemini ÜYS kapsamı içine alırlar. Bu işlem, mühendislik kararlarına genel yol durumunu 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.

Çizelge 3.2'de dünyada en çok kullanılan ve kabul görmüş bozulma sınıflandırma kılavuzları birbirleri ile karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

Çizelge 3.2 Bozulma tanımlama kılavuzlarının karşılaştırılması (Cafiso vd., 2006)

Kılavuz	Yoğunluk düzeylerinin değerlendirilmesi	İnceleme tekniği	Örnek alan tanımlama	Ölçüm bilgileri	Üstyapı durum göstergesi
<b>Austroroads (1987)</b>	Yalnızca fotoğraflar	Veri kodlama	Yok	Birimler	Yok
<b>SHRP (1993)</b>	Sayısal değerler ve/veya tanımlama	Veri sayfaları	Yok	Birimler ve oranlar	Yok
<b>ASTM (1999)</b>	Sayısal değerler ve/veya tanımlama	Veri sayfaları	Var	Birimler ve oranlar	PCI
<b>Mn-DOT (2001)</b>	Sayısal değerler ve/veya tanımlama	Yok	Yok	Birimler	Yüzey Oranlama
<b>FHWA (2003)</b>	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 LTTP ve ASTM bozulma kılavuzlarının üstyapı verilerini sınıflandırma yöntemi aşağıda verilmiştir.

### ***Uzun dönemli Üstyapı Performans Çalışması (LTTP) Bozulma Kılavuzu***

Amerika’da 1993 yılında tamamlanan Stratejik Yollar Araştırma Programı (SHRP) tarafından yürütülen LTTP çalışması sonucunda oluşturulmuş bozulma tanımlama kılavuzunun bozulma sınıfları Çizelge 3.3’de görülmektedir.

Çizelge 3.3 LTTP bozulma sınıflandırmaları (Miller ve Bellinger, 2003)

<b>Bozulma Tipi</b>	<b>Ölçüm Birimi</b>	<b>Yoğunluk Düzeyi Tanımlama</b>
<b>A. Çatlaklar</b>		
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>B. Yamalar ve Oyulmalar</b>		
7. Yama/ Yama Bozulmaları	Sayı, Metre kare	Evet
8. Oyulmalar	Sayı, Metre kare	Evet
<b>C. Yüzey Deformasyonu</b>		
9. Tekerlek İzi	Milimetre	Hayır
10. Toplanma	Sayı, Metre kare	Hayır
<b>D. Yüzey Kusurları</b>		
11. Kusma	Metre kare	Hayır
12. Cilalanma	Metre kare	Hayır
13. Sökülme	Metre kare	Hayır
<b>E. Çeşitli Bozulmalar</b>		
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 1999 yılında D 6433-99 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 Çizelge 3.4’de görülmektedir.

Çizelge 3.4 ASTM bozulma sınıflandırmaları (Shahin, 2002)

Kod	Bozulma	Ölçüm Birimi	Yoğunluk Düzeyi Tanımlama	Bozulma Nedeni
01	Timsah Sırtı Çatlak	Metre kare	Evet	Yük
02	Kusma	Metre kare	Evet	Diğer
03	Blok Çatlak	Metre kare	Evet	İklim
04	Kabarma ve Oturma	Metre	Evet	Diğer
05	Ondülasyon	Metre kare	Evet	Diğer
06	Çökme	Metre kare	Evet	Diğer
07	Kenar Çatlağı	Metre	Evet	Yük
08	Yansıma Çatlağı	Metre	Evet	İklim
09	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 Geçişi	Metre kare	Evet	Diğer
15	Tekerlek izi	Metre kare	Evet	Yük
16	Toplanma	Metre kare	Evet	Yük
17	Tabaka Kayması Çatlağı	Metre kare	Evet	Diğer
18	Şişme	Metre kare	Evet	Diğer
19	Sökülme ve Ayrışma	Metre kare	Evet	İklim

### 3.4.3 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.

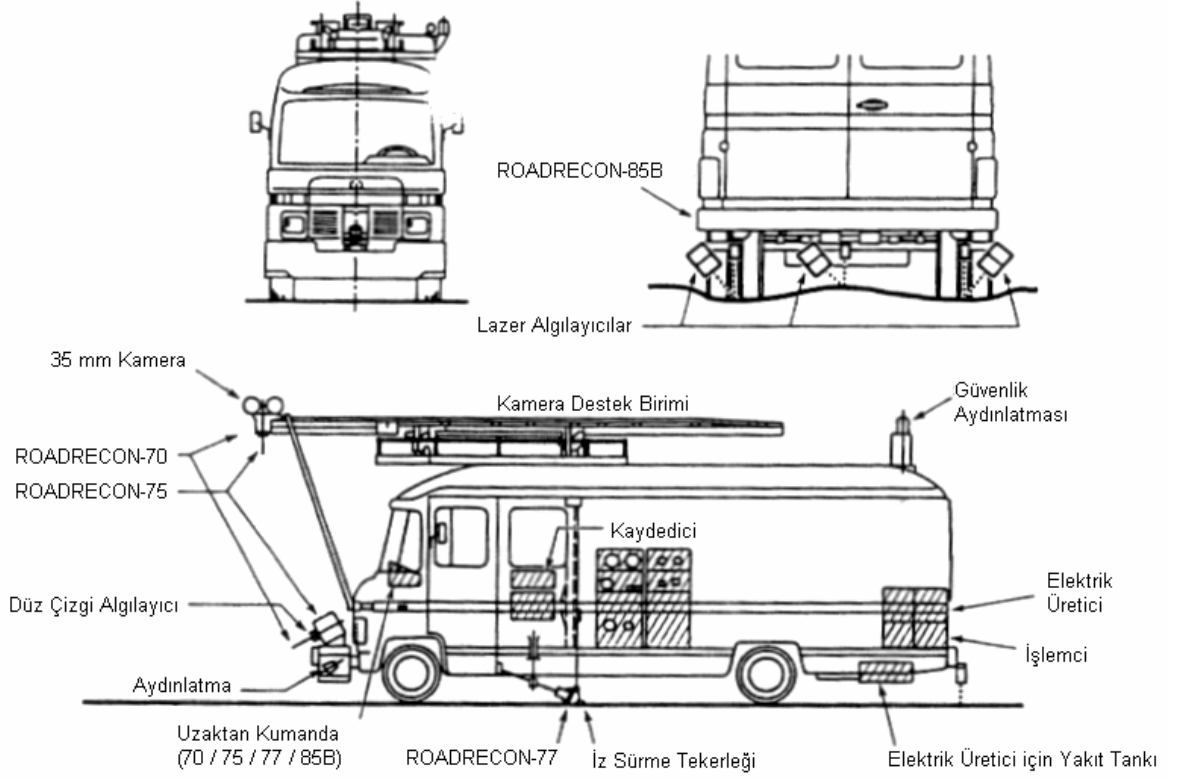
Üstyapının mevcut durumunu değerlendirmek üzere geliştirilen sistemlerin çoğu görüntü işleme algoritmalarını kullanabilecek şekilde uyarlanmışlardır. Toplanan görüntü verilerinin 80 km/sa hızda, şerit genişliği 3.66 m kabulü ile saatte yaklaşık 91 GB olduğu belirlenmiştir. Bu kadar çok verinin toplanabilmesi 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 Durum 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 durumu hakkında veriler elde

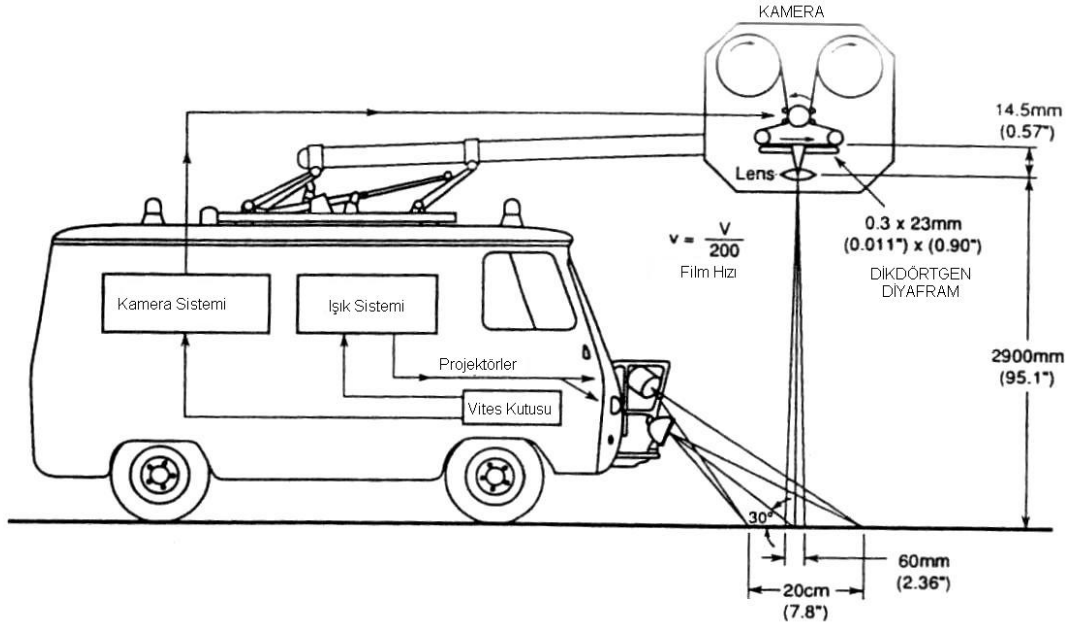
edilebilmektedir. LTPP çalışmasında kullanılan bu aygıt şematik olarak Şekil 3.5’de gösterilmektedir.



Şekil 3.5 Pasco Roadrecon sisteminin şematik gösterimi (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. Şekil 3.6’da GERPHO sisteminin şematik gösterimi mevcuttur.



Şekil 3.6 Gerpho otomatik fotoğraflama sisteminin şematik gösterimi (Haas vd.,1994)

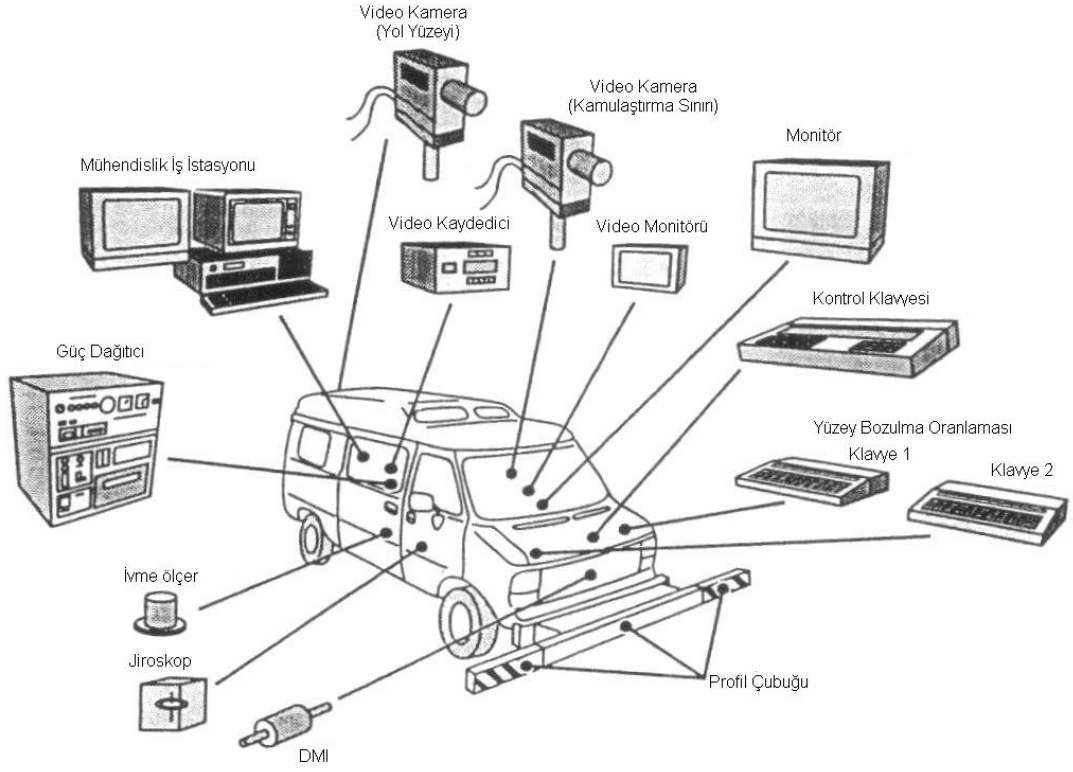
### ***Otomatik Yol Çözümleyicisi (Automatic Road Analyzer-ARAN)***

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 kaydı 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 Şekil 3.7'dedir.

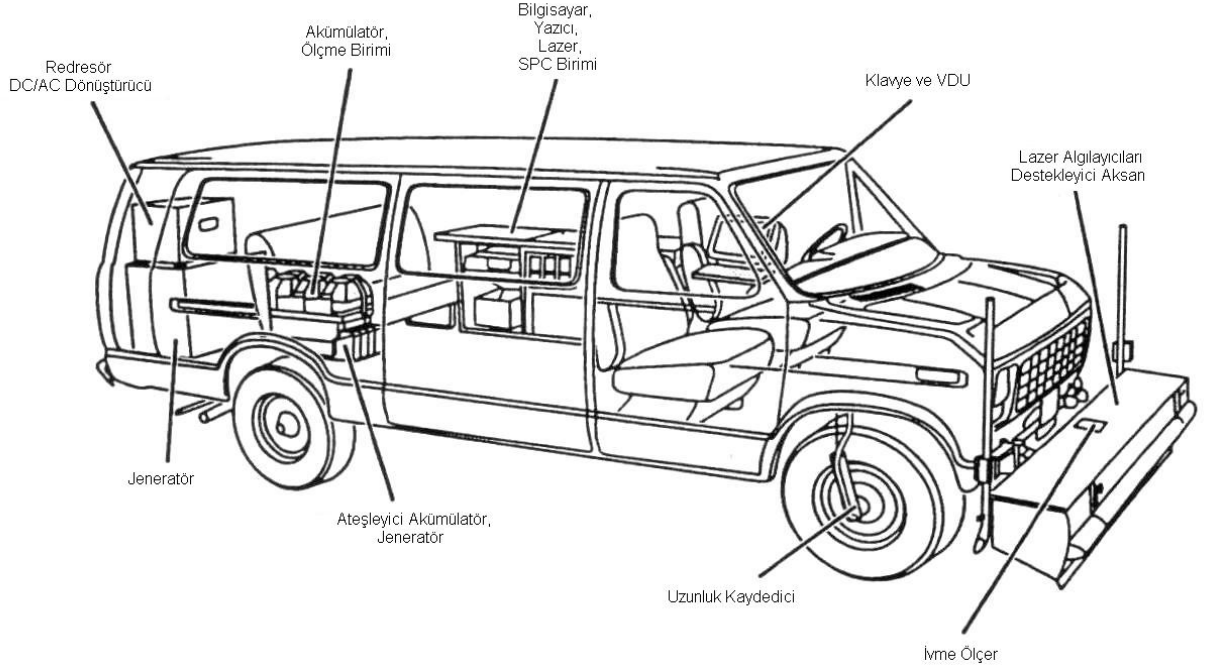
### ***Lazer Yol Yüzey Test Edici (Laser Road Surface Tester-RST)***

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 Şekil 3.8'dedir.





Şekil 3.7 Otomatik yol çözümleyicisi şematik gösterimi (Haas vd.,1994)



Şekil 3.8 Lazer yol yüzey test edici şematik gösterimi (Haas vd.,1994)

### 3.5 Üstyapı Kalitesinin Birleştirilmiş Ölçütleri

Üstyapı durumunu tam anlamıyla ortaya koyabilmek için yapılan tahribatlı, tahribatsız testlerin yanında, bozulma etüdlerini de işlemin içine katarak genel bir değerlendirme yapma ihtiyacı duyulmuştur. Bu nedenle, tüm değerlendirmelerin sonucunu tasvir eden birleştirilmiş kalite ölçütü kavramı ortaya atılmıştır. Üstyapı değerlendirilmesi genellikle aşağıdaki amaçlar göz önüne alınarak yapılır.

1. Ağ düzeyinde proje ve bakım stratejisinin seçimi,
2. Proje düzeyinde özel bakım ihtiyaçlarının tanımlanması.

Bu amaçların her biri için çeşitli detay düzeylerinde üstyapı değerlendirme bilgilerine ihtiyaç duyulur. Daha az detay olması durumunda bireysel ölçümlerin birleştirilerek değerlendirilmesi daha verimli sonuçlar doğurur. Bu tip birleşimler üstyapı kalitesinin birleşik olarak ölçülmesini tasvir etmektedir. Bu ölçümlerin birleştirilmesi ile tüm üstyapının kalitesini gösteren makul birleşik indeksin nasıl belirleneceği sorusu bu noktada ortaya çıkar.

Birleştirilmiş üstyapı kalite indeksi oluşturulması için geliştirilmiş tek bir matematiksel formül yoktur. Eşitlikleri geliştirmek için teknikler sosyal bilimler alanlarından veya öznel ampirik yollardan türetilerek elde edilmiştir. Birleştirilmiş indeksler çoğunlukla Genel Üstyapı İndeksi (Overall Pavement Index - OPI) gibi iki veya daha çok indeksin birleştirilmesiyle olur. Bu tip indeksler üstyapı durumunun farklı ölçümlerinin genel değerlendirilmesini tasvir ederler. Örneğin,

$$OPI = \sum_{i=1}^{n=k} W_i \cdot C_i, \dots \dots (n = 1, 2, \dots, k) \quad (3.7)$$

Burada,

OPI = genel üstyapı durum indeksi,

$W_i$  = i nolu üstyapı durum ölçümü için ağırlık faktörü,

$C_i$  = i nolu üstyapı durum ölçümü değeridir.

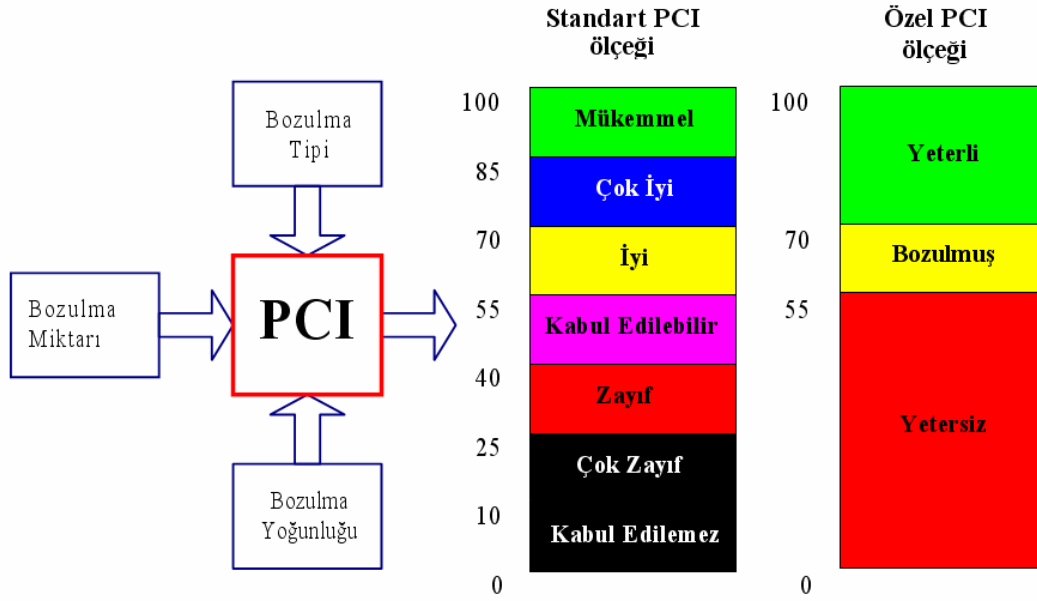
Delphi tekniği (özellikle bir teknoloji ya da bilim alanında bir grup uzmanın görüşlerini toplayıp özetleyerek gelecekteki gelişmeleri tahmin etme yöntemi) birleşik üstyapı kalite indeksi tayin etmede bir araç olarak kullanılabilir. Hangi teknik kullanılırsa kullanılsın sonuç değeri bulmada mutlaka uzman görüşleri de kullanılmalıdır.

#### 4. PAVER SİSTEMİ

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. MicroPAVER 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 durum hakkında çıkarımlar yapabildiği için kullanılan mevcut sistemler arasında en ekonomik ve en çok tercih edilenlerden biridir.

PAVER sistemi, rasgele dağılım prensiplerine göre seçilen alanı  $232 \pm 93 \text{ m}^2$  ( $2500 \pm 1000 \text{ ft}^2$ ) örnek alanlarda, ASTM D 6433-99 kodlu bozulma tanımlama kılavuzuna göre toplanan bozulma verilerinin değerlendirilerek, üstyapının mevcut durumunu 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 durumunu 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 durumunu gösteren bir indekstir. Standart PCI ölçeği üstyapıları 7 farklı sınıfa ayırarak değerlendirirken özel PCI ölçeği 3 farklı sınıfta değerlendirmiştir. Üstyapıların mevcut durumunu tanımlamak amacıyla kullanılan standart ve özel PCI ölçekleri kavramı MicroPAVER paket programında mevcut durumu farklı renklerle betimlemeye de kullanılır. Aynı zamanda bu ölçeklerde mevcut durumu diğer bir deyişle üstyapı kalitesini “mükemmel”, “çok iyi” gibi sözel ifadelerle de tanımlamak mümkündür. Şekil 4.1'de üstyapı kalitesi ve PCI karşılaştırılması grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Üstyapı kalitesi - PCI karşılaştırması

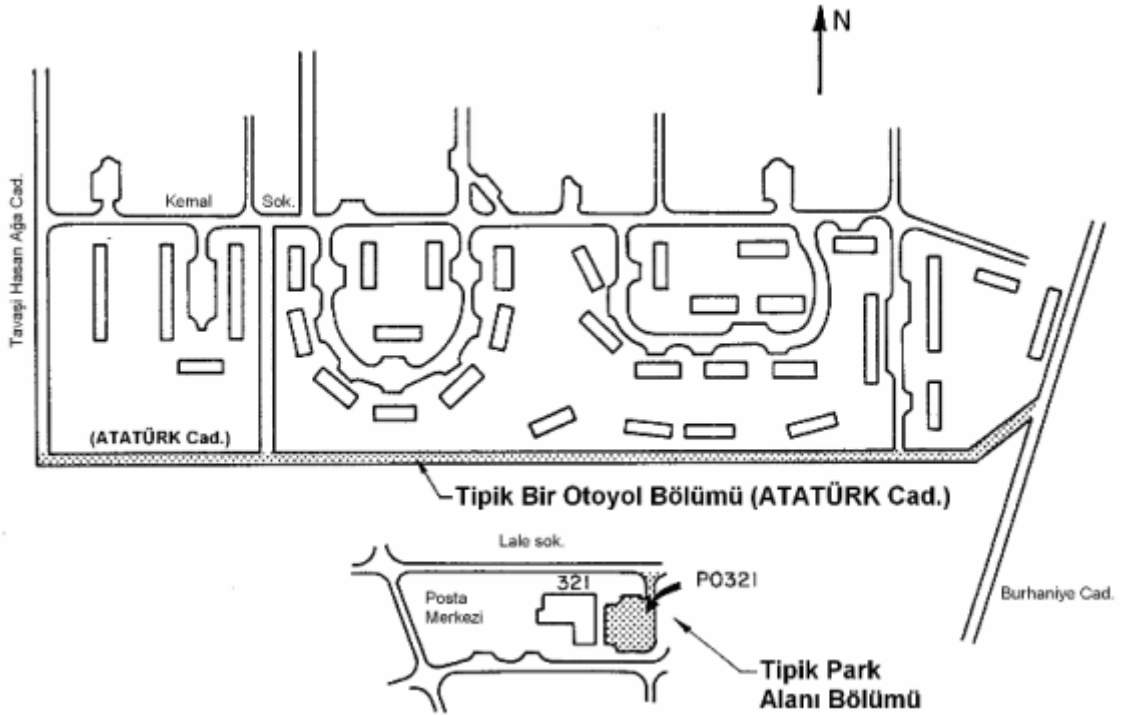
#### 4.1 PAVER Sistemi Ağ Tanımlaması

Bir ÜYS kurulumunda ilk adım ağ tanımlamasıdır. 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. 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 tanımlanabilir. 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.

#### 4.1.1 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.



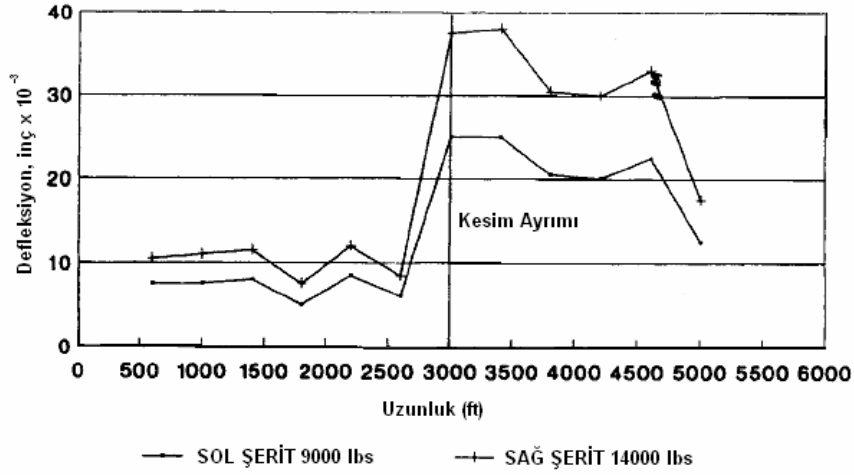
Şekil 4.2 Tipik üstyapı ağı bölüm örneği (Shahin, 2002)

#### 4.1.2 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 durumu olarak kabul edilebilir.

### 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 durum 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. Şekil 4.3'de bölümü iki farklı kesime ayırmak için kullanılan test sonucu görülmektedir.



Şekil 4.3 Üstyapı kesimi belirlemede 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***

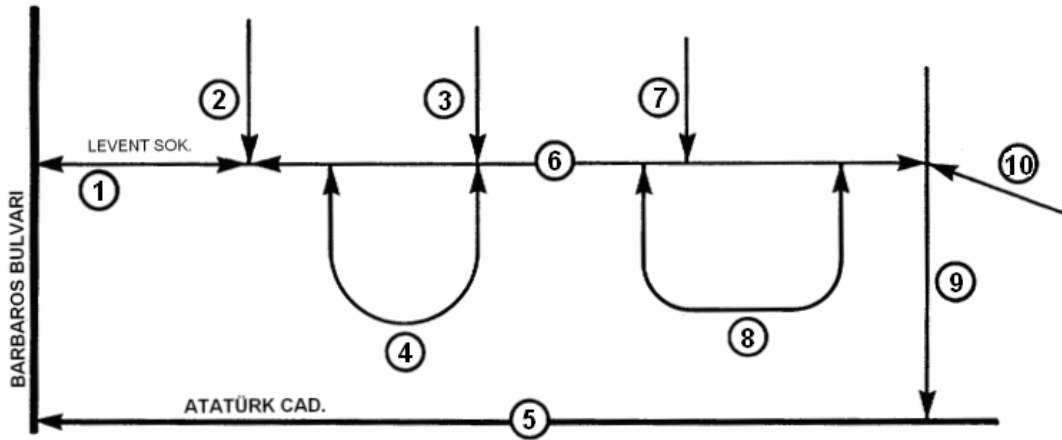
Aynı bölüm içerisinde farklı hizmet karakterlerindeki (ana arter, arter vb.) sınıflar mevcutsa, bu alanlar farklı kesimler olarak düşünülebilir.

### ***Drenaj Tesisleri ve Banketler***

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

### ***Üstyapı Durumu***

Her kesimin ön değerlendirmesinden sonra, eğer aynı kesimde üstyapı mevcut durumunda çok önemli sapsmalar mevcut ise bu kesim tekrar kendi içinde kesimlere ayrılmalıdır. Üstyapı durumu 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.



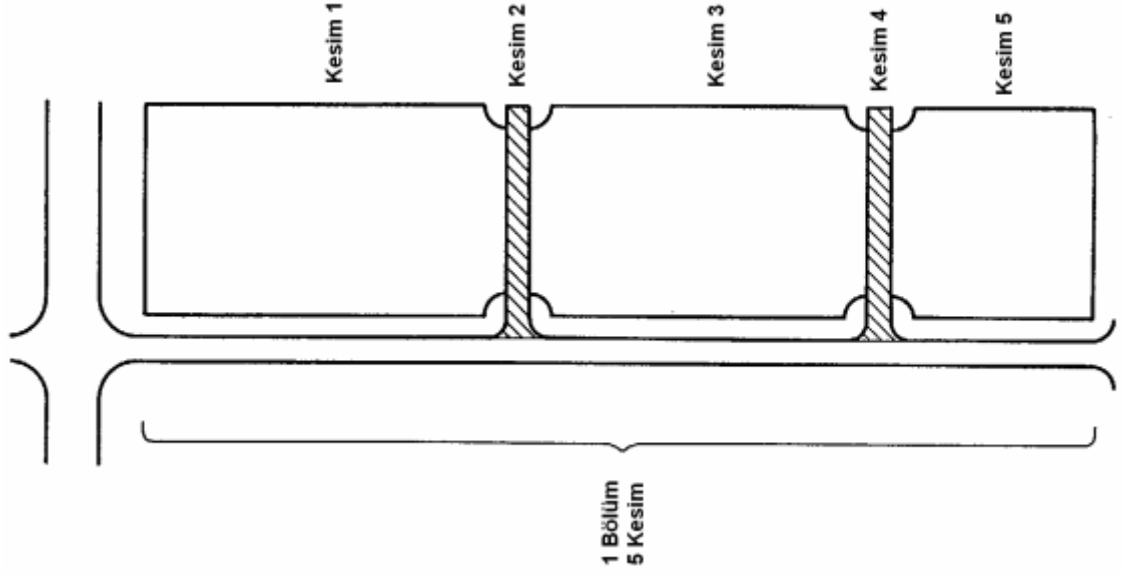
Şekil 4.4 Tipik üstyapı ağı kesim örneği (Shahin, 2002)

### ***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.

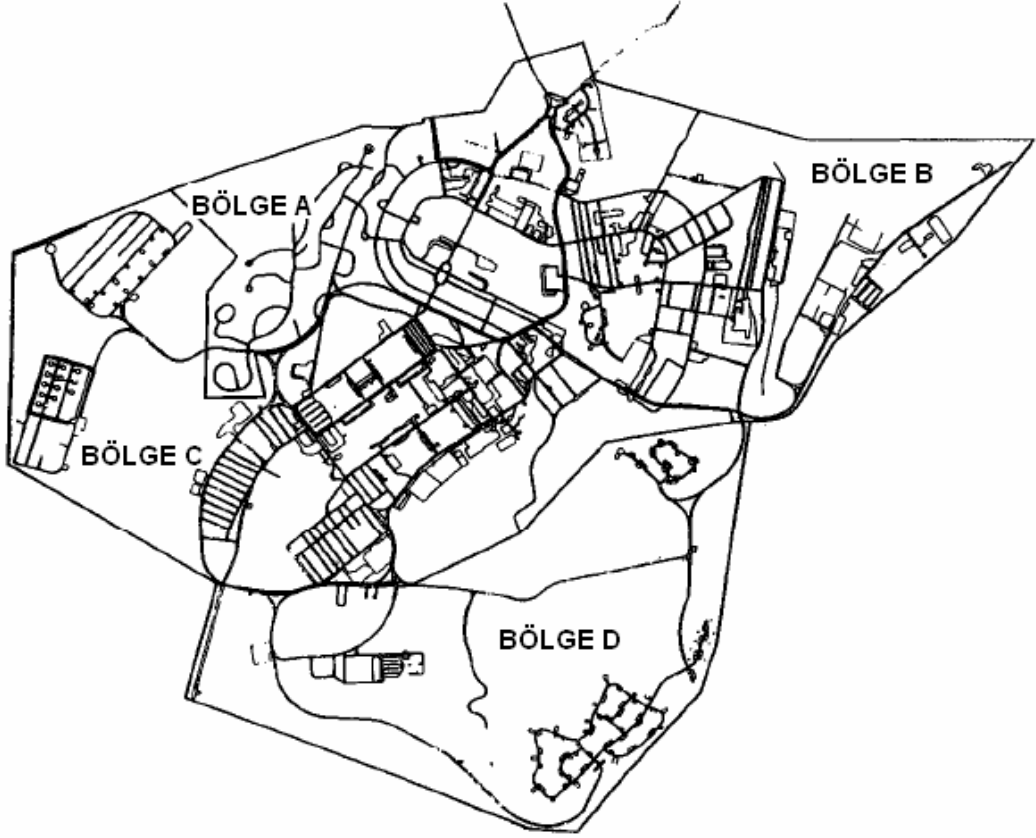


Şekil 4.5 Park alanı kesimlere ayırma örneği (Shahin, 2002)

#### 4.1.3 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 4.6 Bölgelere ayrılmış bir üstyapı ağı (Shahin, 2002)

#### 4.2 PAVER Sistemi Üstyapı Durum Araştırması 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 durum oranlaması diğer bir deyişle bozulma etüdü tekrarlanmalıdır. Burada tanımlanan üstyapı durum 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, yollar 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 (kabul edilemez durumu ifade eder) 100'e (mükemmel 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 durum araştırmasının bir parçası olarak bozulmaların

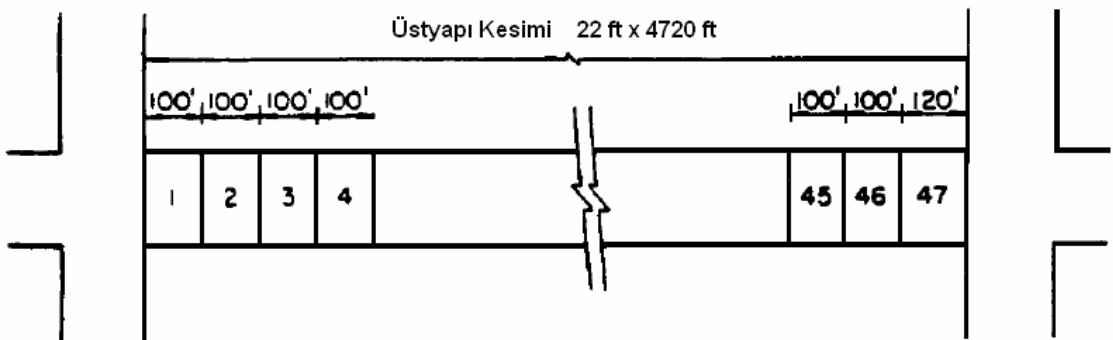
sebeplerini de (yük, iklim vb.) anlamayı kolaylaştırır.

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 durumunda görülen bozulma tipi, bozulma yoğunluk düzeyi ve bozulma miktarının her kombinasyonun etkilerinin derecesini gösteren ağırlık faktörü olarak “sonuç değerleri” tanımlanmıştır.

#### 4.2.1 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  $204.3 \text{ m}^2$  ( $2200 \text{ ft}^2$ ) 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 4.7 Örnek alanlara ayrılmış bir üstyapı kesimi örneği (Shahin, 2002)

Şekil 4.7'deki 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 m<sup>2</sup> (2640 ft<sup>2</sup>) 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.

#### **4.2.2 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.

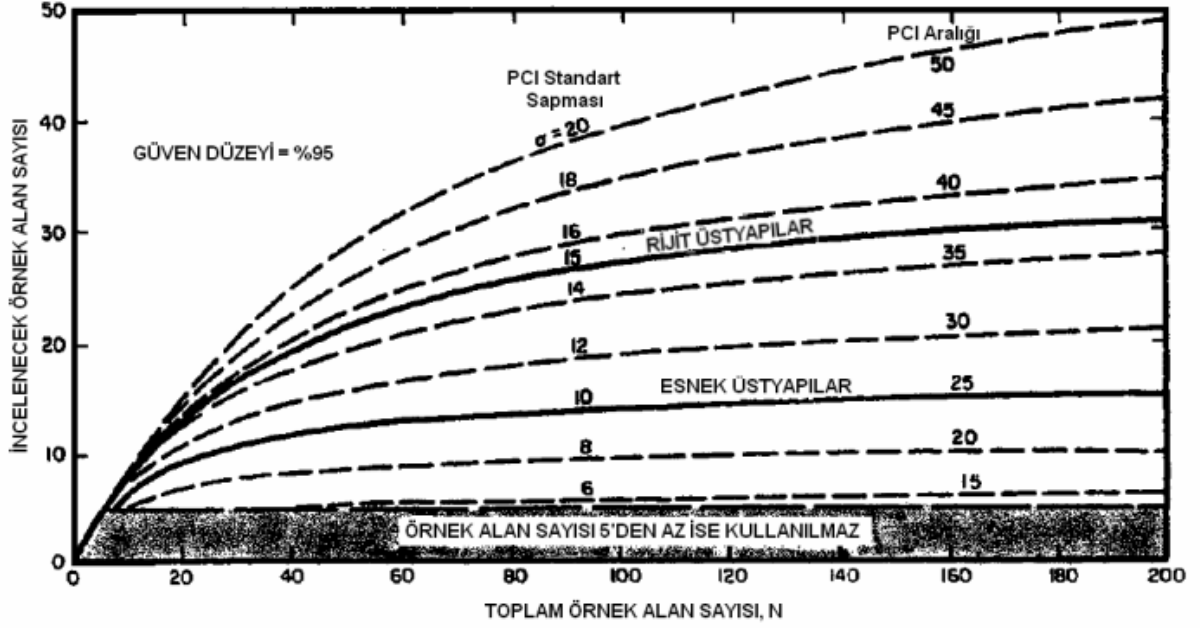
Eğer amaç bütçe planlama gibi ağ düzeyi kararların verileceği bir yönetim sistemi kurmaksa, her kesim için çok az sayıda örnek alanın verilerinin toplanması yeterlidir. Fakat, amaç kesimleri proje düzeyinde değerlendirebilmek ise daha çok sayıda örnek alan verisi toplanmalı ve gerçeğe daha yakın PCI 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 4.8 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 in  $\pm 5$  sayı yaklaşımında veya %95 güven aralığında olduğu söylenebilir. Yukarıdaki grafik şu denklemlerle sayısal hale getirilebilir;

$$n = \frac{[N \cdot s^2]}{[(e^2 / 4) \cdot (N - 1) + s^2]} \quad (4.1)$$

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 arasındaki farkların bu değerlerden daha farklı sonuçlara ulaşabileceği yönünde ise, başlangıç PCI

standart sapma değeri veya PCI aralığı uygun görülen bir değeri 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. Şekil 4.8'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 "sistematiik 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 değeri 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.

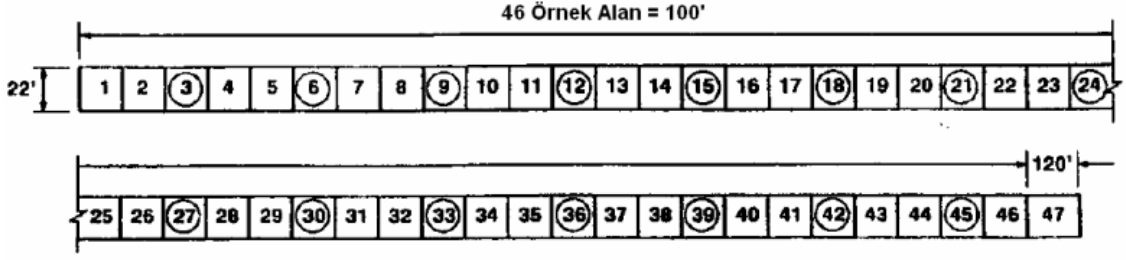
#### **Örnek:**

Kesimde bulunan toplam örnek alan sayısı (N) = 47

İncelenecek minimum örnek alan sayısı (n) = 13

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

Rasgele Başlangıç (s) = 3



Şekil 4.9 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. Çizelge 4.1'de ağ düzeyi karar vermede kurumlar tarafından kullanılan örnek alan sayıları gösterilmektedir.

Çizelge 4.1 Bazı kuruluşlar tarafından kullanılan ağ düzeyi örnekleme kriterleri örneği  
(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 Çizelge 4.2'de 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.

Çizelge 4.2 Eğri denklemine dayalı ağ düzeyi örnekleme kabulü ( $e=5$ ,  $s=5$ ) (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 durumunun 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 durumunu yansıtacak örnek alanlar seçilmelidir. Ağ durum değerlendirmesi ve bütçe tahmini için temel amaç en düşük bütçe ile anlamlı bir üstyapı oranlaması oluşturmaktır.

Yukarıdaki çizelgelerden 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 alanının 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.

#### **4.2.3 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 durumu 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 durumu 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 yazılımı MicroPAVER’da da aynı şekildedir.

Bu bozulma verileri MicroPAVER 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 kalemi 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								
1. Timsah Sırtı Çatlak (ft <sup>2</sup> )		6. Çökme (ft <sup>2</sup> )		11. Yama (ft <sup>2</sup> )			16. Toplanma (ft <sup>2</sup> )					
2. Kusma (ft <sup>2</sup> )		7. Kenar Çatlağı (ft)		12. Cilalanma (ft <sup>2</sup> )			17. Tabaka Kayması Çatlağı (ft <sup>2</sup> )					
3. Blok Çatlak (ft <sup>2</sup> )		8. Yansıma Çatlağı (ft)		13. Oyulma (sayı)			18. Şişme (ft <sup>2</sup> )					
4. Kabarma ve Oturma (ft)		9. Kenar/Banket Düşüklüğü (ft)		14. Demiryolu Geçişi (ft <sup>2</sup> )			19. Sökülme ve Ayrışma (ft <sup>2</sup> )					
5. Ondülasyon (ft <sup>2</sup> )		10. Boyuna ve Enine Çatlak (ft)		15. Tekerlek izi (ft <sup>2</sup> )								
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 4.10 Üstyapı durumu inceleme sayfası örneği (Shahin, 2002)

#### 4.2.4 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 MicroPAVER programı bu amaçla geliştirilmiştir. PCI değeri hesaplama her bozulma değerinin üstyapı üzerine etkilerinin ağırlıkları ile 0 – 100 arasındaki bulunan sonuç değerler vasıtasıyla hesaplanır.

##### 4.2.4.1 Asfalt Kaplamalı Üstyapılar için Örnek Alanda PCI Hesabı

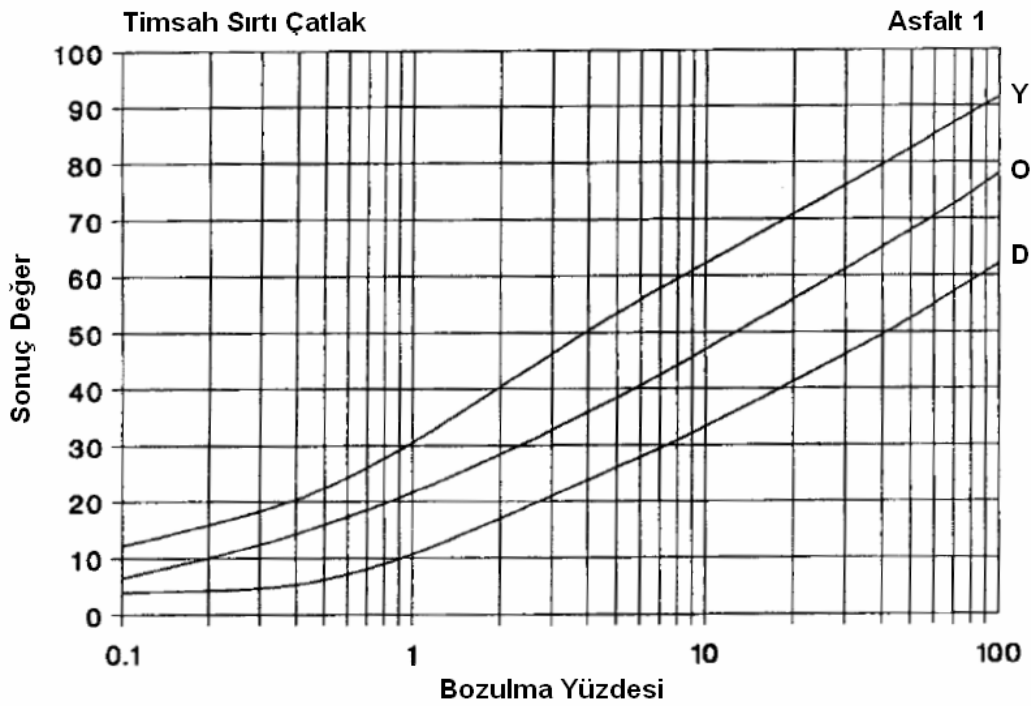
**Adım 1:** Sonuç değerlerin belirlenmesi.

**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 4.11 Asfalt kaplamalı yollarda görülen 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:

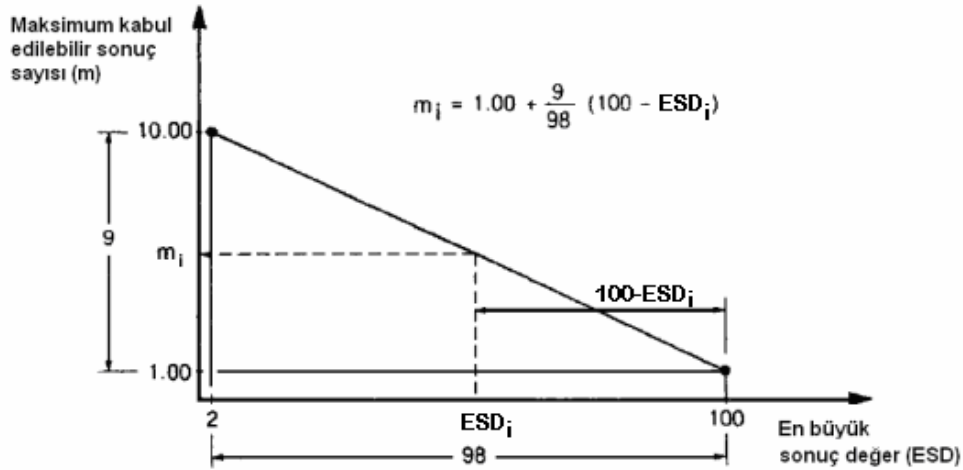
$$m_i = 1 + \left(\frac{9}{98}\right) \cdot (100 - ESD_i) \quad (4.2)$$

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 4.12 Maksimum kabul edilebilir sonuç sayısı ( $m$ ) 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.

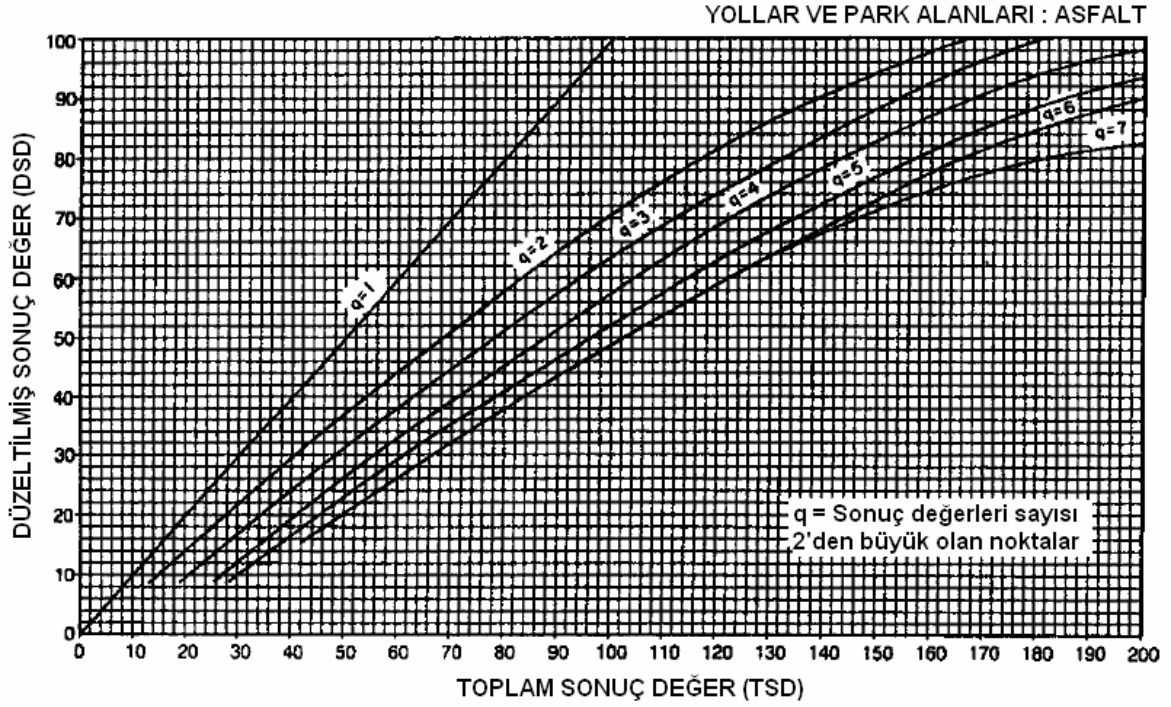
Maksimum düzeltilmiş sonuç değeri (DSD) aşağıdaki adımlar iteratif tekrarlanarak bulunur.

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

**3.b.** Her bir sonuç değerinin 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 4.13 Asfalt kaplamalı yollar için 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
	11	9	7	6	1						
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 4.14 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.

#### 4.2.4.2 Bir Üstyapı Kesimin PCI Hesabı

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.

$$PCI_s = \frac{(N - A).PCI_r + A.PCI_a}{N} \quad (4.3)$$

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.

#### 4.2.4.3 Bir Üstyapı Kesimi Bozulma Miktarının Belirlenmesi

Bir üstyapı ağına ait kesimlerde örnekleme yaparak PCI değerleri belirlenmiş ise kesimin genelinde hakim olan toplam bozulma miktarları ve bozulma nedenleri eldeki mevcut verilerle tahmin edilebilir. İncelenmek üzere seçilen tüm örnek alanların değerleri kullanılarak herhangi bir bozulma türünün herhangi bir yoğunluk düzeyinin miktarı aşağıdaki örnekte görüldüğü gibi hesaplanabilir.

**Örnek**

Yüzey Tipi : Asfalt

Alan : 2276.1 m<sup>2</sup> (24 500 ft<sup>2</sup>)

Kesimde toplam örnek alan sayısı : 10

Rasgele aralıklarla toplam 5 örnek alanda inceleme yapılmış olan kesime ait orta yoğunluk düzeyinde timsah sırtı çatlak şu şekilde hesaplanır.

Örnek Alan nosu	Örnek alan alanı m <sup>2</sup> (ft <sup>2</sup> )	Orta yoğunluk düzeyinde timsah sırtı çatlak alanı m <sup>2</sup> (ft <sup>2</sup> )
2	232.3 (2500)	9.3 (100)
4	232.3 (2500)	18.6 (200)
6	232.3 (2500)	13.9 (150)
8	232.3 (2500)	4.6 (50)
10	185.8 (2000)	9.3 (100)
Toplam Alan	1114.8 (12 000)	55.7 (600)

Orta yoğunluk düzeyinde timsah sırtı çatlak alanı toplam alana oranlanarak ( $55.7 / 1114.8 = 0.05$ ) bulunan oran değeri ile kesimin tüm alanı çarpılarak ( $2276.1 * 0.05 = 113.8 \text{ m}^2$ ) kesimde görülen toplam orta yoğunluk düzeyinde timsah sırtı çatlak alanı hesaplanır.

Eğer incelemeler sırasında ilave örnek alan belirlenmişse bu hesaplama metodu bir miktar farklılık gösterir. Yukarıdaki örnekte 1 nolu örnek alanın ilave örnek alan olduğu kabul edilmiştir ve ilave örnek alana ait veriler şu şekilde verilmiştir.

Örnek Alan nosu	Örnek alan alanı m <sup>2</sup> (ft <sup>2</sup> )	Orta yoğunluk düzeyinde timsah sırtı çatlak alanı m <sup>2</sup> (ft <sup>2</sup> )
1	232.3 (2500)	92.9 (1000)
Toplam Alan	232.3 (2500)	92.9 (1000)

Kesimin toplam alanından ilave örnek alanı çıkartılarak ( $2276.1 - 232.3 = 2043.8 \text{ m}^2$ ) bulunan alanla daha önceden belirlenen oran değeri çarpılarak ( $2043.8 * 0.05 = 102.19 \text{ m}^2$ ) ilave örnek alan haricindeki orta yoğunluk düzeyinde timsah sırtı çatlak alanı toplamı bulunur. Bulunan bu toplama ilave örnek alandaki miktar da eklenerek ( $102.19 + 92.9 = 195.09 \text{ m}^2$ ) tüm kesim alanındaki orta yoğunluk düzeyinde timsah sırtı çatlak alanı toplamı bulunabilir.

**4.3 PAVER Sistemi Bozulma Tanımlama Kılavuzu**

PAVER üstyapı yönetim sisteminde asfalt üstyapıları tanımlamaya ve değerlendirmeye ilişkin toplam 19 bozulma çeşidi bulunmaktadır. Bozulma tiplerinin tamamı 19 adet olmasına

rağmen bunların sıklıkla karşılaşılanları timsah sırtı çatlaklar, blok çatlaklar, kabarmalar, yansıma çatlakları, boyuna ve enine çatlaklar, yamalar, oyulmalar, tekerlek izi ve sökülmelerdir. Üstyapı bozulma verileri farklı kesimler hatta farklı bölümler için bile birbirlerine çok benzerlikler gösterir. Burada önemli olan bir üstyapı kesiminin PCI değeri belirleneceği zaman bu verileri toplayan ekibin bozulma verilerini ve yoğunluklarını doğru olarak tanınması ve bu konuda doğru kararlar verebilmesidir. Bunun için arazi etüdlerine başlanmadan önce ekipte bulunan herkes tarafından bozukluk verileri ve yoğunlukları iyice öğrenilmeli ve karşılaştırmalı mukayesesi yapılmalıdır.

Üstyapı yüzeyinde birçok bozulmanın birlikte ve iç içe geçmiş bir şekilde bulunduğu ve bu ayırımın oldukça zor olduğu için arazi anketlerini yapacak kişilerin aklına takılabilecek durumlar şu şekilde tanımlanmıştır (Shahin, 2002).

1. Eğer timsah sırtı çatlak ve tekerlek izi aynı alanda oluşmuşsa, her bir bozukluk kendi yoğunluk düzeyi göz önüne alınarak ve ayrı ayrı kayıt edilmelidir.
2. Eğer bir bölgede kumalar mevcut ise, aynı alandaki cilalanmalar göz önüne alınmamalıdır.
3. Kabarma ve çökmelerin olduğu bölgede kayıtlar uzunluk olarak ölçülmelidir.
4. Eğer kabarmasının sırtında veya kenarında bozulmalar mevcutsa kabarmalar ve bozulmalar ayrı ayrı kayıt edilmelidir.
5. Eğer bir yama alanında herhangi bir bozulma (çatlaklar, oyulmalar vb.) mevcutsa bu bozulmalar ayrıca kayıt edilmez, bu bozulmalar yamanın yoğunluk düzeyini tayin etmede kullanılır.
6. Eğer cilalanmalar örnek alanda önemli miktarda hissediliyorsa kaydı tutulmalıdır.
7. Oyulma kabul edilebilecek çukurlukların yalnızca sayısı ve yoğunluğu kayıt altına alınmalıdır.

Yukarıda verilen liste tüm ayrıntıları içermemektedir. Zaman içinde arazi etüdlerini yapan uzmanlar tarafından kişisel ölçüm kriterleri kabul edilmesi söz konusu olmaktadır. Ayrıca, Sürüş kalitesini etkileyen bozulma türleri olarak kabarmalar, ondülasyonlar, demiryolu geçişleri, yanal doğrultuda toplanmalar ve şişmeler olarak kabul edilebilir.

#### **4.3.1 Timsah Sırtı Çatlaklar**

Timsah sırtı veya yorulma çatlakları tekrarlı trafik yükleri altında asfalt betonu yüzeyinde birbirleriyle ilişkili çatlaklar serisi şeklinde görülen bozulmalardır. Bu tip çatlaklar üstyapının alt kısmında, yüksek tekerlek yükleri sebebiyle oluşan gerilmelerle başlar ve başlangıçta

yüzeye paralel boyuna çatlaklar olarak yansır. Trafik yüklerinin tekrarlanmasıyla çatlaklar birbirleriyle bağlanır, çok kenarlı bir form halini alır ve keskin açılı parçalar şeklinde tavuk kafes teli veya timsahın sırt derisine benzer bir desen alır. En uzun kenarda parçalar 60.96 cm'den (2 ft) az olarak gözlenir.

Timsah sırtı çatlaklar genellikle tekerlek izleri gibi trafiğin tekrarlı olarak üzerinden geçtiği alanlarda gözlenir. Bu nedenle bu tip çatlakların, trafik yükleri tüm alanı etkilemediği sürece üstyapının tüm yüzeyinde oluşması beklenmez. Timsah sırtı çatlaklar en önemli yapısal bozulma olarak düşünülebilir.

Timsah sırtı çatlaklar bozulma görülen yüzeyin alanı ( $m^2$ ,  $ft^2$ ) olarak ölçülür. Bu bozulma tipinde ölçümler sırasında en önemli zorluk bir bozulma alanında iki veya üç yoğunlukta bozulmanın bir arada bulunduğu alanlarda görülebilir. Eğer bu farklı bölgeler rahatlıkla gözlenebiliyorsa ölçümler ayrı ayrı yapılır. Bununla birlikte yoğunluğun değiştiği bölgeler rahatlıkla gözlenemiyorsa tüm alanın en yüksek yoğunlukta olduğu kabul edilerek ölçümler yapılır.

### ***Yoğunluk Düzeyleri***

*Düşük:* Boyuna ince ve paralel çizgiler halinde gözlenir. Çatlaklar arasında bağlantılar çok azdır veya yoktur. Çatlaklarda parçalanmalar gözlenmez.

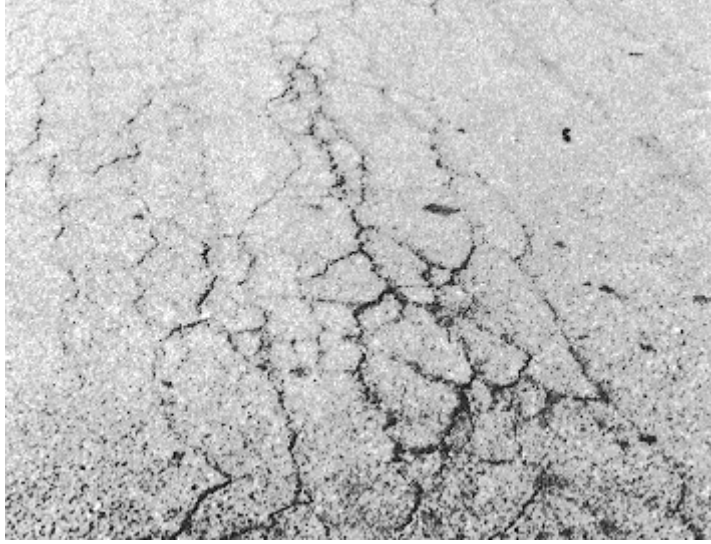
*Orta:* Düşük çatlakların daha ilerlemiş hali veya çatlakların oluşturduğu bir ağ biçiminde gözlenir. Çatlaklarda küçük miktarlarda parçalanmalar gözlemlenebilir.

*Yüksek:* Ağ veya çatlak desenleri oldukça ilerlemiş ve hissedilir düzeydedir, bu nedenle çatlak kenarlarındaki parçalanmalar oldukça rahat gözlemlenebilir. Trafik altında ayrılmış agregaların bir kısmı taş parçaları halinde yolun kullanıcılarına zararlar verebilir.

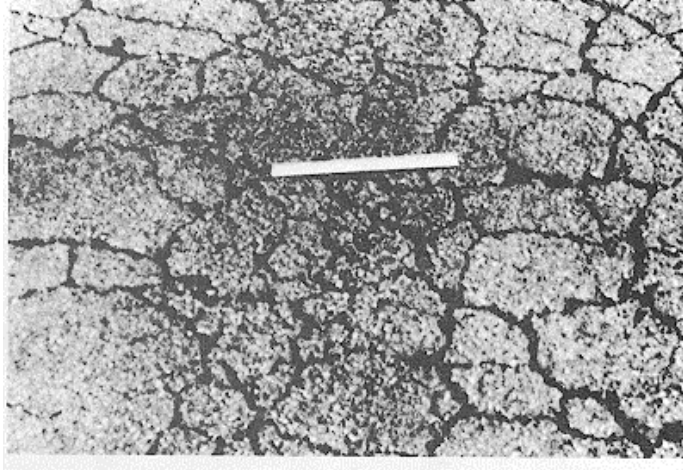


Şekil 4.15 Düşük yoğunlukta timsah sırtı çatlak (Shahin, 2002)





Şekil 4.16 Orta yoğunlukta timsah sırtı çatlak (Shahin, 2002)



Şekil 4.17 Yüksek yoğunlukta timsah sırtı çatlak (Shahin, 2002)

### 4.3.2 Kusmalar

Kusmalar bitümlü malzemelerin ince bir film halinde, parlak, yansıtıcı ve oldukça yapışkan bir formda üstyapı yüzeyine çıkmasıdır. Kusmalar karışımdaki asfalt bağlayıcısının veya katranın aşırılığı, bitümlü yalıtım malzemesinin fazlalığı gibi sebeplerden oluşabilir. Üstyapı'daki karşımın sıcak havalarda genişlemesi ile yüzeye doğru bağlayıcı malzemelerin çıkması ile meydana gelir. Kusma işlemi tersine çevrilebilir bir olay değildir yani havaların soğuması ile kusmalar üstyapı yüzeyinden kaybolmaz.

Kusmalar bozulma görülen yüzeyin alanı ( $m^2$ ,  $ft^2$ ) olarak ölçülür. Eğer kusmalar cilalanmaların olduğu alanda gözleniyorsa, kusmaların etkili olduğu alandaki cilalanmalar göz önüne alınmaz.

#### *Yoğunluk Düzeyleri*

*Düşük:* Kusmalar yalnızca çok hafif derecelerde görülebilir ve herhangi bir şekilde

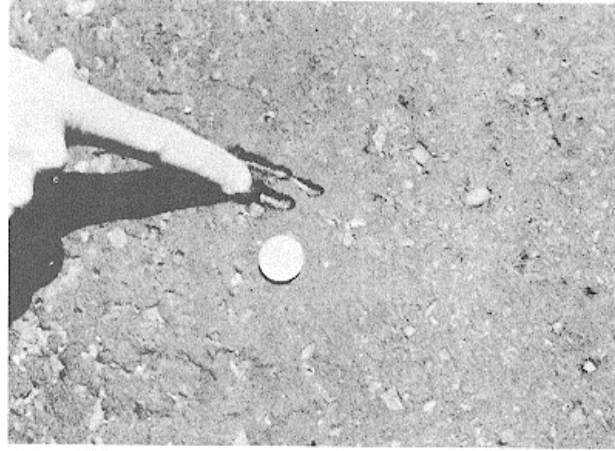
yapışkanlık özelliği taşımaz.

*Orta:* Kusmalar geniş alanlara yayılmış olur ve tekerleklere veya ayakkabılara yılın birkaç haftasında yapışkanlık özelliği görülebilir.

*Yüksek:* Kusmalar oldukça geniş alanlara yayılmış olur ve tekerleklere veya ayakkabılara yılın birçok haftasında yapışkanlık özelliği görülebilir.



Şekil 4.18 Düşük yoğunlukta kuma (Shahin, 2002)



Şekil 4.19 Orta yoğunlukta kuma (Shahin, 2002)



Şekil 4.20 Yüksek yoğunlukta kuma (Shahin, 2002)

### 4.3.3 Blok Çatlaklar

Blok çatlaklar üstyapı yüzeyini yaklaşık olarak dikdörtgen parçalara bölen birbirleriyle bağlantılı çatlaklardır. Blokların boyutları 30.48 x 30.48 cm (1x1 ft) ile 304.8 x 304.8 cm (10 x 10 ft) arasında değişir. Blok çatlaklar asfalt yüzeyinin büzülmesi veya günlük sıcaklık değişimleri ve bu değişimlerin oluşturduğu içsel gerilmeler ile oluşur. Bu bozulma türünün oluşma sebebi yük ile ilişkili değildir. Genellikle geniş alanlarda görülen blok çatlaklar zaman zaman yalnızca trafik yüklerinden etkilenmeyen alanlarda görülür. Bu tip bozulmalar timsah sırtı çatlaklardan daha geniş alanlara etkiye ve daha büyük parçalar halinde oluşmasıyla rahatça fark edilebilir.

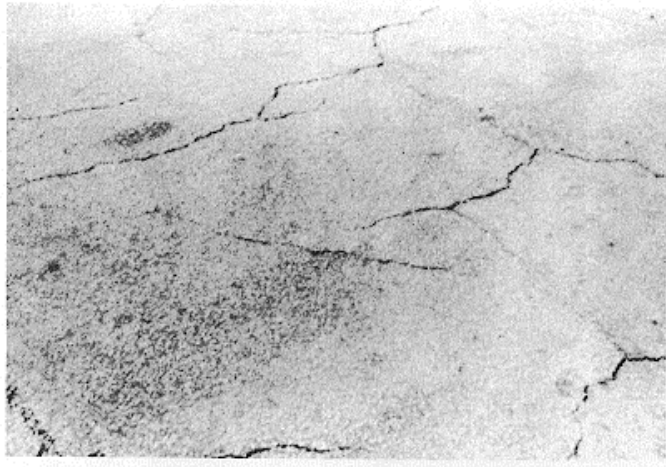
Blok çatlaklar bozulma görülen yüzeyin alanı ( $m^2$ ,  $ft^2$ ) olarak ölçülür. Genellikle bir alanda tek yoğunluk düzeyinde görülen bozulmalar farklı yoğunluk düzeylerinde kayıtları ayrı ayrı tutulur.

#### *Yoğunluk Düzeyleri*

*Düşük:* Çatlaklar arasında kenarları yaklaşık 30 cm aralıklarla oluşmuş dört kenarlı bir biçimde görülebilir.

*Orta:* Çatlaklar arasında kenarları yaklaşık 30 cm ile 3 m aralıklarla oluşmuş dört kenarlı bir biçimde görülebilir.

*Yüksek:* Çatlaklar arasında kenarları yaklaşık 3 m aralıklarla oluşmuş dört kenarlı bir biçimde görülebilir.



Şekil 4.21 Düşük yoğunlukta blok çatlak (Shahin, 2002)



Şekil 4.22 Orta yoğunlukta blok çatlak (Shahin, 2002)



Şekil 4.23 Yüksek yoğunlukta blok çatlak (Shahin, 2002)

#### 4.3.4 Kabarmalar ve Oturmalar

Kabarmalar üstyapı yüzeyinde görülen küçük, yerel, yukarı yöndeki hareket etmelerdir. Bu tip bozulmalar yanal doğrultuda toplanmalardan farklıdır. Kabarmalar çeşitli sebeplerden oluşabilmektedirler. Bunlar;

1. Esnek üstyapının altında bulunan rijit tabakaların eğilme veya bel vermesiyle,
2. Don kabarmalarıyla,
3. Tekrarlı trafik yüklerinin etkisiyle malzemelerin çatlakların arasından ayrılması ve dağılmasıyla oluşur.

Oturmalar üstyapı yüzeyinde görülen küçük, birden bire olan, aşağı yöndeki hareket etmelerdir. Üstyapı yüzeyinde geniş alanlarda görülen biçim ve yer değiştirmeler büyük ve/veya uzun iniş çıkışlar şeklinde özetlenebilir.

Kabarmalar veya oturmalar bozulma görülen uzunluk (m, ft) olarak ölçülür. Eğer kabarma veya oturmalar kenar uzunluğu 3.05 m (10 ft) olan bir alan boyutlarında oluşmuşsa bu bozukluk ondülasyon olarak kabul edilir. Ayrıca eğer bu bozukluk türünün bulunduğu alanda

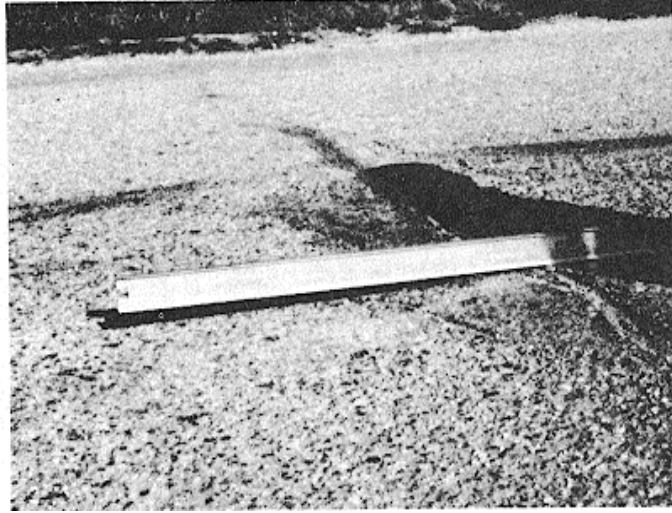
başka türlerde bozulmalar da varsa, bozulmaların kayıtları ayrı ayrı tutulur.

### ***Yoğunluk Düzeyleri***

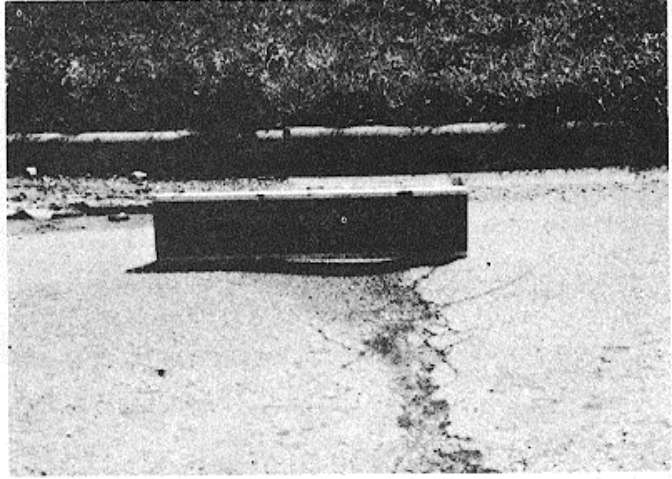
*Düşük:* Düşük seviyede sürüş konforu kaybına yol açarlar.

*Orta:* Orta seviyede sürüş konforu kaybına yol açarlar.

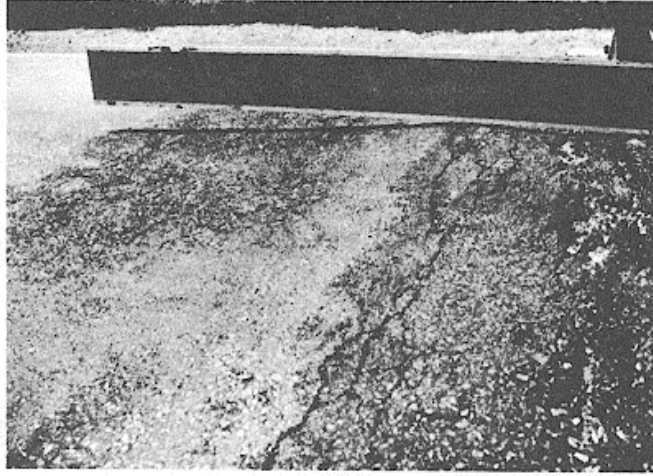
*Yüksek:* Yüksek seviyede sürüş konforu kaybına yol açarlar.



Şekil 4.24 Düşük yoğunlukta kabarma ve oturma (Shahin, 2002)



Şekil 4.25 Orta yoğunlukta kabarma ve oturma (Shahin, 2002)



Şekil 4.26 Yüksek yoğunlukta kabarma ve oturma (Shahin, 2002)

#### 4.3.5 Ondülasyonlar

Ondülasyonlar üstyapı yüzeyinde genellikle 3.05 m (10 ft'den) az aralıklarla düzenli bir şekilde devam eden sırt ve vadilerden oluşan bozulma türüdür. Oluşan bu sırt ve vadiler genellikle trafik akış yönüne dik yönde oluşurlar. Bu tipteki bozulmalar genellikle yeterince sağlam bir temele sahip olmayan üstyapılarda tekrarlı trafik etkileri sebebiyle oluşur.

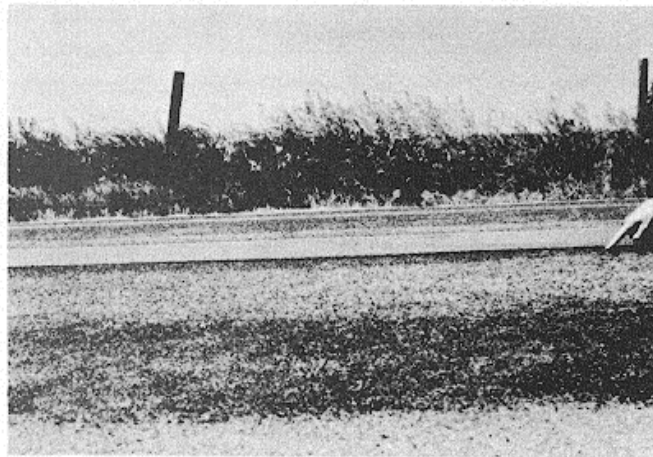
Ondülasyonlar bozulma görülen yüzeyin alanı ( $m^2$ ,  $ft^2$ ) olarak ölçülür.

##### *Yoğunluk Düzeyleri*

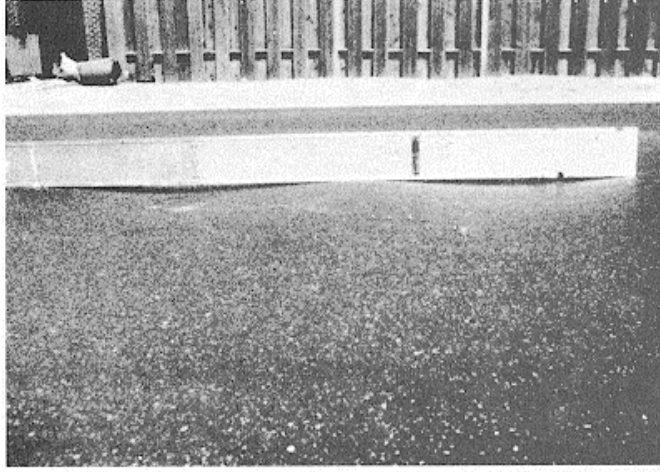
*Düşük:* Düşük seviyede sürüş konforu kaybına yol açarlar.

*Orta:* Orta seviyede sürüş konforu kaybına yol açarlar.

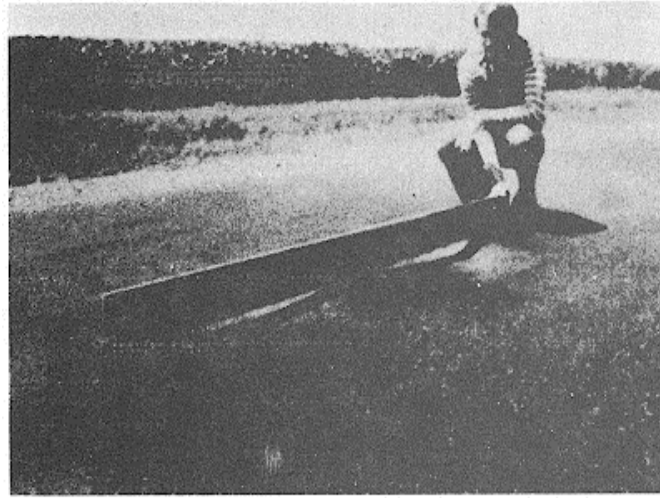
*Yüksek:* Yüksek seviyede sürüş konforu kaybına yol açarlar.



Şekil 4.27 Düşük yoğunlukta ondülasyon (Shahin, 2002)



Şekil 4.28 Orta yoğunlukta ondülasyon (Shahin, 2002)



Şekil 4.29 Yüksek yoğunlukta ondülasyon (Shahin, 2002)

#### 4.3.6 Çökmeler

Üstyapı yüzeyinde yerel bir bölgede diğer bölgelere göre kot kaybı oluşmuş şekilde gözlemlenebilen bozulma türüdür. Birçok örnekte kuru yüzeylerde düşük yoğunlukta çökmeler yağmurdan sonra oluşan su birikintileri veya su birikintilerinin lekeleri yardımıyla ayırt edilebilir. Çökmeler üstyapı yüzeyinin altında bulunan tabakalarda malzemelerin oturması sebebiyle oluşur ve yol yüzeyinde önemli miktarda düzgünlüğe sebep olur. Çökmeler aynen ondülasyonlar gibi yol yüzeyinde ani kot kayıpları şeklinde gözlemlenebilir.

Ondülasyonlar bozulma görülen yüzeyin alanı ( $m^2$ ,  $ft^2$ ) olarak ölçülür.

#### *Yoğunluk Düzeyleri*

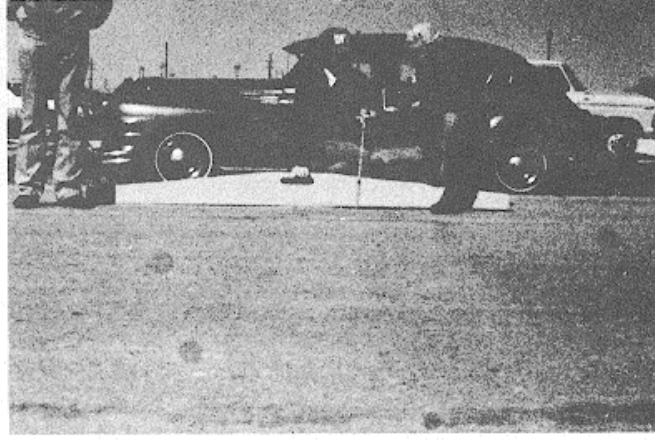
*Düşük:* Yol yüzeyinde maksimum 1.27 – 2.54 cm (0.5 – 1 inç) arasında kot farkı görülen alanlardır.

*Orta:* Yol yüzeyinde maksimum 2.54 – 5.08 cm (1 – 2 inç) arasında kot farkı görülen

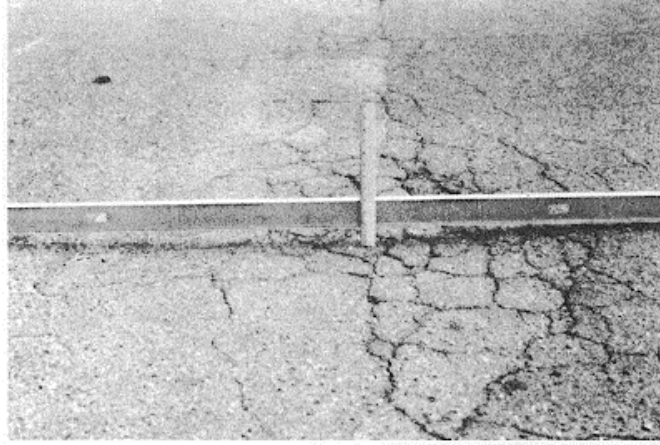


alanlardır.

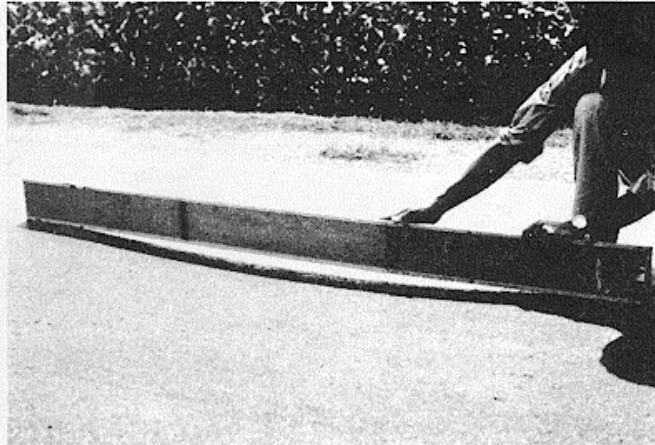
*Yüksek:* Yol yüzeyinde 5.08 cm'den (2 inç) fazla kot farkı görülen alanlardır.



Şekil 4.30 Düşük yoğunlukta çökme (Shahin, 2002)



Şekil 4.31 Orta yoğunlukta çökme (Shahin, 2002)



Şekil 4.32 Yüksek yoğunlukta çökme (Shahin, 2002)

#### 4.3.7 Kenar Çatlakları

Kenar çatlakları yola paralel ve genellikle 30.48 - 60.96 cm (1 - 2 ft) kadar yolun dış kenarından içerde, dış kenara doğru alanlarda görülen bozulmalardır. Bu tip bozulmaların hızı



trafik yükleriyle pozitif yönde ivmelenir. Kenar çatlakları çoğunlukla üstyapıya ait temel veya alt temel tabakalarında görülen buzlanmanın etkisiyle oluşur. Bozulmanın görüldüğü alanlarda çatlak miktarının yoğunluğuna ve çatlakların olduğu alandaki sökülmelerin miktarına göre sınıflandırılır.

Kenar çatlakları bozulma görülen uzunluk (m, ft) olarak ölçülür.

### ***Yoğunluk Düzeyleri***

*Düşük:* Kenar çatlağı görülen alanda düşük veya orta düzeyde çatlaklar görülür fakat bu çatlaklarda sökülme gözlenmez.

*Orta:* Kenar çatlağı görülen alanda orta düzeyde çatlaklar görülür ve bu çatlaklarda yer yer sökülmeler ve parçalanmalar gözlenir.

*Yüksek:* Kenar çatlağı görülen alanda yüksek düzeyde çatlaklar görülür ve bu çatlaklarda oldukça yüksek miktarlarda sökülmeler ve parçalanmalar gözlenir.



Şekil 4.33 Düşük yoğunlukta kenar çatlağı (Shahin, 2002)



Şekil 4.34 Orta yoğunlukta kenar çatlağı (Shahin, 2002)



Şekil 4.35 Yüksek yoğunlukta kenar çatlağı (Shahin, 2002)

#### 4.3.8 Yansıma Çatlakları

Yansıma çatlakları yalnızca kaplama tabakasının altında rijit bloklar bulunan üstyapılarda gözlemlenir. Bu tip bozulmaların görüntüleri alt tabakada bulunan blokların rutubet ve ısı değişimi gibi faktörlerle hareket etmesi sonucu yüzeye boyuna veya enine çatlaklar şeklinde yansır. Trafik yükleri ile birinci derecede ilişki bulunmamasına rağmen bu bozulmalarda trafiğin etkisi ile çatlakların kenarlarında parçalanmalar gözlemlenebilir. Alt tabakalarda bulunan blok boyutları bilgisi bu bozulma tipinin yoğunluğunu tahmin etmede önemli bir gösterge olarak kullanılabilir.

Yansıma çatlakları bozulma görülen uzunluk (m, ft) olarak ölçülür. Her bir çatlağın boyu ve yoğunluğu birbirlerinden bağımsız olarak kayıt edilir.

#### *Yoğunluk Düzeyleri*

*Düşük:* Doldurulmamış çatlak genişliği 1 cm (3/8 inç)'den az ve doldurulmuş çatlak genişliği herhangi bir genişliktedir.

*Orta:* Doldurulmamış çatlak genişliği 1 cm ile 7.6 cm (3/8 ile 3 inç) arasındadır ve doldurulmuş çatlakların etrafında düşük derecede boyuna ve enine çatlaklar gözlenir.

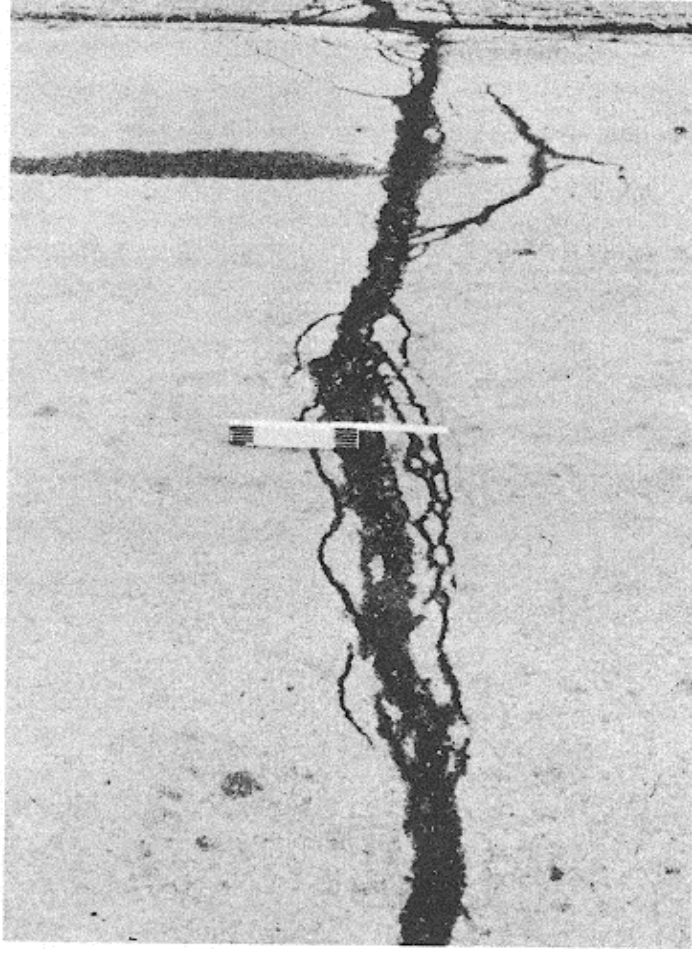
*Yüksek:* Doldurulmuş veya doldurulmamış çatlakların etrafında orta veya yüksek düzeyde rasgele çatlaklar bulunur. Doldurulmamış çatlak genişliği 7.6 cm (3 inç)'den fazladır. Ayrıca çatlaklarda yoğun düzeyde kırılmalar gözlemlenir.



Şekil 4.36 Düşük yoğunlukta yansima çatlağı (Shahin, 2002)



Şekil 4.37 Orta yoğunlukta yansima çatlağı (Shahin, 2002)



Şekil 4.38 Yüksek yoğunlukta yansıma çatlağı (Shahin, 2002)

#### 4.3.9 Kenar / Banket Düşüklükleri

Kenar / banket düşüklükleri üstyapı kenarı ile banket arasındaki kot farkı olması durumunda görülen bozulmadır. Bu bozulma banket erozyonu, banket oturması veya banket kotu göze alınmaksızın yapılan yollarda gözlemlenir.

Kenar / banket düşüklükleri bozulma görülen uzunluk (m, ft) olarak ölçülür.

##### *Yoğunluk Düzeyleri*

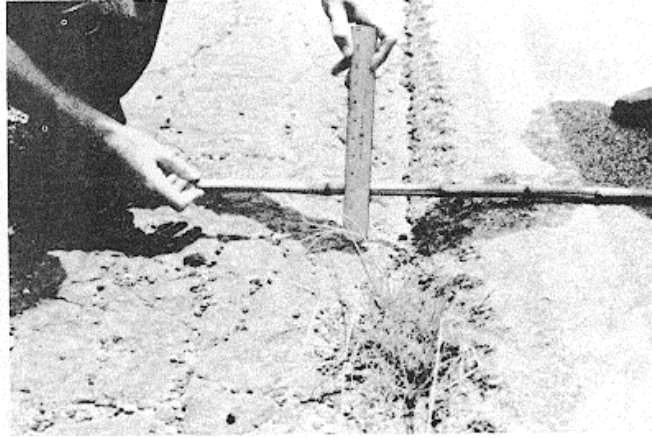
*Düşük:* Kenar ve banket arasındaki 2.54 - 5.08 cm (1-2 inç) arasında kot farkı mevcuttur.

*Orta:* Kenar ve banket arasındaki 5.08 - 10.16 cm (2-4 inç) arasında kot farkı mevcuttur.

*Yüksek:* Kenar ve banket arasındaki 10.16 cm (4 inç)'den fazla kot farkı mevcuttur.



Şekil 4.39 Düşük yoğunlukta kenar / banket düşüklüğü (Shahin, 2002)



Şekil 4.40 Orta yoğunlukta kenar / banket düşüklüğü (Shahin, 2002)



Şekil 4.41 Yüksek yoğunlukta kenar / banket düşüklüğü (Shahin, 2002)

#### 4.3.10 Boyuna ve Enine Çatlaklar

Boyuna çatlaklar üstyapı eksen çizgisine paralel yönde oluşan çatlaklardır. Oluşma sebepleri:

1. Zayıf imal edilmiş üstyapı birleşimleri,
2. Günlük sıcaklık döngüsü veya düşük sıcaklıklardan dolayı asfalt çimentosunun büzülmesi,

3. Üstyapının altında bulunan rijit blokların zaman içinde deforme olarak çatlama ve bu çatlama yüzeye yansıması (blokların birleşim yerlerindeki göreceli hareketten dolayı görülen çatlama yansıma çatlakları olarak adlandırılır) olarak sıralanabilir.

Enine çatlaklar üstyapı eksen çizgisine dik yönde oluşan çatlaklardır. Oluşma sebepleri olarak yukarıda belirtilen 2 ve 3 nolu maddelerde açıklanan sebepler kabul edilebilir. Bu tip bozukluklar genellikle yük ile ilişkili değildir.

Enine çatlaklar bozulma görülen uzunluk (m, ft) olarak ölçülür. Her bir çatlakın uzunluk ve yoğunluğu ayrı ayrı kayıt edilmelidir. Eğer aynı çatlak üzerinde farklı yoğunluklarda çatlaklar varsa her yoğunluğun değeri ve uzunluğu ayrı kayıt edilmelidir.

### ***Yoğunluk Düzeyleri***

*Düşük:* Doldurulmamış çatlak genişliği 1 cm (3/8 inç)'den az ve doldurulmuş çatlak genişliği herhangi bir genişliktedir.

*Orta:* Doldurulmamış çatlak genişliği 1 cm ile 7.6 cm (3/8 ile 3 inç) arasındadır ve doldurulmuş çatlakların etrafında düşük derecede boyuna ve enine çatlaklar gözlenir.

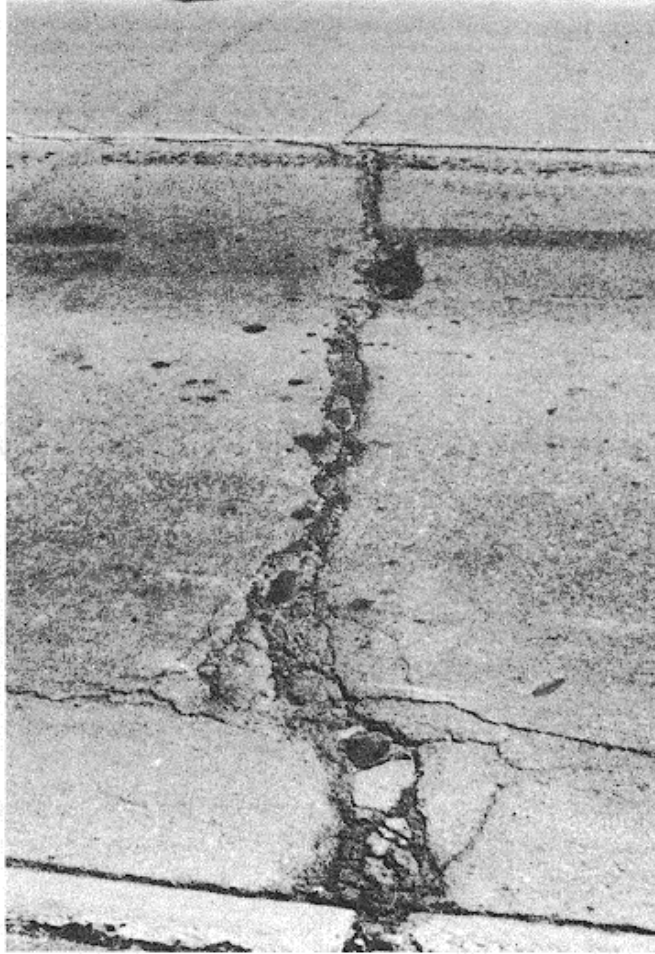
*Yüksek:* Doldurulmuş veya doldurulmamış çatlakların etrafında orta veya yüksek düzeyde rasgele çatlaklar bulunur. Doldurulmamış çatlak genişliği 7.6 cm (3 inç)'den fazladır. Ayrıca çatlaklarda yoğun düzeyde kırılmalar gözlemlenir.



Şekil 4.42 Düşük yoğunlukta boyuna ve enine çatlaklar (Shahin, 2002)



Şekil 4.43 Orta yoğunlukta boyuna ve enine çatlaklar (Shahin, 2002)



Şekil 4.44 Yüksek yoğunlukta boyuna ve enine çatlaklar (Shahin, 2002)

#### 4.3.11 Yamalar

Yamalar mevcut üstyapı yüzeyinin bozulan kısımlarının yeni malzemeler ile tamir edilmesi sonucu oluşan alanlardır. Yamalar kesin olarak bir kusur gibi düşünülmesi bile yama alanı kesinlikle orijinal üstyapı yüzeyi gibi de kabul edilemez. Genellikle düzgünlük bu tip bozulmalar ile ilişkilidir.

Yamalar bozulma görülen yüzeyin alanı ( $m^2$ ,  $ft^2$ ) olarak ölçülür ve tüm alana oranlanır.



Bunumla beraber farklı yoğunlukta yamalar mevcut ise alanı ve yoğunluğu kaydı farklı tutulur. Örneğin, 2.3 m<sup>2</sup> (25 ft<sup>2</sup>) toplam alanı olan bir yamanın 0.9 m<sup>2</sup> (10 ft<sup>2</sup>)'si orta düzeyde, 1.4 m<sup>2</sup> (15 ft<sup>2</sup>)'si düşük düzeyde olabilmektedir. Yamalar üzerindeki diğer bozulmalar ayrıca kayıt edilmez, bu bozulmalar yamaların yoğunluk düzeyinin tayininde kullanılır.

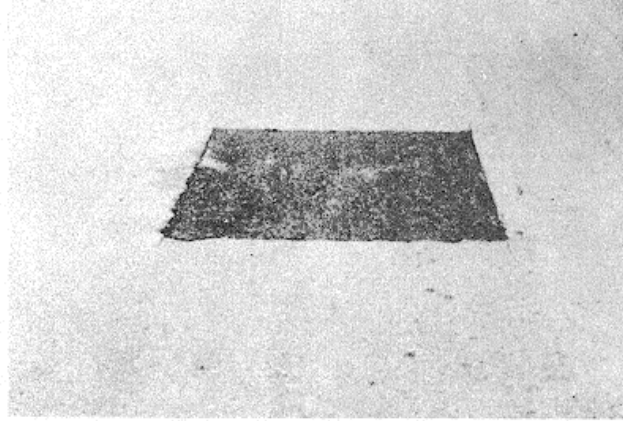
Eğer yüksek miktarda yama mevcut ise bu alan yama olarak kabul edilmez ve yeni bir üstyapı olarak düşünülebilir.

### ***Yoğunluk Düzeyleri***

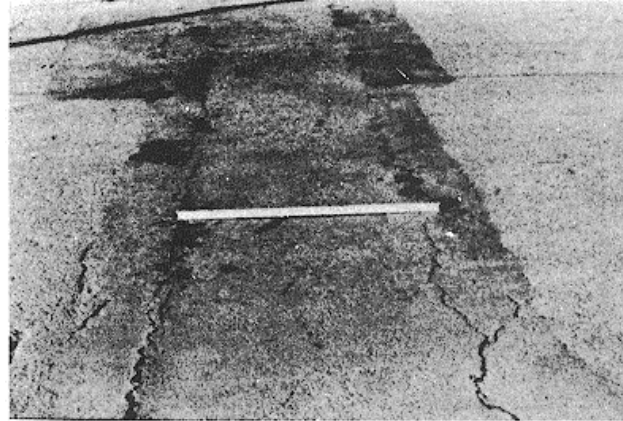
*Düşük:* Yamalar genel haliyle orta ve memnuniyet vericidir. Düşük seviyede sürüş konforu kaybına yol açarlar.

*Orta:* Yamalar üzerinde orta düzeyde bozulmalara rastlanır. Orta seviyede sürüş konforu kaybına yol açarlar.

*Yüksek:* Yamalar üzerinde önemli miktarlarda bozulmalara rastlanır. Yüksek seviyede sürüş konforu kaybına yol açarlar.



Şekil 4.45 Düşük yoğunlukta yama (Shahin, 2002)



Şekil 4.46 Orta yoğunlukta yama (Shahin, 2002)





Şekil 4.47 Yüksek yoğunlukta yama (Shahin, 2002)

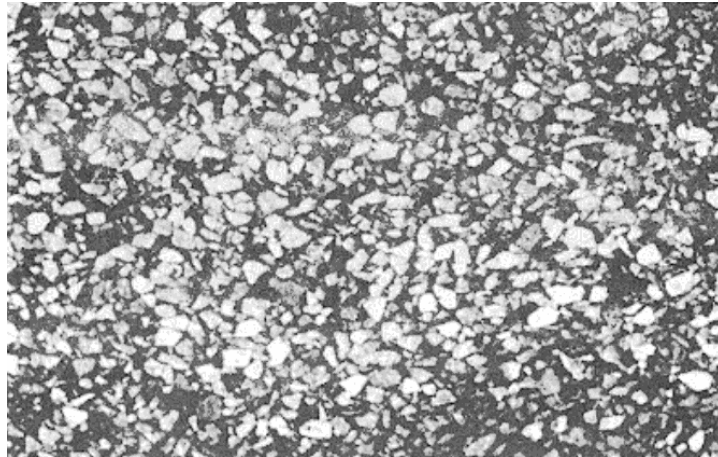
#### 4.3.12 Cilalanmalar

Bu tip bozulmalar tekrarlı trafik etkilerinden dolayı oluşur. Üstyapı yüzeyindeki agregaların düzleşmesi sebebiyle araç tekerlekleri ile yol yüzeyi arasındaki tutunma oldukça azalır ve bunun neticesinde araçların hızlarının azaltılması zorunluluğu ortaya çıkar. Bu tip bozulmalarda üstyapının kesin durumu kayma gerilmesi testi yapılarak tespit edilebilir.

Cilalanmalar bozulma görülen yüzeyin alanı ( $m^2$ ,  $ft^2$ ) olarak ölçülür. Eğer cilalanma görülen alanda kumular mevcut ise cilalanmalar göz ardı edilir.

#### *Yoğunluk Düzeyleri*

Cilalanma düzeyi tam olarak tanımlanmamıştır. Bununla birlikte cilalanmanın düzeyi üstyapının durumunu belirlemede oldukça önemli bir yer tutmaktadır.



Şekil 4.48 Cilalanmış üstyapı (Shahin, 2002)

#### 4.3.13 Oyulmalar

Oyulmalar üstyapı yüzeyinde görülen küçük (genellikle çapı 0.9 m'den az), çanak şeklindeki çökmelerdir. Genellikle keskin kenarlı görünümündedirler ve çukurun içindeki nem miktarının

artmasıyla bozulma ivmelenecek artar. Ayrıca trafiğin etkisi ile de oyulmalarda artış gözlenir. Bu tip bozulmalar üstyapılarda yetersiz karışımlardan dolayı ya da temel veya alt temel tabakalarındaki zayıf noktalardan dolayı oluşur. Oyulmalar üstyapılarda görülen yapısal bozulmalardır ve sökülme ve ayrışmalarla karıştırılmamalıdır. Timsah sırtı çatlakların ileri fazında çukurlar oluşur bu tip çukurlar oyulmalara verilebilecek en güzel örnektir.

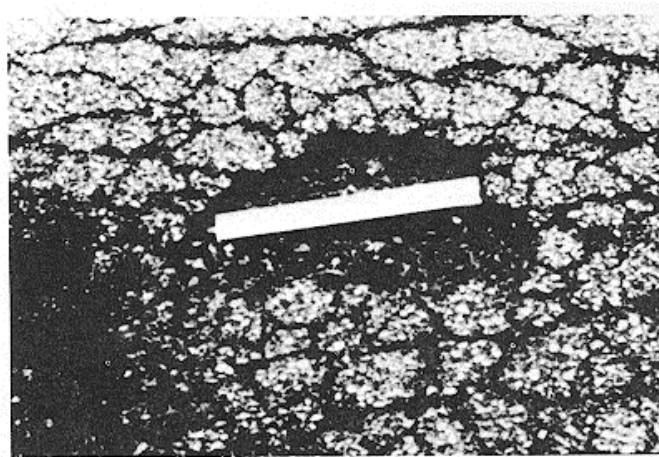
Arazi etüdlerinde oyulmaların yoğunluk düzeyleri birbirinden ayrı tutularak sadece sayıları kayıt altına alınır. Eğer oyulmanın çapı 0.76 m (30 inç)'den büyükse bozulmanın alanı m<sup>2</sup> (veya ft<sup>2</sup>) olarak hesaplanır ve o bölgede 0.46 m<sup>2</sup> (5 ft<sup>2</sup>) eşdeğerinde oyulmaların olduğu kabul edilerek oyulma sayısı belirlenir. Eğer derinlik 2.54 cm (1 inç)'den az ise yoğunluk orta düzeyde kabul edilir ve bunun üstündeki değerlerdeki oyulmaların yüksek yoğunluktaki oyulmalar olduğu kabul edilir.

### ***Yoğunluk Düzeyleri***

Çapı 0.76 m (30 inç)'den az olan oyulmalarda yoğunluk düzeyleri Çizelge 4.3'e göre belirlenir.

Çizelge 4.3 Oyulma yoğunluk düzeyi sınırları (Shahin, 2002)

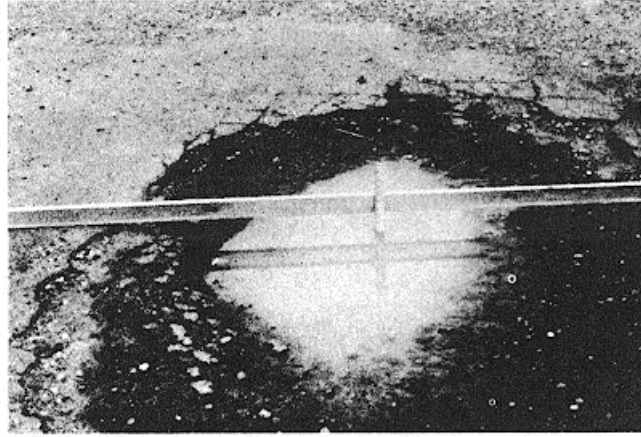
Maksimum oyulma derinliği	Ortalama oyulma çapı		
	10.16-20.32 cm (4-8 inç)	20.32-45.72 cm (8-18 inç)	45.72-76.20 cm (18-30 inç)
1.27-2.54 cm (0.5-1 inç)	Düşük	Düşük	Orta
2.54-5.08 cm (1-2 inç)	Düşük	Orta	Yüksek
>5.08 cm (>2 inç)	Orta	Orta	Yüksek



Şekil 4.49 Düşük yoğunlukta oyulma (Shahin, 2002)



Şekil 4.50 Orta yoğunlukta oyulma (Shahin, 2002)



Şekil 4.51 Yüksek yoğunlukta oyulma (Shahin, 2002)

#### 4.3.14 Demiryolu Geçişleri

Demiryolu geçişleri kusurları rayların etrafındaki çökmeler veya kabarmalar olarak kabul edilir. Demiryolu geçişi yoğunluğuna göre geçişin tüm alanı olarak belirlenir. Bu tip bozulmalar eğer sürüş kalitesinde bir kayba yol açmayacak şekilde ise kaydı tutulmaz.

##### *Yoğunluk Düzeyleri*

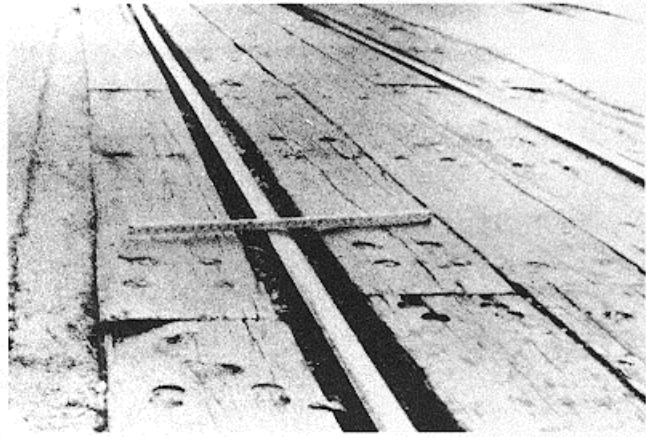
*Düşük:* Düşük seviyede sürüş konforu kaybına yol açarlar.

*Orta:* Orta seviyede sürüş konforu kaybına yol açarlar.

*Yüksek:* Yüksek seviyede sürüş konforu kaybına yol açarlar.



Şekil 4.52 Düşük yoğunlukta demiryolu geçişi kusuru (Shahin, 2002)



Şekil 4.53 Orta yoğunlukta demiryolu geçişi kusuru (Shahin, 2002)



Şekil 4.54 Yüksek yoğunlukta demiryolu geçişi kusuru (Shahin, 2002)

#### 4.3.15 Tekerlek İzi

Tekerlek izleri taşıtların tekerleklerinin geçtiği alanlarda görülen yüzey oturmalarıdır. Bozulmanın görüldüğü alanlarda tekerlek izi kenarları boyunca yukarı doğru kabarmalar olur aynı zamanda yağmur yağdıktan sonra bu bölgelerde sular birikir. Tekerlek izlerinin olduğu bölgelerde tekrarlı ve yoğun trafik yüklerinden dolayı üstyapı ve alt yapının tüm tabakalarında kalıcı deformasyonlar oluşur. Önemli yoğunlukta tekerlek izinin olduğu bölgelerde

üstyapıda ciddi yapısal kayıpların olduğu rahatlıkla söylenebilir.

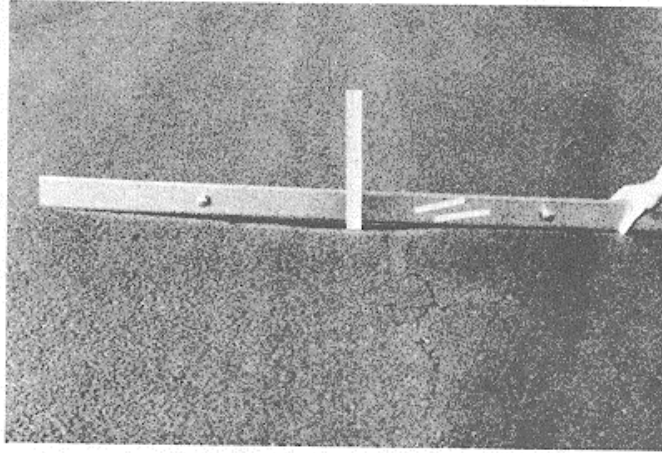
Tekerlek izleri yoğunluğuna göre bozulma görülen yüzeyin alanı ( $m^2$ ,  $ft^2$ ) olarak ölçülür.

### ***Yoğunluk Düzeyleri***

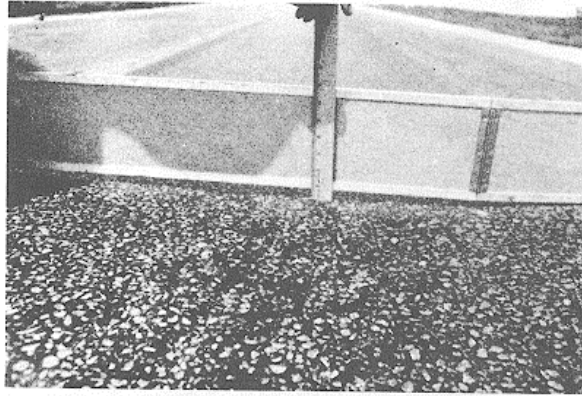
*Düşük*: Ortalama derinlik 0.64-1.27 cm (1/4-1/2 inç) arasındadır.

*Orta*: Ortalama derinlik 1.27-2.54 cm (1/2-1 inç) arasındadır.

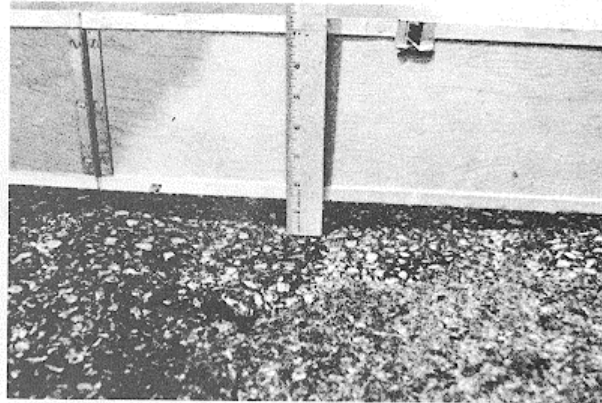
*Yüksek*: Ortalama derinlik 2.54 cm (1 inç)'den büyüktür.



Şekil 4.55 Düşük yoğunlukta tekerlek izi (Shahin, 2002)



Şekil 4.56 Orta yoğunlukta tekerlek izi (Shahin, 2002)



Şekil 4.57 Yüksek yoğunlukta tekerlek izi (Shahin, 2002)

#### 4.3.16 Toplanmalar

Toplanmalar trafik etkilerinden dolayı üstyapı yüzeyinde kalıcı, boyuna, yanal yönde yer değiştirmelerdir. Özellikle kurplu kesimlerde araç tekerleklerinin dönüşler sırasında üstyapıyı yanal yönde itmesi sonucu üstyapı yüzeyini su dalgaları şekline dönüştürmesi ile oluşur. Aynı zamanda yolda düz kesimlerde de bu tip bozulmalara rastlanabilir.

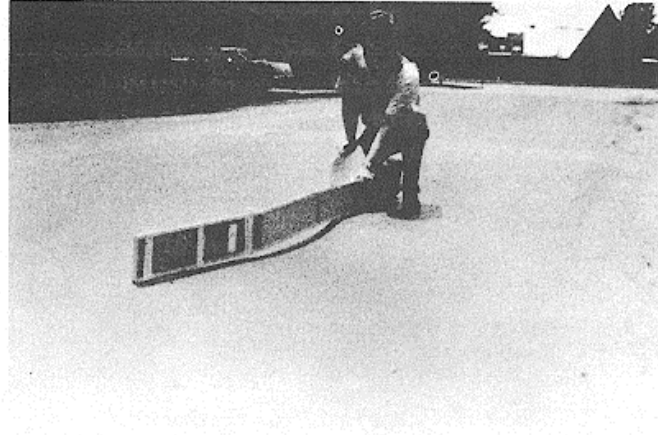
Toplanmalar bozulma görülen yüzeyin alanı ( $m^2$ ,  $ft^2$ ) olarak ölçülür.

##### *Yoğunluk Düzeyleri*

*Düşük:* Düşük seviyede sürüş konforu kaybına yol açarlar.

*Orta:* Orta seviyede sürüş konforu kaybına yol açarlar.

*Yüksek:* Yüksek seviyede sürüş konforu kaybına yol açarlar.



Şekil 4.58 Düşük yoğunlukta toplanma (Shahin, 2002)



Şekil 4.59 Orta yoğunlukta toplanma (Shahin, 2002)



Şekil 4.60 Yüksek yoğunlukta toplanma (Shahin, 2002)

#### 4.3.17 Tabaka Kayması Çatlakları

Tabaka kayması çatlakları üstyapı yüzeyinde trafik yönünden bağımsız, yarım ay veya hilal şeklinde görülen çatlaklardır. Bu tip bozulmalar genellikle düşük dirençli karışımlarda ve üstyapılarda bağlayıcı tabakalarla doğal zemin arasında kalan alandaki zayıf olan tabakaların trafiğin etkisi ile kayması sonucunda oluşur.

Tabaka kayması çatlakları bozulma görülen yüzeyin alanı ( $m^2$ ,  $ft^2$ ) olarak ölçülür.

##### *Yoğunluk Düzeyleri*

*Düşük:* Düşük seviyede ve dolgu yapmaya ihtiyaç duyulmayan çatlaklar mevcuttur.

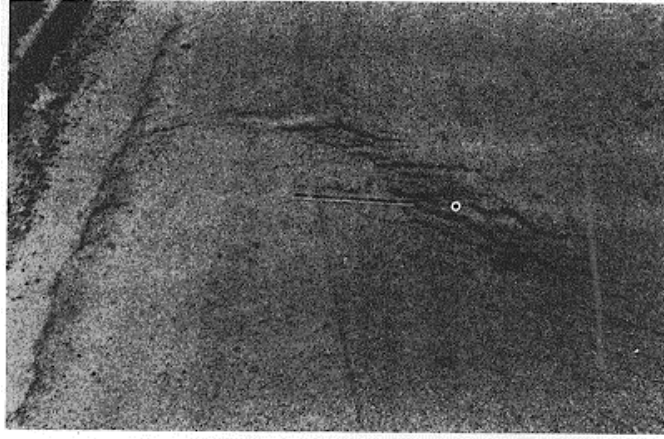
*Orta:* Çatlak genişliği yer yer dolgu yapmaya ihtiyaç duyulur hale gelmiş, parçalanma ve sökülmeler oluşmaya başlamıştır.

*Yüksek:* Ortalama çatlak genişliği 2.54 cm (1 inç)'den büyük çatlaklar oluşmuş ve önemli miktarda parçalanma ve sökülmeler oluşmaya başlamıştır.

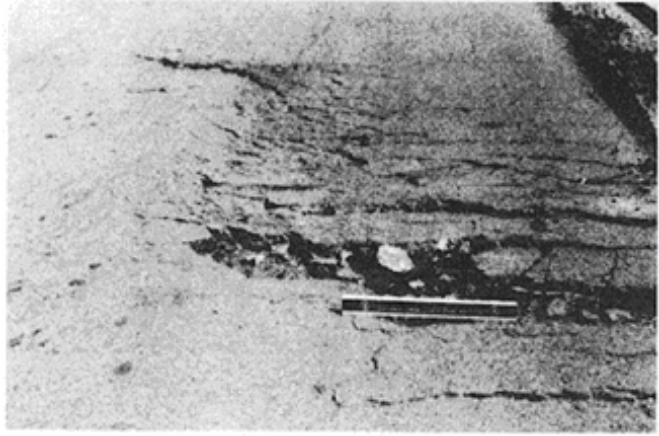


Şekil 4.61 Düşük yoğunlukta tabaka kayması çatlağı (Shahin, 2002)





Şekil 4.62 Orta yoğunlukta tabaka kayması çatlağı (Shahin, 2002)



Şekil 4.63 Yüksek yoğunlukta tabaka kayması çatlağı (Shahin, 2002)

#### 4.3.18 Şişmeler

Şişmeler üstyapı yüzeyinde kenar uzunluğu 3.05 m (10 ft)'den daha uzun bir bölgede artarak devam eden dalgalar şeklindeki yukarıya doğru hareketlenmelerdir. Şişmeler yüzey çatlakları ile aynı alanlarda görülebilir. Bu tip bozulmalar altyapıda oluşan don nedeniyle oluşur.

Şişmeler bozulma görülen yüzeyin alanı ( $m^2$ ,  $ft^2$ ) olarak ölçülür.

#### *Yoğunluk Düzeyleri*

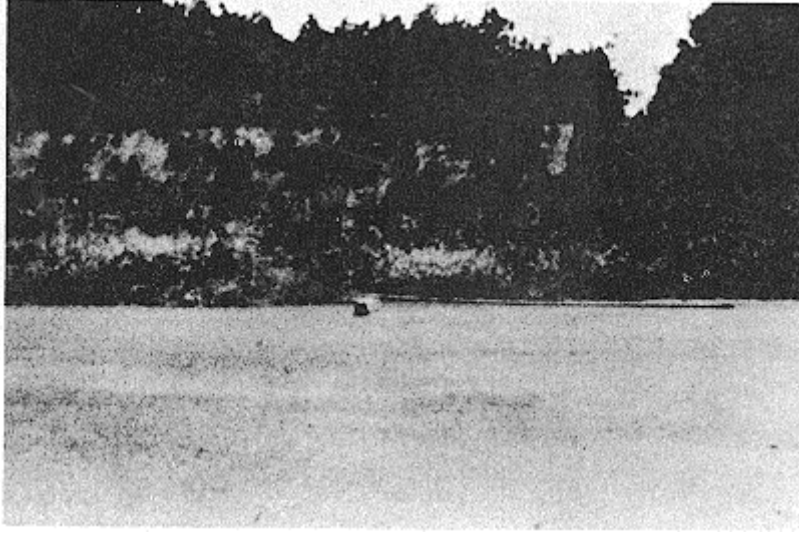
Üstyapıda görülen şişme yoğunlukları ancak taşıtların hareketi gözlenerek veya taşıtın içinde sürüş konforu değerlendirilerek belirlenebilir.

*Düşük:* Düşük seviyede sürüş konforu kaybına neden olur. İncelenen kesimden yüksek hızla geçen araçların yukarı yöndeki ivmelenmeleri gözlenerek belirlenebilir.

*Orta:* Orta seviyede sürüş konforu kaybına neden olur.

*Yüksek:* Yüksek seviyede sürüş konforu kaybına neden olur.





Şekil 4.64 Üstyapıda görülen şişme (Shahin, 2002)

#### 4.3.19 Sökülme ve Ayrışmalar

Sökülme ve ayrışmalar üstyapı yüzeyinin aşınarak bitümün tutuculuğunu kaybedip agrega parçacıklarının yerinden oynaması ve uzaklaşması sonucu oluşan bozulmadır. Bu tip bozulmalar üstyapıdaki bağlayıcının tutuculuğunu önemli miktarda kaybetmesi sonucu veya zayıf bitüm muhtevası içeren karışımlarda gözlenir. Buna ilaveten, sökülme ve ayrışmaların oluşmasında üstyapının üzerinden geçen araçların dingil konfigürasyonları ve ağırlıkları önemli yer almaktadır.

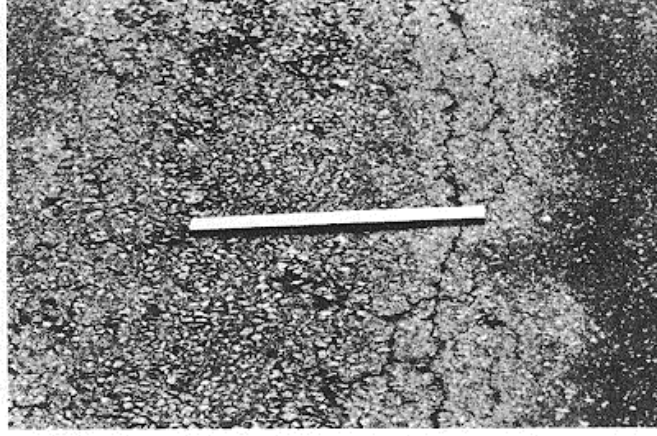
Sökülme ve ayrışmalar bozulma görülen yüzeyin alanı ( $m^2$ ,  $ft^2$ ) olarak ölçülür.

##### *Yoğunluk Düzeyleri*

*Düşük:* Agregalar veya bağlayıcı malzeme aşınmaya başlamıştır ve bazı bölgelerde küçük çukurluklar görülebilir.

*Orta:* Agregalar veya bağlayıcı malzemelerde aşınmalar ve üstyapı dokusunda orta düzeyde çukurlaşmalar görülür.

*Yüksek:* Agregalar veya bağlayıcı malzemelerde önemli miktarda aşınmalar gözlemlenir ve üstyapı dokusunda ciddi düzeyde çukurlaşmalar görülür. Çukurlaşan bölgelerde maksimum 10.16 cm (4 inç) çapında ve 7.62 cm (3 inç) derinliğinde çukurluklar görülür. Bu uzunluklardan büyük alanlarda bozulmalar oyulmalar olarak değerlendirilir.



Şekil 4.65 Düşük yoğunlukta sökölme ve ayrışma (Shahin, 2002)



Şekil 4.66 Orta yoğunlukta sökölme ve ayrışma (Shahin, 2002)



Şekil 4.67 Yüksek yoğunlukta sökölme ve ayrışma (Shahin, 2002)

## 5. BEŞİKTAŞ ÖRNEĞİNDE ÜYS ALTLIĞININ OLUŞTURULMASI

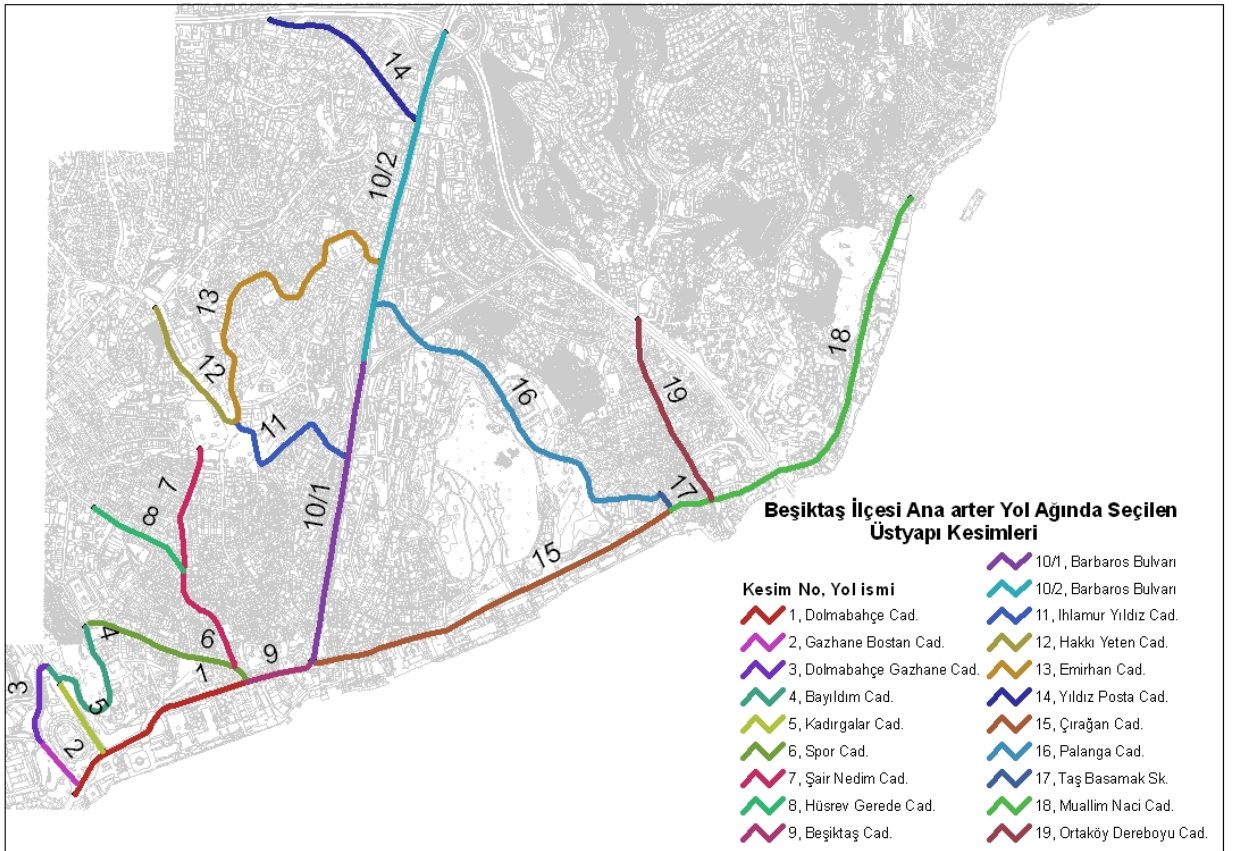
Bir ÜYS oluşturulmasında yapılması gereken ilk iş ağın belirlenmesidir. Çalışmada altlık teşkil eden ağ olarak Beşiktaş İlçe sınırlarında kalan ana arter ulaşım ağına ait toplam 20 kesim seçilmiştir. PAVER sisteminin ağ tanımlama esaslarına göre ağ, öncelikle bölümlere daha sonra kesimlere ayrılmıştır. Bölümlere ve kesimlere ayırma işleminde en önemli parametre olarak, İBB Yol Bakım Onarım Müdürlüğü'nün belirlediği kesimler kabul edilmiştir. Yol Bakım Onarım Müdürlüğü bakım onarım çalışmalarında kesim olarak bulvar veya cadde isimlerini sınır kabul etmiş, tüm yatırım çalışmalarını ve bütçe planlarını bu esas üzerine oluşturmuştur. Çalışmanın bundan sonraki aşamalarında önceki yıllara ait kayıtlardaki verileri de kullanabilmek düşüncesi ile ağ oluşturulurken bölümler olarak bulvar veya cadde sınırları seçilmiş ve seçilen 18 bölüme birer adet kesim atanmıştır. Bir bölümde (Barbaros Bulvarı) bölümün büyüklüğü göz önüne alınarak yapılacak çalışmanın gerçeği yansıtmayacağı düşüncesiyle bölüm yaklaşık olarak birbirine eşit iki kesim olacak şekilde kabul edilmiştir. Yapılan çalışmanın neticesinde, bu yaklaşımın doğru olduğu sonuçlardan da görülmüştür. Seçilen bölümlerin isimleri Çizelge 5.1'de, kesimlerin isimleri de Çizelge 5.2'de gösterilmektedir. Çalışmada elde edilen sonuçları görselleştirmek ve vurgulamak için mekansal verileri sözel veriler ile ilişkilendirmede en kullanışlı teknik olan Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) tekniği kullanılmıştır. CBS tekniği ile hazırlanmış kesimleri gösterir plan Şekil 5.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1 Ağa ait bölümler

Yol İsmi	Bölüm No
Dolmabahçe Cad.	1
Gazhane Bostan Cad.	2
Dolmabahçe Gazhane Cad.	3
Bayıldım Cad.	4
Kadırgalar Cad.	5
Spor Cad.	6
Şair Nedim Cad.	7
Hüsrev Gerede Cad.	8
Beşiktaş Cad.	9
Barbaros Bulvarı	10
Ihlamur Yıldız Cad.	11
Hakkı Yeten Cad.	12
Emirhan Cad.	13
Yıldız Posta Cad.	14
Çırağan Cad.	15
Palanga Cad.	16
Taş Basamak Sk.	17
Muallim Naci Cad.	18
Ortaköy Dereboyu Cad.	19

Çizelge 5.2 Ağa ait kesimler

Yol İsmi	Kesim No
Dolmabahçe Cad.	1
Gazhane Bostan Cad.	2
Dolmabahçe Gazhane Cad.	3
Bayıldım Cad.	4
Kadırgalar Cad.	5
Spor Cad.	6
Şair Nedim Cad.	7
Hüsrev Gerede Cad.	8
Beşiktaş Cad.	9
Barbaros Bulvarı	10/1
Barbaros Bulvarı	10/2
Ihlamur Yıldız Cad.	11
Hakkı Yeten Cad.	12
Emirhan Cad.	13
Yıldız Posta Cad.	14
Çırağan Cad.	15
Palanga Cad.	16
Taş Basamak Sk.	17
Muallim Naci Cad.	18
Ortaköy Dereboyu Cad.	19



Şekil 5.1 Ağa ait kesimler

Kesimlerin belirlenmesi ve CBS’de tanımlanmasından sonra Bölüm 4.1.2’de açıklandığı üzere büyüklüğü önceden belirlenen sınırlar dahilinde kalacak şekilde her kesim örnek alanlara ayrılmıştır. Örnek alanlara ayırma işlemi için kesimlere belirli aralıklarla en kesitler atılarak bu en kesitlere ait kilometre değerleri üzerlerine yazılmıştır. Her kesime ait toplam örnek alan sayısının bulunmasından sonra Bölüm 4.2.2’de açıklandığı şekilde PCI standart sapması  $\sigma=12$ , yani PCI aralığı 30 değerleri seçilerek incelenmesi gereken minimum örnek alan sayıları bulunmuştur. Seçilen ağda daha önce bu içerikte bir çalışma yapılmadığından dolayı güvenli tarafta kalmak amacıyla PCI aralığı geniş tutulmuştur. PAVER sisteminin öngördüğü şekilde “sistemik rasgelelik” prensibi gözetilerek incelenmesi gereken örnek alan sayıları ve konumları belirlenmiştir. Her kesim’de incelenmesi gereken örnek alan sayıları Çizelge 5.3’de görülmektedir. Daha sonra her kesim için arazi çalışma planları hazırlanmıştır. Hazırlanan çalışma planlarının bir örneği (kesim 7’nin bir bölümünü için) Şekil 5.2’de görülmektedir. Oluşturulan bu planlarda enkesitler, örnek alanların sınırlarını oluşturmasının yanında arazide incelenecek örnek alanın yerinin bulunmasında da kullanılmıştır. Hazırlanan arazi çalışma planlarının ışığında incelenmesi planlanan her örnek alanda bozulma verileri toplanarak Şekil 4.10’da bir örneği görülen “üstyapı durum inceleme sayfasına” her örnek alan verileri bir sayfaya kaydedilerek arazi çalışmaları yapılmıştır. Arazi çalışmaları sırasında bozulma miktarı çok olduğu düşünülen örnek alanlarda bozulma verileri kaydedilerek ilave örnek alan’lar belirlenmiştir. Arazi çalışmaları sırasında 6, 8, ve 11 nolu kesimlerde üstyapıların bir kısmının parke taşı olarak imal edildiği görüldüğünden bu kesimlerde örnek alanlar yalnızca üstyapısı asfalt olan kısımlarda belirlenerek çalışmalar tamamlanmıştır. Çalışmalar sonucunda ağa ait toplam 1017 adet örnek alan olduğu belirlenmiş ve 307 adet planlanan, 13 adet ilave olmak üzere toplam 320 adet örnek alanda inceleme yapılmıştır. Ayrıca her kesim için bu değerler Çizelge 5.3’de detaylı olarak gösterilmiştir.

Çizelge 5.3 Kesimlere ait incelenen örnek alan sayıları

Kesim No	Toplam Örnek Alan	İncelenen Örnek Alan	İlave Örnek Alan
1	98	19	0
2	20	10	0
3	26	12	0
4	39	15	1
5	17	10	0
6	15	9	0
7	37	18	0
8	8	8	0
9	21	11	0
10/1	130	26	1
10/2	142	26	1
11	10	10	0
12	34	17	1
13	75	19	2
14	39	19	1
15	82	20	1
16	80	20	0
17	3	3	0
18	96	20	3
19	45	15	2
<b>Toplam</b>	<b>1017</b>	<b>307</b>	<b>13</b>



Şekil 5.2 Kesim 7'ye ait incelenecek örnekleme alanı arazi çalışması planı örneği

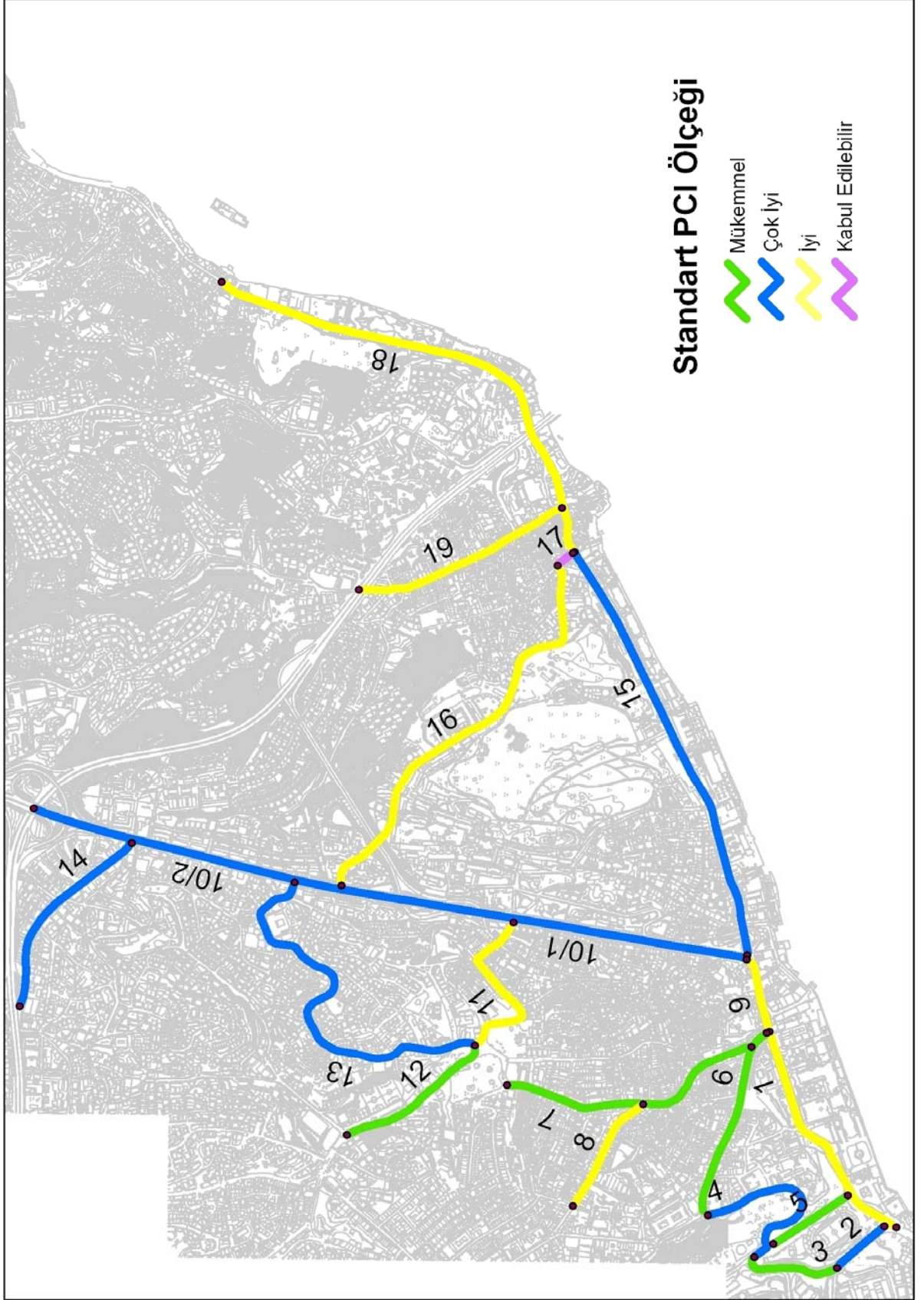
Arazi çalışmaları ile her örnek alana ait bozulma verileri toplandıktan sonra Bölüm 4.2.4’de detaylıca açıklandığı şekilde kesimlere ait PCI değerleri hesaplanmıştır. Kesimlere ait hesaplanan PCI değerleri Çizelge 5.4’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.4 Kesimlere ait PCI değerleri

<b>Kesim No</b>	<b>PCI Değeri</b>
<b>1</b>	69
<b>2</b>	80
<b>3</b>	96
<b>4</b>	79
<b>5</b>	93
<b>6</b>	85
<b>7</b>	85
<b>8</b>	62
<b>9</b>	67
<b>10/1</b>	77
<b>10/2</b>	73
<b>11</b>	58
<b>12</b>	85
<b>13</b>	72
<b>14</b>	77
<b>15</b>	71
<b>16</b>	67
<b>17</b>	50
<b>18</b>	62
<b>19</b>	61

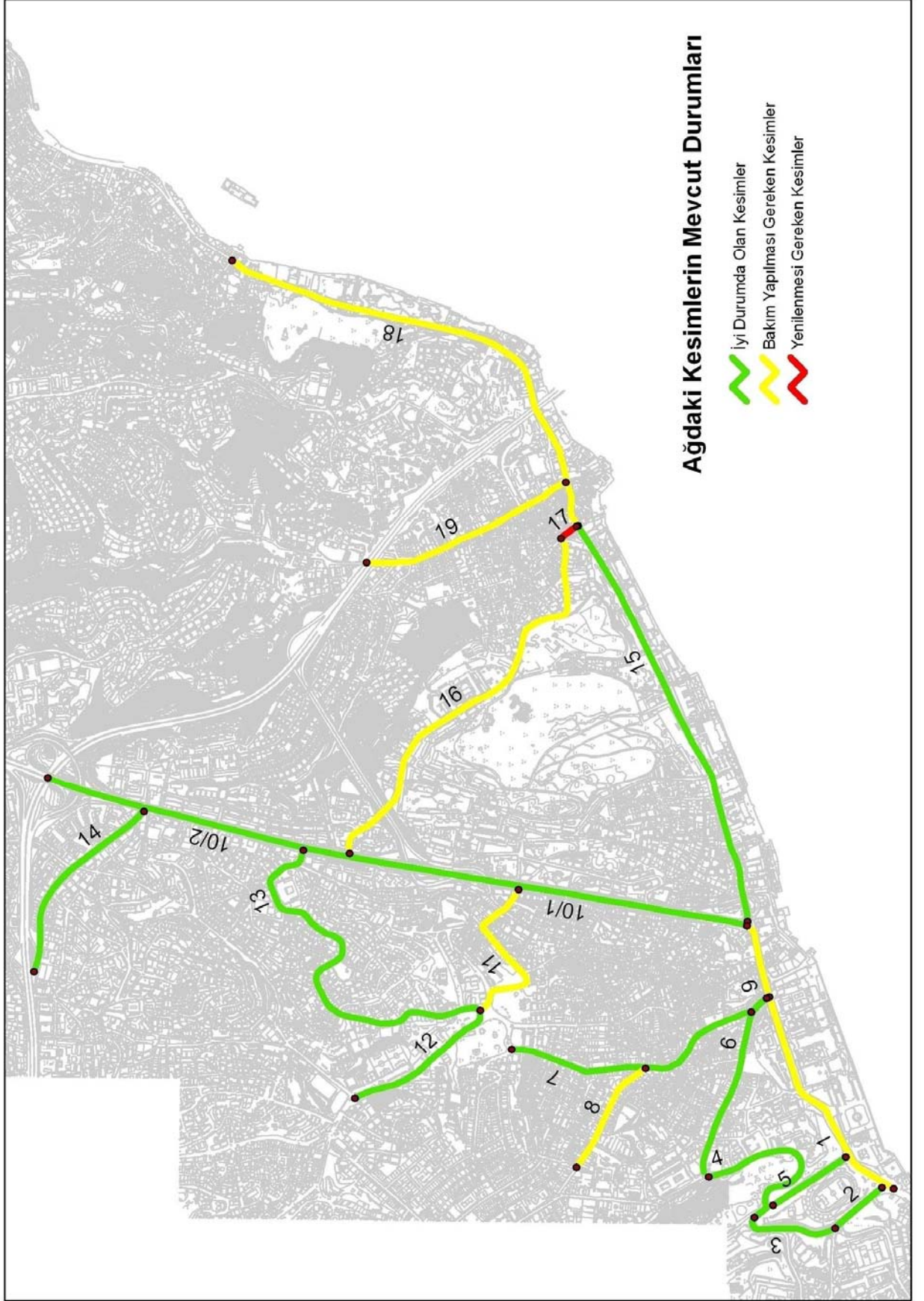
Kesimlere ait bulunan PCI değerleri PAVER sisteminin üstyapı kalitesini (durumunu) belirlemek amacıyla geliştirdiği Standart PCI ölçeği ve Özel PCI ölçeğine göre sınıflandırılmıştır. Toplam 7 farklı kalite sınıfı bulunan Standart PCI ölçeğine göre belirlenen ağdaki üstyapıların mevcut durumu Şekil 5.3’de gösterilmiştir. Ayrıca ağın mevcut durumunu ortaya koymak ve çıkarımlar yapabilmek için toplam 3 farklı kalite sınıfı bulunan Özel PCI ölçeğinde PCI değeri 70 ile 100 arasında (Yeterli) olan kesimlerin iyi durumda olduğu, PCI değeri 55 ile 70 arasında (Bozulmuş) olan kesimlerin bakım veya onarım gerektirdiği ve PCI değeri 0 ile 55 arasında (Yetersiz) olan kesimlerin yeniden yapılması gerektiği kabul edilerek, ağdaki üstyapıların durumu Şekil 5.4’de gösterilmiştir. Burada yapılan kabuller herhangi bir kurumun / kuruluşun bu konudaki kararını yansıtmamaktadır. Bu tip kararlar kurum / kuruluşlarda oluşmuş ÜYS tecrübesi ve bütçe kısıtları göz önüne alınarak yapılır. Fakat bir ÜYS’nin ilk kuruluş aşamasında “yenilenmesi gereken kesimler”, “bakım yapılması gereken kesimler” veya “iyi durumda olan kesimler” gibi kararlar verebilmek için bir ölçek veya sınır





Şekil 5.3 Seçilen üstyapı kesimlerinin standart PCI ölçeği sınıflandırması





Şekil 5.4 Yapılan kabule göre seçilen üstyapının mevcut durumu

değerler kabul edilmek zorundadır. Eğer bu işler için ayrılmış bütçe mevcut ise sınır değerler matematiksel olarak hesaplanabilir. Kabul edilen bu sınır değerler yıllar içindeki tecrübe, teknoloji kullanımı ve bütçe kısıtları gibi koşullar değiştikçe farklı değerler alabilmektedir. Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'den yapılan kabuller ışığında ağın durumunun genel anlamda iyi olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.5 Bozulma türlerine göre bozulma kodları ve oluşma nedenleri

<b>Kod</b>	<b>Bozulma Türü</b>	<b>Bozulma Nedeni</b>
1	Timsah Sırtı Çatlak	Yük
2	Kusma	Diğer
3	Blok Çatlak	İklim
4	Kabarma ve Oturma	Diğer
5	Ondülasyon	Diğer
6	Çökme	Diğer
7	Kenar Çatlağı	Yük
8	Yansıma Çatlağı	İklim
9	Kenar/Banket Düşüklüğü	Diğer
10	Boyuna ve Enine Çatlak	İklim
11	Yama	Diğer
12	Cilalanma	Diğer
13	Oyulma	Yük
14	Demiryolu Geçişi	Diğer
15	Tekerlek izi	Yük
16	Toplanma	Yük
17	Tabaka Kayması Çatlağı	Diğer
18	Şişme	Diğer
19	Sökülme ve Ayrışma	İklim

Sonraki adımda, örnek olması amacıyla kesim1 için Çizelge 5.5'de bozulma kodları ve oluşma nedenleri verilen bozulma türlerinin toplam miktarları hesaplanmıştır. Bölüm 4.2.4.3'de detaylıca anlatılan işlem prosedürü uygulanarak bozulma tiplerine göre alanı 21228.69 m<sup>2</sup> olan kesimdeki toplam bozulma miktarları Çizelge 5.6'da gösterilmiştir.

Aşağıdaki çizelgede bozulma kodlarıyla ve her yoğunluk düzeyinde (D: Düşük, O: Orta, Y: Yüksek) verilen değerlerde alan olarak ölçülen bozulmalar metrekare, uzunluk olarak ölçülen bozulmalar ise metre birimindedir. 12 kodlu cilalanma türündeki bozulma'da yoğunluk düzeyi tanımlanmadığından sonuç tek düzeyde gösterilmiştir.

Çizelge 5.6 Kesim1'deki toplam bozulma miktarları

Bozulma Kodu	Birimi	Düşük	Orta	Yüksek
1	m <sup>2</sup>	27.34	0	17.72
2	m <sup>2</sup>	0	0	0
3	m <sup>2</sup>	0	0	0
4	m	60.77	0	0
5	m <sup>2</sup>	0	0	0
6	m <sup>2</sup>	63.3	0	0
7	m	5.06	5.06	25.32
8	m	0	0	0
9	m	0	0	0
10	m	1242.36	1088.9	25.32
11	m <sup>2</sup>	114.86	92.03	3.04
12	m <sup>2</sup>	7343.81		
13	sayı	0	10	0
14	m <sup>2</sup>	0	0	0
15	m <sup>2</sup>	24.82	22.79	0
16	m <sup>2</sup>	9.12	0	0
17	m <sup>2</sup>	0	0	0
18	m <sup>2</sup>	0	0	0
19	m <sup>2</sup>	2068.93	2299.37	0

Daha sonra, örnek alanlarda toplanan bozulma verileri değerlendirilerek ağın geneli ve her kesim için yönetim stratejileri hakkında yorumlar yapılmıştır. Bu amaçla öncelikle, bir örnek alana ait bozulma verilerinin örnek alanın büyüklüğüne bölünerek elde edilen bozulma ağırlıkları kullanılarak, bozulma türleri (yük, iklim ve diğer) yüzde olarak ifade edilmiştir. Diğer bir deyişle “sonuç değer eğrileri”nden her bozulmanın etki değeri bulunmuş ve toplam etki değerine oranlanmıştır.

Ağda bulunan her kesimin ve ağın toplam olarak bozulma nedenlerine göre sınıflandırmaları Çizelge 5.7’de gösterilmektedir. Ayrıca kesimlerin bozulma türlerine göre değerlendirilmesi Şekil 5.5’de grafik olarak anlatılmıştır. Çizelge 5.7’den de görülebileceği gibi ağ genelinde yükten kaynaklanan bozulmalar %21, iklimden kaynaklanan bozulmalar %23 ve diğer nedenlerden (işçilik, malzeme özellikleri, karla mücadele önlemleri vb.) kaynaklanan bozulmalar %56 mertebesindedir. Diğer taraftan, Şekil 5.6’da üstyapı ağında görülen bozulma nedenlerinin her kesim için grafik olarak değerlendirilmesi görülmektedir.

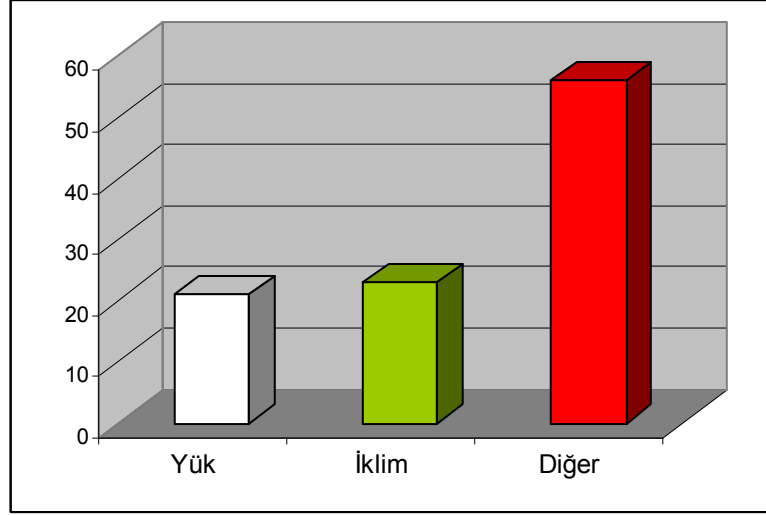
Üstyapıların bozulmasında en önemli iki etkenin trafik yükleri ve iklim olduğu kabul edilir ve

tasarımlarda bu iki etken önemli ölçüde dikkate alınır. Esnek üstyapı tasarımında kullanılan AASHTO tasarım modeline göre, günde 3000'in üzerinde taşıt geçen bir yolda, bir otomobil ile bir kamyonun üstyapının bozulmasına olan etkileri arasında yaklaşık 3500 kat, bir otomobil ile bir otobüsün üstyapının bozulmasına olan etkileri arasında yaklaşık 1600 kat gibi bir oran bulunmaktadır (Umar ve Açar, 1985). Ağda ağır taşıt trafiğinin az olmasından dolayı yükten kaynaklanan bozulma oranının düşük olması beklenen bir sonuçtur. Ayrıca ağır bulunduğu coğrafi konuma göre iklimin ılıman olmasından ötürü, iklimden kaynaklanan bozulmaların da az olduğu sonuçlardan görülmektedir.

Çizelge 5.7 Üstyapı ağının bozulma nedenleri türünden incelenmesi

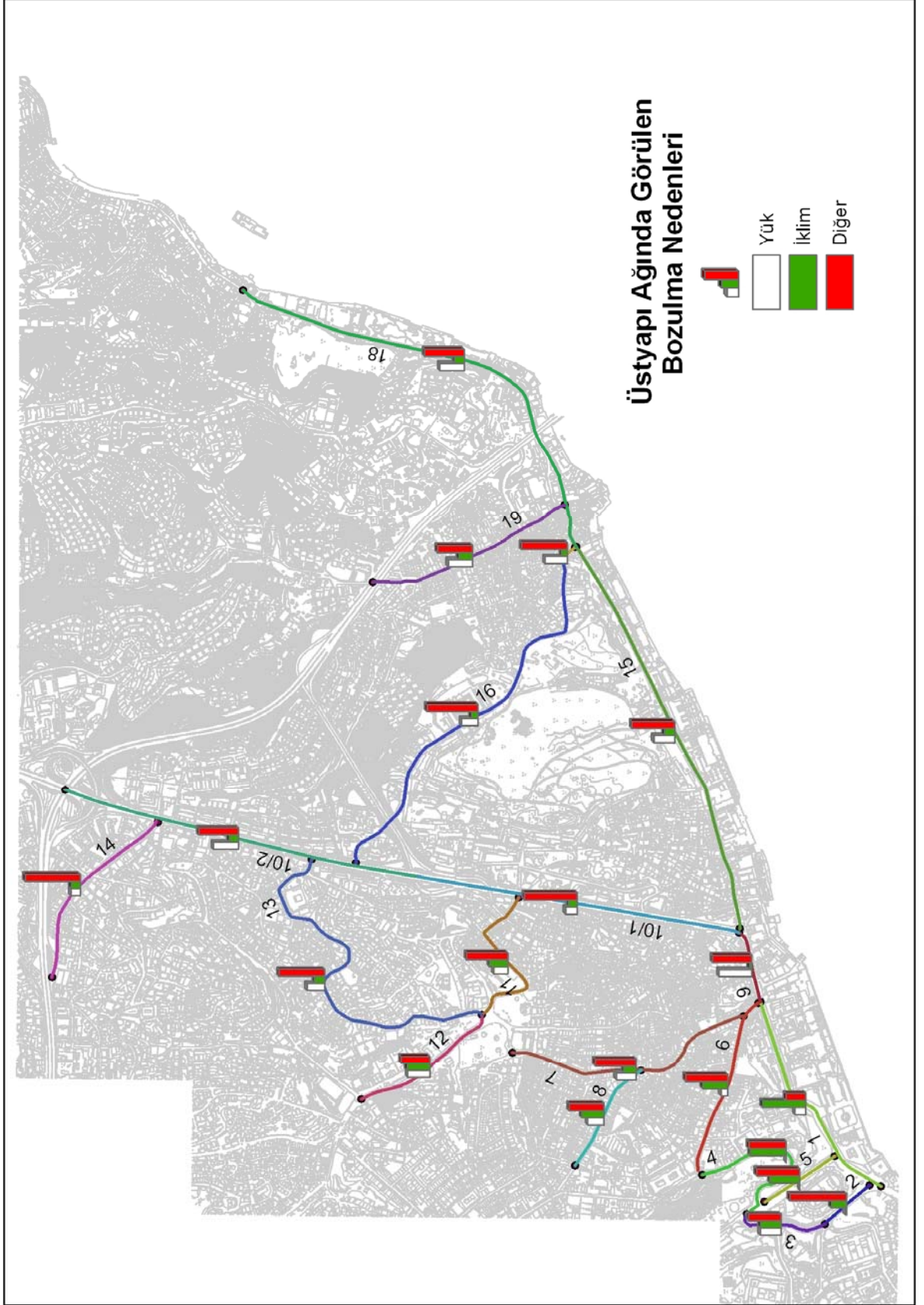
	<b>BOZULMA NEDENLERİ</b>		
	<b>YÜK (%)</b>	<b>İKLİM (%)</b>	<b>DİĞER (%)</b>
<b>Kesim 1</b>	15	59	27
<b>Kesim 2</b>	2	21	77
<b>Kesim 3</b>	28	28	44
<b>Kesim 4</b>	0	49	51
<b>Kesim 5</b>	0	41	59
<b>Kesim 6</b>	9	34	57
<b>Kesim 7</b>	27	17	56
<b>Kesim 8</b>	22	30	47
<b>Kesim 9</b>	44	3	53
<b>Kesim 10/1</b>	16	12	72
<b>Kesim 10/2</b>	34	13	54
<b>Kesim 11</b>	19	25	56
<b>Kesim 12</b>	30	31	39
<b>Kesim 13</b>	24	14	62
<b>Kesim 14</b>	13	13	75
<b>Kesim 15</b>	28	14	58
<b>Kesim 16</b>	22	9	69
<b>Kesim 17</b>	30	8	62
<b>Kesim 18</b>	33	13	54
<b>Kesim 19</b>	33	19	48
<b>Ağ Genelinde</b>	21	23	56

Şekil 5.5'deki grafikten de görüldüğü gibi ağdaki bozulmalar çoğunlukla “diğer” nedenlerden kaynaklanmaktadır. Bu bilgiler ışığında ağda görülen bozulmaların çoğunlukla yapım veya bakım hataları gibi sebeplerin yanında karla mücadele gibi çalışmalarda yapılan uygulamalardan kaynaklandığı söylenebilir. Bu nedenle özellikle karla mücadelede kullanılan kimyasal maddelerin üstyapıya olan zararlı etkilerinin detaylıca araştırılmasından sonra üstyapılarda kullanılması gerektiği rahatlıkla söylenebilir.



Şekil 5.5 Üstyapı ağı genelinde görülen bozulma nedenleri

Bu sonuçlar dahilinde ağın genelinde bir değerlendirme yapmak gerekirse imal edilmiş üstyapıların tasarımının uygun olduğu söylenebilir. Fakat proje düzeyinde bir karar verebilmek için ağın genelini değerlendirmenin yanında her bir kesimin detaylıca incelenmesi ve kesime özel bir yönetim ve tasarım stratejisinin geliştirilmesi şarttır.



Şekil 5.6 Üstyapı ağında görülen bozulma nedenleri

Çalışmanın son aşamasında bozulma tiplerinin kesimler içindeki ağırlıkları ve bozulmaların kesimler arasındaki dağılımları incelenmiştir. Bir kesime ait toplam sonuç değerlerinin her bozulma tipine oranlanarak bulunan kesimler içindeki yüzdesel olarak bozulma ağırlıkları Çizelge 5.8’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.8 Kesimlerde görülen bozulma türlerinin kesim içindeki ağırlıkları (%)

Bozulma Kodu	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Kesim 1	7	0	0	1	0	1	0	0	0	26	8	16	3	0	4	0	0	0	33
Kesim 2	2	0	0	0	25	0	0	0	0	18	12	40	0	0	0	0	0	0	4
Kesim 3	0	2	0	0	9	0	0	0	0	22	33	0	0	0	28	0	0	0	6
Kesim 4	0	0	0	0	0	4	0	0	0	45	43	4	0	0	0	0	0	0	4
Kesim 5	0	0	0	0	0	10	0	0	0	33	49	0	0	0	0	0	0	0	9
Kesim 6	9	0	0	0	5	2	0	0	0	29	50	0	0	0	0	0	0	0	5
Kesim 7	0	0	0	4	4	6	4	0	0	10	38	4	23	0	0	0	0	0	7
Kesim 8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	22	26	22	0	0	0	0	0	25
Kesim 9	7	0	0	1	0	0	0	0	0	3	20	32	12	0	25	0	0	0	0
Kesim 10/1	8	0	1	3	5	1	0	0	0	8	13	51	6	0	2	0	0	0	2
Kesim 10/2	26	0	2	1	0	0	2	0	0	10	16	36	6	0	0	0	1	0	0
Kesim 11	5	0	1	4	0	3	0	0	0	6	49	1	14	0	0	0	0	0	19
Kesim 12	6	0	0	2	0	8	0	0	0	6	24	5	24	0	0	0	0	0	24
Kesim 13	0	0	0	0	3	4	0	0	0	7	32	23	19	0	0	5	0	0	6
Kesim 14	1	1	0	9	0	0	0	0	0	7	25	40	11	0	0	0	0	0	5
Kesim 15	3	0	0	0	3	0	0	0	0	7	24	32	8	0	17	0	0	0	7
Kesim 16	11	0	2	3	0	4	1	0	0	5	34	28	6	0	3	0	0	0	2
Kesim 17	0	0	0	0	15	0	6	0	0	0	28	20	24	0	0	0	0	0	8
Kesim 18	3	0	0	0	10	2	0	0	1	9	20	20	14	0	11	5	0	0	4
Kesim 19	21	0	4	0	0	4	0	0	0	3	26	19	12	0	0	0	0	0	12

Oluşturulan çizelgede bozulma isimleri yerine Çizelge 5.5’de gösterilen bozulma kodları kullanılmıştır. Ayrıca PAVER sisteminin yazılımı olan MicroPAVER paket programında da bozulmaları tanımlamada bozulma kodları kullanılmaktadır. Çizelgeden de görüldüğü gibi kesimler içinde daha çok timsah sırtı çatlak - 1, boyuna ve enine çatlak - 10, yama - 11, cilalanma - 12, oyulma - 13, sökölme ve ayrışma - 19 tipindeki bozulmalar ağırlıktadır.

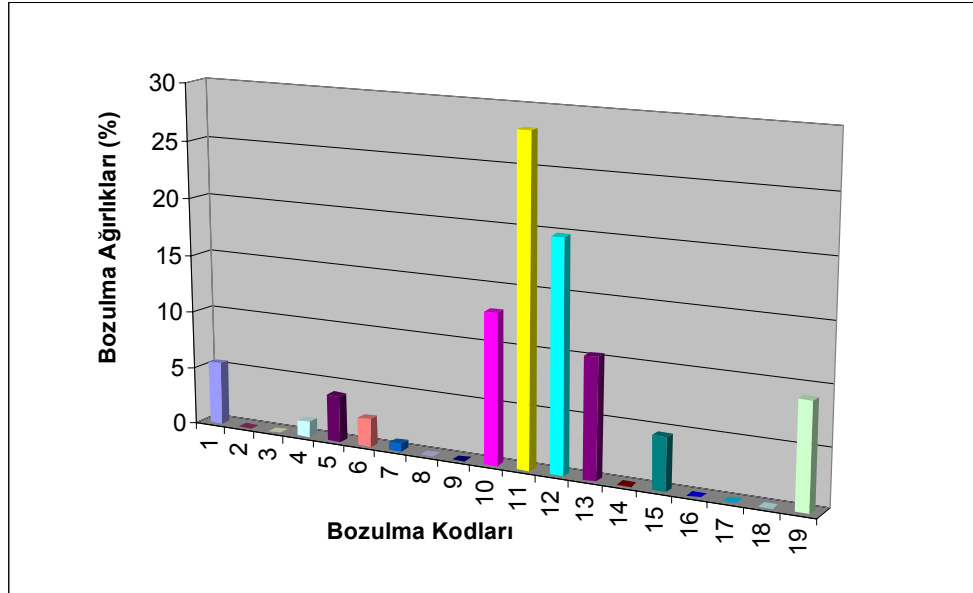
Her kesim için bozulma tiplerine göre bulunan bozulma ağırlıkları, kesimlerde görülen toplam bozulma ağırlıklarına oranlanarak ağırlıkların geneli için ağırlıklar da hesaplanmıştır. Çizelge 5.9’da ağırlıkların tamamı için bulunan yüzdesel olarak bozulma ağırlıkları görülmektedir. Bu hesaplamalar sırasında sonuçları daha kolay yorumlayabilmek açısından virgülden sonraki haneler yuvarlatılmıştır (Dolayısıyla, değeri 0.5’den daha küçük olan bozulmaların ağırlık yüzdesi 0 kabul edilmiştir).



Çizelge 5.9 Kesimlerde görülen bozulma türlerinin ağ genelindeki ağırlıkları (%)

Bozulma Kodu	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Ağ Genelinde	5	0	0	1	4	2	1	0	0	13	28	20	10	0	5	0	0	0	9

Yukarıdaki çizelge incelendiğinde ağ genelinde %28 ağırlık ile yama - 11 türündeki bozulmaların en çok bulunduğu, yamaların arkasından %20 ile cilalanma - 12 türündeki bozulmaların ağırlıkta olduğu görülmektedir. Yamaların zaman içinde çeşitli sebeplerle oluşan bozulmaları telafi etmek için uygulandığı ve cilalanmaların da tekrarlı taşıt trafiğinin etkisiyle yıllarca süren aşınmadan oluştuğu düşünüldüğünde, özellikle bu iki tip bozulmaya bakılarak ağdaki üstyapıların uzun yıllardan bu yana düzenli bakım yapılarak günümüze ulaştırıldığı, diğer bir deyişle, üstyapıların yaşlı olduğu sonucu çıkarılabilir.

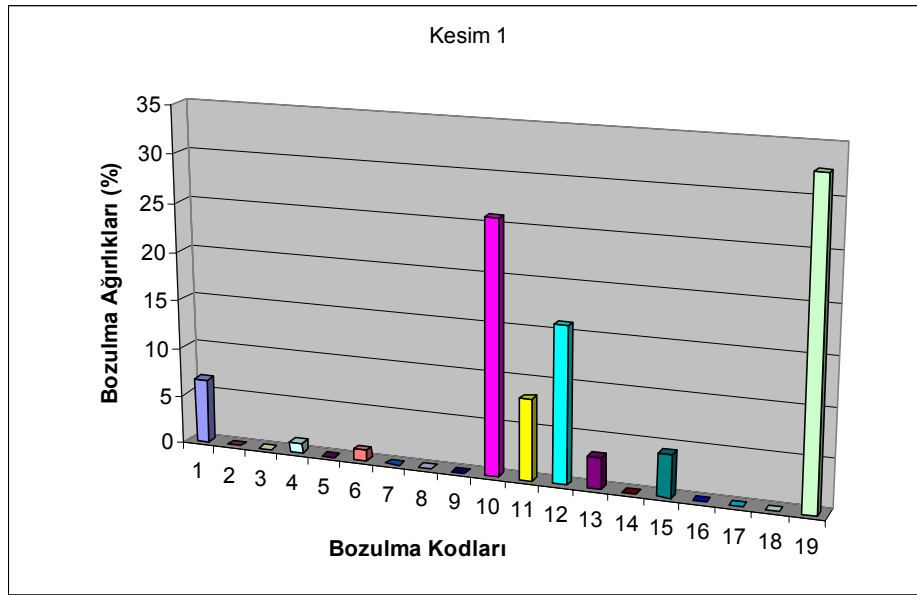


Şekil 5.7 Kesimlerde görülen bozulma türlerinin ağ genelindeki ağırlıkları

Ağ genelinde görülen bozulma ağırlıkları Şekil 5.7’de grafik olarak gösterilmiştir. Grafikten rahatlıkla görülebildiği gibi üstyapı ağındaki toplam bozulma timsah sırtı çatlak - 1, kabarma ve oturma - 4, ondülasyon - 5, çökme - 6, kenar çatlağı - 7, boyuna ve enine çatlak - 10, yama - 11, cilalanma - 12, oyulma - 13, tekerlek izi - 16, sökülme ve ayrışma - 19 türündeki bozulmalardan oluşmaktadır. Ayrıca grafikten, diğer geri kalan 8 tipte bozulmanın ağda ya hiç olmadığı ya da yok denecek kadar az olduğu görülebilmektedir. Özellikle şişme - 18, üstyapıların temel tabakasında rijit üstyapılar bulunmamasından dolayı yansıma çatlağı - 8 ve ağda herhangi bir şekilde demiryolu bulunmadığından dolayı demiryolu geçişi - 14 türündeki bozulmalara hiç rastlanmamıştır.



Proje düzeyi bir ÜYS’de en önemli adım ağıdaki kesimlerin tekil olarak değerlendirilmesidir. Bu nedenle ağ geneli için yapılan bu değerlendirmeler kesimler için de yapılmıştır. PCI değeri 69 olan Kesim 1’de iklimden kaynaklanan sökülme ve ayrışma - 19 türündeki bozulmaların %33 ağırlıkta toplam bozulmayı etkileyen en önemli bozulma türü olduğu görülmektedir. Daha sonra %26 ağırlıkta yine iklimden kaynaklanan boyuna ve enine çatlakların - 10 olduğu görülmektedir. Bu sonuçlardan kesimin iklimin etkilerinden oldukça fazla etkilendiği görülebilmektedir. Aynı zamanda yamaların - 11 da hissedilir miktarda oluşu kesimde yapılacak bir yenileme çalışmasında iklim etkilerine daha dayanıklı bir tasarım yapılması gerektiğini göstermektedir. Kesimde bu bozulmaları %16 ağırlıkla cilalanma - 12 türündeki bozulmalar takip etmektedir. Bu durumun da sebebi olarak kesimde görülen hafif taşıt trafiğinin oldukça fazla oluşu söylenebilir. Hafif taşıtların yükten kaynaklanan bozulmalara etkisinin çok az olduğu bilinmektedir. Bu nedenle hafif taşıtların etkisi çok miktarda oluşan sürtünmeden dolayı üstyapılarda cilalanma olarak görülmektedir.

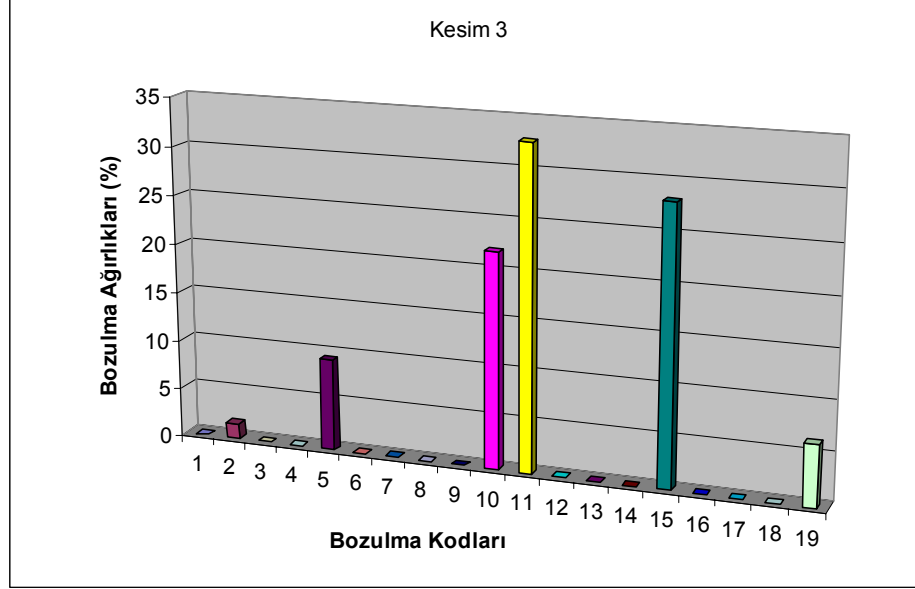


Şekil 5.8 Kesim 1’de görülen bozulma türlerinin kesim içindeki ağırlıkları

Ayrıca PCI değerinin düşük olması da kesimdeki üstyapıya acilen bakım ve gerekli yerlerde onarım yapılması zorunluluğunu ortaya koymaktadır. Kesime ait bozulma ağırlıkları grafiği Şekil 5.8’de görülmektedir.

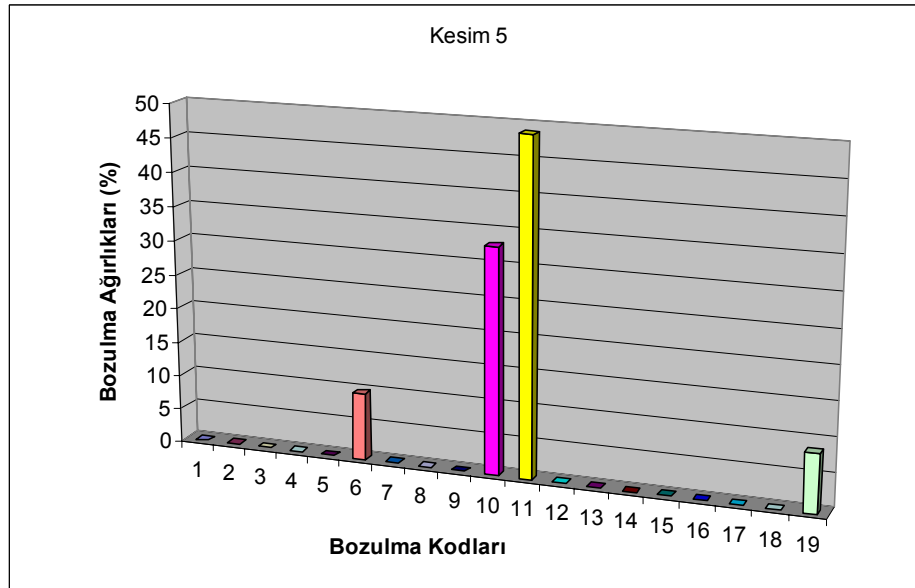
PCI değeri 96 olan Kesim 3’de yama - 11 türündeki bozulmaların %33 ağırlıkta toplam bozulmayı etkileyen en önemli bozulma türü olduğu görülmektedir. Hesaplanan PCI değerinden de anlaşılacağı gibi bu kesimde bozulmalar oldukça azdır. Bu nedenle kesimde

bozulma ağırlıklarına bakarak yapılacak bir yenileme çalışmasında izlenmesi gereken strateji hakkında bir yorum yapılmamıştır. Kesime ait bozulma ağırlıkları grafiği Şekil 5.9'da görülmektedir.



Şekil 5.9 Kesim 3'de görülen bozulma türlerinin kesim içindeki ağırlıkları

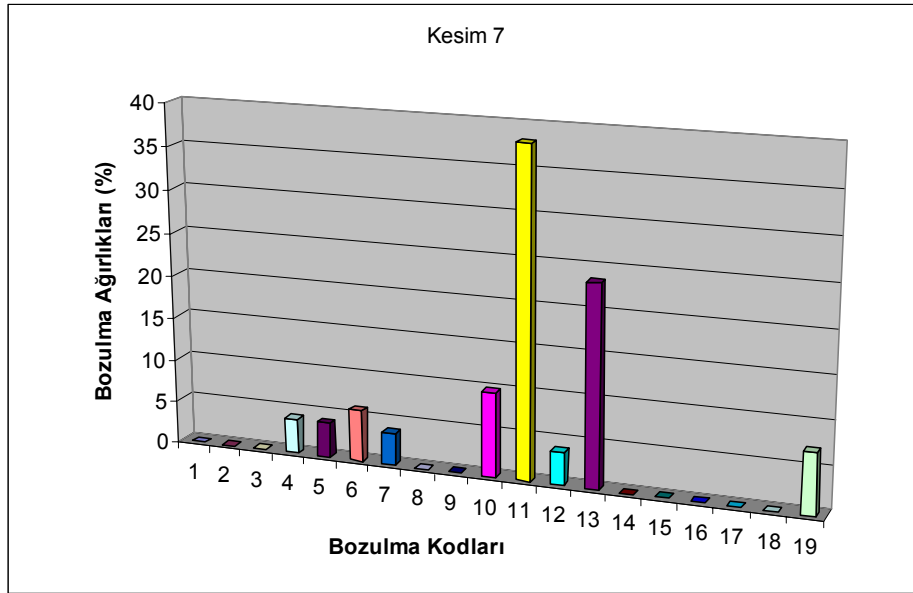
PCI değeri 93 olan Kesim 5'de yama - 11 türündeki bozulmaların %49 ağırlıkta, boyuna ve enine çatlak - 10 türündeki bozulmaların %33 ağırlıkta toplam bozulmayı etkileyen en önemli bozulma türleri olduğu görülmektedir.



Şekil 5.10 Kesim 5'de görülen bozulma türlerinin kesim içindeki ağırlıkları

İklimden kaynaklanan boyuna ve enine çatlakların fazla oluşu bu kesimin de değişen iklim etkilerinden oldukça fazla etkilendiğini göstermektedir. Hesaplanan PCI değerinden de anlaşılacağı gibi bu kesimde bozulmalar oldukça azdır. Bu nedenle kesimde bozulma ağırlıklarına bakarak yorum yapılmamıştır. Kesime ait bozulma ağırlıkları grafiği Şekil 5.10'da görülmektedir.

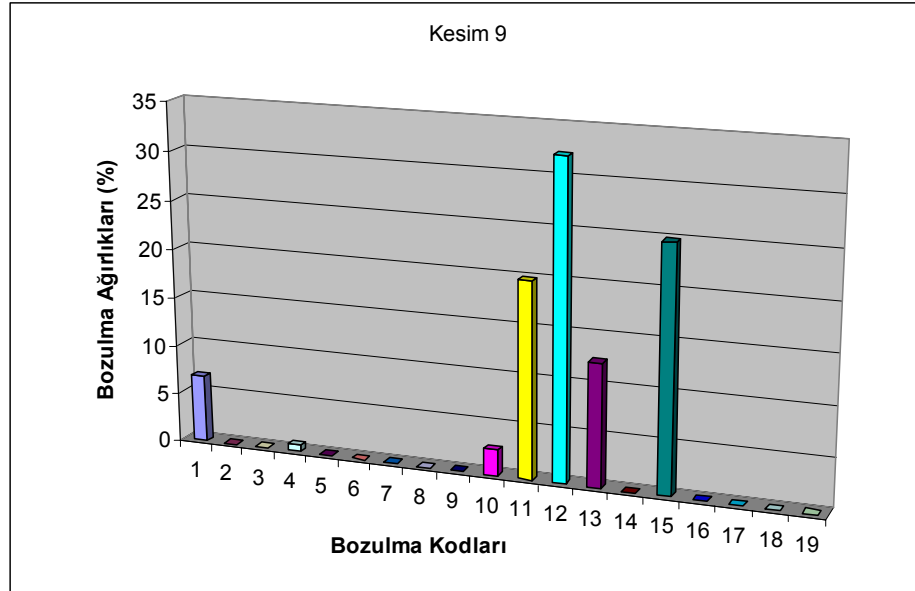
PCI değeri 85 olan Kesim 7'de yama - 11 türündeki bozulmaların %38 ağırlıkta toplam bozulmayı etkileyen en önemli bozulma türü olduğu görülmektedir. Aynı zamanda kesimde ikinci olarak %23 ağırlıkta oyulma - 13 türündeki bozulmalar görülmektedir. Taşıtlar yüklerinden kaynaklanan oyulmaların fazla oluşu kesimin aşırı dingil yüklerinden oldukça fazla etkilendiğini göstermektedir. Öte yandan iklim etkilerinden kaynaklanan boyuna ve enine çatlaklar - 10 (%10) ile sökülme ve ayrışmalar - 19 (%7)'da kesimde ağırlığını hissettirmektedir. Kesimdeki toplam bozulmalar incelendiğinde iklimden kaynaklanan bozulmalar (%17) ile yükten kaynaklanan bozulmaların (%27) birbirine yakın değerler aldığı görülmektedir. Kesimde yamaların fazla oluşu üstyapının oldukça tahribata uğramış olduğunu göstermektedir. Elde edilen bulgular, kesimde yapılacak bir yenileme çalışmasında daha önce kullanılan üstyapı tasarımının aynen uygulanabileceğini göstermektedir. Kesime ait bozulma ağırlıkları grafiği Şekil 5.11'de görülmektedir.



Şekil 5.11 Kesim 7'de görülen bozulma türlerinin kesim içindeki ağırlıkları

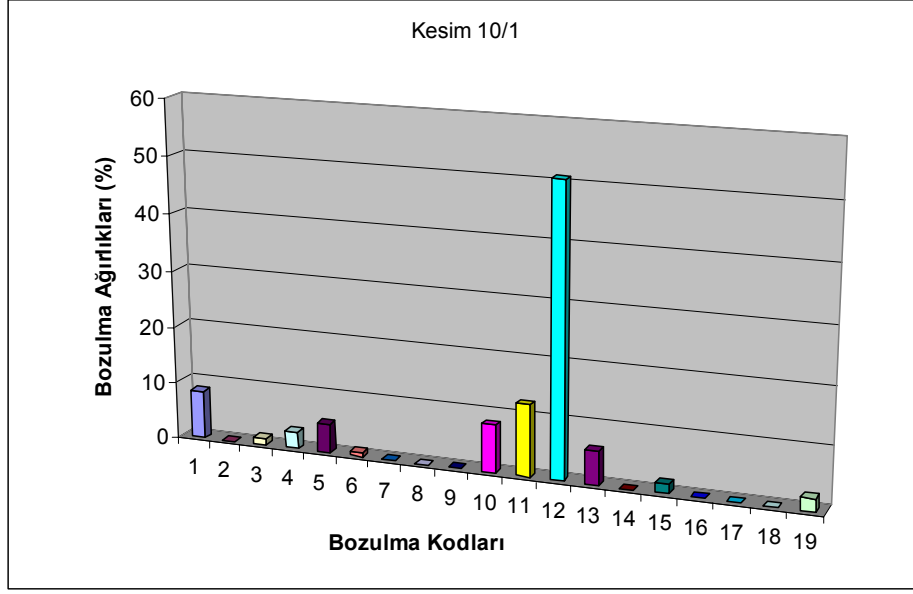
PCI değeri 67 olan Kesim 9'da Cilalanma - 12 türündeki bozulmaların %32 ağırlıkta toplam bozulmayı etkileyen en önemli bozulma türü olduğu görülmektedir. Bu bozulmayı Tekerlek

İzi - 15 (%25) ve Oyulma - 13 (%12) türündeki yükten kaynaklanan bozulmalar takip etmektedir. Birçok yönde toplu taşıma otobüslerinin kesişim noktası olan Kesim 9'da, yükten kaynaklanan bozulmaların yüksek olmasının sebebi olarak, dingil yükü ağır olan toplu taşıma otobüslerinden oluşan trafik yoğunluğunun oldukça fazla olması kabul edilebilir. Aynı zamanda tüm ağda yükten kaynaklanan en çok bozulma Kesim 9'da görülmektedir. Bu bozulmalara ilaveten Yamaların - 11 da fazla oluşu kesimde yapılacak bir yenileme çalışmasında aşırı dingil yükü etkilerine daha dayanıklı bir tasarım yapılması gerektiğini göstermektedir. Ayrıca PCI değerinin düşük olması da kesimdeki üstyapıya acilen bakım ve gerekli yerlerde onarım yapılması gerektiğini ortaya koymaktadır. Kesime ait bozulma ağırlıkları grafiği Şekil 5.12'de görülmektedir.



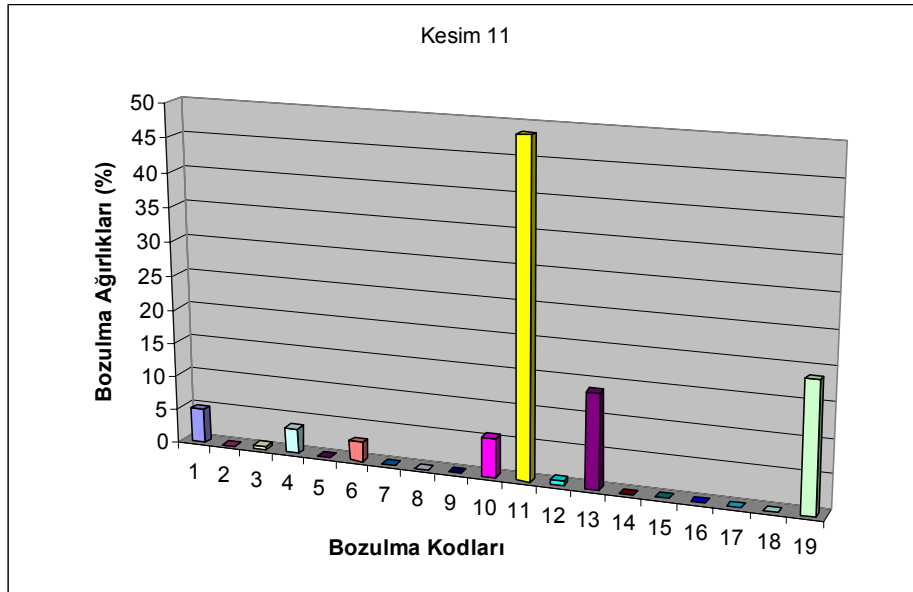
Şekil 5.12 Kesim 9'da görülen bozulma türlerinin kesim içindeki ağırlıkları

PCI değeri 77 olan Kesim 10/1'de cilalanma - 12 türündeki bozulmaların %51 ağırlıkta toplam bozulmayı etkileyen en önemli bozulma türü olduğu görülmektedir. Cilalanmaların bu kadar yüksek miktarda olmasının sebebi, kesimde oldukça fazla miktarda görülen hafif taşıt trafiği ile açıklanabilir. Özel PCI ölçeğine göre iyi durumda olan kesimde yama - 11 (%13) türündeki bozulmaların ikinci derecede önemli olduğu görülmektedir. İklim (%16) ve yükten (%12) kaynaklanan özel karakteristiğe sahip bozulmaların toplam bozulmalar üzerindeki ağırlıkları oldukça azdır. Bu nedenle, kesimde yapılacak bir yenileme çalışmasında daha önce kullanılan üstyapı tasarımının aynen uygulanabileceği söylenebilir. Kesime ait bozulma ağırlıkları grafiği Şekil 5.13'de görülmektedir.



Şekil 5.13 Kesim 10/1’de görülen bozulma türlerinin kesim içindeki ağırlıkları

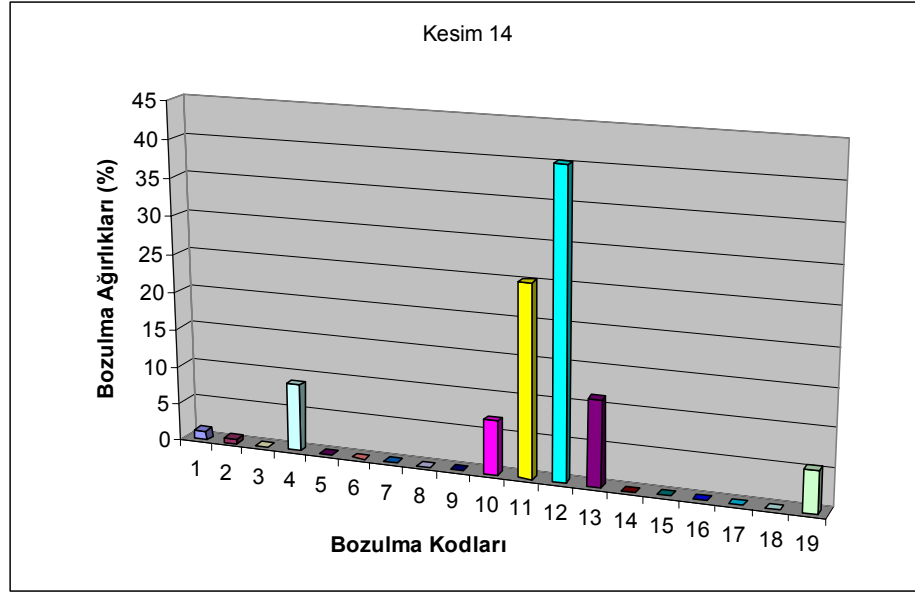
PCI değeri 58 olan Kesim 11’de yama - 11 türündeki bozulmaların %49 ağırlıkta toplam bozulmayı etkileyen en önemli bozulma türü olduğu görülmektedir. Bu bozulmayı iklim etkilerinden kaynaklanan sökülme ve ayrışmalar - 19 (%19) ile yükten kaynaklanan oyulmalar - 13 (%14) takip etmektedir. Kesimde, hesaplanan PCI değerinin düşük olmasına rağmen yükten (%19) ve iklimden (%25) kaynaklanan bozulmaların toplam bozulmaya oranla oldukça düşük ve yaklaşık olarak birbirlerine eşit olduğu görülmektedir.



Şekil 5.14 Kesim 11’de görülen bozulma türlerinin kesim içindeki ağırlıkları

Bu nedenle kesimde yapılacak bir yenileme çalışmasında daha önce kullanılan tasarımın uygun olduğu kabul edilebilir. Özel PCI ölçeğine göre acilen bakım yapılması gerektiği sonucuna ulaşılan kesime ait bozulma ağırlıkları grafiği Şekil 5.14'de görülmektedir.

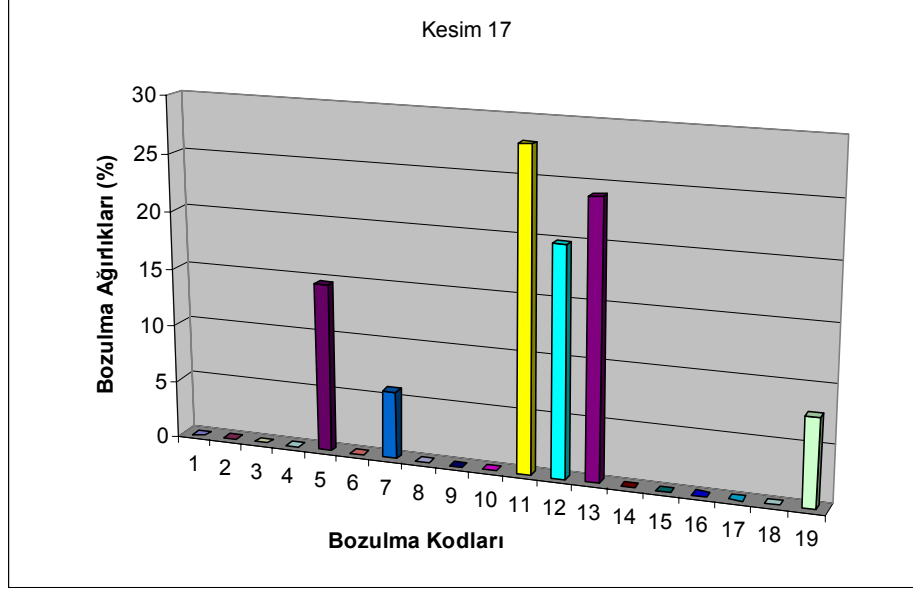
PCI değeri 77 olan Kesim 14'de cilalanma - 12 türündeki bozulmaların %40 ağırlıkta toplam bozulmayı etkileyen en önemli bozulma türü olduğu görülmektedir. Bu bozulmayı yamalar - 11 (%25) takip etmektedir. Kesimde cilalanmaların fazla oluşu, yamaların fazla oluşu ile birlikte düşünüldüğünde üstyapının oldukça yaşlı olduğunu göstermektedir. Diğer taraftan, kesim genelinde, yükten (%13) ve iklimden (%13) kaynaklanan bozulmaların birbirine eşit olmasından dolayı kesimde yapılacak bir yenileme çalışmasında daha önce kullanılan tasarımın uygun olduğu kabul edilebilir. Kesime ait bozulma ağırlıkları grafiği Şekil 5.15'de görülmektedir.



Şekil 5.15 Kesim 14'de görülen bozulma türlerinin kesim içindeki ağırlıkları

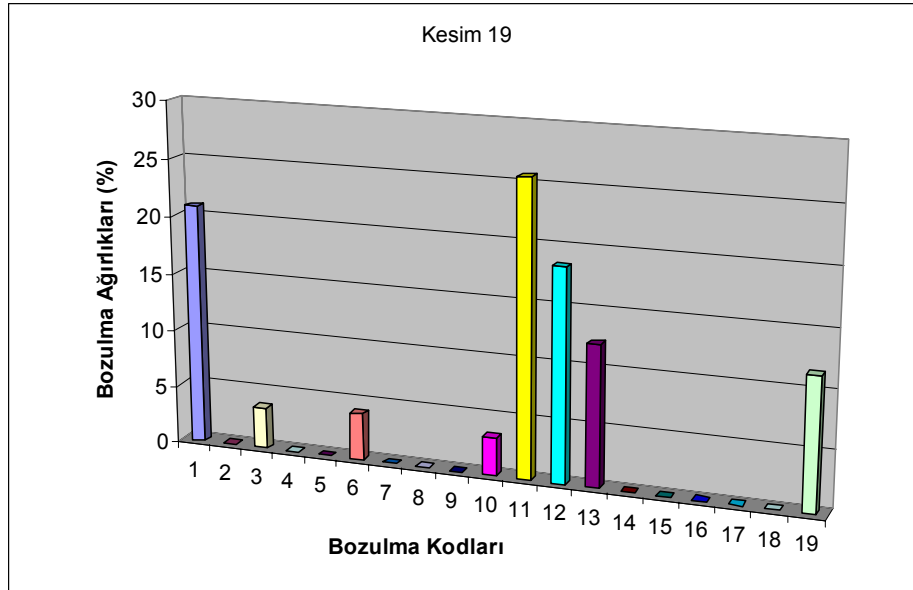
PCI değeri 50 olan Kesim 17'de yama - 11 (%28), cilalanma - 12 (%20), oyulma - 13 (%24) türündeki bozulmaların birbirlerine yaklaşık eşit ağırlıkta ve toplam bozulmayı etkileyen en önemli bozulma türleri olduğu görülmektedir. Bu bozulmaları genellikle alt tabakaların yetersizliğinden kaynaklanan ondülasyon - 5 (%15) türündeki bozulmalar takip etmektedir. Kesimde cilalanmalar ve yamaların yoğun iki bozulma türü olduğu düşünüldüğünde üstyapının oldukça yaşlı olduğu anlaşılmaktadır. Aynı zamanda kesimdeki toplam bozulmalar incelendiğinde yükten kaynaklanan bozulmaların (%30) iklimden kaynaklanan bozulmalardan (%8) oldukça fazla olduğu görülmektedir. Kabul edilen Özel PCI ölçeğine göre kesimin

acilen yenilenmesi gerektiği ve yapılacak bir yenileme çalışmasında aşırı dingil yükü etkilerine daha dayanıklı bir tasarım yapılması gerektiği sonucuna ulaşılmaktadır. Kesime ait bozulma ağırlıkları grafiği Şekil 5.16'da görülmektedir.



Şekil 5.16 Kesim 17'de görülen bozulma türlerinin kesim içindeki ağırlıkları

Son olarak, PCI değeri 61 olan Kesim 19'da yama - 11 (%26), cilalanma - 12 (%19), oyulma - 13 (%12), sökülme ve ayrışma - 19 (%12) ve timsah sırtı çatlak - 1 (%21) türündeki bozulmaların toplam bozulmayı etkileyen en önemli bozulma türleri olduğu görülmektedir.



Şekil 5.17 Kesim 19'da görülen bozulma türlerinin kesim içindeki ağırlıkları

Cilalanmalar ve yamaların oldukça yüksek oluşundan üstyapının oldukça yaşlı olduğu ve kesimde hafif taşıt trafiğinin oldukça fazla olduğu anlaşılmaktadır. Kesimdeki toplam bozulmalar incelendiğinde yükten kaynaklanan bozulmaların (%33) iklimden kaynaklanan bozulmalardan (%19) fazla olduğu görülmektedir. Sonuçlardan, kesimde yapılacak bir yenileme çalışmasında aşırı dingil yükü etkilerine daha dayanıklı bir tasarım yapılması gerektiğini rahatlıkla söylenebilmektedir. Ayrıca PCI değerinin düşük olması da kesimdeki üstyapıya acilen bakım ve gerekli yerlerde onarım yapılması gerektiğini ortaya koymaktadır. Kesime ait bozulma ağırlıkları grafiği Şekil 5.17’de görülmektedir.

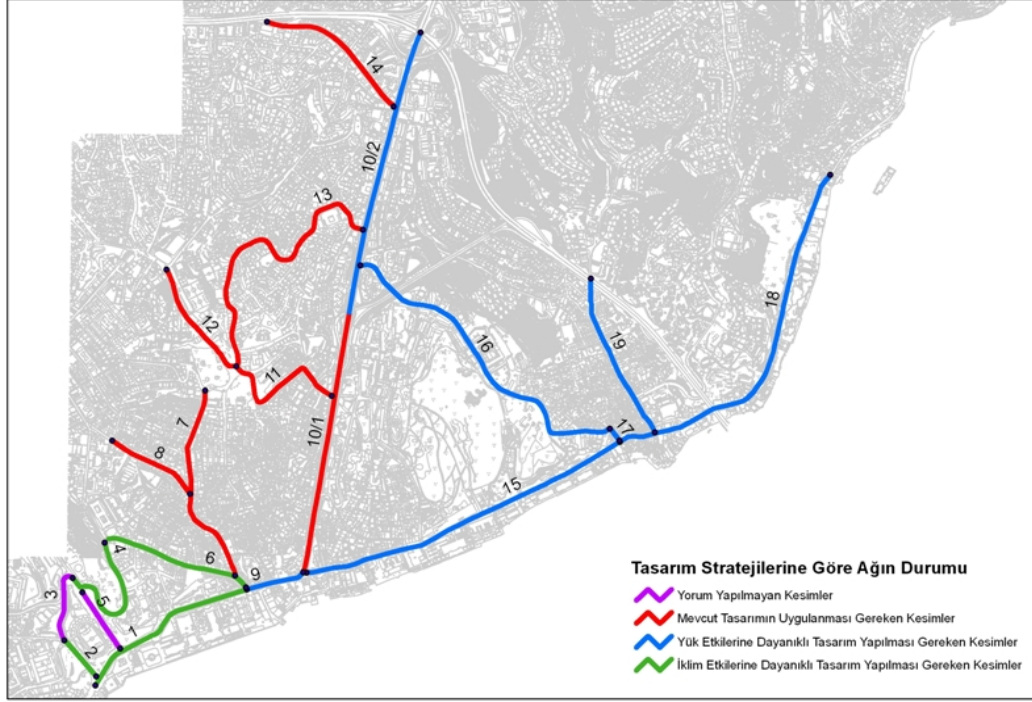
Yukarıda bazı kesimler için detaylıca tartışılarak belirlenen kararlar, tüm kesimler için Çizelge 5.10’da gösterilmiştir.

Çizelge 5.10 Kesimlerde yapılacak yenileme çalışmasında belirlenen kararlar

<b>Kesim 1</b>	İklim etkilerine dayanıklı tasarım yapılmalıdır
<b>Kesim 2</b>	İklim etkilerine dayanıklı tasarım yapılmalıdır
<b>Kesim 3</b>	Yorum yapılmamıştır
<b>Kesim 4</b>	İklim etkilerine dayanıklı tasarım yapılmalıdır
<b>Kesim 5</b>	Yorum yapılmamıştır
<b>Kesim 6</b>	İklim etkilerine dayanıklı tasarım yapılmalıdır
<b>Kesim 7</b>	Mevcut tasarım kullanılmalıdır
<b>Kesim 8</b>	Mevcut tasarım kullanılmalıdır
<b>Kesim 9</b>	Yük etkilerine dayanıklı tasarım yapılmalıdır
<b>Kesim 10/1</b>	Mevcut tasarım kullanılmalıdır
<b>Kesim 10/2</b>	Yük etkilerine dayanıklı tasarım yapılmalıdır
<b>Kesim 11</b>	Mevcut tasarım kullanılmalıdır
<b>Kesim 12</b>	Mevcut tasarım kullanılmalıdır
<b>Kesim 13</b>	Mevcut tasarım kullanılmalıdır
<b>Kesim 14</b>	Mevcut tasarım kullanılmalıdır
<b>Kesim 15</b>	Yük etkilerine dayanıklı tasarım yapılmalıdır
<b>Kesim 16</b>	Yük etkilerine dayanıklı tasarım yapılmalıdır
<b>Kesim 17</b>	Yük etkilerine dayanıklı tasarım yapılmalıdır
<b>Kesim 18</b>	Yük etkilerine dayanıklı tasarım yapılmalıdır
<b>Kesim 19</b>	Yük etkilerine dayanıklı tasarım yapılmalıdır

Ağda bulunan her kesim için yapılan bu değerlendirmeler ve geliştirilen tasarım stratejilerine göre tüm ağın durumu Şekil 5.18’de gösterilmiştir. Şekilden de rahatlıkla görülebildiği gibi ağın güney-batısındaki kesimler genellikle iklim etkilerinden, trafik yoğunluğu fazla olan doğusundaki kesimler ise yük etkilerinden oldukça fazla etkilenmiştir.





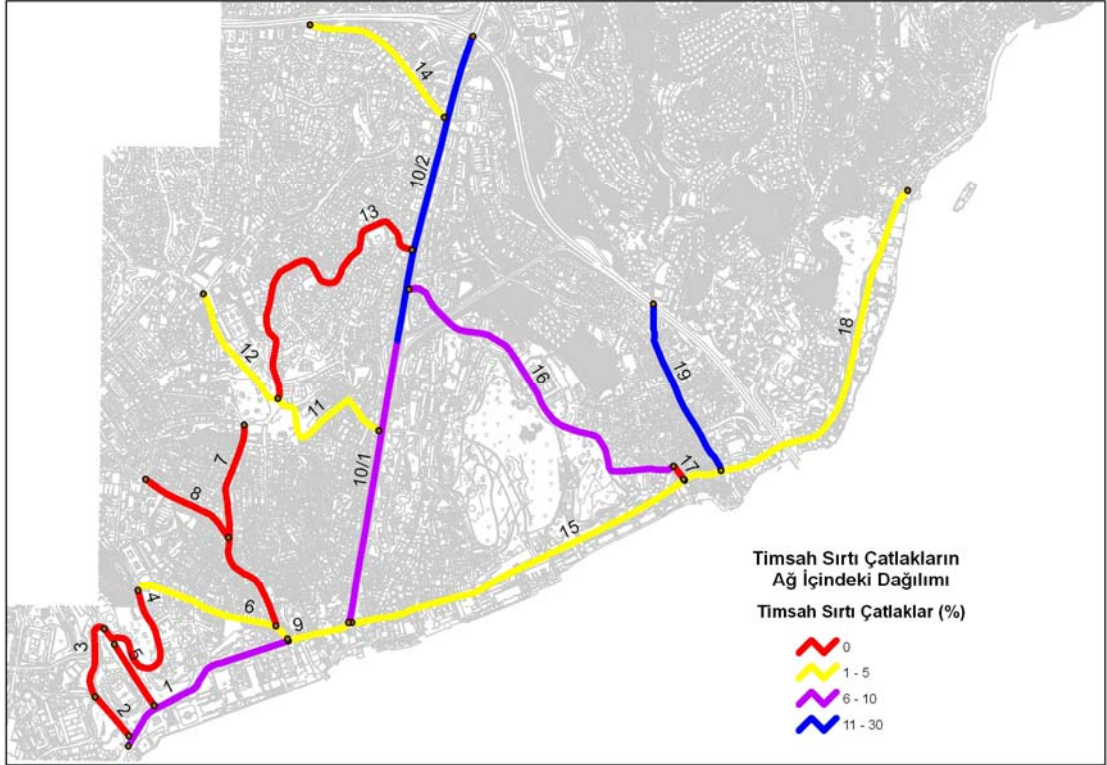
Şekil 5.18 Geliştirilen tasarım stratejilerine göre tüm ağın durumu

Her kesimin mevcut durumunun değerlendirilmesinin ardından ağın durumu bozulma tiplerine göre de değerlendirilmiştir. Üstyapılarda görülen her bozulma türünün ağın içindeki dağılımları yüzde olarak Çizelge 5.11’de gösterilmiştir.

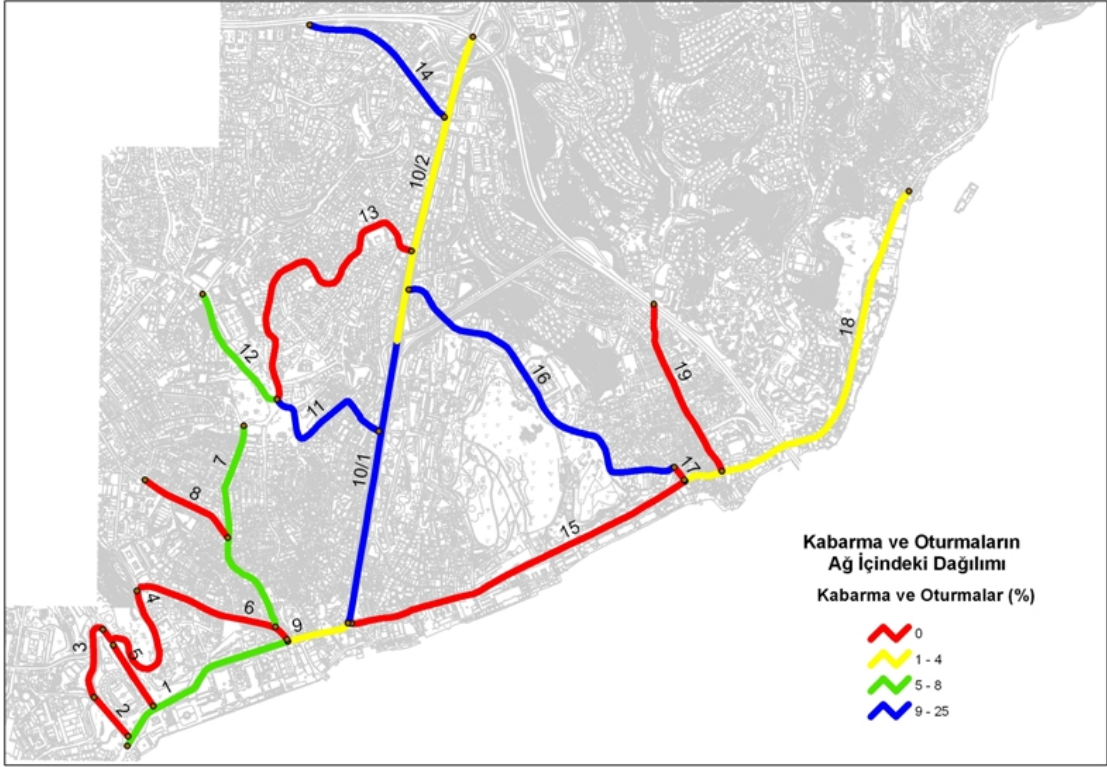
Çizelge 5.11 Üstyapılarda görülen bozulma türlerinin ağın içindeki dağılımları (%)

Bozulma Kodu	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Kesim 1	7	0	0	6	0	4	6	0	0	18	2	5	2	0	7	2	0	0	26
Kesim 2	0	0	0	0	15	0	0	0	0	3	1	3	0	0	0	0	0	0	1
Kesim 3	0	20	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	3	0	0	0	0
Kesim 4	0	0	0	0	0	7	0	0	0	17	7	1	0	0	0	0	0	0	2
Kesim 5	0	0	0	0	0	3	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Kesim 6	2	0	0	0	2	1	0	0	0	4	3	0	0	0	0	0	0	0	1
Kesim 7	0	0	0	8	4	8	20	0	0	3	4	0	6	0	0	0	0	0	2
Kesim 8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	4	8	0	0	0	0	0	11
Kesim 9	4	20	0	2	0	0	0	0	0	1	4	6	5	0	25	0	0	0	0
Kesim 10/1	8	0	12	16	12	2	0	0	0	6	4	16	4	0	3	0	0	0	2
Kesim 10/2	30	0	24	3	0	0	29	0	0	8	5	13	5	0	0	0	100	0	0
Kesim 11	4	0	4	15	0	7	0	0	0	3	11	0	7	0	0	0	0	0	12
Kesim 12	3	0	0	5	0	13	0	0	0	2	4	1	8	0	0	0	0	0	10
Kesim 13	0	0	0	0	8	14	0	0	0	6	10	8	14	0	0	39	0	0	6
Kesim 14	1	60	0	25	0	0	0	0	0	3	4	7	4	0	0	0	0	0	2
Kesim 15	3	0	0	0	6	0	0	0	0	5	6	9	5	0	25	0	0	0	5
Kesim 16	10	0	20	16	0	13	16	0	0	3	9	8	4	0	5	0	0	0	2
Kesim 17	0	0	0	0	10	0	24	0	0	0	3	2	5	0	0	0	0	0	2
Kesim 18	5	0	0	4	42	14	4	0	100	11	10	11	16	0	32	59	0	0	6
Kesim 19	23	0	40	0	0	15	1	0	0	3	8	6	9	0	0	0	0	0	10

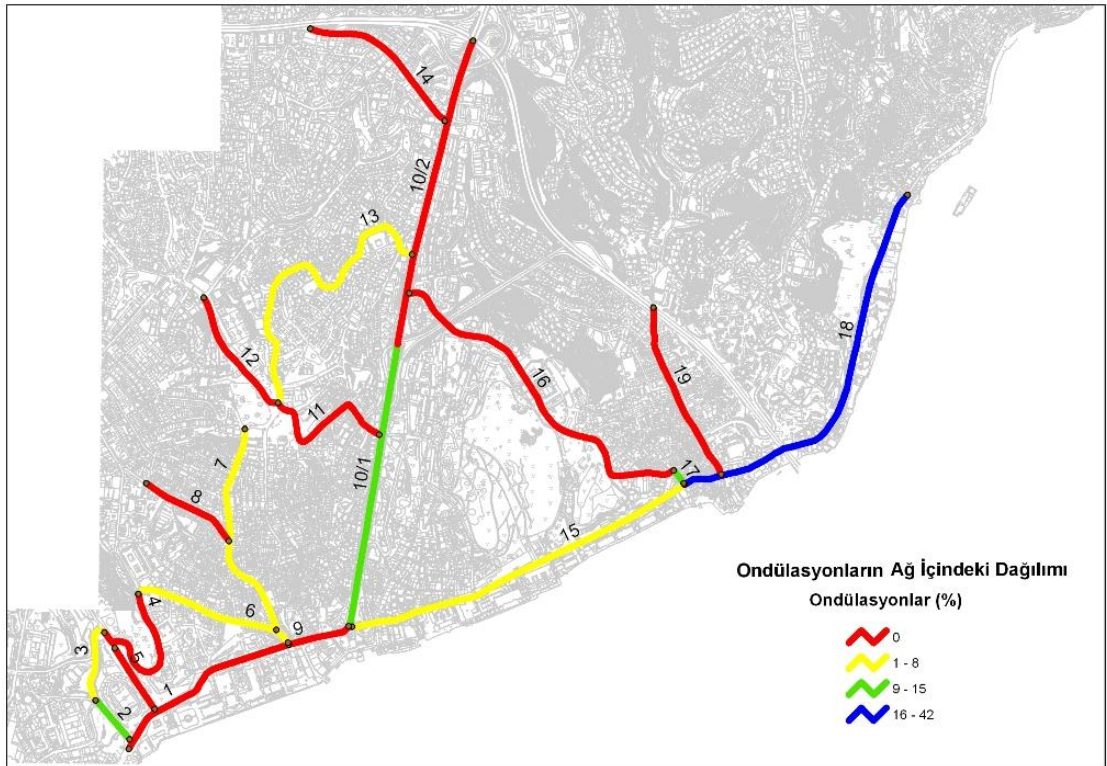
Daha önce de belirtildiği gibi ağda yansıma çatlakları - 8, demiryolu geçişi - 14 ve şişme - 18 türündeki bozulmalara hiç rastlanmamıştır. Üstyapılardaki bozulmaların oluşmasında ağırlıklı etkili olan timsah sırtı çatlakları - 1, kabarma ve oturma - 4, ondülasyon - 5, çökme - 6, kenar çatlakları - 7, boyuna ve enine çatlak - 10, yama - 11, cilalanma - 12, oyulma - 13, tekerlek izi - 15, sökülme ve ayrışma - 19 türlerindeki 11 tip bozulmanın ağ içindeki dağılımları Şekil 5.19-5.29'da grafik olarak sunulmuştur.



Şekil 5.19 Timsah sırtı çatlakların ağdaki kesimlere dağılımı

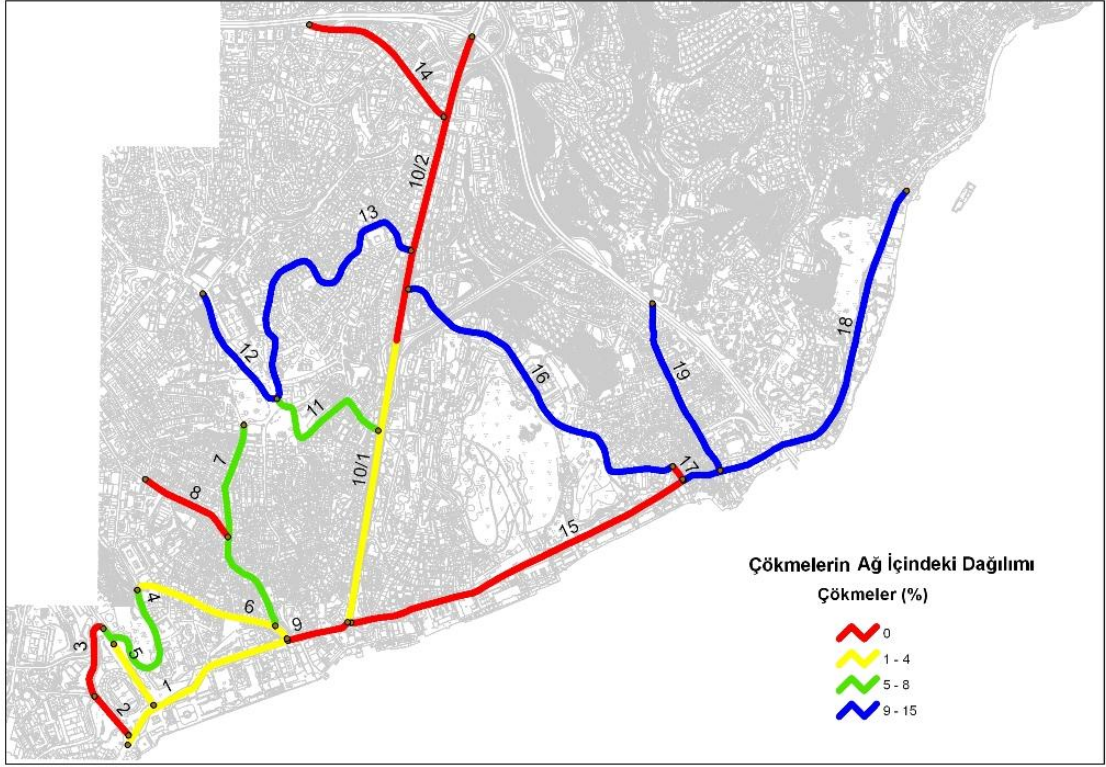


Şekil 5.20 Kabarma ve oturmaların kesimlere dağılımı

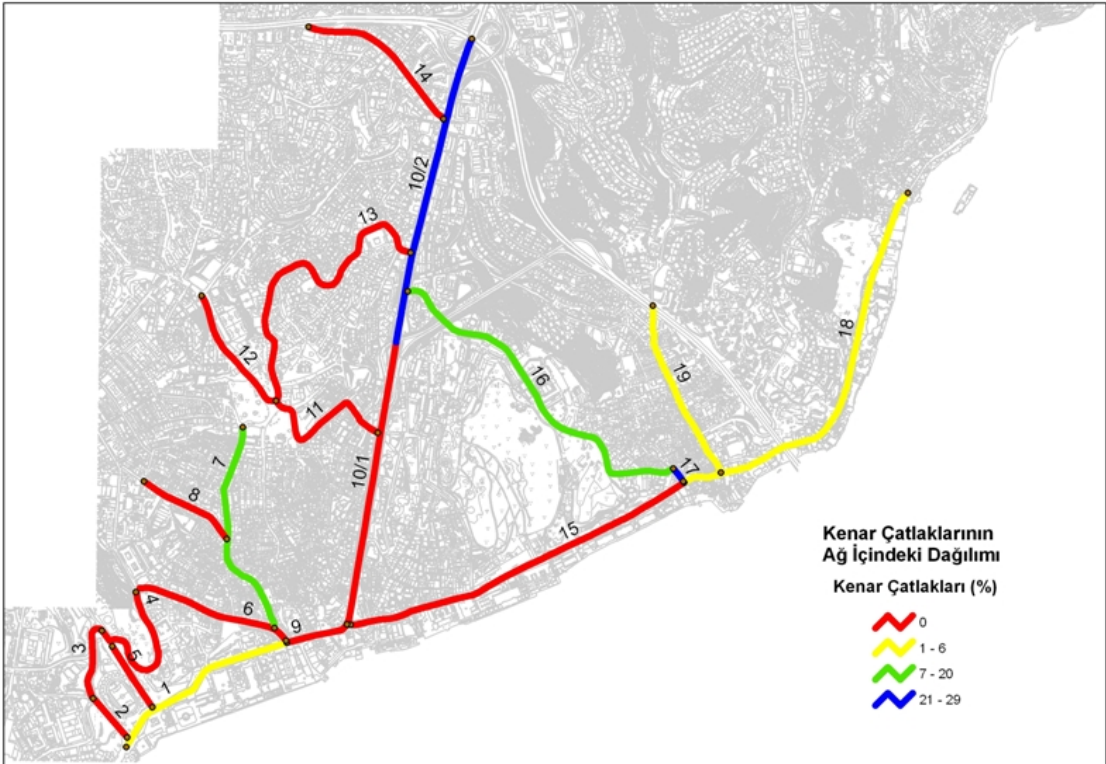


Şekil 5.21 Ondülasyonların kesimlere dağılımı

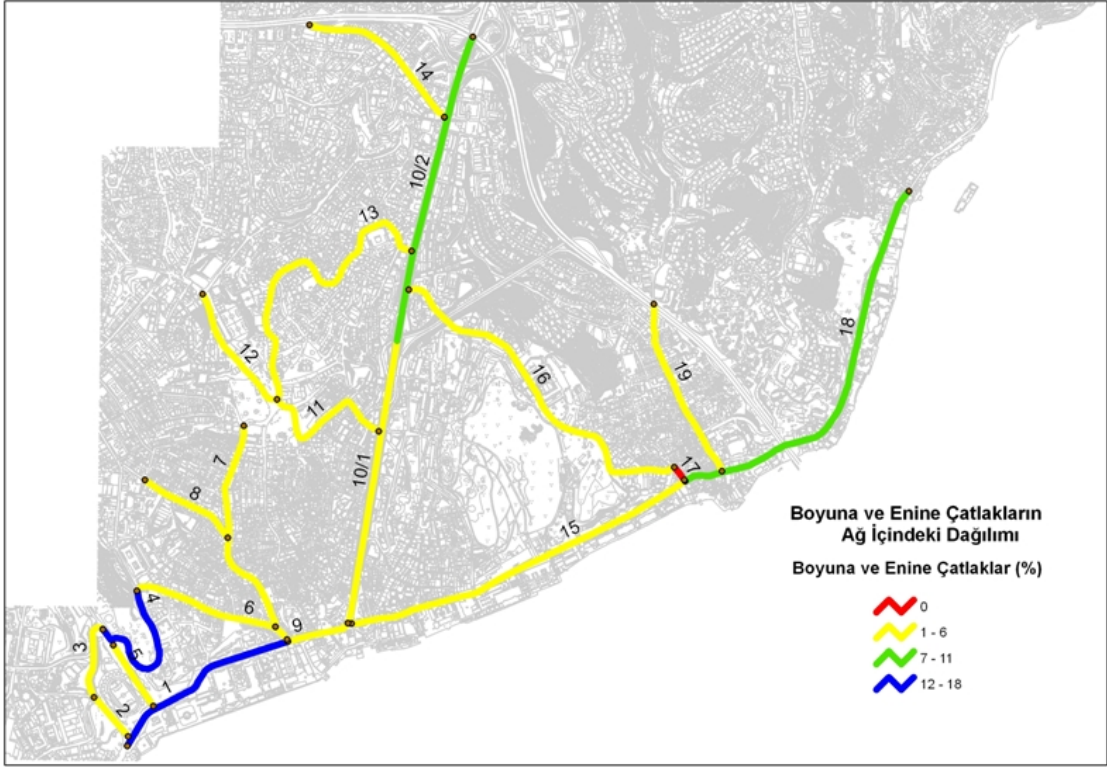




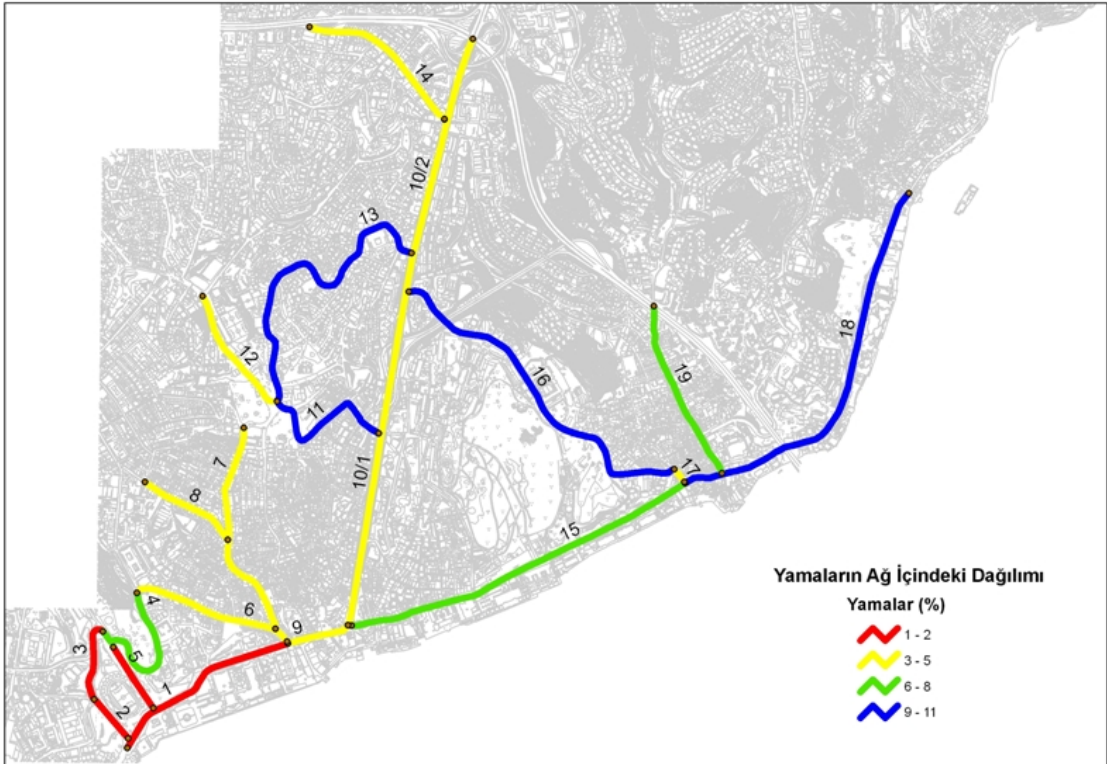
Şekil 5.22 Çökmelerin kesimlere dağılımı



Şekil 5.23 Kenar çatlaklarının kesimlere dağılımı

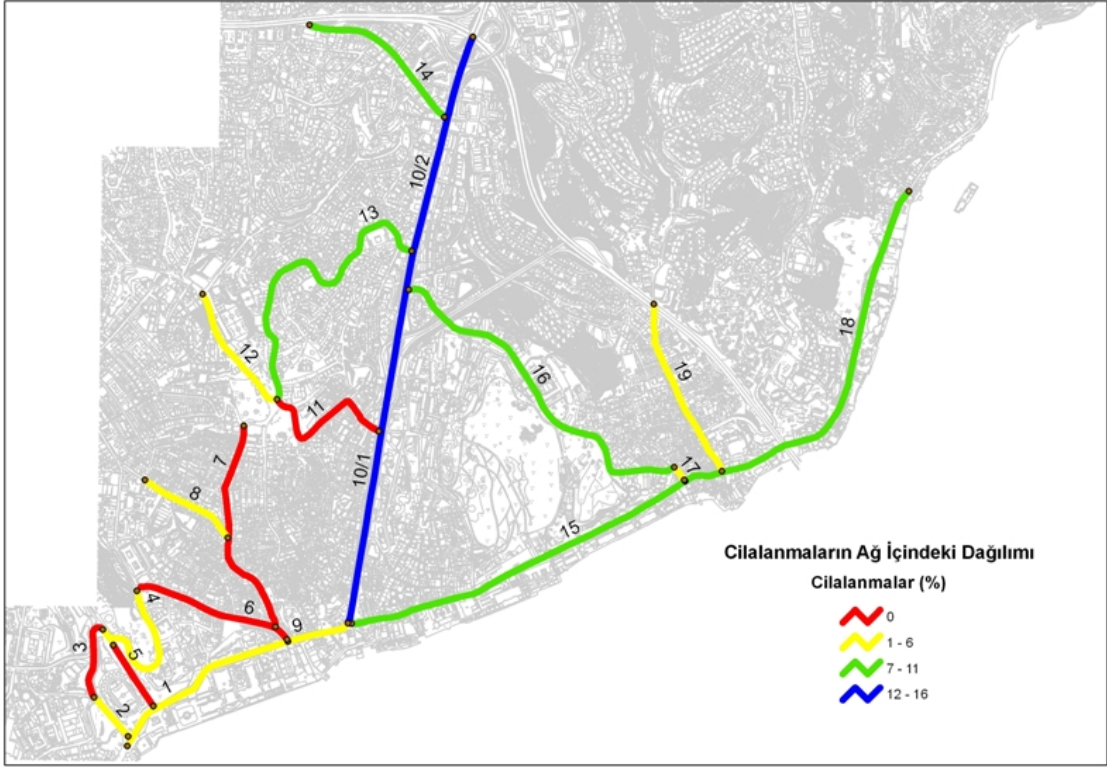


Şekil 5.24 Boyuna ve enine çatlakların kesimlere dağılımı

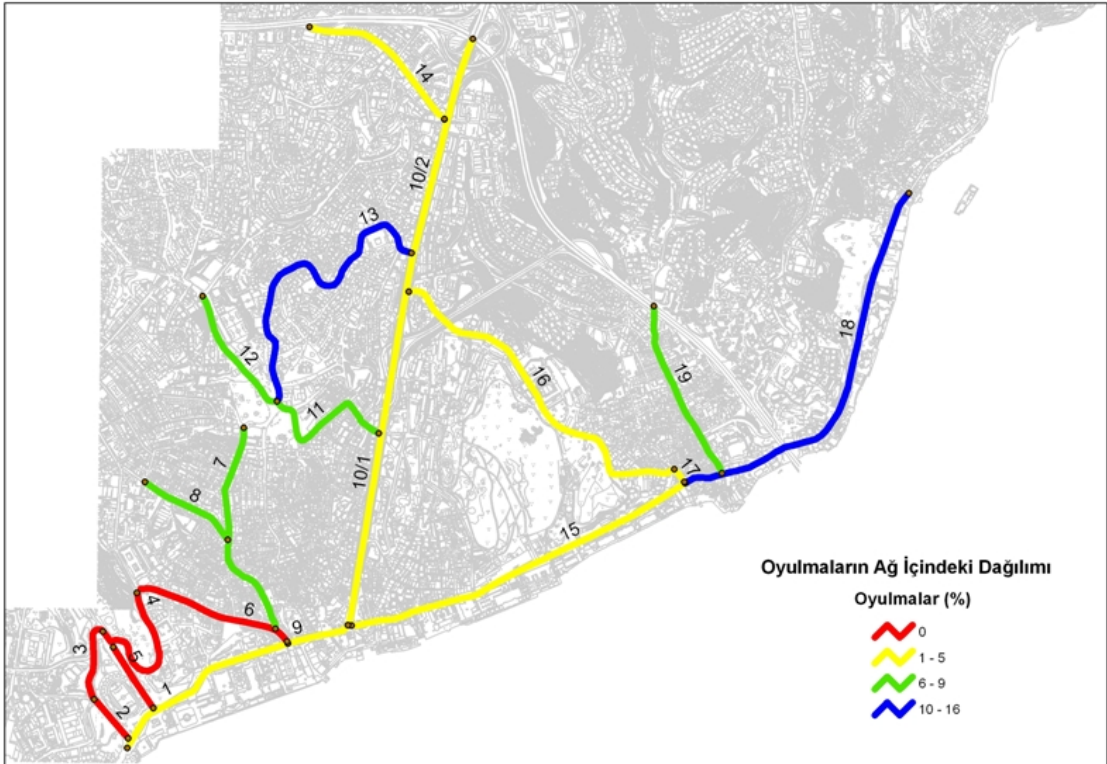


Şekil 5.25 Yamaların kesimlere dağılımı

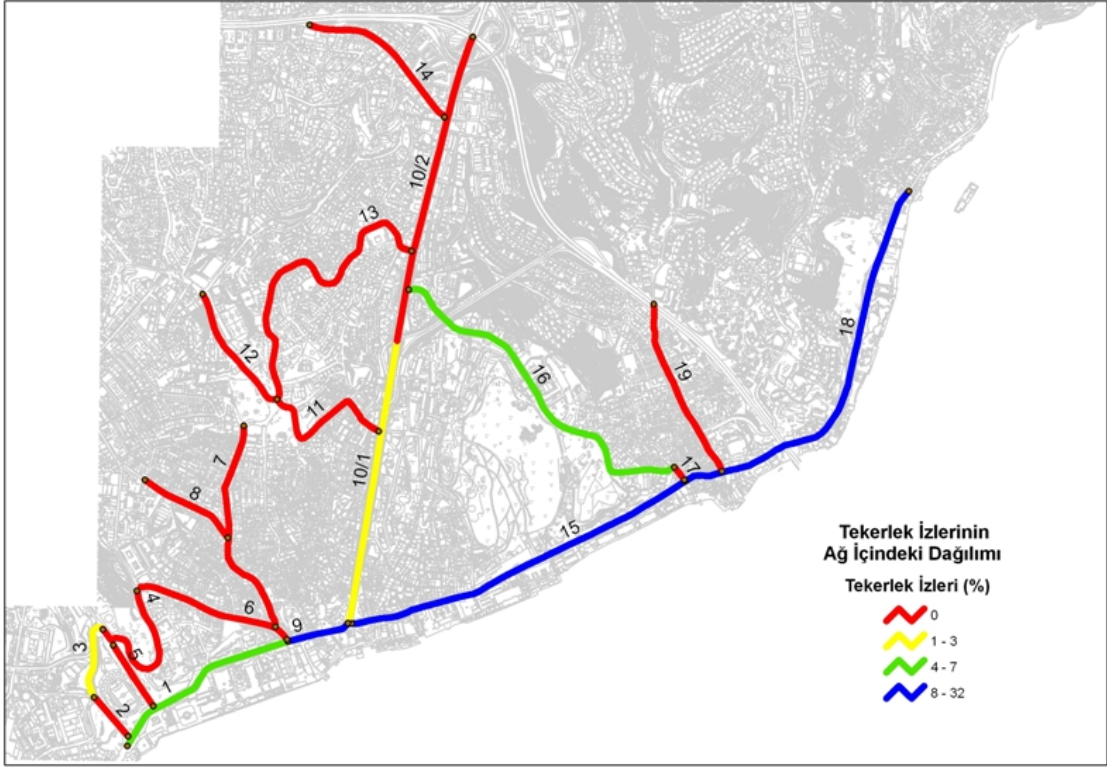




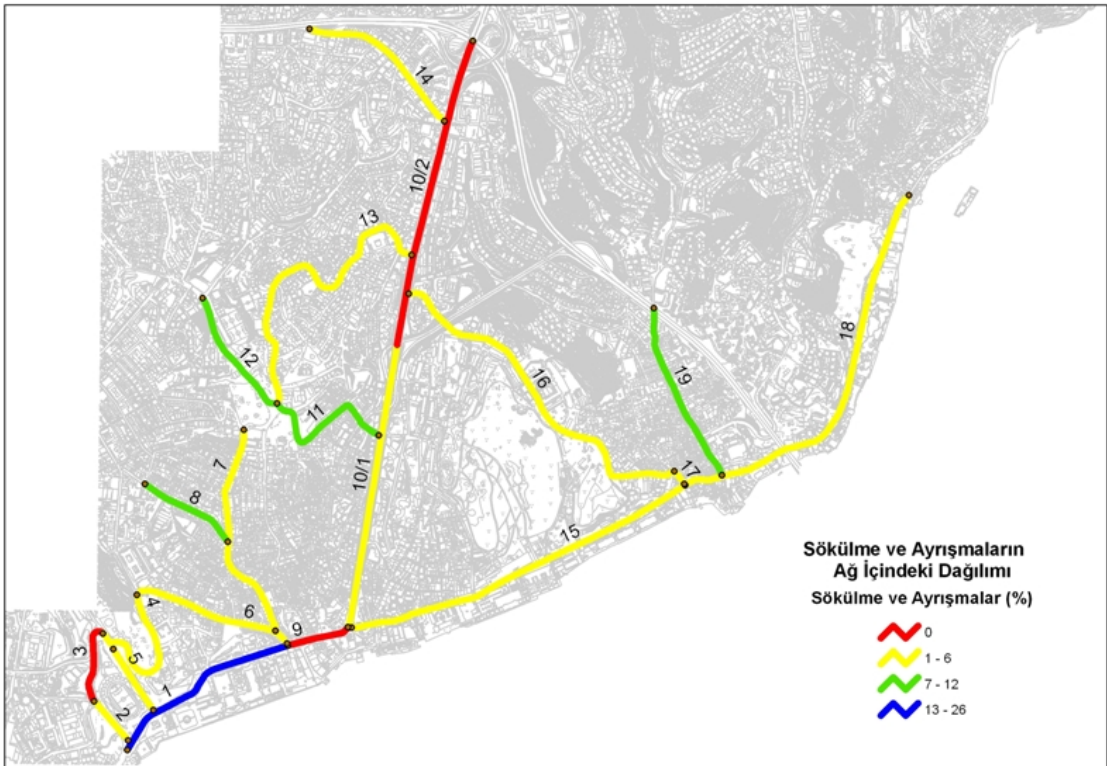
Şekil 5.26 Cıllanmaların kesimlere dağılımı



Şekil 5.27 Oyulmaların kesimlere dağılımı



Şekil 5.28 Tekerlek izlerinin kesimlere dağılımı



Şekil 5.29 Sökülme ve ayrışmaların kesimlere dağılımı

Tüm değerlendirmelerin neticesinde elde edilen bu sonuçların proje düzeyinde bir ÜYS'de üstyapı tasarım kararlarının yanında ağ düzeyine bir ÜYS'de bütçe kararlarının alınmasında da kullanılabilir nitelikte olduğu görölmektedir. Bu anlamda kısıtlı bütçelerle ve aletli ölçümler yapılmaksızın çalışan aynı zamanda, üstyapının durumunu belirlemede hazırlanmış abakları kullanan diğer bir deyişle matematiksel altlığı oldukça güçlü olan bu sebeple de uzman ihtiyacını minimum düzeyde tutan PAVER sisteminin İstanbul gibi bir şehirde yönetim sistemi oluşturmak için uygun bir sistem olduğu düşünülebilir.



## 6. SONUÇLAR

Üstyapı Yönetim Sistemi, sistem genelindeki tüm işlerin koordinasyonunu kurarak, temelde 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 İstanbul gibi yaklaşık 12 milyon insanın bir arada yaşadığı, 4500 km'lik anaarter yol ağına sahip ve yılda yaklaşık 150 milyon YTL asfalt yatırımının yapıldığı bir şehirde üstyapıları yöneten bir sistemin bulunması zorunluluğu kaçınılmazdır.

Yapılan araştırmalar 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, İstanbul'da kurulacak bir ÜYS için, tüm parametreler titizlikle incelenerek ve eldeki imkanlar araştırılarak dünyada kullanılan mevcut sistemlerden birinin uygulanabilirliği denetlenmeli veya İstanbul'a özel bir ÜYS geliştirilmelidir.

Çalışmada öncelikle, ÜYS kavramı açıklanarak kullanıcı düzeyleri hakkında bilgiler verilmiş, günümüze kadar kullanılan verilerin sınıflandırılarak yönetim düzeylerinde ne amaçlar için kullanılabileceğine değinilmiş ve ayrıca verilerin toplanmasında kullanılan ekipmanlar hakkında oluşum süreçlerine değinilerek bilgiler verilmiştir. Daha sonra 1970'lerde geliştirilen PAVER sisteminin ağ tanımlaması anlatılmış ve sistemin kullandığı üstyapı durumunu gösteren PCI indeksinin hesaplanma prosedürü açıklanmıştır. Ayrıca PAVER sisteminin üstyapı bozulmalarını sınıflandırmada kullandığı ASTM D 6433-99 standardına göre bozulma türleri, oluşma nedenleri ve toplanma biçimleri her bozulma düzeyinde (düşük, orta, yüksek) rastlanacak detaylarla anlatılmış ve resimlerle örneklendirilmiştir.

Ardından, PAVER sisteminin kesim belirleme yöntemine sadık kalınarak aynı zamanda, İBB Yol Bakım Onarım Müdürlüğü'nün kabul ettiği sistem de gözetilerek, Beşiktaş ilçesi ana arter yol ağında toplam 20 kesimlik bir ağ oluşturulmuştur. Seçilen bu kesimlerde PAVER sistemi uygulanarak bu yollara ait üstyapıların PCI değerleri hesaplanmıştır. Her kesim için ayrı ayrı bulunan PCI değerleri ile önce toplam 7 farklı kalite sınıfı bulunan Standart PCI ölçeği kullanılarak ağın mevcut durumu ortaya konmuş daha sonra, 3 farklı kalite sınıfı bulunan Özel PCI ölçeğine göre PCI değeri 70 ile 100 arasında (Yeterli) olan kesimlerin iyi durumda olduğu, PCI değeri 55 ile 70 arasında (Bozulmuş) olan kesimlerin bakım veya onarım

gerektirdiği ve PCI değeri 0 ile 55 arasında (Yetersiz) olan kesimlerin yeniden yapılması gerektiği kabulü yapılarak ağın mevcut durumu incelenmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda ağda üstyapıların 12 kesimde iyi durumda olduğu, 7 kesimde bakım ve gerekli yerlerde onarımların yapılması gerektiği ve 1 kesimin de yenilenmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Daha sonra, proje düzeyi bir değerlendirmeye altlık teşkil etmek üzere ağın genelinde ve her kesimde görülen bozulma nedenleri sonuç değer yaklaşımı ile değerlendirilerek görülen bozulmalar yorumlanmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, iklimden ve yükten kaynaklanan bozulmaların yaklaşık birbirine eşit olduğundan ve “diğer” nedenlerle oluşan bozulmalardan küçük olduğundan ağın geneli için kullanılan üstyapı tasarımının uygun olduğu inancına varılmıştır. Fakat proje düzeyinde değerlendirmenin doğası gereğince her kesimin bağımsız olarak incelenmesi ve ayrı çıkarımlar yapılması gerektiğinden kesimler bağımsız olarak da değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmenin sonucunda yapılacak herhangi bir yenileme çalışmasında 1, 2, 4 ve 6 nolu kesimlerde iklim etkilerine dayanıklı tasarımın yapılması gerektiği, 9, 10/2, 15, 16, 17, 18 ve 19 nolu kesimlerde yük etkilerine dayanıklı tasarımın yapılması gerektiği, 7, 8, 10/1, 11, 12, 13 ve 14 nolu kesimlerde ise daha önce kullanılan tasarımın uygun olduğu sonuçlarına ulaşılmıştır. 3 ve 5 nolu kesimlerde PCI değerlerinin oldukça yüksek olmasından dolayı yorum yapılmamıştır. Son olarak da ağda en çok görülen 11 türdeki bozulmanın kesimlere dağılımları hesaplanmış ve her bozulma için ağın durumu CBS yardımıyla grafik olarak gösterilmiştir.

Sonuç olarak, PAVER sistemi kullanılarak proje düzeyinde bir ÜYS oluşturmak için gerekli altlık elde edilmiş ve İstanbul için oluşturulabilecek, gerek ağ düzeyinde gerekse proje düzeyinde bir ÜYS'nin temelleri atılmıştır. Ayrıca, çalışmanın sonraki aşamalarında, kesimlerin PCI değerlerinin her yıl belirlenmeye devam edilerek bölgeye özgü bir performans bozulma modelinin oluşturulması ve ayrılan bütçenin belirlenmesi ile Ağ ve Proje düzeyinde bir yönetim sisteminin kurulması planlanmaktadır. Aynı zamanda, kurulacak bir ÜYS ile kısıtlı olan kaynaklarımızın daha verimli bir biçimde kullanılabilceği ve yol üstyapısından kaynaklanan trafik kazaları, sürüş konforsuzluğu gibi olumsuzlukların önüne geçilebileceği düşünölmektedir.

**KAYNAKLAR**

- Amado V., (2000), "Expanding the Use of Pavement Management Data", 2000 MTC Transportation Scholars Conference, Ames / Iowa.
- Ay S., (2001), Antalya Bölgesindeki Devlet Yollarının Üstyapı Performanslarının Analizi ve İyileştirme Çalışmaları, Yüksek Lisans Tezi, AÜ 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.
- Cafiso S., Graziano A., Battiato S., (2006), "Evaluation of Pavement Surface Distress Using Digital Image Collection and Analysis", Seventh International Congress on Advances in Civil Engineering, 11-13 October 2006, Istanbul/Turkey.
- 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.
- Haas R., Hudson W. R., Zaniewski J., (1994), Modern Pavement Management, Krieger Publishing Company, Florida.
- İyınam Ş., (1997), Karayollarında Üstyapı Bakım Çalışmalarını Planlama Metodolojisi, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- 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.
- Miller J. S., Bellinger W. Y., (2003), Distress Identification Manual for the Long Term Pavement Performance Program, Office of Insfrastructure Research and Development Federal Highway Administration, Springfield.
- OECD (1987), Pavement Management Systems, Road Transport Research, Report Prepared by An OECD Scientific Expert Group, Organisationfor Economic Co-operation and Development , OECD, Paris.
- Özen H., (2004), Karayolu Üstyapısı Ders Notları, İstanbul (yayınlanmamış).
- 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.
- Shahin M. Y., (2002), Pavement Management for Airports, Roads and Parking Lots, Kluwer Academic Publishers, London.
- 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), Uydü Görüntüleri Yardımıyla Yol Üstyapısında Meydana Gelen Değişimlerin Otomatik Tespiti ve Yol Bakım Planlaması, Yüksek Lisans Tezi, GYTE Fen Bilimleri Enstitüsü.

Terzi S., (2004), Coğrafi Bilgi Sistemi Yardımıyla Karayolu Üstyapı Bakım Yönetim Modeli Geliştirilmesi, Doktora Tezi, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

Terzi S., (2005), “Modeling the Pavement Serviceability Ratio of Flexible Highway Pavements by Artificial Neural Networks”, Construction and Building Materials, 1-4.

Terzi S., (2006), “Modeling The Pavement Present Serviceability Index of Flexible Highway Pavements Using Data Mining”, Journal of Applied Science, 6(1):193-197.

Umar F., Ağar E., (1985), Yol üstyapısı, Teknik Yayınevi, İstanbul.

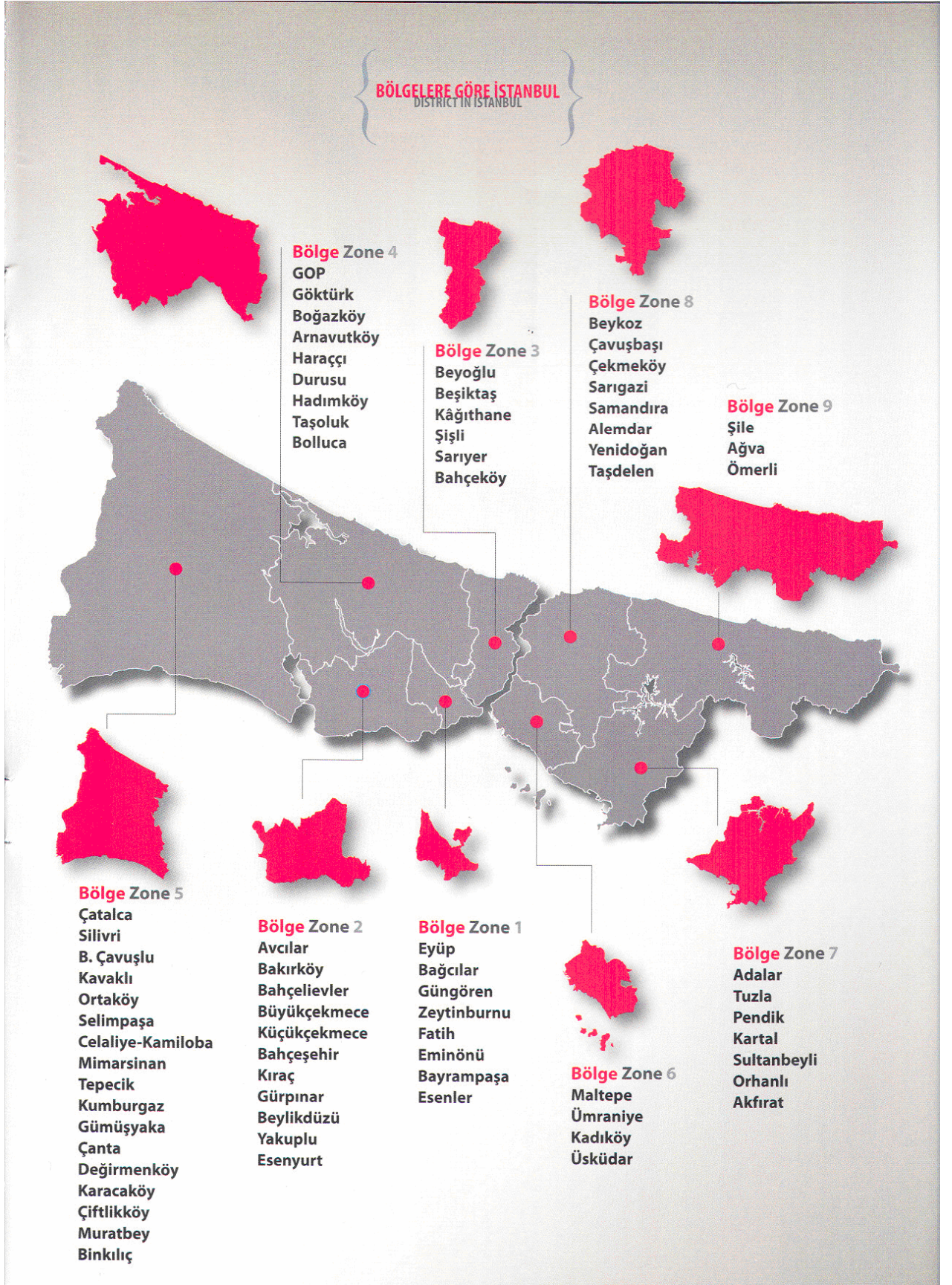
Wang K. C. P., (2000), “Design and Implementations of Automated Systems for Pavement Surface Distress Survey”, Journal of Infrastructure Systems, 6(1):24-34.

Zimmerman K. A., Knox R., (1998), “Improving IDOT’s Pavement Condition Rating Process”, Journal of Infrastructure Systems, 4(2):79-85.

**EKLER**

- Ek 1 İstanbul Büyükşehir Belediyesi Yol Bakım Onarım Müdürlüğü İstanbul İli Hizmet Bölgeleri
- Ek 2 Üstyapı Durumu İnceleme Sayfası
- Ek 3 Kesim 11 için Örnek alanlara ait PCI Hesaplama Tabloları

## Ek 1 İBB Yol Bakım Onarım Müdürlüğü İstanbul İli Hizmet Bölgeleri







**Ek 3 Kesim 11 için Örnek alanlara ait PCI Hesaplama Tabloları**

Ör. Alan	1	m = 7,24		Sonuç Değer						Toplam	q	CDV
1	32	32	22	2						88	3	56
2	32	32	2	2						68	2	50
3	32	2	2	2						38	1	38
4										0	0	
5										0	0	
6										0	0	
7										0	0	
8										0	0	
9										0	0	
10										0	0	
											Sonuç	56

Ör. Alan	2	m = 8,07		Sonuç Değer						Toplam	q	CDV
1	23	14	11							48	3	30
2	23	14	2							39	2	29
3	23	2	2							27	1	27
4										0	0	
5										0	0	
6										0	0	
7										0	0	
8										0	0	
9										0	0	
10										0	0	
											Sonuç	30

Ör. Alan	3	m = 8,07		Sonuç Değer						Toplam	q	CDV
1	23	14	11							48	3	30
2	23	14	2							39	2	29
3	23	2	2							27	1	27
4										0	0	
5										0	0	
6										0	0	
7										0	0	
8										0	0	
9										0	0	
10										0	0	
											Sonuç	30



Ör. Alan	4	m =	7,15	Sonuç Değer							Toplam	q	CDV
1	33	24	14							71	3	45	
2	33	24	2							59	2	43	
3	33	2	2							37	1	37	
4										0	0		
5										0	0		
6										0	0		
7										0	0		
8										0	0		
9										0	0		
10										0	0		
											Sonuç	45	

Ör. Alan	5	m =	6,88	Sonuç Değer							Toplam	q	CDV
1	36	18	15	9	4					82	5	42	
2	36	18	15	9	2					80	4	45	
3	36	18	15	2	2					73	3	47	
4	36	18	2	2	2					60	2	44	
5	36	2	2	2	2					44	1	44	
6										0	0		
7										0	0		
8										0	0		
9										0	0		
10										0	0		
											Sonuç	47	

Ör. Alan	33	m =	7,43	Sonuç Değer							Toplam	q	CDV
1	30	8	8	4						50	4	26	
2	30	8	8	2						48	3	30	
3	30	8	2	2						42	2	31	
4	30	2	2	2						36	1	36	
5										0	0		
6										0	0		
7										0	0		
8										0	0		
9										0	0		
10										0	0		
											Sonuç	36	

Ör. Alan	34	m =	7,89	Sonuç Değer							Toplam	q	CDV
1	25	19	7	6	4	2					63	5	31
2	25	19	7	6	2	2					61	4	33
3	25	19	7	2	2	2					57	3	36
4	25	19	2	2	2	2					52	2	38
5	25	2	2	2	2	2					35	1	35
6											0	0	
7											0	0	
8											0	0	
9											0	0	
10											0	0	
												Sonuç	38

Ör. Alan	35	m =	7,34	Sonuç Değer							Toplam	q	CDV
1	31	27	18	13	4						93	5	48
2	31	27	18	13	2						91	4	52
3	31	27	18	2	2						80	3	51
4	31	27	2	2	2						64	2	47
5	31	2	2	2	2						39	1	39
6	31	2	2	2	2						39	0	
7											0	0	
8											0	0	
9											0	0	
10											0	0	
												Sonuç	52

Ör. Alan	36	m =	6,69	Sonuç Değer							Toplam	q	CDV
1	38	26	13	7	5	4	1				94	6	45
2	38	26	13	7	5	2	1				92	5	48
3	38	26	13	7	2	2	1				89	4	51
4	38	26	13	2	2	2	1				84	3	54
5	38	26	2	2	2	2	1				73	2	53
6	38	2	2	2	2	2	1				49	1	49
7											0	0	
8											0	0	
9											0	0	
10											0	0	
												Sonuç	54

Ör. Alan	37	m =	8,26	Sonuç Değer						Toplam	q	CDV
1	21	20	13	4	4					62	5	30
2	21	20	13	4	2					60	4	33
3	21	20	13	2	2					58	3	37
4	21	20	2	2	2					47	2	35
5	21	2	2	2	2					29	1	29
6										0	0	
7										0	0	
8										0	0	
9										0	0	
10										0	0	
											Sonuç	37

**ÖZGEÇMİŞ**

Doğum tarihi 17.07.1980

Doğum yeri Samsun

Lise 1994-1997 Samsun Ondokuz Mayıs Lisesi

Önlisans 1997-1999 Ondokuz Mayıs Üniversitesi Samsun Meslek Yüksek Okulu Bilgisayar Programcılığı

Lisans 1999-2004 Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü

Lisans 1999-2005 Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2005- Devam ediyor Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Ulaştırma Programı

**Çalıştığı kurum**

2005- Devam ediyor YTÜ İnşaat Fakültesi Araştırma Görevlisi