

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FENBİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TÜRKİYE OTOYOL AĞI İÇİN ÜSTYAPI YÖNETİM SİSTEMİ

**DOKTORA TEZİ
A.Taner HERGÜNER**

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Programı : Ulaştırma Mühendisliği

TEMMUZ 2009

TÜRKİYE OTOYOL AĞI İÇİN ÜSTYAPI YÖNETİM SİSTEMİ

DOKTORA TEZİ
Y. Müh. A.Taner HERGÜNER
(Enstitü No:501022204)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 29 Mayıs 2009
Tezin Savunulduğu Tarih: 15 Temmuz 2009

Tez Danışmanı:	Prof. Dr .Emine AĞAR
Diğer Jüri Üyeleri	Prof. Dr. Mustafa KARAŞAHİN (S.Ü.)
	Prof. Dr. Mustafa ILICALI (B.Ü.)
	Prof. Dr. Abdullah H.LAV (İTÜ)
	Yrd.Doç. Dr. Şükriye İYİNAM (İTÜ)

TEMMUZ 2009

ÖNSÖZ

Danışmanım olma nezaketini gösteren ve çalışmalarım sırasında büyük ilgi ve desteğini esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Emine AĞAR'a şükranlarımı sunarım. Çalışmalarım süresince görüş ve önerileri ile katkıda bulunan Prof. Dr. Mustafa KARAŞAHİN'e, Prof. Dr. A.Hilmi LAV'a, Doç. Dr. Murat ERGÜN'e ve Arş. Gör. Dr. Sabit KUTLUHAN'a teşekkür ederim.

Eğitime büyük önem veren ve doktora yapmamı destekleyen Karayolları Genel Müdürlüğüne, Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Üstyapı Şubesi Müdürlüğü'ne Karayolları 17.Bölge Müdürlüğü'ne ve Otoyol Yapım Kontrol Şeflikleri'ne, Karayolları 1.Bölge Müdürlüğü'nün yönetim birimlerine,Yapım Başmühendisliği'ne Araştırma Başmühendisliği'ne,Planlama Başmühendisliği'ne ve çalışmalarım süresince bana her konuda yardımlarını esirgemeyen sevgili dostlarım ; Aysun ÇALIŞKOL ve Cem S.DABAK'a en derin minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarımın her aşamasında büyük anlayış ve desteğini gördüğüm sevgili canım eşim Aydan HERGÜNER'e, binlerce kez “babacım ne zaman bitecek? ” sözleriyle beni motive eden canım kızım Melisa HERGÜNER'e ve bugünlerimi borçlu olduğum babam Halit HERGÜNER'e, annem Necla HERGÜNER'e ve kız kardeşim Sermin HERGÜNER'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2009

A.Taner HERGÜNER
(İnş.Yük.Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	v
KISALTMALAR.....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xii
SUMMARY.....	xiii
1.GİRİŞ.....	1
1.1. Türkiye Karayolu Ağı Ve Tarihçesi.....	1
1.2. Türkiye Karayolu Ağındaki Otoyol Güzergahları.....	7
1.3. Beş Yıllık Kalkınma Planlarında Ulaşım Sektörü.....	10
1.4. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı.....	16
2.ÜSTYAPI YÖNETİM SİSTEMİNE GENEL BİR BAKIŞ.....	19
2.1. Üstyapı Yönetim Sistemi Nedir?.....	19
2.1.1. Üstyapı yönetim sistemlerinin dönemsel gelişimi.....	21
2.1.2. Üstyapı yönetim sistemlerinin genel değerlendirme ölçütleri ve kullanılan yönetim sistemleri.....	23
2.1.2.1. Dünyada kullanılan çeşitli üstyapı yönetim sistemleri.....	30
2.1.3. Türkiye otoyol ağında üstyapı yönetim sistemi ile ilgili mevcut durum.....	38
3.ÜSTYAPI YÖNETİM SİSTEMİ.....	41
3.1. Ağ Düzeyinde Analiz.....	43
3.1.1. Performans değerlendirmesi.....	43
3.1.2. Ödenek talebi.....	45
3.1.3. Düzgünlük (roughness).....	46
3.1.3.1. Geometrik düzgünlük ölçüm sistemleri.....	47
3.1.3.2. Üstyapı hizmet kabiliyeti tahmini için düzgünlük ölçümü.....	48
3.1.4. Kayma direnci.....	50
3.1.4.1. Yol yüzey dokusu ölçüm yöntemleri.....	52
3.1.4.2. Kayma direnci ölçme metotları.....	53
3.2. Proje Düzeyinde Analiz.....	56
3.2.1. Yol ağı tanıtım envanter veri tabanı.....	56
3.2.2. Üstyapı durum değerlendirmesi.....	57
3.2.3. Üstyapı yapısal kapasitesinin değerlendirilmesi.....	60
3.2.3.1. Yapısal uygunluk (defleksiyon) ölçüm sistemleri.....	61
Tahribatsız defleksiyon ölçüm aletleri.....	61
NDT aletlerinden elde edilen verilerin değerlendirilmesi.....	64
3.2.4. Tahribatlı deneyler.....	65
3.3. Karayolları Genel Müdürlüğü'nce yapılan üstyapı performansı değerlendirme ölçütleri.....	65

3.3.1. KGM’ce yapılan üstyapı performans ölçümleri, kullanılan araçlar ve dünyada uygulanan şartname ölçütleri	66
3.3.1.1.Üstyapı performans ölçüm araçları.....	66
3.3.1.2. Üstyapı performansı ölçüm sonuçları , IRI ve RN ilişkisi.....	72
3.3.1.3. IRI düzgünsüzlük indeksi şartname değerleri.....	73
3.3.1.4. Dünyada uygulanan kayma drenci şartnameleri.....	76
3.4. Dünyada Üstyapı Performansının Değerlendirilmesinde Kullanılan Yöntemler, Ölçüm Ekipmanları ve Bakım Stratejileri	77
4. OTOYOL AĞI ESNEK ÜST YAPILARINDA MEYDANA GELEN ÜSTYAPI BOZULMALARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	89
4.1. Genel Bozulma Faktörleri.....	89
4.2. Bozulma Seyri.....	90
4.3. Bozulma Biçimleri.....	91
4.4. Bozulma Etütleri Ve Bozulma Değerlendirme Sistemleri.....	92
4.5. KGM’ce Tanımlanan Yüzey Bozulmalarının Nedenleri Ve Onarım Yöntemlerine Genel Bir Bakış.....	94
5. OTOYOL AĞI ESNEK ÜST YAPILARINDA MEYDANA GELEN ÜSTYAPI BOZULMALARI İÇİN BAKIM VE ONARIM YÖNTEMLERİ İLE TAKVİYE TABAKALARININ PROJELENDİRİLMESİ	101
5.1. Onarım Metotları.....	104
5.1.1. Asfalt kaplamaların yeniden kullanımı (recycling) metodu.....	104
5.1.2. Sıcak karışım takviyelerinde geosentetik malzemelerin ve çelik gridin kullanımı.....	105
5.1.3. Yeniden yapım metodu (reconstruction).....	106
5.2. Bakım Metotları.....	106
5.2.1. Yamalar.....	106
5.2.2. Çatlak dolgusu ve yalıtım.....	107
5.2.3. Bitümlü koruyucu sathi kaplama (seal coat).....	108
5.2.4. Harç tipi kaplama (slurry seal).....	108
5.2.5. İnce yüzey kaplaması (micro-surfacing).....	108
5.3. Takviye Projesinin Hazırlanması Sırasında Yapılacak Çalışmalar.....	109
5.3.1. Performans gözlemleri.....	109
5.3.2. Arazi ve laboratuvar çalışmaları.....	109
5.3.3. Defleksiyon etütleri.....	109
5.3.4. Trafik analizleri.....	110
5.4. Üstyapı takviye projelerinin hazırlanması.....	110
6. TÜRKİYE OTOYOL AĞI İÇİN ÖNERİLEN ÜSTYAPI YÖNETİM SİSTEMİ AKIŞ DİYAGRAMI VE DEĞERLENDİRMELERİ	111
6.1. Türkiye Otoyol Ağı İçin Üstyapı Performans Tahmin Modeli Geliştirilmesi.....	115
6.1.1. Üstyapı performans tahmini için kullanılan modeller.....	115
6.1.2. Regresyon modeli.....	115
6.1.3. Yapay zeka yöntemleri.....	117
6.1.3.1. Bulanık mantık yöntemi.....	118
Bulanık kümeler ve üyelik dereceleri	119
Üyelik fonksiyonları.....	120
Bulanıklaştırma.....	120
Üyelik derecesi atanması.....	120

Durulaştırma.....	121
Bulanık kurallar ve sistemler	121
Grafik çıkarım teknikleri.....	121
6.1.3.2. Bulanık modelleme çeşitleri.....	122
6.1.3.3. Yapay sinir ağları.....	124
6.1.3.4. Sinirsel bulanık sistemler.....	125
6.2. Türkiye Otoyol Ağı İçin Önerilen Üstyapı Performans Tahmin Modeli Ve Uygulaması.....	127
6.2.1. Üstyapı performans değerlendirilmesi.....	128
6.2.1.1. Anadolu otoyolu üstyapı performans değerlendirmesi.....	128
6.2.1.2. Trakya otoyolu üstyapı performans değerlendirmesi.....	130
6.2.2. Otoyol üstyapısında veri analizi ve performans tahmin modellemesi.....	131
6.2.2.1. Regresyon analizi ile modelleme.....	138
IRI için çok katlı regresyon ve varyans analizi.....	138
Regresyon analizi ile tahmin edilen IRI değerlerinin irdelenmesi.....	149
RN için çok katlı regresyon ve varyans analizi.....	156
6.2.2.2. Bulanık mantık ile modelleme.....	171
IRI değerlerine ait bulanık mantık yöntemi.....	171
Duyarlık analizi.....	175
6.2.2.3. Model sonuçlarının irdelenmesi.....	178
6.2.2.4. IRI için regresyon ve bulanık mantık model sonuçlarının karşılaştırılması.....	184
6.3. Ekonomik Analiz İle Bütçe Stratejilerinin Belirlenmesi.....	185
6.3.1. Karar vericiler için bakım bütçe senaryoları.....	190
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	203
KAYNAKLAR.....	213
ÖZGEÇMİŞ	219

KISALTMALAR

AASHTO	:(Amerikan Association Of State Highway and Transportation), Amerikan Devlet Karayolu ve Resmi Ulaştırma Birliği
AGE	:Üstyapı Yaşı
AEP	:Acil Eylem Planı
ARAN	:(Automatic Road Analyzer), Otomatik Yol Analizörü
ASTM	(American Society For Testing Materials), Amerikan Test Malzemeleri Derneği.
BFC	:(Braking Force Coefficient), Fren Kuvveti Katsayısı
BSK	:Bitümlü Sıcak Karışım
CBR	(California Bearing Ratio), Kaliforniya Taşıma Oranı
CRM	:(Car Road Meter), Araç Yol Sayacı
DAD	:Düşen Ağırlıklı Deflektometre
EDYS	:Eşdeğer Dingil Yüğü Sayısı
ESAL	:(Equivalent Standart Axle Load), Eşdeğer Standart Eksenel Yükleme
EDYS	:Eşdeğer Dingil Yüğü Sayısı
FHWA	:(Federal Highway Administration), Federal Yol Yönetimi
FI	:(Final Index), Sonuç İndeksi
FWD	:(Falling Weight Deflectometer), Düşen Ağırlıklı Deflektometre
IRI	:(International Roughness Index), Uluslararası Düzgünsüzlük İndeksi
KGM	:Karayolları Genel Müdürlüğü
MRM	:(Mays Ride Meter), Mays Sürüş Aracı
MNDOT	:Minnesota Dot Üstyapı Yönetim Sistemi
MTC	:Metropolitan Ulaştırma Komisyonu Üstyapı Yönetim Sistemi
NCHRP	:Ulusal Otoyollar İşbirliği Araştırma Programı
NDT	:(Nondestructive Deflection Testing), Tahribatsız Defleksiyon Deneyi
PSRs	:Ortalama Panel Puanları
PSI	:(Present Serviceability Index), Mevcut Servis Kabiliyeti İndeksi
PCI	:(Pavement Condition Index), Üstyapı Durum İndeksi
PCR	:Üstyapı Durum Sınıflaması
PMS	:(Pavement Management System), Üstyapı Yönetim Sistemi
PQI	:(Pavement Quality Index), Üstyapı Kalite İndeksi
RCI	:(Riding Comfort Index), Seyir Konfor İndeksi
RN	:(Ride Number), Sürüş Sayısı
LRST	:(Laser Road Surface Tester), Lazer Yol Yüzey Ölçücü
RTRRMS	:(Response Type Road Roughness Measuring System), Mekanik Tip Yol Düzgünsüzlük Ölçüm Sistemi
SAMP	:(System Analysis Method for Pavements), Üstyapı Sistem Analiz Yöntemi
SCRIM	:(Sideway Force Coefficient Routine Investigation Machine), Enine Sürtünme Katsayısı Ölçme Aracı
SAI	:(Structural Adequacy Index), Yapısal Uygunluk İndeksi

SCI	:(Surface Condition Index), Yüzey Koşul İndeksi
SDI	:(Surface Distress Index), Yüzey Bozulma İndeksi
SN	:(Skid Number), Kayma Sayısı
TEM	:Kuzey-Güney Avrupa Otoyolu
TRRL	:(Transport and Road Research Laboratory), Ulaştırma Ve Yol Araştırma Laboratuvarı
ÜP	:Üstyapı Puanı
ÜYS	:ÜstYapı Yönetim Sistemi
VCİ	:Optik Durum İndeksi
YOGT	:Yıllık Ortalama Günlük Trafik
YYKSTTS	:Yıllık Yüksek Kaplama Sıcaklık Toplam Tekrar Sayısı
YDKSTTS	:Yıllık Düşük Kaplama Yüzeyi Sıcaklık Toplam Tekrar Sayısı
YMTYTS	:Yıllık Maksimum Toplam Yağış Tekrar Sayısı
YMONTS	:Yıllık Maksimum Ortalama Nem Tekrar Sayısı
YMAXKÖTS	:Yıllık Maksimum Kar Örtüsü Tekrar Sayısı

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1: Karayolları ağı uzunluğu.....	3
Çizelge 1.2: Yüzey cinslerine göre yol ağı uzunlukları.....	4
Çizelge 1.3: Uluslararası karşılaştırmalar.....	4
Çizelge 1.4: Türkiye’de ulaştırma sistemlerine göre yolcu taşımaları	5
Çizelge 1.5: Türkiye’de ulaştırma sistemlerine göre yük taşımaları.....	6
Çizelge 1.6: Otoyol uzunlukları.....	8
Çizelge 1.7: 1950–2008 arasında, KGM’ ye tahsis edilen bütçe ödenekleri	17
Çizelge 3.1: KGM’ce yapılan üstyapı performans ölçümleri	66
Çizelge 3.2: Yüzey sürtünme direnci ve ödeme ölçütleri	71
Çizelge 3.3: Otoyol ağı için IRI değerleri ve ödeme ölçütleri.....	74
Çizelge 3.4: ABD’de IRI değerleri.....	75
Çizelge 3.5: Asfalt kaplama için yüzey düzgünlük şartnamesi.....	75
Çizelge 3.6: Belçika karayolları için kayma direnci şartnamesi	76
Çizelge 3.7: Amerikan karayolları için kayma direnci şartnamesi.....	76
Çizelge 3.8: Almanya karayolları için kayma direnci şartnamesi.....	77
Çizelge 3.9: Bakım test yöntemleri.....	87
Çizelge 3.10: Testin amacı.....	88
Çizelge 6.1: Yapay zeka yöntemlerinin karşılaştırılması.....	118
Çizelge 6.2: Regresyon analizinde kullanılan Trakya otoyoluna ait yığılımlı trafik değerleri.....	136
Çizelge 6.3: Regresyon analizinde kullanılan Trakya otoyoluna ait maksimum kaplama sıcaklık parametrelerinin hesabı.....	137
Çizelge 6.4: Regresyon analizi için SPSS 16 programında kullanılan Trakya ve Anadolu otoyoluna ait veri çizelgesi.....	139
Çizelge 6.5: Değişkenler arasındaki korelasyon matrisi.....	140
Çizelge 6.6: Model katsayıları.....	142
Çizelge 6.7: Tanımlayıcı istatistikler.....	142
Çizelge 6.8: Model özeti.....	143
Çizelge 6.9: Varyans analizi (anova).....	143
Çizelge 6.10: Model katsayıları ve doğrusal bağımlılık durumu.....	144
Çizelge 6.11: Sabit kaplama sıcaklıklarında IRI değerlerinin t _{8.2} ile değişimi	149
Çizelge 6.12: Tüm otoyol ağında ki IRI değerlerinin modelden hesaplanan 20 yıllık değişimleri.....	153
Çizelge 6.13: IRI değerinin modelden hesaplanan 20 yıllık değişimleri.....	154
Çizelge 6.14: Trakya otoyoluna ait bilgiler.....	157
Çizelge 6.15: Anadolu otoyoluna ait bilgiler.....	158
Çizelge 6.16: Korelasyon matrisi.....	159
Çizelge 6.17: Genel model özeti.....	160
Çizelge 6.18: Model özeti.....	160
Çizelge 6.19: Varyans analizi (anova b).....	161
Çizelge 6.20: Model katsayıları.....	162

Çizelge 6.21: RN değerinin modelden hesaplanan 20 yıllık değişim çizelgesi 1	167
Çizelge 6.22: RN değerinin modelden hesaplanan 20 yıllık değişimleri çizelgesi 2	168
Çizelge 6.23: Örnekleme olarak aynı otoyol kesimlerinde modelden elde edilen RN ve IRI değerlerinin kıyaslanması.....	170
Çizelge 6.24: IRI ölçüm sonuçları ile model sonuçlarının karşılaştırılması..	184
Çizelge 6.25: Birim maliyetler.....	192
Çizelge 6.26: Modelden hesaplanan IRI değerlerine göre iyileştirme seçeneklerinin belirlenmesi için bakım zamanının belirlenmesi (0-4/10 kontrol kesim no.lu yola ait örnek, yol uzunluğu 13,4 km)	194
Çizelge 6.27: İyileştirme seçenek maliyetlerinin yıllara göre güncelleştirilmesi (0-4/10 kontrol kesim no.lu yola ait örnek)	195
Çizelge 6.28: IRI değerlerinin ÜP karşılıkları çizelgesi.....	196
Çizelge 6.29: Trakya –Anadolu otoyolu yıllık kesim bakım maliyet çizelgesi (€ cinsinden).....	198
Çizelge 6.30: Trakya-Anadolu otoyol kesimlerinde model tahmin IRI değerlerine göre belirlenen bakım seçeneklerinin yıllık toplam maliyetleri ve bütçe gereksinimleri	199
Çizelge 6.31: Trakya-Anadolu otoyol kesimlerinde model tahmin IRI değerlerine göre belirlenen bakım seçeneklerinin yıllık toplam maliyetleri ve bütçe gereksinimleri.....	200

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1:Mevcut ve planlanan otoyollar.....	9
Şekil 2.1:Minnesota DOT üstyapı yönetim sisteminin genel görünümü.....	30
Şekil 2.2:BA üstyapı yönetim sistemi akış diyagramı.....	32
Şekil 2.3:SAMP üstyapı sistemi diyagramı.....	35
Şekil 2.4:HDM modeli.....	37
Şekil 3.1:ÜYS'nin temel yapısı.....	42
Şekil 3.2:Üstyapının zamana bağlı iyileştirme-maliyet ilişkisi.....	43
Şekil 3.3:Üstyapının performans eğrisi ve rehabilitasyon seçeneklerinin etkisi.....	44
Şekil 3.4:Üstyapının zamana bağlı bozulma-bakım stratejileri değişim eğrisi.....	44
Şekil 3.5:Kayma direnci-taşıt hızı ilişkisi.....	51
Şekil 3.6:Bir düşen ağırlıklı deflektometre (FWD)'nin temel prensibi.....	63
Şekil 3.7:TCK tarafından kullanılan profilometre aracı.....	67
Şekil 3.8:Boyuna düzgünsüzlük verisinin toplanması için kullanılan profilometre aleti.....	68
Şekil 3.9:Boyuna düzgünsüzlük verisinin toplanması kullanılan profilometre aleti.....	69
Şekil 3.10:Kayma direnci ölçüm aracı.....	70
Şekil 3.11:Kayma direnci ölçüm prensipleri.....	70
Şekil 3.12:Deflektometre aracı.....	71
Şekil 3.13:IRI değerleri.....	73
Şekil 5.1:Performans ve proje süresi.....	101
Şekil 5.2:Üstyapı performans eğrisi.....	103
Şekil 5.3:Yama kazıma yöntemi.....	107
Şekil 6.1:Yapay zeka yöntemlerinin karşılaştırılması.....	114
Şekil 6.2:EB-EK çıkarımı model uygulaması.....	122
Şekil 6.3:Bulanık mantık sistemi akış diyagramı.....	127
Şekil 6.4:Üstyapı performans tahmini regresyon modelinin genel yapısı.....	132
Şekil 6.5:Bulanık mantık modelinin genel yapısı.....	132
Şekil 6.6:Standartlaştırılmış kalıntıların histogramı.....	146
Şekil 6.7:Standartlaştırılmış kalıntıların normal p-p grafiği.....	146
Şekil 6.8:Ölçülen IRI değerleri ile modelden hesaplanan IRI değerlerinin kıyaslaması.....	147
Şekil 6.9:Ölçülen IRI değerleri ile modelden hesaplanan IRI değerlerinin $T_{8.2}$ ile karşılaştırılması.....	148
Şekil 6.10:IRI değerlerinin $T_{8.2}$ ile değişimi.....	150
Şekil 6.11:Sabit $T_{8.2}$ ve düşük kaplama sıcaklığında IRI - y_{ksts} değişimi.....	151
Şekil 6.12:Sabit $T_{8.2}$ değerleri ve yüksek kaplama sıcaklıklarında IRI-1/ y_{dksts} değişimi.....	151
Şekil 6.13:Edirne -Düzce arasında değerlendirmeye alınan 29 farklı kesimin IRI değerlerinin modelden hesaplanan 20 yıllık değişimleri.....	155
Şekil 6.14:Standartlaştırılmış kalıntıların histogramı.....	163
Şekil 6.15:Standartlaştırılmış kalıntıların normal P-P grafiği.....	164

Şekil 6.16: Ölçülen IRI değerleri ile modelden hesaplanan IRI değerlerinin kıyaslaması	164
Şekil 6.17: Ölçülen IRI değerleri ile modelden hesaplanan IRI değerlerinin T8.2 ile karşılaştırılması	165
Şekil 6.18: Edirne-Düzce arasında değerlendirmeye alınan 33 farklı kesimin RN değerlerinin modelden hesaplanan 20 yıllık değişimleri	169
Şekil 6.19: Bulanık çıkarım modeli	172
Şekil 6.20: T8.2, yykstts,ydkystts değerlerinin üyelik fonksiyonları	173
Şekil 6.21: Bulanık model sonuç grafikleri	174
Şekil 6.22: Bulanık model sonuç grafikleri	175
Şekil 6.23: Bulanık model sonuç grafikleri	176
Şekil 6.24: Bulanık model sonuç grafikleri	177
Şekil 6.25: Duyarlık analiz sonuçları	178
Şekil 6.26: T8.2 eşdeğer standart dingil yükü değerlerinin yüksek olduğu kesimlerdeki bozulmalar	178
Şekil 6.27: T8.2 eşdeğer standart dingil yükü değerlerinin yüksek olduğu kesimlerdeki bozulmalar	179
Şekil 6.28: ÇBGT kesimlerindeki bozulmalar	180
Şekil 6.29: ÇBGT kesimlerindeki bozulmalar	181
Şekil 6.30: Kaplama sıcaklıklarına bağlı olarak meydana gelen bozulmalar	182
Şekil 6.31: Kaplama sıcaklıklarına bağlı olarak meydana gelen bozulmalar	183
Şekil 6.32: Zamana-IRI/RN değişimi ve bakım-onarım sıralama grafiği	185
Şekil 6.33: IRI değerine bağlı olarak yapılacak onarım çalışmaları 1	186
Şekil 6.34: IRI değerine bağlı olarak yapılacak onarım çalışmaları 2	187
Şekil 6.35: IRI değerine bağlı olarak yapılacak onarım çalışmaları 3	188
Şekil 6.36: IRI değerine bağlı olarak yapılacak onarım çalışmaları 4	190
Şekil 6.37: Esnek üstyapı bakım ve onarım metodunun seçimi	196
Şekil 6.38: Kullanıcı gider maliyetinin yıllara göre değişim grafiği	198
Şekil 6.39: Trakya-Anadolu otoyol kesimlerindeki bakım seçeneklerinin bütçe gereksinim senaryoları grafiği	201
Şekil 6.40: Hadımköy-Avcılar arasında geciken bakım-onarım maliyetleri	202
Şekil 6.41: Hendek – Düzce otoyol kesimindeki servis kabiliyetinin zamana bağlı bakım-onarım maliyetlerinin değişimi	202

TÜRKİYE OTOYOL AĞI İÇİN ÜSTYAPI YÖNETİM SİSTEMİ

ÖZET

21. yüzyıl dünyasında yeterli ve çağdaş ulaşım hizmeti olmaksızın sosyal ve ekonomik hayatı canlı ve dinamik tutmak mümkün değildir. Ulaştırmanın ana amacı, ülke kalkınmasının ekonomik ve sosyal hedeflerinin gerektirdiği hizmeti; kullanıcıya, güvenli olmak koşuluyla ekonomik, çağın teknolojilerini kullanarak, uluslararası kurallarla ve AB politikalarıyla uyum içinde, kesintisiz sağlamaktır. Ekonomisi giderek büyüyen ve zenginleşen dünyada, daha kısa sürede, daha konforlu, güvenilir ve zamanında ulaşım isteği ön plana çıkmaktadır. Bilim ve teknolojinin ilerlemesi, ekonominin gereksinimlerinin, insanların alışkanlıklarının ve kültürel birikimlerinin değişmesi ve belki bunların hepsinin üstünde politik tercihler, ulaştırmayı yönlendiren ve geliştiren çerçeveyi oluşturmaktadır.

Genelde ulaştırma yatırımlarının devlet tarafından finanse edilmesi ve işletilmesi geleneği yakın zamanlara kadar sürmüştür. Ne var ki tüm dünyada ulaştırma yatırımlarına olan gereksinimin artışı ve kamu kesimi kaynaklarının sınırlılığı, devletlerin asli görevleri olarak görülen kamu hizmeti anlayışını değişime zorlamıştır. Bu bağlamda özel sektörün ilgisinin ulaştırma altyapı yatırımlarına çekilerek ihtiyaçların kamu kaynaklarına gerek kalmadan veya daha az kamu katkısıyla giderilmesi amaçlanmakta ve bunun yolları aranmaktadır. Ancak ulaştırma yatırımlarının özel sektör tarafından gerçekleştirilmesi olanağı, önemli bir açılım sağlamakla birlikte, talebin giderek çoğalması ve özel sektör kaynaklarının da kısıtlılığı nedeniyle, kamunun katkılarına da gereksinim kaçınılmaz olmaktadır. Günümüzde yeni otoyolların yapımı her geçen gün azalmakta, motorlu taşıt trafiğindeki sürekli artışlar ve kaynak sağlanmasındaki güçlükler karşısında, yeni otoyolu yapmaktan çok mevcut otoyol üstyapılarının, gelecekteki yoğun ve ağır trafiğe cevap verebilecek şekilde bakımı, onarımı ve yenilenmesi gibi çalışmalar daha çok önem kazanmaktadır.

Türkiye otoyol ağının bakım ve onarımı için çok yüksek değerlere ulaşan bütçe gereksinimleri nedeniyle, sınırlı kaynaklara sahip bulunan ülkemizde, kaynakların daha verimli biçimde kullanılmasını sağlamak amacıyla, otoyol ağı içindeki yollarda, Üstyapı Yönetim Sistemi'nin uygulanması zorunlu hale gelmiş bulunmaktadır. Üstyapı Yönetim Sistemi (ÜYS), sınırlı mevcut bir bütçeye, en yüksek kazanç sağlayacak optimum bakım/iyileştirme önceliği programlarını oluşturmak için, nesnel ve sistematik yaklaşım taşımaktadır. Bu sistem, karayolu yöneticilerine, yolların iyileştirilmesi için mevcut sınırlı bütçeyi daha iyi kullanmaları bakımından yardımcı olmakta, karar vermede kişilere bağlı inisiyatifi en aza indirmektedir. Bu çalışmada; Karayolları Genel Müdürlüğü'nce yapılan ölçümlerin sonucunda toplanan veriler kullanılarak, otoyolların üstyapısında bozulmaların ne zaman meydana geleceğinin, oluşturulacak modeller yardımıyla saptanması hususunda, ülkemiz koşullarına uygun örnek bir Üstyapı Yönetim Sistemi (ÜYS)'nin kurulması amaçlanmaktadır.

PAVEMENT MANAGEMENT SYSTEM FOR THE MOTORWAY NETWORK IN TURKEY

SUMMARY

21. Century World of transportation services without adequate and contemporary social and economic life is not possible to keep alive and dynamic. The main aim of transportation, the country development goals of economic and social needs of the service, the user, to secure the economic condition, age and by using technology, international rules and in compliance with EU policies, to provide uninterrupted.

The world's growing economy and rich, more quickly, more comfortable, reliable and timely transportation to come to the fore. Science and technology progress, the economy needs people to change their habits and cultural accumulation, and possibly all of them at the top of the political preferences, and improve access framework is referring to.

In general, investments in transport and operation to be financed by the state tradition has continued until recently. However, the worldwide increase in the need for transportation investments and public sector of its limited resources, the state as the primary task of the public service has forced the change. In this context, private sector investment in transport infrastructure by the interest of public resources without the need or less fixed by public contributions and the roads are intended to be searched. However, the private sector by the implementation of transport investment opportunities, to provide an important opening, the demand and the private sector increasingly replicated because of limitations in resources, public also needs to contribute is inevitable.

Today, construction of new highway each day to reduce motor vehicle traffic in the continuous increase in resources and right in the face of difficulties, the new highway as much of the existing highway superstructure, the future intensive and heavy traffic can provide answers to the maintenance, repair and renewal work as more important. Turkey's Motorway Network maintenance and repair is too high to reach for the requirements of the budget because of limited resources available in our country of resources in a more efficient use, to the motorway network, roads, Pavement Management System implementation has become mandatory to have.

Pavement Management System (PMS), limited to an existing budget, to provide the highest gain optimum maintenance / improvement programs to create a priority objective and systematic approach to move. This system, road managers, limited budget available for road improvement in terms of better use to help you decide to minimize the initiative depends on the person.

In this study, the Directorate General as a result of measurement data collected with the use of motorways in the pavement when the corruption occurs in the future, to create models to help in the matter of identifying the country in accordance with our conditions, a Pavement Management System (PMS) 's goal is to be established.

1. GİRİŞ

1.1.Türkiye Karayolu Ağı Ve Tarihçesi

Türkiye tarih öncesinden bugüne kadar doğu ve batı arasında köprü olma niteliğini korumuş, bunun sonucunda da değişik doğrultu ve karakterde yol ağlarına sahip olmuştur. Ülke toprakları üzerinde kurulmuş uygarlıkların oluşturduğu yol ağlarını; Kral Yolu, Helenistik Çağ, Roma Devri Yolları, Bizans Yolları, Selçuklu Yolları ve Osmanlı Yolları olarak sınıflandırabiliriz. İmparatorluk döneminde yol yapına büyük önem verilmiş ve 1866 yılında Turuk-u Muabir Nizamnamesi çıkarılarak yol ağı 4 sınıfa ayrılmıştır. Bu sınıflar;

- Tarihi Sultanı (ana yollar)
- Vilayet yolları,
- Sancak yolları,
- Kaza yollarıdır.

Türkiye Cumhuriyeti, Osmanlı İmparatorluğu’ndan 14.000 km’si bozuk ve bakıma muhtaç durumda olan 18.335 km.lik karayolu ağı ile bu yollarda yapılan 94 köprüyü devralmıştır. Cumhuriyetin ilanından sonra 1934 yılına dek geçen süre, Bayındırlık açısından üç döneme ayrılarak incelenmektedir. Bu dönemler;

1923-1926 Dönemi:İmparatorluğun bu dönemindeki yol yapımlarında, Turuku Umumiye ve Turuku Hususiye Vilayet adında sistemler hüküm sürmekteydi. Turuku Umumiye’de masraflar hazine den karşılanırken, Turuku Hususiye’de vilayetlerce alınan yol vergilerinden karşılanmaktaydı.

1927-1928 Dönemi:Önceki dönemlerde kullanılan kanunlar ve sistemler kaldırılarak, devlet ve il yolları birleştirilip yapım, onarım ve bakımları il özel idarelerine bırakılmıştır.

1929-1934 Dönemi: 02 Haziran 1929 yılında çıkarılan 1525 sayılı Şose Köprüler Kanunu ile Nafia Vekâleti bünyesindeki Şose ve Köprüler Reisliği’nce genel bütçeden finanse edilmek üzere “Milli Şoseler” adı altında devlet yol ağları belirlenmiş olup, milli şoseler ile üzerinde bulunan köprülerin yapımı görevi de

Nafia vekaletine verilmiştir. İlleri birbirine bağlayan il yollarının yapım işi ise valiliklere bırakılmıştır. Karayolu altyapısında görülen ilerleme, 1 Mart 1950 tarihinde yürürlüğe giren 5539 sayılı kanun ile Karayolları Genel Müdürlüğü'nün kurulması ile başlamıştır.

Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM), Ulaştırma Bakanlığına bağlı tüzel kişiliğe sahip bir kuruluş olup, 5539 sayılı kanunla Otoyolların, Devlet ve İl yollarının plan, proje, yapım, bakım ve işletilmesi Karayolları Genel Müdürlüğüne verilmiştir. Bugün mevcut olan 64.000 km dolayındaki devlet ve il yolunun büyük kısmı KGM'nin kurulduğu dönemde oluşturulmuştur.

01 Ocak 2008 tarihi itibarıyla KGM'nin sorumluluğunda 1987 km (% 3) otoyol, 31.333 km (% 50) devlet yolu ve 30.579 km (% 47) il yolu olmak üzere toplam 63.899 km uzunluğunda karayolu ağı bulunmaktadır. (Çizelge.1.1)

Devlet yollarının üstyapısının % 19'u asfalt betonu kaplamalı, % 79'u sathi kaplamalı ve geri kalan % 2'si ise parke ve stabilize kaplamalı ve toprak (kaplamasız) dır. İl yollarının üstyapısı % 3'ü asfalt betonu kaplamalı,% 84'ü sathi kaplamalı, % 8'i stabilize kaplamalı ve kalan %5'i parke kaplamalı ve topraktır (Çizelge.1.2) [4,11].

1970'li yıllarda ekonomide başlayan canlanma, otomotiv sanayinin kurulması ile motorlu taşıt ve özellikle yük taşıtlarındaki hızlı artışın sonucu olarak, 1950'li yıllarda mevcut yol ağında, hem kapasite, hem de yapısal olarak yetersizlikler görülmeye başlanmış olup, bu gelişmeler doğrultusunda İstanbul'da Boğaziçi Köprüsü ve Çevre Yolu işletmeye girmiş, yüksek standartlı yol olarak İstanbul-İzmit arasında ekspres yol inşaatı başlamıştır.

1980'li yılların başında hızla artan karayolu trafiğinin ülkemize getirdiği olumsuzluklar ve taşıma türleri arasındaki dengesizliğin gittikçe belirginleşmesi üzerine, ulaşım altyapısının bir plana bağlı olarak geliştirilmesini hedefleyen 1983–1993 Ulaşım Ana Planı hazırlanmışsa da plan uygulanma fırsatı bulamadan gündemden kalkmış ve otoyol ağırlıklı karayolu yapımı benimsenmiştir.

Karayolları Genel Müdürlüğü ve TÜİK'in ulaşım verilerine göre [4] 2008'de, AB Ülkelerinde, yolcu taşımada karayolunun payı; % 79, ABD'de % 89,1, Türkiye'de ise oran % 95,2' dir.

Yük taşımacılığında ise kısa mesafeli kıyı deniz taşıması da dikkate alınırsa karayolunun payı; AB Ülkelerinde % 44, ABD’de % 69,4, Türkiye’de ise %76,1’dir. Boru hattı taşıması nazara alınmazsa oran Türkiye’de % 92,2’ye ulaşmaktadır.

Çizelge 1.1: Karayolları ağı uzunluğu [4]

KARAYOLLARI AĞI UZUNLUĞU (Km) (Sınıflara ve Yollara Göre)				
Yıllar	Otoyollar	Devlet Yolları	İl Yolları	Toplam
1970	--	35 016	24 437	59 453
1975	--	33 762	25 307	59 069
1980	27	31 976	28 785	60 788
1985	81	30 997	28 305	59 383
1990	281	31 149	27 979	59 409
1995	1 246	31 422	28 577	61 245
1996	1 514	31412	28813	61 739
1997	1 528	31320	29521	62 369
1998	1 726	31345	29540	62 611
1999	1 749	31388	29535	62 672
2000	1 774	31397	29693	62 864
2001	1774	31376	29693	62867
2002	1 851	31318	29929	63 156
2003	1 851	31358	30050	63 220
2004	1 827	31358	30133	63372
2005	1 659	31446	30368	63473
2006	1 987	31369	30568	63714
2007	1 987	31333	30579	63805
2008	1987	31333	30579	63899

Çizelge 1.2: Yüzey cinslerine göre yol ağı uzunlukları [4]

	Asfalt Betonu	Sathi Kaplama	Stabilize	Parke	Toprak	Geçit Vermez	Toplam
Otoyol	1987	--	--	--	--	--	1987
Devlet Yolları	6338	24205	213	49	106	222	31 333
İl Yolları	868	26414	1583	109	841	764	30 579
Toplam	9393	50 619	1796	158	947	986	63 899

Toplam yolcu ve yük taşımalarında karayolu taşımasının payının diğer taşıma türlerine göre çok yüksek oranda olması özellikle ülkemizin enerji olanaklarına ters düşmesi yanında karayolu ağının kısa sürede bozulmasının ve çevre kirlenmeleri ile kazalar açısından yaşanan olumsuzlukların başlıca sebebidir. Bununla birlikte ülkemizde ulaşım yatırımları ağırlığının karayollarına verilmesine rağmen, 2007 yılı Uluslar arası Yol Trafik ve Kaza Veri Tabanına göre, [59,63] gerçekte ülkemiz karayolu altyapısı km²'ye düşen yol uzunluğu, standartları bakımından gelişmiş ülkelere ve AB ülkelerine göre oldukça zayıftır. (Çizelge1.3)

Çizelge1.3: Uluslararası karşılaştırmalar [63]

ÜLKELER	1000 km ² 'ye düşen karayolu uzunluğu (km)	1000 km ² 'ye düşen demiryolu uzunluğu (km)	1 km demiryoluna düşen Karayolu uzunluğu (km)	10.000 nüfusa düşen karayolu uzunluğu (km)	10.000 nüfusa düşen demiryolu uzunluğu (km)
BELÇİKA	503,2	114,3	4,4	14,2	3,2
DANİMARKA	262,81	49,6	5,3	22,6	4,3
ALMANYA	648,2	95,9	6,8	28,2	4,2
İSPANYA	190,3	25,3	7,5	21,9	2,9
FRANSA	718,5	53,1	13,5	65,0	4,8
HOLLANDA	1622	68,6	23,7	41,6	1,8
İNGİLTERE	210,2	81,5	2,6	8,4	3,3
AVUSTURYA	416,7	68,8	6,1	43,8	7,2

Çizelge1.3: Uluslararası karşılaştırmalar (devam)

TÜRKİYE	82,2	11,2	7,3	9,1	1,2
AB ORT.SI	1.476	56	26,3	117,4	5,1
YUNANİSTAN	886,4	19,5	45,4	106,4	2,3
İTALYA	568,9	54,8	10,4	29,1	2,8
İSVİÇRE	1736,6	82,9	20,9	101,7	4,9
PORTEKİZ	183,7	30,9	5,9	15,4	2,6

Taşıma istatistikleri incelendiğinde, gelişmiş ülkeler dahil hemen her ülkede yolcu ve yük taşımada karayolu taşımacılığının önde olduğu görülmektedir. Türkiye’de ulaştırma sistemlerine göre yolcu taşımaları Çizelge1.4’de, yük taşımaları da Çizelge 1.5’ te verilmiştir [63]. Demiryolu ve denizyolu taşımalarının altyapı ve işletmecilik olarak karayolundaki gelişmeye göre çok geride kalması, taşıma türleri arasındaki dengesizliği yaratmıştır.

Çizelge1.4: Türkiye’de ulaştırma sistemlerine göre yolcu taşımaları [63]

YILLAR	KARAYOLU %	DEMİRYOLU %	DENİZYOLU %	HAVAYOLU %
1990	96,6	2,5	0,1	0,9
1991	96,9	2,4	0,1	0,6
1992	96,8	2,4	0,04	0,8
1993	96,1	2,7	0,03	1,1
1994	95,7	2,7	0,03	1,5
1995	96,0	2,3	0,04	1,6
1996	96,5	1,8	0,03	1,6
1997	96,4	2,0	0,03	1,6
1998	96,2	2,1	0,03	1,7
1999	95,8	2,3	0,02	1,8
2000	96,0	2,2	0,02	1,8

Çizelge1.4: Türkiye’de ulaştırma sistemlerine göre yolcu taşımaları (devam)

2001	95,9	2,4	0,02	1,6
2002	96,1	2,3	0,01	1,6
2003	95,7	2,7	0,01	1,6
2004	96,1	2,1	-	1,8
2005	96,0	1,9	-	2,1
2006	98,0	2,0	-	-
2007	96,2	2,1	-	2,3
2008	95,2	2,2	-	2,6

Çizelge1.5: Türkiye’de ulaştırma sistemlerine göre yük taşımaları [63]

YILLAR	KARAYOLU %	DEMİRYOLU %	DENİZYOLU %	HAVAYOLU %
1990	51,0	6,1	5,6	0,1
1991	81,7	10,5	3,7	0,1
1992	83,8	10,2	2,2	0,1
1993	88,6	7,6	0,8	0,1
1994	88,6	7,7	0,5	0,2
1995	90,2	6,8	0,2	0,2
1996	91,2	6,0	-	0,2
1997	81,9	5,6	-	0,2
1998	75,9	4,2	-	0,1
1999	71,5	3,9	3,9	0,1
2000	73,2	4,4	3,6	0,1
2001	75,3	3,7	4,0	0,1
2002	71,3	3,4	2,7	0,1
2003	82,4	4,7	2,9	0,1

Çizelge1.5: Türkiye’de ulaştırma sistemlerine göre yük taşımaları (devam)

YILLAR	KARAYOLU %	DEMİRYOLU %	DENİZYOLU %	HAVAYOLU %
2004	87,9	5,2	-	0,2
2005	91,6	5,0	-	0,2
2006	92,0	5,0	-	-
2007	92,1	5,0	-	0,2
2008	92,2		-	0,2

Karayolları Genel Müdürlüğünün Acil Eylem Planı (AEP) kapsamında hedeflediğı ve 2002 yılı sonunda başlayan 15.000 km’lik bölünmüş yol yapımı projesi ile ilgili olarak; bölünmüş yol uzunluğu, 01.01.2008 tarihi itibari ile 1987 km uzunluğundaki otoyollarla birlikte 5337 km.si bsk.lı, 8413 km.si sathi kaplamalı olmak üzere toplam 13750 km.ye ulaşmıştır [11,28].

1.2. Türkiye Karayolu Ağındaki Otoyol Güzergahları

Kuzey-Güney Avrupa Otoyolu (TEM) projesi, 1977 yılında Helsinki Nihai Belgesi kararları doğrultusunda olmak üzere, o zaman için 10 Avrupa ülkesinin katılımı ile Avrupa Ekonomik Komisyonu ve Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı desteğinde başlatılmıştır. Bugün projeye Avusturya, Bulgaristan, Çek Cumhuriyeti, Slovakya, Macaristan, İtalya, Polonya, Romanya, Türkiye, Hırvatistan, Litvanya, Gürcistan, Bosna Hersek olmak üzere 13 ülke katılmış durumdadır. İsveç ve Ukrayna gözlemci statüsündedir. Proje; Baltık, Adriyatik, Ege ve Karadeniz’i bağlayan modern otoyol ve ekspres yol niteliğinde bir karayolu ağı inşasını ve yönetimini amaçlamaktadır. Toplam uzunluğu 01.01.2003 tarihi itibari ile 23858 km olup, ülkemiz içinde kalan ağ uzunluğu 6921 km.dir. Bu uzunluk tüm ağın % 29’unu oluşturmaktadır. Proje, Türkiye’ye Kapıkule’de girmekte, doğuda Sarp (Gürcistan) ve Gürbulak (İran), güneyde ise Habur (Irak) ve Cilvegözü (Suriye) kapılarına ulaşmaktadır. TEM Projesi’nin ana amacı, hedeflenen yol ağının tesisi olmakla birlikte proje çalışma programında otoyolların planlama, projelendirme, yapım, bakım ve işletme ile ilgili çok sayıda mühendislik konuları da ele alınmaktadır.

1980’li yıllarda planlanan otoyol ağının büyük bir kısmı, Kuzey - Güney Avrupa otoyolu (TEM) projesi hattında inşaatı tamamlanmış ve işletmeye açılmıştır. 1973 yılında yaklaşık 24 km. ile başlayan Türkiye Otoyolu Ağı 1984 yılında 76 km., 1990 yılında 286 km., 1993 yılında büyük bir atılım yaparak 1.104 km.ye ulaşmıştır. 2001 yılı itibariyle 1775 km. uzunluğunda otoyol ve bağlantı yolu hizmete sunulmuştur.

Geçtiğimiz yüzyılın sonunda otoyol ağının 5000 km. olarak planlanmasına rağmen, otoyollara tahsis edilen ödeneğin yeterli olmaması nedeniyle, otoyol ağı 2866 km. olarak hedeflenmiştir (Şekil 1.1). 2003 yılı itibariyle Türkiye’deki toplam Otoyol uzunluğu 1.851 km.yi bulmuştur. GAP kapsamında olan Gaziantep - Şanlıurfa Otoyolunun inşaatı ise devam etmektedir. 1.ve 2.Çevre Otoyollarının otoyol statüsünden çıkarılması ile Çizelge1.6’dan görüleceği üzere, 1 Şubat 2009 itibari ile toplam otoyol uzunluğu 1987 km. olarak belirlenmiştir [4]. Ülkemizdeki otoyol finans politikası, fonlar (vergiler, paralı yol köprü ve otopark gelirleri), proje finansman araçları (ihracat kredileri, kalkınma ve yatırım bankaları fonları, sendikasyon kredileri ve tahvil araçları) ve çeşitli kaynaklardan edinilen gelirler ile ulusal bütçenin beraber kullanılması üzerine kurulmuştur.

Çizelge 1.6: Otoyol uzunlukları [4]

İLİ	BÖLGE NO	OTOYOLLAR
İZMİR	2	257
ANKARA	4	368
MERSİN	5	660
DİYARBAKIR	9	110
BURSA	14	65
İSTANBUL	17	527
	TOPLAM	1987



Şekil 1.1: Mevcut ve planlanan otoyollar

1.3. Beş Yıllık Kalkınma Planlarında Ulaşım Sektörü

Kaynakların verimli kullanılması ve kalkınmanın hızlandırılması amacıyla Devlet Planlama Teşkilatı tarafından 1963 senesinde birincisi yapılmak üzere her beş senede bir kalkınma planları yapılmaktadır.

Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı 2005 yılında sonlanırken ve 2006 ile birlikte Dokuzuncu Beş Yıllık Kalkınma Planı döneminin başlaması gerekirken, 28 Nisan 2005 tarihli ve 5339 sayılı Yasayla, 2006 yılı geçiş yılı olarak kabul edilmiş, yeni plan döneminin 2007'de başlayacağı hükme bağlanmıştır.

Mevcut Beş Yıllık Kalkınma Planlarında; ulaşım sektörü için tasarlanmış olan hedef ve politikalar incelenmekte ve bunların gerçekleşme oranları değerlendirilmektedir. Aşağıda beş yıllık kalkınma planları kısaca özetlenmiştir [60].

Birinci Beş Yıllık Kalkınma Planı (1963–1967)

- Karayollarından yararlananların karayolu şebekesinin bakım giderleri ile amortismanına makul bir nispette katılmaları prensip olarak benimsenecektir.
- Bugünkü karayollarımızın fiziki standartları kötü, geometrik standartları ise ihtiyaçtan yüksektir. Bundan böyle fiziki standartlar yükseltilecek, geometrik standartlarda yurt ihtiyaçlarına göre tayin edilecektir.
- Bir başka yere yolla bağlanmamış kasabalar verimli trafik yoğunluğu bulunsun bulunmasın yola kavuşturulacaktır.
- İl-köy ve orman yolları yapımı önümüzdeki programın ağırlık noktasıdır. İl özel idareleri il yollarının yapımına uygun bir şekilde iştirak edeceklerdir. Bu yolların yapımı KGM'de toplanacaktır. Orman yollarının da KGM tarafından yapımı konusu incelenecektir. Bu takdirde Orman İdaresi bu yolların masraflarını karşılayacaktır.
- Turizmin gelişmesine imkan verecek karayollarının yapılmasına öncelik verilecektir.
- Karayolu taşımalarını düzenleyen yönetmelik, tüzük ve yasaları uygulamakla ilgili kuruluşlar çok çeşitlidir. Bu yüzden karayolu taşımaları memleket ekonomisi yararına işlememektedir. Gerek bugünkü hükümleri daha etkin bir şekilde uygulamak gerekse planın gerektirdiği karayolu politikasını izlemek üzere bir karayolu taşıma idaresi kurulacaktır.

İkinci Beş Yıllık Kalkınma Planı (1968-1972)

- Karayolu ve karayolu taşıt emniyeti, trafik kontrolleri, sürücülere ehliyet verilmesi ve karayolu işletmesi ile ilgili bütün diğer görevleri tek elde toplayan ayrı bir kuruluş olarak “Karayolları Ulaştırması ve Trafik Genel Müdürlüğü” kurulacaktır.
- Ulaştırma Sektöründe sistemi kullananların yapım ve bakım harcamalarına amortisman, bakım ve idame masraflarını karşılayacak ölçüde katılmaları şarttır.
- Karayolu fiziki ve geometrik standartları iyileştirilecektir.

Üçüncü Beş Yıllık Kalkınma Planı (1973-1977)

- Karayollarında taşımanın örgütlenmesi, taşıma işlerine ilişkin yasal düzenlemelerin gerçekleştirilmesi ve trafiğin etkin bir şekilde denetimi için gerekli işlemler tamamlanacaktır.
- Türkiye koşullarına uygun olarak karayolu altyapı standartlarının geliştirilmesi sorunu ele alınacaktır.
- Fiziki ve geometrik standartların yetersizliği, hızla artan trafik hacmi karşısında uzun dönemde darboğazlar yaratacak nitelikte görüldüğünden, devlet yollarında 16000 km.lik bir bölüm, il yollarında ise tüm şebeke yeni koşullara göre düzenlenecektir

Dördüncü Beş Yıllık Kalkınma Planı (1979-1983)

- Taşıma hizmetlerinin, yakıt tüketimi en az ve ülke koşullarına en uygun taşıma sistemleri ile karşılanmasını sağlayacak, plan hedef ve ilkeleriyle tutarlı bir politika izlenecektir. Bu amaçla, sanayi yük taşımalarının demiryolu ve denizyolu ulaşımına kaydırılması, demiryolu ve denizyolu ulaştırması ile boru hattı taşımalarına ve bu ulaşım biçimlerinin gerektirdiği altyapıya öncelik verilecektir.
- Şehirlerarası yük taşımada 1977 de %76,4 olan karayollarının payının 1983 te %66.4 e düşürülmesi, 1977 de sırasıyla % 13,9 ve% 9,5 olan demiryolu ve denizyolu ulaşırmacılığının paylarının ise % 22,7 ve % 10,7 ye yükseltilmesi öngörülmüştür.
- Karayolu taşımada, otobüsle yolcu taşımalarının toplam karayolu taşımadaki payının artırılması esas tutulmuştur.

- Devlet ve il yollarında, geçit vermeyen ve kaplamasız yol kalmaması, köy yollarında ise yeni yol ve kaplama yapımı yanında fiziki standartların da yükseltilmesi hedef alınmıştır.

Beşinci Beş Yıllık Kalkınma Planı (1985-1989)

- Yurtiçi yolcu taşımasında, birim taşıma maliyeti diğerk alt sektörlerden düşük olan karayolu sisteminin % 95,1 pay ile ağırlığını sürdürmesi, yurt dışı yolcu taşımasında ise havayolunun önemini koruması beklenmektedir.
- şehirlerarası yük taşımasında ağırlığın karayollarından birim taşıma maliyeti daha düşük olan demiryolları, denizyolu ve boru hatlarına doğru kaydırılması hedef alınmıştır. Beşinci plan dönemi sonunda halen %80,9 olan karayolları payının % 65,7'ye düşmesi, buna karşılık demiryolu, denizyolu ve boru hatlarının paylarının sırasıyla % 18,3, % 11,5 ve % 4,4 e yükselmesi beklenmektedir
- Ülkemiz üzerinden karayolu ile yapılan transit taşımaların ülkemizin daha avantajlı olduğu demiryolu ve limanlara kaydırılması için gerekli imkanlar hazırlanacaktır.
- Devlet ve il yollarının büyük bir bölümü kaplamalı duruma getirilecektir.
- Karayolu ulaştırmasında taşımalar lisans sistemine bağlanarak denetim altına alınacak, sigorta sistemi günün şartlarına uygun hale getirilecek, yeni yapım, bakım onarım giderlerinin karşılanmasında kamunun yapacağı paralı yollardan elde edilecek gelirlerden yararlanılacaktır.

Altıncı Beş Yıllık Kalkınma Planı (1989-1995)

- Yurtiçi yolcu taşımasında, birim taşıma maliyeti diğerk alt sektörlerden düşük olan karayolu sisteminin %95 pay ile ağırlığını sürdürmesi, yurtdışı yolcu taşımasında ise havayolunun önemini koruması beklenmektedir.
- Plan döneminde toplam kamu yatırımlarının %22 sinin ulaştırma sektörüne ayrılması öngörülmektedir. Bu dönemde yapılacak yatırımların tamamına yakın bir bölümünü devam eden projeler oluşturacaktır.
- AB ile entegrasyon sürecinde ulaştırma politikalarında uyum sağlanacaktır.
- Ulaştırma sektöründen beklenen hizmetlerin istenilen düzeyde sağlanabilmesi ve uluslararası teknolojik gelişmelerin yakından izlenebilmesi için altyapı ve işletmecilik alanında personel eğitimine öncelik verilecektir.

- Türkiye üzerinden yapılan transit taşımalarda demiryolu ve limanların potansiyelinden daha fazla yararlanılması için demiryolu ve liman üst yapıları ile tarife sistemlerinde bu geçişi özendirecek düzenlemeler yapılacaktır.
- Karayolu ve yurt içi yolcu taşımalarının yılda ortalama % 5,5 artışla plan dönemi sonunda 137 milyar yolcu-km ye, yurtiçi yük taşımalarının % 4,6 artışla 75,5 milyar ton-km ye ulaşması hedef alınmıştır.
- Plan döneminde, devlet yollarının tamamı ve il yollarının yüzde 70'i asfalt kaplamalı duruma getirilecek, devlet yollarında bitümlü sıcak karışım kaplamalı yolların uzunluğu artırılacaktır.
- Devam eden otoyol projelerinde şimdiye kadar yapılanların ve bundan sonra yapılacak işlerin verimli olabilmesi için bazı kesimler öncelikle ele alınarak tamamlanacaktır.
- Karayolu yapımlarında ihaleli yapım oranı artırılarak özel sektörün yapım kapasitesinden daha fazla yararlanılacak, Karayolları Genel Müdürlüğünün bakım hizmetlerinde yoğunlaşması sağlanacaktır.
- Ağır taşıt trafiğinin yoğun olduğu bölgeler ile çevre koşullarının esnek üstyapıları kısa sürede tahrip ettiği yörelerde deneme biçiminde kısa tullerde, prefabrik beton parke veya beton yol yapımına geçilecektir.

Yedinci Kalkınma Planı (1995-2000)

- Çevre ile de uyumlu bir ulaştırma altyapısı oluşturulması temel amaçtır. Bu amaca ulaşmak için; sektörde verimliliğin artırılması, mevcut kapasitelerin etkin bir biçimde kullanımı, ağırlıklı olarak karayolları ile yapılan yurtiçi yük taşımalarının demiryolu, denizyolu ve boru hatlarına kaydırılmasını sağlayacak altyapı ile yasal ve kurumsal düzenlemelerin gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir.
- Ulaştırma alt sistemlerini ülkenin ekonomik ve sosyal gelişimi ile uyumlu ve birbirlerinin tamamlayıcısı olarak ele alan dinamik bir Ulaştırma Ana Planı yapılacaktır ve uygulamada sürekliliği sağlanacaktır.
- Ulaştırma sistemlerinin niteliklerine uygun özelleştirme programları ve denetim mekanizmaları geliştirilecek, yatırımların gerçekleştirilmesinde Yap-İşlet-Devret Modeline önem verilecektir.

- Mevcut otoyolların, limanların ve havaalanlarının etkin kullanımını sağlayabilmek için bunları karayolu ve demiryolu ana aksları ile bütünleştirecek yolların yapımı öncelikle ele alınacaktır.
- Devlet ve il yollarında üstyapının iyileştirilmesi çalışmalarına ağırlık verilecek, asfalt kaplamalı yol oranı, plan döneminde devlet yollarının tamamını, il yollarının da yüzde 85'ini kapsamak üzere artırılırken ağır taşıt trafiğine uygun beton asfalt yol uzunluğu dönem sonunda 8.500 km'ye ulaştırılacaktır.
- Devam eden otoyol yatırımları yeniden değerlendirilip uygun görülenlerin yapım ve işletiminin özel sektöre devri sağlanacak, bundan sonra yapılacak otoyolların Ulaştırma Ana Planı ile uyumlu olması ve yapılabilirlik etütlerine dayandırılması esas alınacak, bu yatırımların Yap-İşlet-Devret Modeli ile ele alınmasına öncelik verilecektir.

Sekizinci Beş yıllık Kalkınma Planı (2001-2005)

- VIII. Plan, ulaştırma alt sektörlerinin işlevlerini etkin olarak yerine getirmesi için gerekli politikaların oluşturulacağı bir dönem olacaktır.
- Ülke ekonomisi ve sosyal yaşamın beklentilerine uygun ulaştırma altyapısını oluşturmak üzere taşıma türleri arasında dengeyi sağlayacak bir Ulaştırma Ana Planı hazırlanacaktır. Plan döneminde, Ulaştırma Ana Planının öncelikle hazırlanması amacıyla, Ulaştırma Bakanlığı koordinasyonunda ilgili kuruluşların etkin katılımı sağlamak üzere gerekli düzenlemeler yapılacaktır.
- Karayolu altyapısı, trafiğin gerektirdiği kesimlerde otoyol ve bölünmüş yol sistemi ile geliştirilecek, büyük şehir geçişlerinin bir program çerçevesinde çevre yollarına dönüştürülmesine önem verilecek, ana güzergahlardaki kuzey-güney bağlantıları iyileştirilecek, karayolu ağı üzerinde trafik kazalarının yoğunlaştığı kara noktaların giderilmesi çalışmaları öncelikle ele alınarak Plan dönemi içinde tamamlanacaktır
- Otoyol projeleri, seçenek taşıma türlerini dikkate alan kapsamlı teknik, ekonomik ve mali fizibilite etütlerine dayandırılacak, otoyol yapım ve işletiminin özel sektör tarafından gerçekleştirilmesinde uygulanabilecek finansman modelleri geliştirilecektir.

- Mevcut otoyolların kullanımında güvenliğin ve verimliliğin artırılması için bilgi teknolojilerindeki gelişmelerden yararlanılacak, geçiş ücretlerinin belirlenmesinde, her kesimde otoyolun kullanım esnekliğini belirleyen araştırmalara dayanan, kullanıcı tercihlerini rasyonel trafik dağılımlarına göre yönlendiren bir yaklaşım geliştirilecektir.
- Plan döneminde, asfalt kaplamalı yol oranı devlet yollarının tamamını, il yollarının da yüzde 90'ını kapsamak üzere artırılırken, ağır taşıt trafiğine uygun beton asfalt yol uzunluğu, dönem sonunda 8.200 km'ye ulaştırılacaktır.

Dokuzuncu Yedi yıllık Kalkınma Planı (2007-2013)

- Sektör içindeki kuruluşlar arasındaki koordinasyon eksikliği ve sektörün bütününe dengeli bir yapıda ele alan politikaların oluşturulamaması sorunu bu dönemde de devam etmiştir. Bu sorunların giderilmesi amacıyla başlatılan Ulaştırma Ana Planı Stratejisi çalışmaları 2005 yılında tamamlanmıştır.
- Yeni bölünmüş yolların büyük çoğunluğu sathi kaplamalı olarak inşa edilmiş olup, BSK'ya çevirme çalışmalarına başlanılmıştır.

Kalkınma planlarını ana ilkeler ve genel hedefler açısından incelediğimizde;

- Üçüncü plan döneminden başlamak üzere, taşımacılık hizmetlerinde karayolu taşımacılığı ağırlıklı dengesiz dağılımının diğer ulaşım türlerine kaydırılması gerekliliği ortaya konmuştur. Ancak bu durum düzeltilememiş ve dördüncü, yedinci ve sekizinci plan dönemlerinin de önemli genel hedeflerden biri olarak yer almıştır.
- Ulaşım sektörünün değişen şartlara uyabilen, teknolojik gelişmeleri yakından takip eden bir yapıya sahip olması gerekliliği ilk olarak ikinci plan döneminde yer almıştır. Gelişen teknolojinin gerisinde kalmamak amacı ile bu gereklilik altıncı ve sekizinci plan dönemlerinde de yer almıştır.
- İlk olarak dördüncü plan döneminde “ulaşım sektöründe büyük ve entegre projeler yapılması gereklidir” maddesiyle değinilen ulaşım ana planlarının gerekliliği, bu konuda yeterli çalışmalar yapılamadığı için, yedinci ve sekizinci plan döneminin de kapsamında yer almıştır.
- Çok önemli olmasına rağmen, yedinci plan dönemine kadar hiç değinilmeyen “ulaşım altyapısı ve işletmesinin çevreye uyumlu olması” gerekliliği, hızla artan çevre kirliliği nedeniyle yedinci ve sekizinci kalkınma planlarının genel hedefleri arasında yer almıştır.

Kalkınma planlarını karayolu ulaşımı açısından incelediğimizde;

- Birinci Plan döneminde, ulaştırma sektöründe sistemi kullananların yapım ve bakım harcamalarına katılımlarının sağlanması planlanmış, bu madde İkinci Plan kapsamında da yer almıştır. Ancak bu katılım yeterli düzeyde sağlanamadığı için Altıncı Plan döneminde karayolunu kullananlardan alınacak dolaylı ve dolaysız vergilerin, yolu kullanım oranları ile ilişkilendirilerek belirlenmesi kararlaştırılmıştır.
- Birinci Plandan Beşinci Plana kadar Devlet karayolu ağının fiziki ve geometrik standartların iyi düzeye getirilmesi plan kapsamındadır.
- Altıncı Plan döneminde devlet yollarının tamamı ve il yollarının yüzde 70'i asfalt kaplamalı duruma getirilerek, devlet yollarında bitümlü sıcak karışım kaplamalı yolların uzunluğu artırılması hedeflenmiştir. Altıncı plan döneminde ağır taşıt trafiğinin yoğun olduğu bölgeler ile çevre koşullarının esnek üstyapıları kısa sürede tahrip ettiği yörelerde prefabrik beton parke veya beton yol yapımına geçilmesi planlanmış ancak bu gerçekleştirilememiştir.
- Altıncı Planda devam eden otoyol projelerinde bazı kesimlere öncelik verilmesi kararlaştırılmış, Yedinci Plan döneminde otoyolların Ulaştırma Ana Planı ile uyumlu olması ve yapılabilirlik etütlerine dayandırılması esas alınarak bu yatırımların Yap-İşlet-Devret Modeli ile ele alınmasına öncelik verilmesi öngörülmüştür. Otoyol yapımına Sekizinci Plan döneminde de devam edilmiştir. Yedinci ve Sekizinci Planlarda Devlet ve İl yollarında bölünmüş yolların artırılması hedeflenmiştir ancak, henüz tam olarak tüm yollar bölünmüş hale getirilememiştir.

1.4. Çalışmanın Amaç Ve Kapsamı

Karayolları Genel Müdürlüğü yatırımları, katma bütçeden aldığı ödeneklerin yanı sıra 1984 yılında Kamu Ortaklığı Fonu ve 1985 yılından sonra da Akaryakıt Tüketim Fonu ödenekleri ile de desteklenmiştir. Ancak, 1 Eylül 1998 tarihinden itibaren Akaryakıt Tüketim Vergisi ve 2001 Mali Yılı başından itibaren de Kamu Ortaklığı Fonu yürürlükten kaldırılmış olup, Karayolları Genel Müdürlüğü 1984 yılı öncesinde olduğu gibi finansman kaynağı tümüyle katma bütçe olan bir kuruluş haline gelmiştir.

Genel bütçeden Karayolları Genel Müdürlüğü'ne yeterli bütçe tahsisi zorlaştığından ekonomik olarak fızıbl olan projelerin Dünya Bankası, Avrupa Yatırım Bankası gibi Uluslararası Finans Kuruluşlarından sağlanan dış kaynaklar ile gerçekleştirilmesi politika olarak benimsenmiştir.

Çizelge 1.7’de 1950–2008 arasında, KGM’ ye tahsis edilen bütçe ödenekleri görülmektedir [11]. KGM’ nin Türkiye Genel Bütçesi’nden aldığı pay 1960 yılında %13 düzeyinde iken, krizlerin etkisiyle 1993 yılında % 2,7 düzeyine, 1999 yılında ise tarihinin en düşük değeri olan % 1,2 düzeyine düşmüştür. 2008 yılında bu oran %1,5 olmuştur. Yatırımlar açısından 1993–2008 yılları arasına bakıldığında, 1993 yılında KGM bütçesinden yatırım için % 64 oranında harcama yapılırken, bu oran 1995’te % 38 düzeyine, 1996 ve 1997 yıllarında % 50 düzeyine ulaşmıştır. 2008 yılında ise % 52 düzeyinde kalmıştır. Otoyol yatırımları ise ulaştırma yatırımlarının % 47’sini oluşturmuştur. Gelecek yıllarda, 15.000 km bölünmüş yol hedefi de göz önüne alındığında, karayolu üstyapısının sürüş performansını yeterli düzeyde tutabilmek için, mevcut üstyapıyı koruyacak ve bakımını gerektiği zaman yapabilecek bir düzenlemenin ivedilikle oluşturulması gerekmektedir.

Çizelge 1.7: 1950–2008 arasında, KGM’ ye tahsis edilen bütçe ödenekleri [11]

BÜTÇE DURUMU VE KONSOLİDE BÜTÇEYE ORANI				
KGM ' NE BÜTÇE İLE VERİLEN			KONSOLİDE	KONSOLİDE
YILLAR	YATIRIM*	TOPLAM	BÜTÇE	BÜTÇEYE ORANI (%)
1950	54.140	60.303	1.487.000	4,1
1955	311.998	322.600	2.941.000	11,0
1960	942.630	971.135	7.282.000	13,3
1965	629.000	1.021.224	14.421.000	7,1
1970	1.478.631	2.335.821	28.860.265	7,7
1971	1.767.500	2.533.403	37.092.900	6,8
1972	1.597.000	2.398.545	50.312.079	4,8
1973	1.919.000	2.880.450	61.023.304	4,7
1974	2.670.399	4.140.368	81.657.577	5,1
1975	3.935.000	5.983.403	106.888.231	5,6
1976	6.585.100	9.102.480	151.519.980	6,0
1977	10.600.000	13.200.000	222.949.004	5,9
1978	9.855.000	13.856.975	262.753.178	5,3
1979	12.327.721	22.346.720	397.309.279	5,6
1980	17.395.000	30.707.527	756.687.182	4,1
1981	40.600.000	81.341.305	1.540.965.037	5,3
1982	53.244.000	96.503.999	1.780.640.059	5,4
1983	73.060.000	129.979.000	2.558.902.500	5,1
1984	96.350.000	162.093.710	3.211.982.000	5,0
1985	105.490.000	191.589.270	5.412.082.049	3,5
1986	150.150.000	284.941.085	7.104.111.000	4,0
1987	202.235.000	362.670.000	10.885.686.000	3,3
1988	340.045.000	570.745.000	20.840.000.000	2,7
1989	576.350.000	922.344.000	32.733.446.000	2,8
1990	1.209.000.000	1.819.109.000	63.925.354.000	2,8
1991	1.762.100.000	2.757.586.000	105.217.150.000	2,6

Çizelge 1.7: 1950–2008 arasında, KGM’ ye tahsis edilen bütçe ödenekleri (devam)

1992	3.124.200.000	5.566.200.000	207.880.000.000	2,7
1993	6.693.000.000	10.832.400.000	398.710.000.000	2,7
1994	13.637.500.000	20.389.500.000	823.396.307.000	2,5
1995	10.493.000.000	27.735.900.000	1.335.978.053.000	2,1
1996	32.737.000.000	58.348.000.000	3.558.506.822.000	1,6
1997	69.033.700.000	124.556.874.000	6.344.685.500.000	2,0
1998	103.080.000.000	213.509.525.000	14.749.475.000.000	1,5
1999	153.650.000.000	329.809.135.000	27.186.600.000.000	1,2
2000	272.615.000.000	1.099.041.505.000	46.702.436.000.000	2,4
2001	593.440.000.000	1.031.980.299.000	48.519.490.000.000	2,1
2002	940.100.000.000	1.733.273.200.000	98.131.000.000.000	1,8
2003	1.454.695.000.000	2.348.106.000.000	147.230.170.000.000	1,6
2004	1.303.139.000.000	2.301.875.000.000	150.556.129.000.000	1,5
2005	2356830000	3482771000	156088874910	2,2
2006	2.714.700.000	3.963.946.000	170.156.782.052	2,3
2007	1877104000	3408388000	202770978858	1,7
2008	1759491000	3391135000	223535698209	1,5

Not: Otoyol gelirleri, 1985 yılından itibaren ATV, 1986 yılından itibaren KOF ve 1998 yılında özelleştirme ödeneğinden alınan ödenekler dahil edilmemiştir.

Bu çalışmada, Türkiye Otoyol Ağı’nın bakım ve onarımı için kaynakların daha verimli biçimde kullanılmasını sağlamak amacıyla, Türkiye Otoyol ağı içindeki yollarda, üstyapıların bakım-onarım etkinliklerinin düzenli olarak ve zamanında gerçekleştirilmesinde, üstyapı performanslarını maksimum düzeyde tutabilecek çözümler üreterek, karar vericilere, mevcut kaynakların optimum şekilde dağılımını ve kullanımını sağlamada rehberlik etmek ve aynı zamanda gelecek yıllar için gerekli bütçeyi hazırlamakta yardımcı olmak amacıyla Türkiye koşullarına uygun bir Üstyapı Yönetim Sistemi (ÜYS)’nin oluşturulması amaçlanmaktadır.

Çalışmanın Birinci Bölümünde genel bilgilere, İkinci ve Üçüncü Bölümü’nde ise ÜYS’nin kurulmasına temel oluşturmak amacıyla, genel literatür araştırmasına yer verilmiş ve üstyapı yönetim sistemi ve ilkeleri ayrıntılıca açıklanmıştır. Dördüncü ve Beşinci Bölümler’de üstyapı bozulmaları tanımlanmış ve bakım-onarım yöntemlerine yer verilmiştir. Altıncı ve nihai bölümde ise üstyapı performans tahmin modelleri açıklanmış ve bu modellerden, regresyon analiz yöntemi ile bulanık mantık yöntemi SPSS16 ve MATLAB2008 bilgisayar programları kullanılarak, Türkiye Otoyol Ağı için önerilen üstyapı performans tahmin modelleri geliştirilmiştir. Ekonomik analiz ile bütçe stratejileri belirlenmiştir.

2. ÜSTYAPI YÖNETİM SİSTEMİNE GENEL BİR BAKIŞ

2.1.Üstyapı Yönetim Sistemi Nedir?

Bir yol ağının mevcut durumunu ortaya koyup, buna göre uygulanacak bakım stratejilerinin belirlenmesi Üstyapı Bakım-Onarım Yönetim Sistemi (ÜYS) ile sağlanmaktadır. ÜYS, sınırlı mevcut bir bütçeye, en yüksek kazanç sağlayacak optimum bakım/iyileştirme önceliği programlarını oluşturmak için, nesnel ve sistematik bir yaklaşımdır [71].

ÜYS, yatırımların planlanması veya programlanması, tasarım, yapım ve periyodik performans değerlendirmesi gibi oldukça geniş uygulama alanına sahiptir. ÜYS' nin temel amacı, mevcut bütçe olanaklarına göre, ağ içerisindeki üstyapıların bakım-onarım etkinliklerinin düzenli olarak ve zamanında gerçekleştirilmesinde, üstyapı performanslarını maksimum düzeyde tutabilecek çözümler üreterek, karar vericilere, mevcut kaynakların optimum şekilde dağılımını ve kullanımını sağlamada rehberlik etmek ve aynı zamanda gelecek yıllar için gerekli bütçeyi hazırlamakta yardımcı olmaktır.

ÜYS, ağ düzeyi ve proje düzeyi olmak üzere, iki düzeyde uygulanabilmektedir. Ağ düzeyinde geniş çapta bir proje grubu veya tüm karayolu ağı üzerinde, bakım ile ilgili olarak ne zaman, nerede ve ne türde çalışmalar yapılacağı hakkında kararlar alınmakta, proje düzeyinde ise, bağımsız projelere ait daha özgün ve uygulamaya yönelik teknik yönetim kararları verilmektedir. Bir ÜYS kullanmanın, teknik, ekonomik ve yönetsel bakımdan pek çok faydaları bulunmaktadır. Şöyle ki; ÜYS ile [78]

- Daha güvenli, konforlu, uzun ömürlü ve ekonomik yol ağı hizmete sunulur.
- Üstyapı ömrü boyunca oluşacak problemlerin zamanında ve en ekonomik biçimde çözülmesi,
- Bakım-onarım için ayrılan fonların azalması,
- Yol yapı malzemelerinde tasarruf sağlanması,
- En uygun bütçe planlarının yapılması sağlanmaktadır.

Başarılı bir ÜYS; kararlı olmaya, kullanıcılara en üst seviyede yarar sağlamaya, yeni kaynaklar bulmaya, düzenli veri depolamaya, teknolojiyi takip etmeye, her seviyede uygulanabilir olmaya ve başarılı planlama yapmaya bağlıdır [68]. Bunun içinde öncelikli olarak koşul indekslerinin belirlenmesi, bakım ve onarım gereksinimleri ve ağ düzeyinde önceliklerin belirlenmesi temel unsurlardır [77].

Üstyapı yönetimi, karayolu ağının sağlıklı değerlendirilmesiyle başlamaktadır. Bu amaçla, otoyol ağını oluşturan bütün yollar, seyir konforu, yapısal direnci, yüzey bozuklukları ve kayma direnci yönünden, ekonomik olarak, doğru ve hassas veri sağlayan sistemler ile etüt edilmekte ve elde edilen verilerin, karayolu ağının mevcut durumunu belirlemek amacıyla, kesim kesim analizleri yapılmaktadır [77]. Mevcut durum ile ilgili bu bilgiler, yalnızca yolların kötü durumda olanlarını değil, aynı zamanda orta ve iyi durumda olanlarını belirlemek amacıyla da kullanılabilir. Mevcut

Bundan sonraki adım, yolların gelecekteki performansını, yani yolların mevcut performansının zaman içindeki değişimini tahmin etmek olacaktır. Bu aşamada, yalnızca hemen iyileştirilmeye gereksinim gösteren yollar değil, aynı zamanda, gelecekte hangi yolların hangi yıllarda iyileştirilmeye gereksinim göstereceği de belirlenebilmektedir. İyileştirilmeye veya bakıma gereksinim gösteren yolların her biri için, en ekonomik ve en iyi iyileştirilme veya bakım stratejilerinin seçimi amacıyla, sonradan daha ayrıntılı analizler yapılmaktadır. Bu seçim ise, başlangıçtaki yol yapım maliyetleri ve gelecekteki bakım giderleri ile taşıt işletme giderlerindeki tasarruflar göz önünde bulundurularak yapılmış kapsamlı ekonomik analizler ile gerçekleştirilmektedir.

Son aşama ise, daha önceki aşamada analizleri yapılan yolların belirlenen planlama süresince düşünülen optimum iş programının oluşturulması için, iyileştirme veya bakım stratejilerinin seçimi ile ilgili bulunmaktadır.

Bu seçim, sonuçlanacak öncelikli çalışma programının en uygun olmasını sağlamaktadır. Diğer bir deyişle, bu seçim, faydaların yol ağı için en fazla olmasını sağlamak üzere tanımlanan matematiksel optimizasyon teknikleri ve kısıtlı yıllık bütçe kullanılmak suretiyle yapılmaktadır.

Sonuç hangi yollara, hangi yöntemle ve hangi yılda müdahale edilmesi gerektiğini ortaya koyan, her yıl için öncelikli en uygun bir iyileştirme veya bakım programı elde etmek olmaktadır.

ÜYS'nin gelişimi için üç önemli hususun değerlendirilmesi gerekmektedir [68].

1. Kurumsal Açıdan;

- Başarılı planlama
- Total iyi yönetim
- Özelleştirmeye uygulanabilir olmak

2. Teknik Açıdan;

- Network ağı ve proje seviyeleri
- Uzun tül de en iyi kalitede üstyapı kaplaması
- Farklı trafik ve çevre koşullarında performans modelleri

3. Ekonomik ve ömür döngüsü açılarından;

- Ölçülebilir faydalar
- Ekonomik değerlendirme programları
- Uzun dönem ömür-döngü analizleri

Her yıl yeni yolların yapılması ve mevcut yolların iyileştirilmesi ile toplam yol uzunluğu artmakta olan Türkiye karayolları ağına bakım ve onarımı için çok yüksek değerlere ulaşan bütçe gereksinimi ortaya çıkmaktadır. Sınırlı kaynaklara sahip bulunan ülkemizde, kaynakların daha verimli biçimde kullanılmasını sağlamak amacıyla, karayolu ağı içindeki Asfalt Betonu Kaplamalı yollarda ÜYS' nin uygulanması zorunlu hale gelmiş bulunmaktadır.

2.1.1. Üstyapı yönetim sistemlerinin dönemsel gelişimi

2000 yıl öncesinde Romalı mühendisler tarafından bakım yönetim sisteminin kurulduğu tahmin edilmektedir [72]. 1960'ların sonu ile 1970'lerin başlarında araştırmacılar tarafından üstyapı yönetim sistemi terimi telaffuz edilmeye başlanmıştır. İlk dönemde geliştirilen ÜYS'lerden en büyük ölçekli olanı "project123" adıyla Teksas Yollar İdaresi ve Teksas üniversitesinin ortaklaşa çalıştığı ve yönettiği sistemdir.

Diğer önemli bir ilerleme de 1968 yılında Ulusal Otoyollar İşbirliği Araştırma Programı (NCHRP) tarafından "Project 1-10" projesiyle sağlanmıştır. Hudson ve McCullough isimli araştırmacılar tarafından ikinci dönemde geliştirilmiştir. Üçüncü dönemde Lytton tarafından önceden devam eden çalışmalar neticelendirilmiş ve günümüzde ise malzeme araştırmaları ve geliştirmeleri ile devam etmektedir.

1956–1960 yıllarında Amerika’da gerçekleştirilen AASHO Road Test ile üstyapı yönetim sistemi kullanılmaya başlamıştır. AASHO Yol Deneyindeki araştırmalar,[60] Üstyapı Servis Kabiliyetinin, yüzey profili ve geometrik düzgünsüzlükten % 95 doğrulukla elde edilebileceğini göstermiştir. İlk ulusal ÜYS çalışması; 1980 yılında, Phoenix Arizona’da 172 mühendisin katılımıyla oluşturulan çalışma grubu tarafından kısa ve uzun dönem ÜYS için ulusal program oluşturulması maksadıyla yapıldı [72]. 1980 yılında sadece 5 bölgede (Arizona, California, Idaho, Utah ve Washington) ÜYS kullanılmaya başlanılmışken bugün 50 bölgede ÜYS kullanılmaktadır. 1994 yılında FHWA için Texas Research and Development Foundation tarafından hazırlanan raporda, 52 ajansın 47’sinin IRI ölçümlerini kullanırken diğerlerinin 10 farklı tipte ölçüm ekipmanlarını kullandıklarını bildirmiştir [72,76].

FHWA tarafından gelecekte ÜYS’ de temel teşkil edecek ölçüm tiplerinin standart edilebilmesi için en az dört tip ölçüm yapılması gerekliliğini belirtmiş ve bu ölçüm tiplerinin; IRI, tekerlek izi derinliği, çukur ve sökölme ile çeşitli çatlak şekilleri olduğunu belirtmiştir. Sonuçta, bozukluklar ile düzgünsüzlüğün birbirleri ile olan ilişkileri Ortalama Panel Puanları (PSRs) fiziksel ölçümlerle belirlenmiştir. Bu değişkenlerin subjektif ortalaması ile objektif ölçümler arasındaki ilişkiyi belirlemek için bir metot bulunmuş ve servis kabiliyeti göstergesi olarak kullanılmıştır [72].

İlk üstyapı yönetim sistemlerinde, üstyapı performans tahmin bileşeni bulunmuyordu ve üstyapının mevcut durumu ve gelecekteki performans beklentisi belirliydi. Sonrasında sadece üstyapı yaşı gibi sadece bir değişkene bağlı basit performans tahmin modelleri geliştirildi. Rehabilitasyonların tasarım ömrünü tahmin etmede uzman görüşünü esas almaktaydı. [73].

Günümüzdeki ÜYS’ler, çeşitli performans tahmin modellerini kullanmaktadır. Bu modellerden bazıları, trafik yükleri, iklim durumu, üstyapı yapısal özellikleri ve üstyapı bozulmalarının geçmiş oranları gibi değişkenlere ait verilerin çoklu regresyon analizini esas almaktayken, diğerleri mekanistik prensipleri temel almaktadır. Gelecekte ise performans tahmin yöntemlerinde yapay zeka yöntemlerinin geliştirilerek kullanılacağı beklenmektedir.

Ekonomik analiz için ilk üstyapı yönetim sistemlerinde, sadece rehabilitasyon uygulamalarının başlangıç inşaat maliyetleri kullanıldı.

Kullanıcı maliyetleri analiz edilmedi ve ömür-döngü maliyetleri hesaplanmadı. Günümüzde ise, hem acente maliyetleri hem de kullanıcı maliyetleri analiz edilmektedir. Gelecekte ise üstyapı düzgünsüzlüğü nedeniyle oluşan maliyetler ile trafik yoğunluğuna bağlı olarak ortaya çıkan ilave maliyetlerin bileşkesi analiz edilecektir.

ÜYS'nin uygulanabilir olması için ASTM E1889-97 standart rehberi yayımlanmıştır. Bu kılavuz; sistem mühendislerinin, ÜYS işletiminde ve uygulanmasındaki süreci ve adımları izlemeleri ve gerektiğinde müdahale etmelerine olanak sağlayacak efektif kuralları ortaya koymaktadır [83].

Ayrıca gelecekte ÜYS'nin başarılı bir şekilde ortaya konulabilmesi için tecrübeli üstyapı yönetim mühendislerine büyük ihtiyaç doğacaktır. Söz konusu mühendisler sadece inşaat mühendisi olmayıp, sistem giriş mühendisi, bilgisayar mühendisi, elektronik uzmanlar, finans uzmanları ve ekonomistlerden oluşacaktır [74].

2.1.2. Üstyapı yönetim sistemlerinin genel değerlendirme ölçütleri ve kullanılan sistemler

OECD'ye üye ülkelerin kullandıkları Üstyapı Yönetim Sistemlerine ve dikkate almış oldukları ölçütler incelendiğinde aşağıda ki hususlar ortaya çıkmaktadır [7,61].

1. Üstyapı yönetim sistemlerinin temel esasları, sorumluluk paylaşımı ülke koşullarına göre ayarlanarak tespit edilmiştir.
2. Üstyapı performansının değerlendirilmesi için tek bir indekxin kullanılması benimsenmiştir.
3. Üstyapı Durum parametrelerinin belirlenmesinde ileri teknolojik donanımına sahip araçlar kullanılmaktadır.
4. Mevcut üstyapının değerlendirilmesi ve bakım veya yeniden yapımına karar verilmesi hususunda, kullanılan parametreler genel olarak; yüzey bozulması, düzgünsüzlük, tekerlek izi, çatlama, defleksiyon, kayma direnci, trafik, bakım maliyetleri, taşıma kapasitesi ve kullanıcı maliyetleri gibi parametrelerden seçilmektedir.
5. Tahmin modelleri kullanılarak müdahale düzeyleri belirlenmektedir.

Aşağıda OECD'ye üye ülkelerin kullanmış oldukları Üstyapı Yönetim Sistemleri ile ilgili özet bilgileri verilmiştir [61,81].

İtalya: Üstyapı durum değerlendirilmesinde esas alınan parametreler, güvenlik ve konfor olup, müdahaleye karar vermek için gözönüne alınan sınır parametreler ise kayma direnci, tekerlek izi derinliği ve taşıma kapasitesidir.

Japonya: Üstyapı durum değerlendirilmesi ve müdahaleye karar vermek için gözönüne alınan sınır parametreler; Tekerlek izi, Kayma direnci, Çatlaklar olup, müdahaleye karar vermek için gözönüne alınan sınır parametreler ise kayma direnci, tekerlek izi derinliği ve taşıma kapasitesidir.

Hollanda: Üstyapı durum değerlendirilmesi için gözönüne alınan parametreler; Güvenlik, düzgünsüzlük, tekerlek izi, Kayma direnci, Çatlaklar ve taşıma kapasitesi olup, müdahaleye karar vermek için gözönüne alınan sınır parametreler ise kayma direnci, tekerlek izi derinliğidir.

İsveç: Üstyapı durum değerlendirilmesi için gözönüne alınan parametreler; Düzgünsüzlük, tekerlek izi, çatlaklar olup, müdahaleye karar vermek için gözönüne alınan sınır parametreler ise kayma direnci, tekerlek izi derinliğidir.

İsviçre: Üstyapı durum değerlendirilmesi ve müdahaleye karar vermek için gözönüne alınan sınır parametreler; Kayma direnci, düzgünsüzlük, tekerlek izi ve taşıma kapasitesidir.

Avusturya: Üstyapı durum değerlendirilmesi ve müdahaleye karar vermek için gözönüne alınan sınır parametreler; Kayma direnci, düzgünsüzlük ve tekerlek izi derinliğidir.

Belçika: Üstyapı durum değerlendirilmesi ve müdahaleye karar vermek için gözönüne alınan sınır parametreler; Kayma direnci, düzgünsüzlük ve taşıma kapasitesidir.

Kanada: Üstyapı durum değerlendirilmesi ve müdahaleye karar vermek için gözönüne alınan sınır parametreler; yüzeyin bozulması, düzgünsüzlük ve taşıma kapasitesidir.

Danimarka: Üstyapı durum değerlendirilmesi ve müdahaleye karar vermek için gözönüne alınan sınır parametreler; yüzeyin bozulması, kayma direnci ve düzgünsüzlüktür.

Finlandiya: Üstyapı durum değerlendirilmesi ve müdahaleye karar vermek için gözönüne alınan sınır parametreler; Kayma direnci, çatlama, tekerlek izi derinliğidir.

Fransa: Üstyapı durum değerlendirilmesi ve müdahaleye karar vermek için gözönüne alınan sınır parametreler; taşıma kapasitesi ve yüzey durumudur.

ABD: Üstyapı durum değerlendirilmesi ve müdahaleye karar vermek için gözönüne alınan sınır parametreler; Kayma direnci, düzgünsüzlük, tekerlek izi ve taşıma kapasitesidir. Havaalanlarında bakım-onarım yöntemleri yol uzmanlarının tecrübelerine göre eş yıllık bir planlama yapılarak belirlenmekle birlikte, Public Law 103-305 standartları da kullanılmaktadır. PCI indeksine bağlı olarak belirlenen sınır koşullar ise; [76]

- PCI: 100-80 Önleyici bakım,
- PCI: 80-40 Büyük rehabilitasyon,
- PCI: 40-0 Yeniden yapım

ÜYS için öncelikle, PCI indeksi belirlenmektedir. F8006-R805 programları kullanılarak üstyapının kalan ömrü hesaplanmaktadır [79].

Kore: ÜYS, 1970 yılında kullanılmaya başlanılmıştır. 2005 yılı sonunda mevcut 14,225 km.lik ulusal yolun 11,195 km.sinde ÜYS kurulması planlanmıştır. Yol yüzey indeksi olarak MCI (Maintenance Control Indeks) kullanılmaktadır. Bu indeks Japonya Karayolu İdaresi tarafından PSI indeksi referans alınarak geliştirilmiştir [81]. Üstyapı durum değerlendirilmesi ve müdahaleye karar vermek için gözönüne alınan sınır parametreler; Kayma direnci, düzgünsüzlük, tekerlek izi ve taşıma kapasitesidir.

Aşağıda Üstyapı Yönetim Sistemi hakkında çeşitli araştırmacıların yapmış olduğu çalışmalar kısaca özetlenmiştir [8].

Jung vd. çalışmalarında, bir üstyapı performans modeli geliştirmişlerdir. Üstyapı performansının ana bozulma mekanizmaları olan *trafik yükleri ve çevre koşullarından* etkilendiği kabul edilmektedir.

Moavenzadeh, üstyapı performansının tahmini için bir simülasyon modeli geliştirmiştir. Bozulmaların başlıca nedenlerinin, *deformasyon ve çatlaklar* olduğunu belirtmiştir. Üstyapı bozulmalarına katkıda bulunan etkenleri ise, *fiziksel özellikler ve üstyapı geometrisi, yük ve çevre koşulları* olarak tanımlamıştır.

Steiner ve Lynch, yol bakımı için bir fayda/maliyet yaklaşımı geliştirmişlerdir. *Yıllık ortalama günlük trafik (YOGT), yol durumu envanteri*, taşıt işletme ve seyahat süresi maliyetleri ile yol bakım maliyetleri girdi verisi olarak kullanılmıştır. Faydaların maliyetlere oranı kullanılarak bakım önceliğini belirlemişlerdir.

Haas ve Cheetham, bütçe kısıtları altında öncelikleri belirlemek ve seçilen herhangi bir program periyodunda bakım ve rehabilitasyon yöntemlerinin belirlenmesini amaçlamışlardır. Bu yöntemde veri grubunu, üstyapı durumu, hizmet yeteneği, yapısal yeterliliği, trafik ve birim maliyetler oluşturmaktadır. Bakım programlaması, maliyet bedelinin maksimizasyonu kullanılarak bütçeyi esas alır ve farklı bakım uygulamalarını değerlendirir. Rehabilitasyon programlaması ise programlama periyodunda faydaları maksimum yapan yıllık öncelik listelerini hazırlar.

Shahin ve Becker, üstyapı performans tahmin modeli geliştirmek için Amerika'daki bir havaalanından elde edilen verileri kullanmışlardır. Üstyapı Durum İndeksi (Pavements Condition Index-PCI) adında bir model geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri model hem esnek hem de rijit üstyapılar için kullanılabilir. Bu modeli, ilgili çalışmalarda diğer modellerle karşılaştırarak, onlara göre daha iyi sonuç verdiğini göstermişlerdir.

Sharaf ve Sinha, bakım maliyeti ile ilgili model geliştirmek için bir yöntem geliştirmişlerdir. Çalışma sonunda, üstyapı olağan bakım maliyetleri ile üstyapı yaşı ve trafik düzeyi arasında önemli bir ilişki olduğunu belirlemişlerdir.

Rada vd., proje düzeyinde optimal üstyapı stratejisini seçmek için en önemli ölçüt olarak ömür-döngü maliyetinin esas alındığını belirtmişlerdir. Üstyapı yönetimi için ömür-döngü maliyeti modeli ve maliyet-etkinlik yöntemini içeren bir model geliştirmişlerdir. Önerdikleri yaklaşımın çözümleme sonuçları, ömür-döngü maliyeti bir çok stratejiyi etkilemesine karşın optimal seçimin her zaman minimum ömür döngü maliyetini vermeyebileceğini göstermişlerdir.

Riggins vd. çalışmalarında, üstyapı hizmet yeteneği indeksi ile başlıca dört bozulma tipinin (tekerlek izi, timsah sırtı çatlak, boyuna çatlak ve enine çatlak) kullanarak üstyapı performansı tahmin modeli geliştirilmesi ve esnek üstyapı tasarımında bu yöntemin uygulanmasını özetlemişlerdir. Geliştirdikleri yöntem performans tahmin yöntemi olarak S-şekilli eğrileri kullanmaktadır.

Templeton vd., üstyapı ağını örneklendirmek suretiyle incelenmesinin, üstyapının mevcut durumu hakkındaki bilgiyi elde etmede yeterli olacağını belirtmişlerdir. Örnekleme, bilgi toplamak için gereken zaman ve insan gücü miktarını azaltmak için tercih edilmektedir. Sonuçta, verilen bir doğruluk derecesi için gereken örnek boyutunun, aynı doğruluk düzeyinde ortalama bakım ve rehabilitasyon maliyetini tahmin etmede kullanılmak zorunda olan örnek boyutundan daha az olduğunu bulmuşlardır. Ortalama üstyapı puanı (hizmet yeteneği değeri) ve üstyapı puanlarının değişimi, bakım gerektirmeyen üstyapı yüzdesi, ortalama maliyetler ve ortalama maliyetleri tahmin etmedeki hata yüzdesi arasında bazı ilişkiler bulmuşlardır.

Fwa ve Sinha çalışmalarında, üstyapı performansı ile olağan bakım arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Bu iki parametre arasındaki ilişkiyi belirlemede istatistiksel regresyon ve korelasyon çözümlemelerini yapmışlardır. Seksen beş karayolu güzergahını çözümlemişlerdir. Bu güzergâhların, altısının rijit üstyapı, on tanesinin takviye tabakalı esnek üstyapı ve elli dokuzunun ise esnek üstyapıdan oluştuğunu belirtmişlerdir. Sonuçlar, yapımcı kuruluş maliyetleri üzerinde proje boyutundan çok, bakım düzeyi ve üstyapı durumunun etkili olduğunu göstermiştir. Kullanıcı maliyetleri için ise, seyahat mesafesi ve üstyapı performansının en önemli etkenler olduğunu belirlemişlerdir.

Carnahan vd., üstyapı bozulmaları için optimal bakım kararlarını elde etmek için bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu yöntemi, beklenen bakım maliyetini minimize ederken üstyapı performans gereklerini de yerine getirecek şekilde tasarlamışlardır. Optimizasyon için, Markov modelini kullanmışlardır. Örnek veriler kullanılarak modelin kullanılabilirliğini göstermişlerdir.

Markov vd., üstyapı bakım ve rehabilitasyonu için dinamik kontrol kuramı geliştirmişlerdir. Bu kuramın, karayolu altyapısını yönetmek için çok etkili bir yöntem olduğunu ispatlamışlardır. Bu kuram, dinamik amaç fonksiyonu ve dinamik kısıtlar açısından üstyapı bakımı ve rehabilitasyonunu biçimlendirmiştir.

Lytton çalışmasında, üstyapı performans tahmini ve modellemesi kavramlarını tanımlamıştır. Ayrıca tahmin modellerini sınıflandırmış olup, kısaca özelliklerinden bahsetmiş, performans modelinin geliştirilmesi ve kullanımı için kullanılan yöntemleri özetlemiştir. Ayrıca, performans modellerinin kısıtlarından da bahsederek ağ ve proje düzeyindeki kullanımını açıklamıştır.

Hajek ve Phang çalışmalarında, mevcut bütçeye göre en iyi bakım uygulamasını seçmeyi amaçlamışlardır. Proje stratejilerinin formülasyonu, fon gereksinimlerinin değerlendirilmesi ve önceliklerin belirlenmesi amacıyla, Stanford'taki 75 kesime ait verileri kullanmışlardır. Çalışmalarının ana bileşenini, her bir bireysel üstyapı yönetim kesimi için üstyapı bakım veya onarım stratejisinin önerildiği eylem planı olarak tanımlamışlardır. Toplam üstyapı ağında maksimum faydayı elde etmek için optimizasyon yöntemi olarak lineer programlama yöntemini kullanmışlardır. Farklı optimizasyon amaçları ve farklı bütçe kısıtlarının etkisini değerlendirmek için duyarlılık çözümlemesini yapmışlardır.

Uzun, verilen herhangi bir karayolu kesimi için bakım veya onarım stratejisinin seçiminde kullanılabilecek bir yazılım geliştirmiştir. Programa girdi olarak, bozulma tipi ve ölçümü, üstyapının fiziksel özellikleri, trafik yükleri ve yapısal kapasite ile çevresel etkenler olarak seçmiştir. Çıktı olarak, herhangi bir zamandaki hizmet yeteneği ve beklenen ömür, maliyetler, bakım veya onarım stratejilerini seçmiştir. Programı ayrıca, AASHTO86 parametrelerini kullanarak, yeni bir üstyapı tasarımı da yapmaktadır.

Fwa ve Chan, karayolu üstyapı bakım gereksinimlerinin öncelik ataması için yapay sinir ağları yönteminin kullanılmasını göstermişlerdir. Test sonuçları, yapay sinir ağlarının ağ düzeyinde öncelik oranlaması için karayolu yapımcı kuruluşları tarafından kullanılabileceğini göstermiştir.

Owusu-Ababio, üstyapı çatlak tahmini için yapay sinir ağı modeli geliştirmiştir. Çatlak alanı tahmini için, üstyapı yaşı, yüzey kalınlığı ve eşdeğer dingil yükü sayısını girdi olarak kullanmıştır. Ayrıca bir, iki ve üç gizli tabakalı yapay sinir ağı modelini kullanmıştır. En iyi modelin tek gizli tabakalı model olduğunu belirlemiştir.

Jahren vd., Iowa eyaletindeki asfalt projelerinde yeniden kullanılan soğuk asfaltın performansını değerlendirmişlerdir. Performans değerlendirmesi için sürüş puanı ve Üstyapı Durum İndeksi (PCI) hesaplamışlardır. Gelecek performans tahmini için ise regresyon çözümlemesi yapmışlardır. Düşük hacimli yollarda yirmi beş ile elli yıl arasında hizmet ömrü tahmin etmişlerdir.

Pan vd., Çin için bir ağ düzeyi üstyapı yönetim sistemi geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri ağ düzeyi üstyapı yönetim sistemi, üstyapı durum değerlendirmesi, performans tahmini, bakım gereksinim çözümlemesi ve bütçe ataması verilerini

kullanmaktadır. Üstyapı durum değerlendirmesi için, üstyapı durum indeksi (PCI), sürüş konforu indeksi (RCI) ve üstyapı kalite indeksi (PQI) kullanmışlardır. Üstyapı performans tahmini için ise S şekilli basit lineer eğri kullanmışlardır.

Gulen vd., 1999 ve 2000 yıllarına ait verileri kullanarak farklı üstyapılara sahip şehir içi ve şehirlerarası yollar için regresyon modelleri geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri model düzgünsüzlük göstergesi olan IRI değerini üstyapı yaşına ve değerine bağlı olarak tahmin etmektedir. Regresyon katsayısı R^2 0,50 civarında olmuştur.

Attoh-Okine, çalışmasında üstyapı performans modellendirmesinde yapay sinir ağları ve düzgünsüzlük uygulamalarını birleştiren bir model geliştirmiştir. Geliştirdiği modelde, düzgünsüzlük verilerini yapay sinir ağı modeli için girdi olarak kullanmıştır.

Prozzi ve Madanat, trafik karakteristikleri, üstyapı yapısal özellikleri ve çevre şartlarının bir fonksiyonu olan üstyapı performansını tahmin etmek için bir devirli nonlineer model geliştirmişlerdir. Modelin tahmin hatasının, mevcut lineer modellerin hatalarının yarısı kadar olduğunu göstermişlerdir. Geliştirdikleri model, geleneksel olarak kullanılan değerlerden farklı olarak dingil konfigürasyonları için eşdeğer yükleri tahmin edebilmektedir.

Abaza vd., üstyapı bakım ve rehabilitasyon işlerini planlamak ve takvimlendirmek için bir üstyapı yönetim sistemi tasarlamışlardır. Geliştirdikleri sistemde, üstyapı bozulmalarını tahmin etmek için Markov modeli kullanılmıştır. Bu sistemde, üstyapı aday projelerinin seçimi için iki yaklaşım kullanmıştır. İlk yaklaşım aynı durumdaki üstyapı kesimlerinin rastgele seçimini esas alırken, ikinci yaklaşım ise aynı durumdaki üstyapılardan en kötüsünün seçimini dikkate alır.

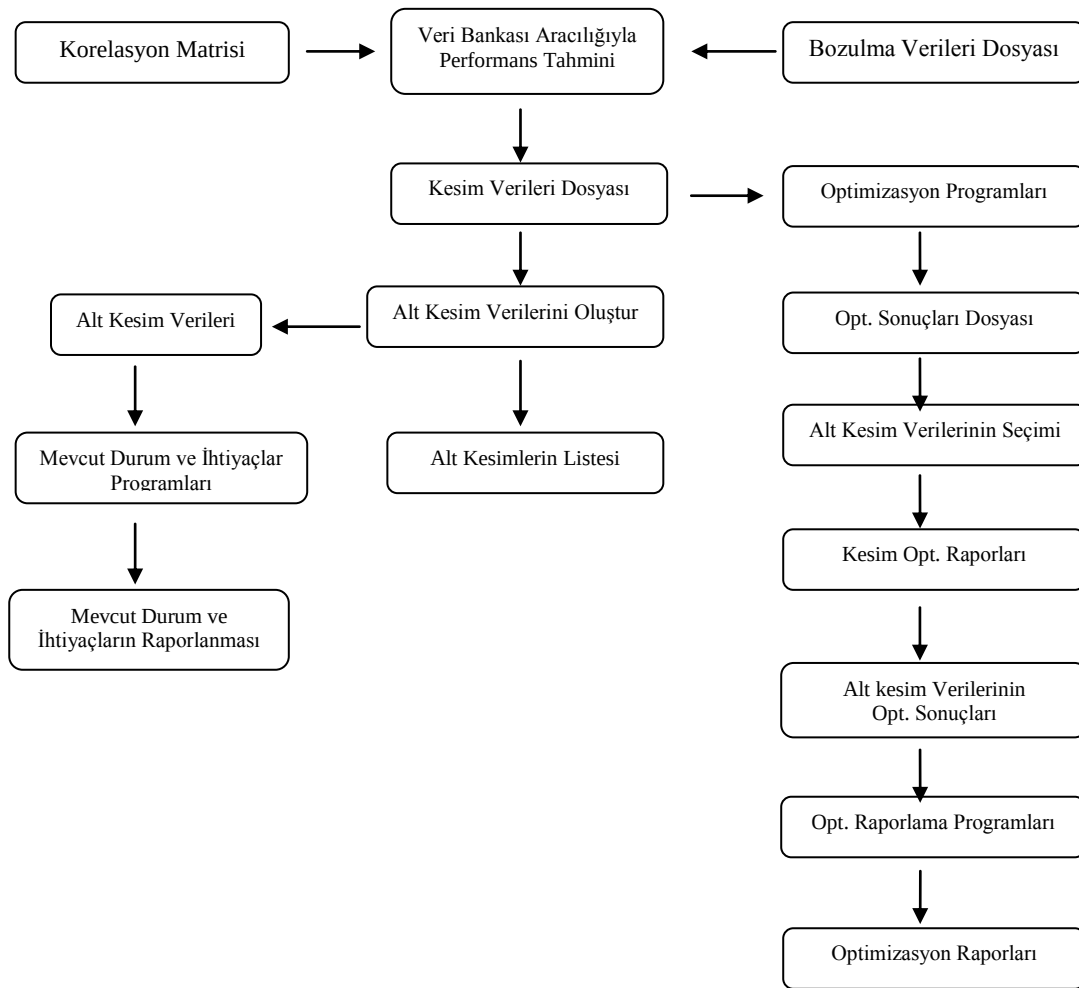
Kulkarni vd., üstyapı projelerinin seçimi ve önceliklerini belirlemek için gereksinim esaslı bir metodoloji geliştirmişlerdir. Bu yaklaşım, geleneksel fayda/maliyet çözümlemesine etkili bir seçenek olan çok nitelikli bir gereksinim fonksiyonunun geliştirilmesini esas almaktadır. Fayda/maliyet çözümlemesinin sabit bir bölgedeki proje seçeneklerinin küçük bir miktarını değerlendirmede yararlı olabilirken, büyük ölçekli karayolu inşaat programlarında uygulandığından büyük sınırlılıklara sahip olduğunu ifade etmişlerdir.

Chen vd, trafik yükleri altındaki üstyapının tüm tabakalarının tekerlek izi derinliği ve yığışımlı plastik gerilimlerindeki artışlar nedeniyle oluşan malzeme özelliği değişimini belirlemek amacıyla bir mekanistik ampirik model geliştirmişlerdir.

2.1.2.1. Dünyada kullanılan çeşitli üstyapı yönetim sistemleri

Minnesota Dot (MNDOT) üstyapı yönetim sistemi

MNDOT, özellikle eyalet gereksinimleri, kaynakları ve özelliklerine uygun bir üstyapı yönetim sistemini geliştirmek ve yürütmek amacıyla ağ düzeyinde bir üstyapı yönetim sistemi olup, bu sistemde öncelikle bir üstyapı kesimi belirlenmiştir. MNDOT ÜYS’de birçok farklı tipte üstyapı yönetim sistemi kullanıcısının gereksinimleri bir çalışma ile saptanmış ve gerçek üstyapı yönetim sisteminin anahtar bileşenleri ve yapı taşlarını oluşturmayı sağlayan bir temel olarak kullanılmıştır. MNDOT Üstyapı Yönetim Sisteminin ayrıntılı düşünce sistemi Şekil 2.1’de gösterilmektedir. Bu yönetim sisteminde, ÜYS’ ye ait ana çıktılar, durum ve gereksinim raporları ve planları ile optimizasyon raporları ve planları olmaktadır [7].



Şekil 2.1: Minnesota DOT üstyapı yönetim sisteminin genel görünümü

Metropolitan Ulaştırma Komisyonu (MTC) Üstyapı Yönetim Sistemi

MTC (Metropolitan Transportation Commission) Üstyapı Yönetim Sistemi veya BA (Bay Area) Üstyapı Yönetim Sistemi, ağ düzeyinde üstyapı yönetimi için tasarlanmış basit ve etkili bir sistem olup, bir yol ağının durumunu çabuk ve etkili bir şekilde değerlendirmeyi, bakım işlemleri ve maliyetlerini tayin etmeyi ve ayarlamayı ve özgün bakım bütçe tahsis stratejilerinin yol durumu üzerindeki etkilerini ortaya koymayı sağlamaktadır.

Bu sistemin kullanımından elde edilen raporlar, karar vericilerden ödenek sağlamak, en pahalı ve en kapsamlı onarımlar için ödenek tahsis etmek ve ağı uygun bir durumda korumaya yarayan sağlam araç işlevi görmektedir. Bu sistem esasen şehir veya ilçe yönetimlerinin kullanımı amacıyla tasarlanmıştır.

Sistemin esas Şekil 2.2.'de gösterilmektedir. Sistemin yürütülmesi bir ağ envanteri ile başlamaktadır. Üstyapılardan elde edilen verinin (yapım, son bakım tarihi vs.) toplanması ve ÜYS veri tabanına girilmesi gerekmektedir.

Gözlenen bozulma tipleri, şiddeti ve kapsamına göre Üstyapı Durum İndeksi (PCI) hesaplanmakta, daha sonra, zamana karşı ortalama ağ durumunu tahmin etmek için, her bir yönetim kesiminin PCI değeri belirlenmektedir.

$$PCI = 100 - Ae^{-(R/YAŞ)^B} \quad (2.1)$$

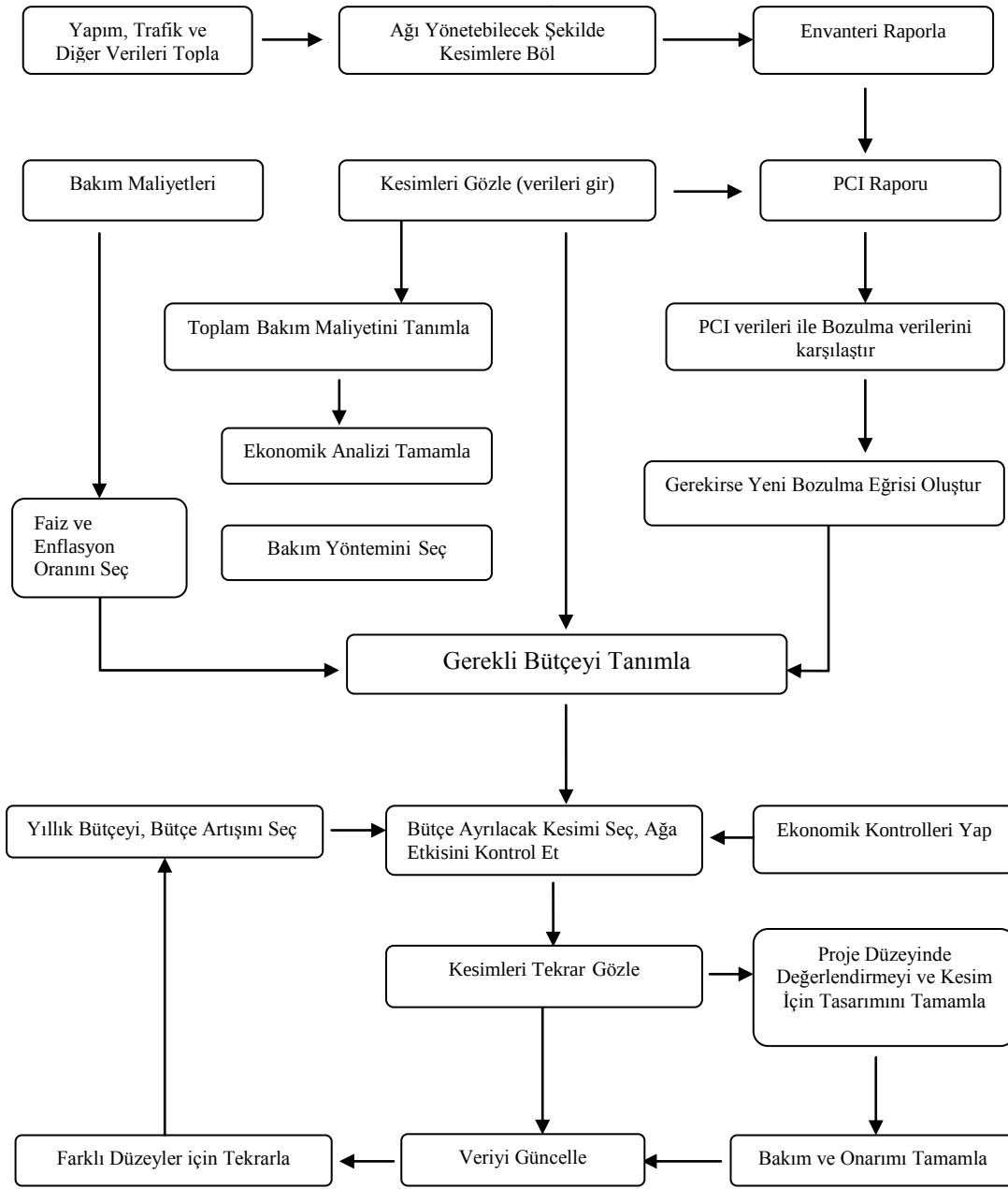
Burada

A,R,B; regresyon katsayısı,

YAŞ: asfalt yüzeyinin yaşı veya ortalama günlük trafik.

Yöneticilerin, bakım ve onarım işleri için programlanması gereken zamanı ve ödeneğinin gerekeceği zamanı tayin etmek üzere, beş yıllık bir analiz periyodunun her bir yılı planlanmaktadır.

Gerekli ödeneğin mevcudu aşaması durumunda, analiz periyodunun her bir yılı için ödenek sağlanması gereken kesimler, maliyet etkinliği analizi kullanılarak seçilmektedir. Bakım ve iyileştirme çalışmaları tamamlandıktan sonra veri tabanı güncel hale getirilmektedir [7].



Şekil 2.2: BA üstyapı yönetim sistemi akış diyagramı

Samp Sistemi

Şekil 2.3 de görüleceği üzere de SAMP (System Analysis Method for Pavements) programlarının kullanımı oldukça basittir. SAMP'deki temel yapısal analiz modelleri AASHO Yol Deneyi sonuçlarına dayandırılmak suretiyle, AASHO Geçici Üstyapı Tasarım Rehberleri tarafından modellenmiştir (AASHO,1961).

Sistemin amacı, mevcut verilerden, minimum bir genel maliyette, belirli bir tasarım periyodu boyunca en düşük hizmet kabiliyetinde korunabilen üstyapıyı belirlemek şeklinde açıklanabilmektedir.

SAMP programın işletimi, yeni yol yapımı, takviye tabakası yapımı, maliyet hesaplaması ve optimizasyon olmak üzere dört ana gruba ayrılmaktadır. Ayrıca programının işletilmesi için de 7 farklı veri çeşidine ihtiyaç vardır. Bunlar, malzeme özellikleri, çevresel etkiler ve hizmet kabiliyeti, yük ve trafik, kısıtlar, program kontrolü, maliyetler ve güvenlidir [7].

SAMP programlarında kullanılan performans modeli, çeşitli denklemleri içermektedir. Bunlar; trafik denklemi, üstyapı sayısı denklemi ve performans denklemleridir [5].

Trafik denklemi; üstyapının ömrü boyunca maruz kalacağı toplam 8,2 ton standart dingil tekerrür sayısının tahmin edilmesinde kullanılır. Bu denklem ilk olarak Teksas karayolu departmanı tarafından geliştirilmiştir.

$$N_k = \frac{N_c}{C(r_o + r_c)} 2r_o t_k + \frac{r_c - r_o}{C} t_k^2 \quad (2.2)$$

t: ilk yıl trafiği

N: toplam standart dingil yükü tekerrür sayısı

C: proje süresi

Nc: N, t=C

Nk: N, t= t_k

r_o : ,ilk yıl için YOGT,

r_c : proje süresi sonundaki YOGT,

t_k : r_o ve r_c 'ye bağlı ortalama günlük proje trafiği

Üstyapı sayısı denklemi (SN); AASHO Road Test tarafından geliştirilmiştir.

$$SN = A_1 D_1 + A_2 D_2 + \dots + A_n D_n \quad (2.3)$$

SN (Kayma sayısı): üstyapı tabaka sayısı

A_i: izafî mukavemet katsayıları

D_i: üstyapı tabaka kalınlıkları

Performans Denklemleri: performans denklemleri 1972 AASHO projelendirme rehberinde aşağıda gösterilen formülde belirtilmiştir.

$$P = P_1 - \left((P_1 - 1,5) \left[R(N - N_k) \left(\frac{1,051}{(SN + 1)X_j} \right)^{9,3633} \right]^\beta \right) + 0,335 C_1 C_2 (e^{-\alpha} - e^{-\alpha_k}) \quad (2.4)$$

P:PSI,

P₁: yapım sonrası ilk PSI,

N_k: proje süresi sonundaki toplam standart dingil yükü tekerrür sayısı,

SN (Kayma Sayısı): üst yapı tabaka sayısı,

R: bölgesel faktör,

X_j: $10^{0,0397(S-3)}$,

β: $0,4 + 0,081 (19^{3,23}) / (SN + 1)^{5,19}$

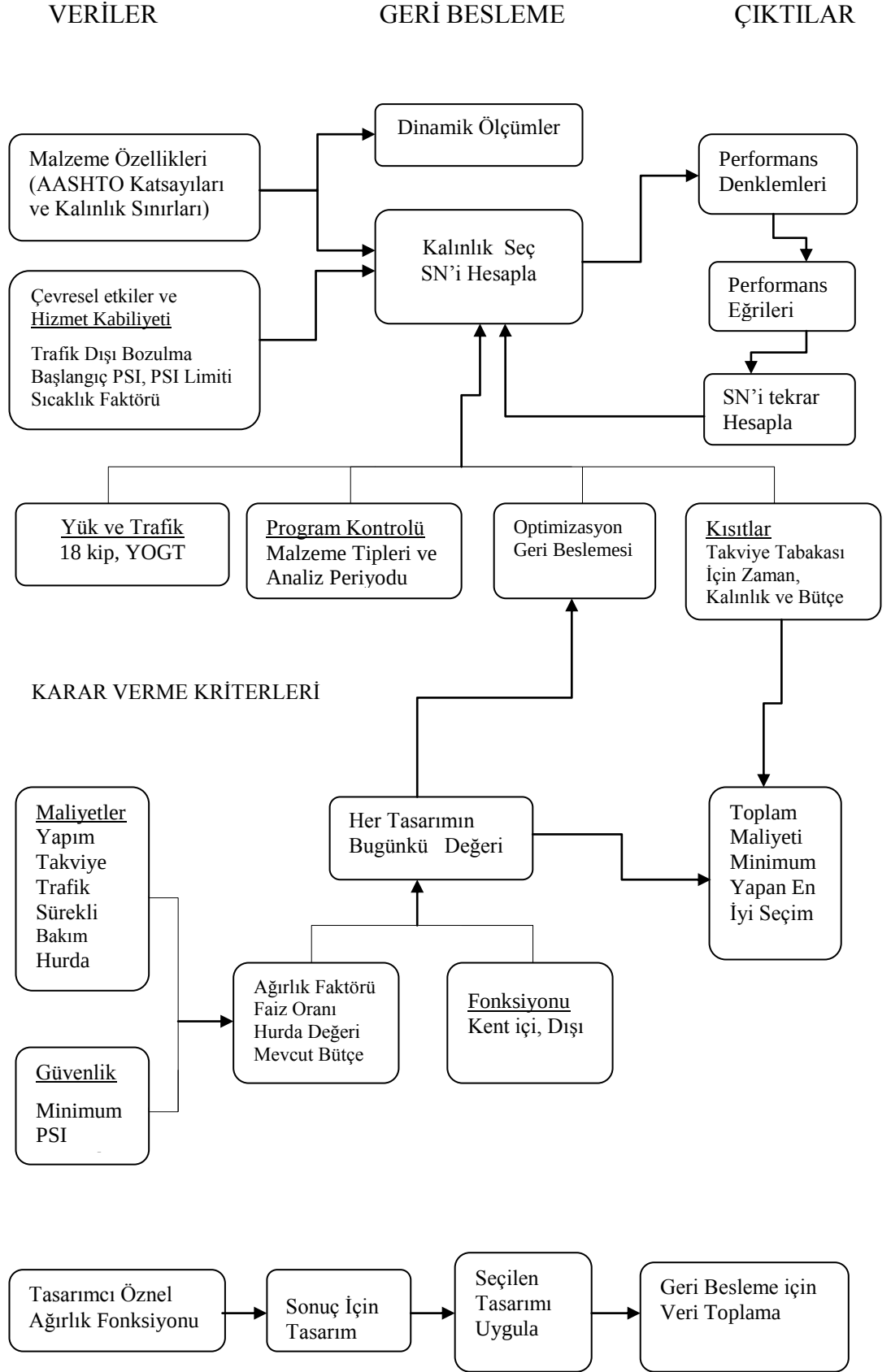
C₁: muhtemel yüzey davranışı

C₂: maksimum farklı hareket

Θ: yüzey risk faktörü

t: sınırlandırılmış zaman

tk: proje süresi sonundaki zaman



Şekil 2.3: Samp üstyapı sistemi diyagramı

Karayolu Tasarım ve Bakım Standartları Modeli (HDM)

Dünya Bankası tarafından geliştirilen Karayolu Tasarım ve Bakım Standartları Modeli (HDM), seçenek yol geliştirme ve bakım stratejilerini ekonomik bakımdan incelemek için çok yönlü bir araç niteliği taşımaktadır.

HDM, üstyapı performansı ve taşıt işletme maliyetlerini saptamaya ait deneysel ilişkileri kullanmaktadır. HDM, hem ağ hem de proje düzeyinde kullanılmaktadır. HDM modeli Şekil 2.4.'de görüldüğü gibi oldukça basittir. Birbirini etkileyen üç maliyet dizisi zamanla bir araya toplanmakta ve değerleri göstermek için göz önüne alınan maliyet faktörleri karayolu yapım ve bakım maliyetleri ile yol kullanıcı maliyetleri olmaktadır.

Taşıt hızı, taşıt işletme maliyetinin önemli bir tarifleyicisi olmaktadır. Hız, yol geometrik tasarımı, yüzey durumu, taşıt tipi ve sürücü davranışı ile ilgili karmaşık olasılık fonksiyonları sayesinde tahmin edilmektedir.

HDM, ya özgün bir geçkideki belirli bir yol projesi veya tüm ağdaki bağlantı grupları için, farklı zamanlı yürütme stratejilerini kapsayan çeşitli politika seçimlerinin ekonomik değerlendirilmesi ve karşılaştırmalı maliyet tahminleri yapmak için kullanılmaktadır.

Bu model, 30 yıla kadar olan süreler için, yıldan yıla çok sayıda seçenek proje tasarımı ve politikasına ait toplam maliyetleri hızla tahmin edebilmektedir. Model sayesinde ayrıca, istendiği takdirde, kabul edilen farklı faiz oranlarında, gelecekteki maliyetler hesaba katılabilmekte, böylece kullanıcı, göz önüne alınan en düşük toplam maliyetli seçenek için araştırma yapılabilmektedir.

Bu model seçenek modellerle kıyaslandığında yukarıda belirtilen hususlara ilaveten, birim maliyet, trafik artış oranı, iskonto oranı ve yolculuk zamanı gibi önemli parametrelerin kabul edilebilir değişim yoğunluklarını analiz etmek için de kullanılabilmektedir.

2.1.3. Türkiye otoyol ağında üstyapı yönetim sistemi ile ilgili mevcut durum

Türkiye’de 1993 yılında, ilk aşama olarak gerçekleştirilen pilot ÜYS uygulamasında, TCK’ nın kendi şartlarına uygun ÜYS’ nin oluşturulabilmesi için ihtiyaçların tespit edilerek ileriki aşamalar için bir kavramsal tasarım ve uygulama yapılması ile bu konuda personelin eğitilmesi amaçlanmıştır.

Karayolları Genel Müdürlüğü, ÜYS için gerekli verilerin en önemlisi olarak kabul edilen yol yüzeyinin boyuna geometrik düzgünsüzlüğü verilerinin toplanması için, kızılötesi ışın gönderen duyargalar ile ölçüm yapabilen Profilometre T6500 Road Surveyor aletini kullanmaktadır.

Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından yol yüzeyinin boyuna geometrik düzgünsüzlük değerleri, AASHTO Yöntemindeki hizmet kabiliyetine yani Mevcut Hizmet Kabiliyeti Sınıflaması - PSR üstyapı performansı göstergesine karşılık gelen bir değer olarak kabul edilmektedir [65,66].

Sürüş Konforu İndeksinin belirlenmesinde, karayolu ağı içindeki belirli yollar (Asfalt Betonlu Kaplamalı) için, profilometre aleti kullanılarak yapılan ölçümler ile elde edilen RN (Ride Number) Sürüş Sayısı ya da IRI (International Roughness Index), Uluslararası Düzgünsüzlük İndeks değerleri kullanılmıştır.

KGM, kavramsal bir tasarım geliştirmek, ülke genelinde uygulanabilir ve geliştirilebilir bir planı ortaya koymak, eğitim ve teknoloji transferi sağlamak amaçlarını taşıyan bir Üstyapı Yönetim Sistemi geliştirmek için iki aşamayı uygulamaya koymuştur [9,27].

Ağ Düzeyinde ÜYS’ nin Planlanması ve Plot Bölgede Uygulanması

- a. Kesimlendirme, veri toplama ve veri işletimi ÜYS için büyük öneme sahip aşamalardır. Veri toplama işlemi aşağıda belirtilen etütleri kapsamaktadır.
- **Üstyapı Defleksiyon etüdü:** Mevcut üstyapının yük taşıma kapasitesini saptamak için alınan üstyapı defleksiyon ölçümleri, düşen ağırlıklı Deflektometre, Daynaflekt, Deflektograf veya Benkelman kirişi kullanılarak yapılır.
- **Üstyapı düzgünsüzlük etüdü:** Seyir özellikleri genellikle üstyapı performansının esas göstergesi olarak düşünülür.

- **Yüzey Bozulma etüdü:** Mevcut bozulmaların tipi, şiddeti ve yoğunluğu ile ilgili olarak sınıflandırılır.
- **Nitelik etüdü:** Kesim tanımlanması, geometrik veri, trafik verisi, yapısal veri vs. şeklinde sıralanabilir.

Elde edilen arazi veri toplama etütlerinin değerlendirilmesi için analizler yapılmış olup ilgili indekslere dönüştürülmüştür [9]. Bunlar;

Yapısal Uygunluk İndeksi (SAI) Analizi: Defleksiyon ölçümleri eşdeğer Benkelman Kirişi defleksiyon değerlerine dönüştürülmüştür.

•**Seyir Konfor İndeksi (RCI) Analizi:** Bir üstyapı tarafından sağlanan seyir kalitesinin öznel bir ölçüsüdür.

•**Yüzey Bozulma İndeksi (SDI) Analizi:** Plot ağdaki her bir kesimin belirli aralıklı her bir istasyondaki 10 yüzey bozulmasının her birinin şiddet ve yoğunluk bakımından bir sınıflamasını ortaya koyar.

•**Üstyapı Kalite İndeksi (PQI) :** Bir üstyapının mevcut ve gelecekteki hizmet verme durumunun genel bir göstergesidir.

Bu indekslerin Türkiye için kabul edilebilir düzeyleri KGM’ nin teknik personeli tarafından tecrübelerine dayanılarak tespit edilmiştir.

- Yolların onarıma, ihtiyaç göstereceği zamanın tespitinde, en az kabul edilebilir hizmet düzeyi, en çok yüzey bozukluğu, minimum yapısal yetersizlik vs. için ölçütlerin tespit edilmesi.
- Yolların projelendirilmesinde, maliyet analizlerinin yapılmasında, performans periyodu içerisinde her ülkenin kendine özgü trafik ve çevre koşulları altında zamana karşı bozulma davranışını gösteren eğrilerin, deneysel ya da matematik modeller ile tespit edilmesi (Bir proje ömrü veya analiz periyodu içinde birden fazla performans periyodu bulunabilir).
- Şimdiki ve gelecekteki ihtiyaçların, seçeneklerin değerlendirilmesi ve bütçe gerekliliklerinin belirlenmesi, birden fazla yol kesiminin en ekonomik ve uygun zamanlama ile onarılmasını mümkün hale getiren ÜYS çalışmalarında, çeşitli ekonomik analiz ve optimizasyon yöntemlerinin kullanılması.
- Onarım, bakım ve yeni inşaat seçeneklerinin tanımlanması, öncelik sıralaması ve çalışma programının hazırlanması.

Proje Düzeyinde ÜYS' nin Geliştirilmesi ve Ülke Çapında Uygulanması

Proje düzeyi ÜYS ise bir yol kesimi için ağ düzeyinde geliştirilmiş çalışma programının zamanı geldiğinde devreye girer ve ağ düzeyindeki kararların gerçek fiziksel uygulamalarını temsil eder.

İlk aşama esnasında tasarlanmış bulunan ÜYS, ikinci aşamada bilgisayar programları ve mühendislik modelleri bakımından geliştirilecektir. Proje düzeyinde ÜYS'nin kapsamında ise;

- a.** Programlanmış ayrıntılı arazi ve/veya laboratuvar verileri, veri işleme,
- b.** Teknik (performans tahmini) ve proje seçenekleri içinde ekonomik analizler,
- c.** En iyi seçeneklerin seçilmesi; ayrıntılı miktarlar, maliyetler, programlar,
- d.** Uygulama (inşaat, periyodik bakım)

Ancak bugün geline noktada, gerek devlet ve il yolu ağında, gerekse otoyol ağında, uygulanılabilecek bir üstyapı yönetim sisteminin kurulması mümkün olamamıştır.

Bu çalışma ile Türkiye otoyol ağında örnek bir kesim seçilerek, KGM tarafından üstyapı yönetim sistemi uygulaması kapsamında IRI ölçümü yapılan otoyol kesimlerinde; T_{8.2} Eşdeğer Standart Dingil Yüğü ile ifade edilen trafik etkisi, yolun geçtiği bölgeye ait sıcaklık değerlerine bağlı kaplama sıcaklık ve kaplama yaşına bağlı olarak zamanla bozulma ilişkilerini sınıflandırmak üzere, yol yüzeyinin boyuna geometrik düzgünsüzlüğüne karşılık gelen IRI ve RN değerlerinin, yani üstyapı performansının tahmin edilmesi amacıyla bir bozulma modeli oluşturabileceği düşünülmektedir.

3. ÜSTYAPI YÖNETİM SİSTEMİ

Üstyapı yönetim sistemi,düzgün,emniyetli ve ekonomik üstyapıların oluşturulmasına, işletilmesine ve mevcut kamu fonlarının mümkün olan en iyi şekilde korunmasına yönelik uyumlu faaliyetlerin bütünüdür. Üstyapı Yönetim Sistemleri; Ağ düzeyi ve Bağımsız Düzey (Proje Düzeyi) olmak üzere iki düzeyde uygulanabilmektedir.

Ağ Düzeyi, planlama amaçlıdır. Yol ağının mevcut durumunun değerlendirilmesi yapılır. ÜYS için veri tabanı oluşturulur. Ağ düzeyinde üstyapı değerlendirmesi yapmak gerektiğinde, yol yüzey düzgünsüzlüğü, kayma direnci, (kayma sürtünme katsayısı) ve kaplama bozuklukları ölçümleri birinci derecede önemlidir.

Defleksiyon ölçümleri ve tabakalarda kullanılan malzeme özellikleri ise ikinci derecede önem taşımaktadır. Buradan hareketle ağ düzeyinde değerlendirme yapmak için yol yüzey düzgünsüzlüğü, kaplama bozukluklarının belirlenmesi, yüzey kayma direncinin (kayma sürtünme katsayısı) ölçülmesi yeterli görülebilir.

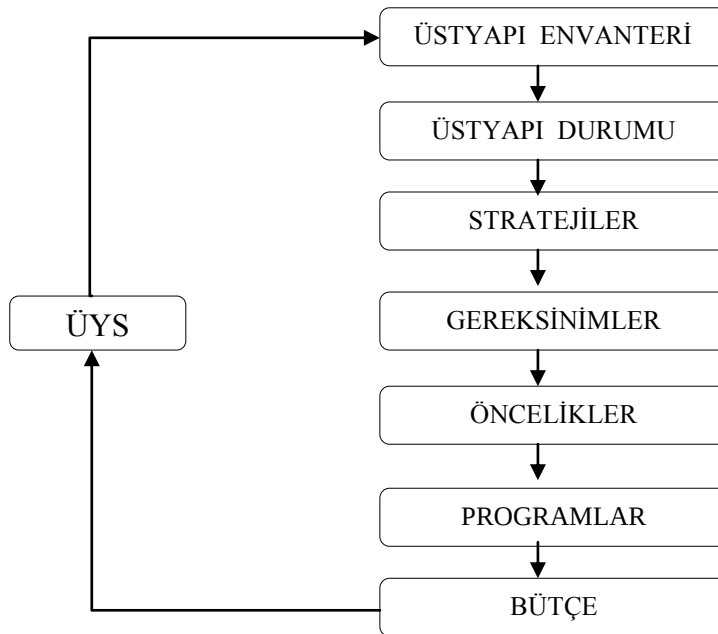
Proje Düzeyi, onarımda öncelikli yol kesimleri belirlendikten sonra, ayrıntılı projelendirme çalışmaları için (seçenek tasarım, yapım, bakım veya rehabilitasyon çalışmaları) defleksiyon ölçümleri yapıp, karot numunesi alınarak tabaka malzeme özellikleri ve kaplam tipinin belirlenmesi gerekir. Bir projenin veya seçilen özel kesimlerin karar vericileri ve bütçe yöneticilerini daha çok ilgilendiren ağ düzeyindeki analiz, kuşkusuz en güçlü üstyapı yönetim kısmıdır. Proje düzeyinde analiz daha çok teknik personeli ilgilendirir.

Üstyapı yönetim sisteminin temel bileşenleri (ASTM E 1166); yol tanıtım bilgileri, bilgi toplama, veri tabanı yönetimi, geri besleme ve uygulama olarak belirtilebilir. Bir ÜYS'de bulunması gereken özellikler ise; bilgiler ve modeller revize edildiğinde sistem kolaylıkla güncellenebilmeli, düzenlenebilmeli ve seçenek stratejilerin tamamı hesaba katılabilmelidir [5,71]. Bunun içinde özel teknolojik analiz sistemleri kullanılmalı ve geliştirilmelidir.

Son dönemde yaygın olarak kullanılan yöntemlerinden biri de Coğrafi Bilgi Sistemi, (GIS) tir. Bu yöntem ile ÜYS'nin temelini oluşturan ve aşağıda verilen bilgiler sistemli bir şekilde depolanabilir [80].

- Kesim tanımlamaları ile ilgili veriler,
- Performansla ilgili veriler : düzgünsüzlük,yüzey bozulmaları, sürtünme, defleksiyonlar, malzeme özellikleri.
- Önceki yıllara ait veriler : bakım tarihi, yenileme tarihi, trafik, kazalar.
- İşletme politikası veriler : bütçe,bakım-iyileştirme seçenekleri.
- Geometri ile ilgili veriler : enine ve boyuna eğim, banket/kurb.
- Çevre ile ilgili veriler : drenaj, iklim.
- Harcamalarla ilgili veriler : yenileme, bakım, iyileştirme, kullanıcı harcamaları

Bu verilere istenildiği zaman ulaşılabilmesi,istatistiki değerlendirmeler ve grafik gösterimler yapılabilmesidir. Kullanıcı istediğinde detay bilgilere ulaşabilmeli ve istenilen sonuçları raporlayabilmelidir [69]. ÜYS'nin temel yapısı Şekil 3.1 de özetlenmiştir. [71]



Şekil 3.1: ÜYS'nin temel yapısı

3.1. Ağ Düzeyinde Analiz

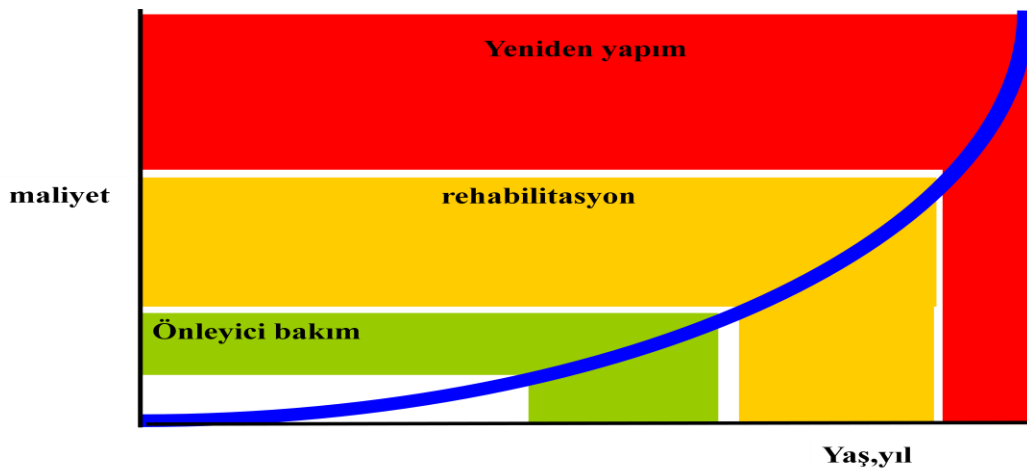
Genel olarak karar vericileri ve bütçe yöneticilerini daha çok ilgilendiren ağ düzeyindeki analiz kuşkusuz üstyapı yönetim sisteminin en güçlü kısmıdır. Bunun nedeni; Yol ağının belirlenerek kesimlere ayrılmasını, belirlenen yol ağında; defleksiyon, kayma direnci, yüzey düzgünsüzlüğü ve sürüş konforu etütleri ile sürekli ve düzenli olarak veri toplanmasını, performans tahmin modellerinin oluşturulması, kabul edilebilir ölçütlerin tespit edilmesi, şu anki ve gelecekteki bakım/onarım ihtiyacının tespiti, seçeneklerin belirlenmesi ve bütçe gerekleri, seçeneklerin değerlendirilmesini, önceliklerin belirlenerek yapım programının ortaya konulmasını kapsamasıdır.

3.1.1. Performans değerlendirmesi

Üstyapı performansının ölçülmesi ve tahmini (modellemesi) hem ağ hem de proje düzeyi bakımından ÜYS'nin temel taşlarından birisidir. Zira hem finansal planlama hem de üstyapı tasarımını ve proje ömrü boyunca ekonomik değerlendirmeyi yönlendirir.

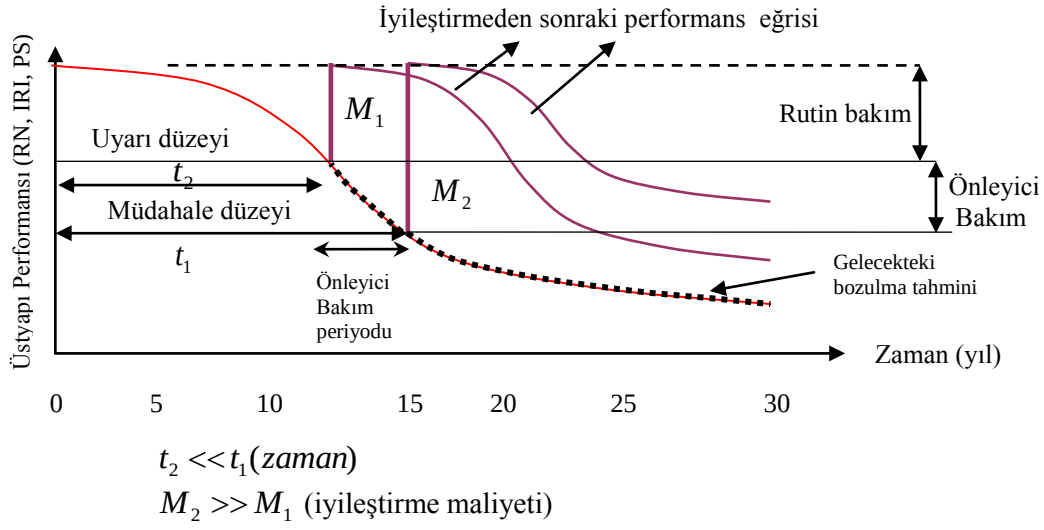
Bir üstyapının yönetim sisteminin iki anahtar elamanı, performans ve bozulma tahminidir. Bozulmalar başlangıçta çok yavaş olup, yolların performansını koruyabilmek için sadece periyodik bakıma ihtiyaç gösterirler.

Ancak süre ilerleyip zamanla iyileştirme yapılmazsa, bozulmalar artarak çok pahalı iyileştirme seçeneklerine ihtiyaç gösteren sonuçlar doğar. Bu nedenle bozulmaya başlamış yollarda, zamanında yapılmış iyileştirme programları, sınırlı kamu fonlarına azami kazanç sağlar (Şekil 3.2).



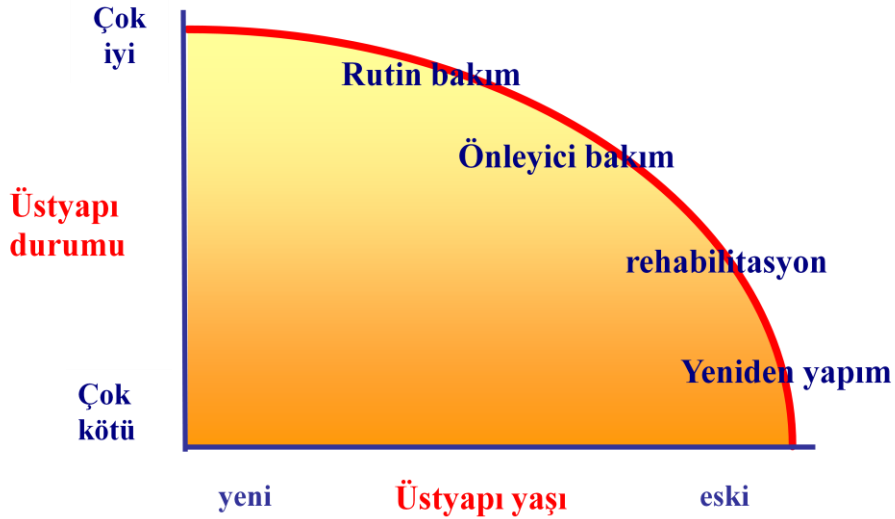
Şekil 3.2: Üstyapının zamana bağlı iyileştirme - maliyet ilişkisi

Bir yolun tipik performans eğrisi Şekil 3.3’de görülmektedir. ÜYS’nin temel hedefi, en ekonomik bakım/onarım stratejisinin belirlenmesidir.



Şekil 3.3: Üstyapının performans eğrisi ve rehabilitasyon seçeneklerinin etkisi

En ekonomik bakım onarım stratejisinin belirlenebilmesi ve üstyapı yaşlandıkça trafik, iklim ve zamana bağlı olarak oluşacak bozulmanın hem tipini hem de derecesinin tahminin zamanında ve doğru olarak yapılması gerekmektedir Şekil 3.4. Ayrıca çeşitli bakım stratejilerinin üstyapının ömür süresi üzerinde ne gibi etkisi olacağını bilmek önemlidir.



Şekil 3.4: Üstyapının zamana bağlı bozulma-bakım stratejileri değişim eğrisi

Üstyapı davranışı, tepkisi, performansı, bozulması veya gerçek ölçümlerle tahminlerin karşılaştırmasını yapılabilmesi için bazı ölçütler koymak gereklidir. PSI için minimum kabul edilebilir değer, 2,5 olarak alınırsa, herhangi bir kesimde PSI değeri 2,5'e eşit veya daha az olduğunda mevcut bir bozulma olduğu veya "bakım zamanının" gelmiş olduğu anlaşılmaktadır.

Şekil 3.3'de görüleceği üzere bakım çalışmasının uyarı düzeyinde yani (t_2) zamanında yapılması durumunda bakım maliyeti (M_1), (t_1) zamanında yani müdahale düzeyinde yapılması durumundaki bakım maliyeti (M_2)'den çok daha az maliyette olacaktır.

Proje düzeyinde, ölçüt genellikle şartnameler esas alınarak belirlenir. Örneğin, bir karayolu kuruluşu düzgünsüzlük için maksimum bir sınır koyabilir. Bu ölçütü koymanın ana sebebi, kaliteyi güvence altına almaktır. Bir tahmin modeli için temel gereksinim duyulan bilgiler şunlardır;

- Bir veri tabanı (örneğin inşaat tarihi, YOGT, PSI değeri vb.),
- Bozulmayı etkileyen tüm önemli değişkenlerin belirlenmesi,
- Gerçek yol koşullarını kapsayacak şekilde dikkatli bir model seçimi,
- Ölçütlerin belirlenmesi, PSI değeri 2,5 olduğunda onarım programına alınması.

3.1.2. Ödenek talebi

Otoyol güzergahları boyunca seçenек rehabilitasyon programlarının uygulanabilmesi için karar vericilerden talep edilecek yıllık ödenek miktarlarının belirlenmesi gereklidir. Bunun için en geç sene sonuna kadar bakım ve onarım yapabilmek için gereken ödeneğin seçenек senaryolara göre hesaplanması gerekir. Hesaplamalarda ayrıntılı keşif özetleri hazırlanmalı ve iş programları gerçekçi olmalıdır.

Temin edilen ödenek çerçevesinde iyi bir planlama ile önem ve zaman derecesine göre sınıflandırma yapılmalıdır. Bu arada yılsonunda ilave ödenek temini koşulları da iş programında dikkate alınmalıdır.

Verilen yıllık ödeneğin acil olarak rehabilite edilmesi gereken kesimler için yeterli olmaması durumunda ise, kademeli yapım yöntemi ile, sari yetki alınacak şekilde yapım süresinin birkaç yıla yayılması ile ve en önemlisi de mali yönden güçlü firmaların seçilmesi ile bir planlama yapılmalıdır.

3.1.3. Düzgünsüzlük (Roughness)

Bir üstyapı yüzeyinin düzgünsüzlüğü, üstyapı yüzeyinin, taşıt dinamiği, sürüş kalitesi ve konforu, dinamik yükler ve drenajı, örneğin boyuna profil, enine profil ve enine eğimi etkileyen (0,5m'den 50m'ye kadar dalga boylu), karakteristik boyutlu gerçek bir düzlemsel yüzeyden sapmaları olarak tanımlanmaktadır.

Yapılan araştırmalar, yolların hizmet yeteneğinin büyük ölçüde yüzey düzgünsüzlüğüne bağlı olduğunu ortaya çıkarmıştır. AASHO yol deneyindeki araştırmalar hizmet kabiliyeti ile ilgili bilginin %95'inin yüzey profilinin geometrik düzgünsüzlüğünden kaynaklandığını göstermiştir. Uygulamada düzgünsüzlük; boyuna, enine ve yatay düzgünsüzlük olarak üç ayrı yüzey özelliği olarak gözönüne alınmaktadır [14].

Boyuna Düzgünsüzlük

0,5m'den 50m'ye kadar genlik ve dalga boylarındaki boyuna profil ile ilgilidir. Bu aralıktaki düzensizlikler, taşıtın süspansiyonu ile ilgili düşey hareketlerini etkiler. Boyuna düzgünsüzlük kötü kaliteli ilk yapım ile ilgili olabildiği gibi, en sık olarak da, yük veya iklim etkisiyle, yüzeyden taban zeminine doğru gelişen, tabakaların herhangi birinde oluşan üstyapı deformasyonu nedeniyle de oluşabilmektedir.

Enine Düzgünsüzlük

0,2m'den 2,0m'ye kadar genlik ve dalga boyundaki megadoku ve düzgünsüzlük arasında değişmektedir. Bu aralıktaki düzensizlikler, suyun tekerlek geçiş yerlerinde gölcükler oluşturmaya ve su kayağı etkisine yol açabilmektedir.

Teorik ve Gerçek Yüzey

Düzgünsüzlük problemleri, gerçek yol yüzeyi ve ilk tasarımda teorik olarak tanımlanan yüzey arasındaki düşey farklılıklardan kaynaklanmaktadır. Düzgünsüzlük adı altında incelenen kusurların dalga boyu aralığı 0,1m ve 50m arasında değişmektedir. Üstyapı düzgünsüzlüğüne neden olan birkaç etken vardır. Bunlar, trafik yükleri, çevre etkisi (iklim koşulları), üstyapıda kullanılan malzeme ve hatalı üstyapı inşaatıdır. Üstyapı düzgünsüzlük değerlendirmesinde kullanılan deney aygıtları ya üstyapı profilini ya da üstyapı düzgünsüzlüğüne taşıtın verdiği tepkiyi ölçerler. Farklı deney aygıtlarının sonuçlarını değerlendirmek için ortak bir ölçeğe gereksinim vardır.

1970'lerden sonra dünyanın birçok bölgesinde düzgünsüzlük ölçümü yapılmaya başlanmıştır. O tarihlerde, farklı donanım ve yöntemler kullanılması nedeniyle farklı bölgelerde ortak bir değerlendirme yapmak mümkün değildi.

1982'de Dünya Bankası, düzgünsüzlük ölçümleri için ortak bir kalibrasyon standardı ve ilişki geliştirebilmek için Brezilya'da deneysel bir çalışma başlatmıştır. Eğer ortak bir ölçek geliştirilirse tüm ölçümler sabit bir indekste değerlendirilebilecekti. Bu amaçla Uluslararası Düzgünsüzlük İndeksi (International Roughness Index-IRI) geliştirildi. (UMTRI, 2002), IRI, profil ölçümüne uygulanan matematiksel bir modeldir.

3.1.3.1. Geometrik düzgünsüzlük ölçüm sistemleri

Düzgünsüzlük, hizmet kabiliyetinin esas bileşenidir. Geometrik düzgünsüzlük ölçüm sistemleri;

- Üstyapı profil ölçme sistemleri,
- profilograflar
- tepki tipinde sistemler olmak üzere üç grupta toplanabilir.

Düzgünsüzlük ölçüm sistemleri, Mevcut Hizmet Kabiliyeti Sınıflaması (PSR) veya Seyir Konfor indeksi (RCI) ile ilişkilendirilmiştir [9,10,13,14,22].

Üstyapı Profili Ölçme Sistemleri;

- Yüzey Kontrol Çubuğu (Face Dipstick)
- TRRL Profilometresi (Yüksek Hızlı Yol izleme)
- CHOLE Profilometresi
- Ataletsel Profilometreler (Inertial Profilometers)
 - Yüzey Dinamiği Profilometresi
 - FHWA Profilometresi
 - APL Profilometresi (Boyuna Profil Analizörü (Longitudinal Profile Analyzer)

Profilograflar; Beton üstyapıların yapım esnasındaki düzgünsüzlüğünü değerlendirmek amacıyla kullanılır. Düşük çalışma hızı olması dezavantajdır. En bilinen tipi, Rainhart Profiografıdır.

Tepki Tipinde Ölçüm Sistemleri; bu sistemler taşıtın üstyapı düzgünsüzlüğüne tepkisini ölçerler. Düşük maliyet, basit tasarımı ve yüksek çalışma hızı gibi nedenlerden dolayı yaygın bir şekilde kullanılırlar.

Başlıca tipleri;

- Mekanik RTRRMS (Response Type Road Roughness Measuring System)
 - Bureau of Public Roads Roughometer – BPR
 - Mays Sürüş Aracı, Mays Ride Meter veya Maysmeter (MRM) (USA)
 - PCA Sayacı, Portland Cement Association (PCA) Meter
 - Cox and Wisconsin Sayacı
 - TRRL tarafından kullanılan tümsek integratörü (Bump integrator)
 - PCA sayacının tepkisini temsil etmek üzere, Iowa Karayolu Dairesi tarafından geliştirilen IJK sayacı;
 - Avustralya’da geliştirilen NAASRA Sayacı;
- RTRRMS esaslı ivmeölçer
 - Otomatik Yol Analizörü (Automatic Road Analyzer) (ARAN)
 - Portatif Evrensel Düzgünsüzlük Aleti (Portable Universal Roughness Device) (PURD)

Kuzey Amerika'daki karayolları için devamlı kullanılan değişik düzgünsüzlük ölçme yöntemleri ve aletleri mevcuttur. Bunlar;

- U.S. Bureau Roughometer (BPR);
- CHLOE tipinde Profilometre (CHLOE);
- Yuvarlanan cetvel (RSE);
- İngiliz Yo! Araştırma Laboratuvar tipi Profilometre (RRL);
- Yüzey Dinamiği Profilometresi (SDP);
- Araba Yol Sayacı, yani, PCA veya Mays tipi (CRM);
- Profil saptama için tam düzleme yöntemi (LEVEL)

3.1.3.2. Üstyapı hizmet kabiliyeti tahmini için düzgünsüzlük ölçümü

Düzgünsüzlük ölçümleri üstyapı hizmet kabiliyetinin tahmini içindir. Bu amaçla ilk ve en yaygın kullanılan yöntem, AASHO Yol Deneyi'ndeki Mevcut Hizmet Kabiliyeti İndeksi (PSI) 'nin geliştirilmesidir.

$$PSI = C + (A_1 R_1 + \dots) + (B_1 D_1 + B_2 D_2 + \dots) \pm e \quad (3.1)$$

Burada;

C= katsayı (esnek üstyapılar için 5.03),

A_1 = katsayı (esnek üstyapılar için -1.91),

R_1 = profil düzgünsüzlük fonksiyonu,

$[\log (1 + SV)]$, $SV = CHLOE$ profilometresinden elde edilen ortalama eğim değişimi

B_1 = katsayı (esnek üstyapılar için -1.38),

D_1 = yüzey tekerlek izi (RD) fonksiyonu, RD= basit tekerlek izi derinliği

göstericisi ile ölçülmüş olarak ortalama tekerlek İzi derinliği

B_2 = katsayı (esnek üstyapılar için -0.01)

D_2 = yüzey bozulma fonksiyonu (ÖP), C+P=AASHO Yol Deneyi'nde geliştirilen işlemler ile saptanan çatlama ve yama miktarı;

e = hata terimidir.

Papagionnakis ve Detwar (1999), IRI değerleri kullanılarak PSI hesabı için bir yöntem önermişlerdir [8].

$$PSI = 5,0e^{-0,18 IRI} \quad (m/km) \quad (3.2)$$

Mevcut Hizmet Kabiliyeti (PSI) eşitliği, çok yönlü regresyon teknikleri ile geliştirilmiştir. Bu fiziksel ölçümler, ortalama tekerlek izi derinliği, çatlama ve yamalama gibi durum veya bozulma verisini kapsamalarına rağmen, önemli karşılıklı ilişki değişimini sağlayan düzgünsüzlüktür.

PSR ve PSI arasındaki karşılıklı ilişki (korelasyon) katsayıları, durum verisine eklendikten sonra, yalnızca %5 arttırılır. Böylece PSI, fiziksel ölçüm verisinden hesaplanmakla birlikte, gerçekte bir PSR tahminidir; yani,

$$PSI = PSR \pm e \quad (e; hata oranı) \quad (3.3)$$

Bir performans parametresi olarak PSI'nın kullanılması halinde üç önemli problem söz konusudur;

1. Her bir bozulma tipinin farklı düzeyleri için farklı bakım tipleri uygundur. Bakım ve ertelenmiş bakım sonuçlarının her ikisi de aynı hizmet kabiliyetine sahip olmalarına rağmen, çatlama, düzgün bir üstyapı ve düzgünlüğü azalmış, tekerlek izi oluşmuş ve şiddetli şekilde çatlama bir üstyapıda farklılık göstereceklerdir.
2. Farklı bozulmaların göreceli dereceleri, üstyapı tipi, çevre, bozulma hızı ve bakım kalitesi ile değişmektedir.

3. Bozulmalar, farklı üstyapı durumu, trafik ve çevre koşulları altında, farklı hızlarda gelişmektedir.

Profil özellikleri ile sürüş kabiliyeti arasındaki ilişkinin irdelenmesi akabinde Sürüş Sayısı (RN) hesabı için, IRI hesabında da kullanılan Profil İndeksini kullanan bir algoritma geliştirilmiştir. Amaç, IRI' ya bağlı olarak PSI değerinin hesabı yerine direkt olarak PSI değerini saptamaktır [8].

$$RN = 5e^{-160(PI)} \quad (3.4)$$

Tek bir profil ölçülmüş ise bu değere bağlı hesap edilen RN değeri doğrudan kullanılır. Profilin hem sağ hem de sol tekerlek izi derinliği ölçülmüşse, İki değer ortalaması aşağıdaki formülden hesaplanır:

$$PI = \sqrt{\frac{PI_L^2 + PI_R^2}{2}} \quad (3.5)$$

3.1.4. Kayma direnci

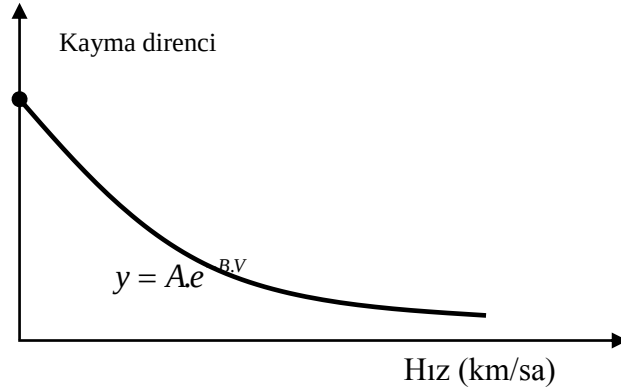
Üstyapı performansının güvenlik yönünden değerlendirilmesi, üstyapının kayma direnci vasıtasıyla yapılmaktadır. Uluslararası çalışmalar, ortalama taşıt hızlarındaki her 1 km/saat'lik artışın, yaralanmalı kazalarda %3'lük bir artışa neden olduğunu ortaya koymuştur [15]. Buna karşın mevcut ulaşım altyapısı ve özellikle üstyapı yüzey dokusu özellikleri bu gelişmeyi henüz izleyememiştir.

Kayma direnci ile ilgili veri, üstyapı üzerindeki aşırı kaygan kesimleri belirleme, bakımı planlama ve çeşitli tipte malzeme ve yeni yapım uygulamalarını değerlendirme şeklindeki üstyapı yönetimi amaçları için kullanılabilir.

Üstyapının kayma direnci, standart ölçüm yöntemlerinden elde edilen KS (kayma sayısı, Skid Number) değerleri ile gösterilmektedir. KS değeri 0-100 arasında değişmekte olup, değerin yüksek olması yol yüzeyinin kaymaya karşı direncinin yüksek olduğunu göstermektedir.

Kayma direncini etkileyen parametreler; beş ana başlık altında toplanabilir. Bunlar; taşıt hızı, kaplama yüzey özellikleri, kaplama özellikleri, tekerlek lastiği özellikleri ve su filmi kalınlığı olarak sıralanabilir [14,15].

Taşıt Hızı: en etkili parametrelerden biridir. Taşıt hızı arttıkça kayma direnci de düşmektedir. Bu nedenle değişik kaplama yüzeylerine sahip olan karayollarında güvenlik için belirli bir hızdaki kayma direnci değeri esas alınır. Kayma direnci ile taşıt hızı arasındaki bağıntı genellikle eksponansiyel bir bağıntıdır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5: Kayma direnci-taşıt hızı ilişkisi

Tekerlek Lastiği: yapım tipi ve diş izi kayma direnci üzerinde etkilidir. Radial bağlı lastiklerin kayma direnci, diyagonal bağlı lastik tipine göre çok az yüksektir. Yapılan deneysel çalışmalar 125-150km/sa hızlar arasındaki yuvarlanma direncinin %90-95'i lastiğin yapısal histerisislerinden, %2-10'u lastik ile yol arasındaki sürtünmeden ve %1,5-3,5'u da hava direncinden kaynaklandığını göstermektedir.

Kaplamanın Yüzey Özellikleri: Kayma direncine etkileyen yol yüzey doku özellikleri, mikrodoku, makrodoku, megadoku ve düzgünsüzlük olarak tanımlanabilir.

Mikrodoku, dokunma pürüzlülüğü veya agrega düzgünlüğünün yaptığı etkidir. PIARC (Permanent International Association of Road Congress)'a göre mikrodoku, bir üstyapı yüzeyinin, düzlemden, 0,5mm'ye eşit veya daha küçük dalga boylu sapmalarını göstermektedir. Mikrodokunun sürtünmeye katkısı, lastik ile yapışması yoluyla oluşur.

Makrodoku, bir üstyapı yüzeyinin, düzlemden, 0,5mm'den 50mm'ye kadar dalga boylu sapmalarını göstermektedir. Esnek üstyapı için agrega şekli, boyutu ve düzenlemesinin sonucudur. Drenaj, üstyapı yüzeyinin bir diğer önemli özelliğidir. İyi bir drenaj sistemi, lastik ile üstyapı arasındaki teması izin veren suyun kaçışı için kanallarla sağlanır.

Drenaj sisteminin etkisi, sürtünmedeki artışı belirlemek için yüzeye suyun uygulanmasından sonra ve sonraki sürelerde sürtünme etkeninin ölçülmesiyle değerlendirilebilir.

Megadoku, bir üstyapı yüzeyinin, düzlemden, 50mm'den 500mm'ye kadar dalga boylu sapmalarını göstermektedir.

Bu guruptaki düzensizlikler yalnızca değişen genişlik, düzey ve karmaşıklıkta tekerlek izleri, oyuklar, büyük derz ve çatlakları kapsamamakta, aynı zamanda iyi durumdaki yol düzeylerinde de olabilmektedir. Genellikle megadoku, makrodoku ve düzgünsüzlük arasında geçit sağlamaktadır.

Kaplama Özellikleri: Kaplama özelliklerine bağlı olarak kayma direnci değeri, taşıt hızlarına bağlı olarak değişmektedir. Karışım içerisinde bulunan agreganın fiziksel ve mekanik özellikleri kaplamanın kayma direncini belirleyen önemli bir parametredir. Karışımında bulunan agreganın dane boyutunun artması ile yol yüzeyi daha makrodokulu olacağı için, yüksek taşıt hızlarındaki kayma direnci de artmaktadır. Agreganın mineralojik yapısı, agreganın mikrodokusunu belirlemede önemli bir etken olmaktadır. Agreganın mekanik bir özelliği olan cilalanma ve özgül ağırlık, kaplamanın kayma direncini etkilemektedir. Fransa'da yapılan bir araştırmada agreganın cilalanmaya karşı direnci ve özgül ağırlığı arttıkça kaplamanın kayma direncinin de yükseldiği sonucuna varılmıştır [15].

Su Filmi Kalınlığı: Yol yüzeyindeki su filmi kalınlığı arttıkça kaplamanın kayma direnci düşmektedir. Kayma direnci, su filmi kalınlığı 0,3 mm'yi buluncaya kadar çok ani şekilde düşmekte, su filmi kalınlığı arttıkça çok daha az düşüş göstermektedir. Bu durum yağmur çiselemeye başladığı ilk anların trafik kazalarının oluşumu için en tehlikeli zaman olduğunu ortaya koymaktadır.

3.1.4.1. Yol yüzey dokusu ölçüm yöntemleri

Kayma direnci ile ilgili olan yol yüzey dokusu ana parametreleri, mikrodoku ve makrodokudur. Mikrodoku ölçerken mikroskop kullanımı dolaysız bir yöntem olarak düşünülebilmektedir. Bununla birlikte, bu yavaş bir işlem olup, fotoğrafik kayıt sistemli oldukça gelişmiş bir mikroskop gerektirmektedir. Mikrodokuyu ölçme güçlüğü göz önüne alındığında dahi, bu yöntemi kullanmak çok zor olmaktadır. Mikrodoku genellikle dolaylı olarak yapılan ölçümlerden tahmin edilmeye çalışılır. Dolaylı Ölçüm yöntemi ise Portatif Kayma Direnci Ölçücü (PSRT) dir.

Makrodoku ölçüm yöntemleri dolaysız ve dolaylı ölçüm yöntemleri olarak iki bölüme ayrılır. Makrodokuyu dolaysız olarak ölçmek için en sık kullanılan yöntemler, Kum Yama, Lazer ve Üç Boyutlu Fotoğraflama yöntemleridir.

Makrodokuyu Dolaylı ölçme yöntemleri, Drenaj Yöntemleri ve Dinamik Kayma Direnç Ölçümleri (BFC veya SFC) olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır.

Drenaj yöntemlerinde, 20–40 km/saat arasında hızlarda giderken, yol yüzeyi dokusu içindeki boşluklardan kaçan suyun akım oranı sürekli ölçülerek, yol yüzeyinin drenaj yeteneği ve hız ile kayma direnci arasındaki ilişki belirlenmeye çalışılmıştır.

Avrupa’da düzenli olarak kullanılan sistemler, Fransızlara ait Rugolaser, İsveç’e ait Lazer Yol Yüzey Ölçücüsü, İngiliz Ulaşım Araştırma Laboratuvarı’na ait Yüksek Hızlı Yol İzleme ve Yüksek Hızlı Doku Sayacı ile Belçika Yol Araştırma Merkezi’ne ait Yer Değiştirilebilen Lazer Profilometresi ve Statik Profilometre olarak sıralanabilmektedir [14,15].

3.1.4.2. Kayma direnci ölçme metotları

Üstyapı kayma direnci ölçümleri deneysel esastır. Ölçme yöntemleri, laboratuvar ve arazi yöntemleri olarak iki ana gruba ayrılabilir. Bu iki grubun her birinde alt gruplar bulunmaktadır; Drum (silindir), Flat-Belt (düz kayış) gibi laboratuvarda yapılan deneyler grubunda, kilitlenmiş tekerlek (BFC), yanal kuvvet (enine sürtünme SFC) ve düşük hız yöntemleri arazi yöntemleri grubunda yer almaktadır.

Laboratuvar yöntemleri, genellikle lastik ve otomotiv endüstrisi tarafından kullanılan ürünleri (lastik, tekerlek vs.) denemek amacıyla yapılmaktadır. Dolayısı ile bu yöntemlerden bahsedilmeyecektir. Arazi yöntemleri ise gerçek yol yüzeylerinin kayma direncini yerinde ölçmek için kullanılmaktadır. Kayma direnci ölçümünde kullanılan başlıca yöntemler [5,9,14,22];

• ASTM E274

Kayma direncini ölçme için en yaygın şekilde kullanılan bir yöntemdir. Aletin esas bileşenleri; ASTM standartlarına uygun lastik, tekerleği kilitleyen fren, üstyapıyı ıslatmak için su tankı ve dağıtım hortumu ve tekerlek kilitlendiğinde, treyleri itmek için gerekli kuvveti ölçmeye ait bir kuvvet iletme sistemi.

Fren uygulandığı sırada uygulanan kuvvet ölçülüp, deney tekerleğinin tamamen kilitlenmesinden sonra bir saniye boyunca ortalamalar alınmaktadır.

Frenleme Kuvvet katsayısı, lastik ve yol yüzeyi arasındaki yatay kuvvetin, düşey tekerlek kuvvetine(tekerlek yükü) oranı olmaktadır. Deney 0,2 –1,0 mm.lik bir su filmi kalınlıklı ıslak yol yüzeyinde yapılmakta bunun için de kendiliğinden sulama yapan bir sistem kullanılmaktadır.

Tekerlek kilitlenip uygun bir mesafe kaydırıldıktan sonra, kuvvet ölçülmekte ve üstyapı kesimi için kayma sayısı (Skid Number) değerleri hesaplanmaktadır.

Sürtünme katsayısı ara yüzey düzlemdeki sürtünme kuvveti ile yüzeydeki normal kuvvet arasındaki oran olarak tanımlanır. Üstyapı mühendisleri, üstyapıyı değerlendirmek için ölçülen sürtünme parametresinin geleneksel μ olmadığı gerçeğinin karşılığı olarak genellikle,

$$f = F/L \quad (3.6)$$

şeklinde hesaplanan sürtünme etkeni f terimini tercih ederler. Burada F , sürtünme kuvveti, L normal yüküdür.

Bir üstyapı için lastik, hız, sıcaklık, su filmi kalınlığı ve onu etkileyen diğer koşulları tayin etmeksizin, özel bir f vermek uygun olmadığından, kayma direnci ölçümüne ait standartlar geliştirilmiştir. Bu standarda göre yapılan ölçümlere kayma sayıları denir

$$KS = 100 f \quad (3.7)$$

olarak hesaplanır. Sonuçların değişkenliğini minimize etmek için, ASTM E 274–90 (1992)'deki standart bir lastik özelliği kullanılır.

• Yanal (Enine) Kuvvet Yöntemleri

Deney tekerleği tekerleğin serbestçe dönmesine izin verilmesi dışında hareket yönü ile bir açı “sapma açısı” oluşturacak bir konumda korunmaktadır. Dönme düzlemine dik enine kuvvet ölçülmektedir. Teorik olarak, yanal kuvvet, belirli bir sapma açısında yatay kurbayı dönme konumundaki bir tekerlek vasıtasıyla ölçmektedir.

Bu taşıtların viraj alırken gereksinim duyduğu kayma direncinin bir gösterimi olmaktadır. Yanal kuvvet katsayısı, dönen deney tekerleği düzlemine dik yanal kuvvetin (F_y), tekerlek yüküne (F_z) oranı olmaktadır. Enine sürtünme katsayılarını (SFC) ölçmek için SCRIM (Sideway Force Coefficient Routine Investigation Machine-SCRIM) geliştirilmiştir.

Bu makine İngiltere, Belçika ve İspanya gibi birçok ülkede kullanılmaktadır. Bu taşıt, deney tekerleği ilerlerken yola yaymak için gerekli suyu taşır.

Bu deney tekerleği, taşıt hareket yönüne 20 derecede monte edilmiştir. SCRIM’de sürekli kayıt yapabilir ve yüksek hızda (65 km/st) çalışabilir. Dezavantajı ise başlangıç maliyetinin yüksek olmasıdır. Diğer aletler ise Mu-Sayacı (Mu-Meter), Danimarka Stradografi ve Belçika Odoliografıdır.

Mu-Sayacı (British Mu-Meter); tekerleklerin seyir yönüne doğru bir açıda döndürüldüğü, “sapma modunda” kayma direncini ölçen bir sistemdir. Pistlerin değerlendirilmesinde kullanılan Mu-Sayacı, her biri 7,5° sapmış iki deney tekerleği kullanır ve lastik sapma açısını korumak için gerekli kuvveti ölçer.

Belçika Odoliografı; Kayma direncini SFC cinsinden veren bir sistemdir. Değişik hızlarda ölçüm yapabilir olup, düşük hızlarda mikrodokuya daha duyarlıdır.

• Kayma Yöntemleri

Bu yöntemler sabit ve değişken kayma yöntemleri olarak ayrılabilir. Sabit Kayma; ölçümünün üstünlüğü, küçük bir kayma oranı seçilmesi koşuluyla sürekli bir sürtünme kaydına yardım edebilmektedir. Bu yöntemi kullanan deneyler, pik sürtünme katsayısı bu aralıkta bulunabildiğinden, %10 ve %20 arasındaki kayma (α) ile yapılmaktadır. Saab Sürtünme Ölçücü, Pist Sürtünme Ölçücü ve Grip Tester bu yöntemle tasarlanmıştır. Ve esasen pist denemelerinde kullanılmaktadır. Bu yöntemler özellikle kar ve buz ile kaplı pistlerde pik sürtünme ölçememeleri nedeniyle eleştirilmektedir. Değişken Kayma yönteminde; kayma kontrol altında bulunmaktadır.

Bu istenen herhangi bir kaymada ölçüm yapmak veya önceden tayin edilen bir dizi değer içinden geçmek ya da bir kontrol sistemi ile en yüksek sürtünmeyi aramak amacıyla tasarlanmıştır. Yüzey/taşıtlı bileşiminin sürtünme ile ilgili özellikleri hakkındaki bilgi Mu-Sayacının Mu-Kayma eğrisinden bulunabilmektedir.

• Düşük Hızlı Yöntemler

İngiliz TRL’ ye ait Portatif Kayma Direnci Ölçme Yöntemi ve Dinamik Sürtünme Ölçme Yöntemi olarak sıralanabilmektedir. Portatif Kayma Direnci Ölçme Yöntemi; bir yol yüzeyinin kayma direncini hızlı bir şekilde değerlendirebilen, ucuz ve portatif araçlar sağlamak üzere, 1964’de TRL’ de geliştirilmiştir. Standart nitelikte tırtıllı kauçuk lastik yastık bir sarkaç kolunun ucuna monte edilmektedir.

Bunun standart bir yol uzunluğu boyunca, standart bir yükseklikten sallanmasına izin verilmekte ve kayma direnci sarkaç kolunun enerjisindeki kayıptan değerdendirilmektedir. Deney koşulları 50 km/sa' deki bir lastik kaymasının kayma direncini göstermek için tasarlanmıştır. Dinamik Sürtünme Ölçücü; bu yöntem ve donanım Japonya'da geliştirilmiştir.

Bu yöntemde lastik, yatay dönen bir diskin alt kenarına sabitlenmektedir. Yastığın doğrusal hızı ve kuvvet dönen disk hızından saptanmaktadır. Kuvvet disk tarafından yol yüzeyine dik olarak yastığa uygulanan sabit bir yüke bölünerek sürtünme katsayısı bulunmaktadır.

3.2. Proje Düzeyinde Analiz

Proje Düzeyindeki analiz daha çok teknik personeli ilgilendirir. Proje düzeyindeki araştırmaların yürütölmesini ve bir proje için en iyi bakım ve rehabilitasyon seçeneğinin seçimini sağlar. Proje düzeyi yönetiminde geçmiş verilerin yanında üstyapının mevcut durumunun belirlenmesi için tahribatlı ve tahribatsız deneyler, düzgünsüzlük ve kayma direnci ölçümleri de yapılabilir. Bu deneylerin hepsi bir arada yapılabileceğı gibi sadece bir tanesi de yeterli olabilir.

Genel olarak Proje düzeyi ÜYS kapsamında; "Proje düzeyinde programa alınmış kesim üzerinde alt kesimlendirme yapılması, ayrıntılı arazi, laboratuvar ve diğer verilerinin toplanarak, seçenek üstyapı projelerinin hazırlanması, proje seçeneklerinin değerdendirilerek bozulma tahmin modellerinin oluşturulması ve proje ömürlerinin belirlenmesi, Ayrıntılı ömür-döngü maliyet analizlerinin yapılması, en uygun bakım/onarım seçeneklerinin seçilmesi" yapılması gereken işlerdir.

3.2.1. Yol ağı tanıtım envanter veri tabanı

Otoyol ağına ait her bir kesim için öncelikli olarak yol tanıtım envanteri, veri bankası oluşturulmalıdır. Düzenlenecek veri bankası istenilen istatistiksel değerdendirmeler ve grafiksel gösterimleri yapılabilecek şekilde düzenlenmelidir.

Trafik altında, üstyapı performansı ve yapısal kapasite verilerini toplamak çok pahalıdır ve ÜYS' nin en çok zaman alan kısımlarıdır. Ancak bu verilerin toplanması ve saklanması sistem için çok önemli olduğı unutulmamalıdır.

Elde edilecek envanter verisi aşağıda belirtilen elamanları kapsar;

Üstyapıların Yapısal durumlarının Belirlenmesi

- Yapım tarihi, kaplama tipi(esnek, rijit),üstyapı projeksiyonu, malzeme özelliği
- Geometrik veri (platform tip en kesiti)
- Zemin verisi, Drenaj özellikleri, iklimi,
- Yüzey bozulması,(yüzey durumuna ait yapılan son ölçüm değerleri PSI, RN)
- Yapısal bozulma-Defleksiyon

Üstyapıların Fonksiyonel durumlarının belirlenmesi

- Boyuna düzgünsüzlük
- Enine düzgünsüzlük
- Kayma direnci
- Yüzey dokusu
- Yüzey geçirimsizliği
- Gürültü üretme özellikleri

Trafik Durumları:

- Trafik etütleri(akım ve dingil yükü)
- Yolculuk zamanı
- Yol durumları, sürücü durumları, kaza envanteri
- Kullanıcı maliyetleri (taşıt işletme gideri, kaza maliyetleri), sosyal maliyetler

Trafik kayıtları, hem mevcut hem de gelecekteki trafik beklentilerini içerir. Trafik kayıtları hem yıllık ortalama günlük trafik (YOGT) hem de eşdeğer dingil yükü sayısı (EDYS) olarak veri tabanına kaydedilebilir.

3.2.2. Üstyapı durum değerlendirilmesi

Proje düzeyi denetiminin sonuçları, bir kesimin ayrıntılı çözümlemesinde kullanılacağı için, kesim üstyapı RN veya IRI değerleri, bozulma tipi ve miktarına göre öncelikli kesimler belirlenerek ödenek miktarları belirlenecektir. Otoyol üstyapısı için en uygun bakımı (önleyici bakım, yapısal bakım, yüzey bakımı veya üçünün bileşimi) tayin etmek amacıyla üstyapının yapısal ve fonksiyonel durumunun değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Yapısal durum, tasarımında göz önüne alınan trafik yükleri ve iklim koşullarına dayanma kapasitesi ile ilgilidir. Fonksiyonel durum ise, güvenlik ve kullanıcı konforunu etkileyen kayma direnci, düzgünlük ve geçirgenlik gibi yüzey özellikleri ile ilgilidir. Üstyapı durumları ile ilgili veriler otoyol üstyapısı bakımı hakkında doğru kararlar almak için esastır.

Bu veriyi toplama, otoyol kesiminin periyodik bazda izlenmesini gerektirir. Üstyapı durum verisinin kullanımı hususunda iki farklı felsefe söz konusudur. İlki, her bir kesime ait tek bir üstyapı durum indeksi saptamak için özellikleri özgün bir biçimde birleştirilir. Diğerisi ise, durumları saptamak veya bir üstyapı durum matrisi oluşturmak için, karar ağaçlarındaki veri kullanır.

İlk durumun tercih edilmesi halinde, bir üstyapının onarıma gereksinme göstereceği zamanı belirlemek için, bir minimum kabul edilebilir üst yapı indeks sınırı veya başlatma değerinin tayin edilmesi gerekir.

İkinci tercihte ise, mühendisler onarım stratejilerini formüle etmede yardımcı olmak üzere, çok yönlü indeksler ve onarıma gereksinme gösteren birçok üstyapı arasındaki öncelikleri saptamaya yarayan bir veya daha fazla indekslerin kullanılması gereklidir. İki genel üstyapı bozulma indeksi tipi vardır [9];

- Birinci tip İndeks; bozulma, düzgünsüzlük, defleksiyon, kayma direnci vs. gibi, yalnızca bir üstyapı durum parametresine ait ham veriyi gösterir.
- Diğer tip indeks (Tip II) ise, bir veya daha fazla üstyapı durum parametresinin bir bileşimini gösterir.

Bu tip indeksler aşağıda örneklenmiştir.

- PSI (Mevcut Hizmet Kabiliyeti İndeksi),
- PQI (Üstyapı Kalite indeksi),
- RCI (Seyir Konfor İndeksi),
- VCI (Optik Durum İndeksi),
- PCR (Üstyapı Durum Sınıflaması),
- PRI (Mevcut Seyir Kabiliyeti İndeksi),
- FI (PSI, bir yapısal İndeks SI ve bir bozulma indeksinin bileşimi olan sonuç indeksi),
- DP (boyuna düzgünlük, tekerlek izi derinliği ve çatlamış üstyapı yüzeyi oranının bileşimi olan hasar noktaları).

Hizmet kabiliyeti indeksi ve diğer üstyapı durum göstergeleri, bazı etkenlerin etkisi altında zamanla azalma eğilimi gösterirler. Bu etkenler;

1. Malzemelerin veya yapım kalite kontrolünün yetersizlikleri;
2. Yığılımlı trafik;
3. İklim koşulları ve zaman boyunca çevre etkileri olarak sıralanabilirler.

"Malzemeler veya yapım kalite kontrolü yetersizlikleri" tipinde bozulma, genellikle uygun olmayan şekilde seçilmiş malzemelerin kullanımları veya yetersiz sıkıştırma, imalat hataları, yapımdan sonraki bir-üç yıl içinde oluşan anormal hızlı bozulmadır. *"Trafik"*, taşıt geçişleri sayısı, dingil yükleri, bu yüklerin uygulama süresi ve çivili lastikli taşıt oranı ile tanımlanır.

Hasar oluşturan yük etkileri ile etkileşim halindeki "İklim koşulları", yağmur, donma/çözülme devreleri, sıcaklık sınırları, alttemel ve temelin suya doygunluk derecesini kapsar. Hesap hataları, uygun olmayan tasarım yöntemi, taban zemini özellikleri hakkında eksik bilgi, hatalı trafik artış tahmini veya ortalama dingil yükleri nedeniyle hatalı üstyapı tasarımı, bu bağlamda bir bozulma tipi olarak göz önüne alınmaz.

Üstyapı durumundaki zamanla değişimler;

- 1.Hizmet kabiliyeti indeksi, bir üstyapı durum göstergesi veya tek bir hasar (bozulma) tipi gibi belirli bir parametredeki nicel değişimler;
- 2.Diğer bozulma belirtilerinin ortaya çıkmalarına yol açan bir hasar tipinin yayılması, şeklinde anlaşılmaktadır.

Bir üstyapı durumunu etkileyen değişimleri gerektiği gibi anlayabilme, uzun bir zaman periyodu boyunca, çok sayıda deney kesiminden elde edilen verinin istatistik analizini ve dolayısıyla bir yol veri bankası kurmayı gerektirir.

Hizmet Kabiliyeti İndeksindeki Değişimler;

Hizmet kabiliyeti indeksinin zamanla değişimleri, aşağıdaki parametrelerin her ikisi ile de ifade edilebilir; [9]

1. Mevcut Hizmet Kabiliyeti İndeksi (PSI) gibi, zamanla veya eşdeğer dingil yükü uygulamaları sayısı ile tek basit bir indeksteki değişimler;
2. İndeksleri oluşturan parçalardaki değişimlerin bir fonksiyonu olan Üstyapı Kalite İndeksi (PQI) gibi, daha kapsamlı bir indeksteki değişimler.

Bu tür indeksleri oluşturan değişimleri:

- Farklı taban zemini taşıma kapasiteleri için toplam 80kN dingil yükü cinsinden ifade edilen trafik nedeniyle seyir konforundaki kayıp,
- Farklı taban zemini taşıma kapasiteleri için yıllar boyunca söz konusu olan çevresel etkiler nedeniyle seyir konforundaki (RCI) azalma,

- Farklı üstyapı tipleri için yıllar boyunca söz konusu olan Yapısal Uygunluk İndeksindeki (SAI) azalma,

3.2.3. Üstyapı yapısal kapasitesinin değerlendirilmesi

Bir karayolu üstyapı ağının mevcut durumunu ortaya koyup, buna göre uygulanacak bakım stratejilerinin belirlenmesini sağlayan üstyapı yönetim sisteminin anahtar bileşeni, üstyapı ağının performans yönünden sürekli izlenmesidir.Yapısal kapasiteyi saptama, öncelikle üstyapı özelliklerini izleme veya ölçmeyi gerektirir.

Bu, teorik veya ampirik (deneysel) bazda, üstyapının beklenen trafik koşulları altındaki yük taşıma kapasitesi ve hizmet ömrünü tahmin etmeye yarayan veri ile sonuçlanan analizi kapsar. Ayrıntılı yapısal değerlendirme, iyileştirme tasarımının parçası olarak, her bir projede yapılmalıdır. Değerlendirme programında bazı başlangıç ölçütleri gereklidir, Bunlar genellikle, tayin edilen bir yük ve beklenen sayıda eşdeğer dingil yükü tekrarı için sınırlı defleksiyon düzeyleri şeklindedir.

Diğer periyodik değerlendirme tipleri, hizmet kabiliyeti, kayma direnci ve bozulma etüdü bilgisini kapsayabilir. Kabul edilebilir düzeyin altındaki hizmet kabiliyeti gözlemleri, yapısal değerlendirmeyi başlatmanın bir yoludur. Defleksiyon ölçüm teknikleri, üstyapıların yapısal değerlendirilmeleri için geniş ölçüde kullanılırlar. Yapısal değerlendirme için birçok analitik yaklaşım vardır. Bunlar beş ana sınıfta toplanabilirler;

1. Ölçülen davranışı genellikle defleksiyon, yani geçmişteki performansa dayanan "izin verilebilir" defleksiyonlarla karşılaştırma;
2. Ölçülen davranışı, genellikle elastik tabaka analizinden ve defleksiyon vasıtasıyla saptanan, hesaplanan izin verilebilir ölçütlerle karşılaştırma;
3. Bir girdi olarak, ölçülen davranış ile kalan ömür veya yük taşıma kapasitesini tahmin etmek için, bir mevcut tasarım yöntemi kullanma;
4. Bir "tekrar hesap" işlemi kullanarak, her bir tabakanın malzeme özelliklerini tayin etmek İçin, ölçülen defleksiyonlar ve tabaka kalınlığı verisinin kullanımı;
5. Sınırlama ölçütlerini sağlamak amacıyla ölçülen davranış ve bir teorik bozulma analizi için gerekli malzeme özelliklerini sağlamak üzere, tekrar hesap işlemi ile birlikte, laboratuvar malzeme deney sonuçlarını kullanan birleştirme yöntemleri.

İlk üç yaklaşım, sınırlı koşullar altında başarılı şekilde kullanılabildiği halde, malzemeler, çevreler veya yük sınırlarındaki değişimlere uyarlamak zordur. Son iki yaklaşım, yapısal değerlendirme problemi için daha genel bir çözüm önermektedir.

3.2.3.1. Yapısal uygunluk (defleksiyon) ölçüm sistemleri

Tahribatsız defleksiyon ölçüm aletleri

Bir otoyol üstyapısının yapısal durumunu öğrenmek için kullanılan en yaygın metot, tahribatsız bir test aleti ile üstyapının yüzey defleksiyonunu ölçmektir. Tahribatsız olarak defleksiyon ölçebilen aletlerden elde edilen verilerin yol üstyapı tabakalarının elastik parametrelerini belirlemede kullanılması, otoyol üstyapısının durumunu belirlemek için oldukça önemlidir.

Tabakaların elastik modüllerini belirlemek için, ölçülen defleksiyon değerlerini etkileyen parametreleri bilmek ve daha sonrada defleksiyon ile bu parametreler arasında bir ilişki kurmak gerekmektedir. Yani ölçülen karayolu yapısı yüzey defleksiyonlarından faydalanarak üstyapı tabakalarının elastik modüllerinin hesaplanabileceği bir algoritma geliştirmek gerekmektedir. Bu işlem geri hesaplama (back calculation) adını almaktadır.

Bir üstyapı kesiminde istenildiği kadar çok defleksiyon testi uygulanabilir. Ancak bu verileri toplamak tek başına hiçbir şey ifade etmez. Önemli olan sonuçlarını yorumlamak ve üstyapı malzeme özelliklerini belirlemekte kullanılabilecek bir analiz yapabilmektir.

Analizdeki geçerlilik derecesi analizcinin yaptığı kabullere de bağlıdır. Araştırmacılar ne kadar gerçekçi kabullerle çalışsa da uygulama mühendisleri gerçek kabulleri uygulayacak ne zamana, ne de deney yapma şansına sahiptir.

Üstyapıda ölçülen defleksiyon, tabaka karakteristiklerini belirlemenin yanında üstyapının o andaki durumu hakkında da bilgi verir.

Ölçümlerle elde edilen defleksiyon eğrisinin geometrisinde ve ölçülen değerlerin büyüklüğünden üstyapı hakkında bir fikir elde edilebilir. Tabaka karakteristiklerinin belirlenmesiyle ise malzeme özellikleri ile üstyapı performansı arasındaki ilişkinin daha iyi anlaşılmasını sağlar.

Günümüzdeki tahribatsız tüm pratik üstyapı yapısal kapasite değerlendirmeleri, defleksiyon ölçme aletleri ile yapılır.

1. Üstyapının, statik bir yük veya yavaş hareketli bir yük uygulamasına tepkisini ölçen statik sistemler,
2. Üstyapının, titreşimli veya devirli bir yüke tepkisini ölçen titreşimli sistemler,
3. Belirli bir uzunluk boyunca, belirli bir kütle düşürerek üstyapıyı yükleyen ve üstyapının tepkisini ölçen itici kuvvetli sistemler,
4. Çok modlu (şekilli) sistemler,

olmak üzere dört ana sınıfta toplanabilir [5,9,11,13,22].

1. Statik Sistemler;

Başlıca,

- Tabaka Yükleme Deneyleri (Plate Bearing Tests)
- Eğrilik Sayacı (Curvature Meter)
- Benkelman Kirişi (Benkelman Beam)
- Otomatik Defleksiyon Kirişleri (Automated Deflection Beams)
 - La Croix Deflektografi
 - İngiliz Üstyapı Defleksiyon Verisi Kayıt makinesi
 - Kaliforniya Deflektometresi
- Eğrilik ölçer (Curviameter)

Tabaka taşıma deneyi istisna olmak üzere, bu deneyler, tekerlek yükleri altındaki defleksiyonu ölçerler. Eğrilik sayacı verisi, statik yükleme koşulları verisi kullanılarak toplanır. Her iki teknik de yoğun çalışmalı ve zaman tüketimli olup, yaygın biçimde kullanılmazlar.

Benkelman Kirişi, Eğrilik ölçer ve Otomatik Defleksiyon Kirişleri, yavaş hareket eden tekerlek altındaki defleksiyonları ölçerler. Yaygın statik defleksiyon aygıtları, Benkelman Kirişi ve La Croix Deflektografıdır.

Benkelman Kirişi, WASHO Yol Deneyi'nde geliştirilmiştir. Hafif ağırlıkta bir alüminyum veya ahşap çerçeveye iştirilmiş basit bir düzey kolundan meydana gelir.

Dünyanın her tarafında üstyapı araştırması, değerlendirmesi ve takviye tabakası tasarımı için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

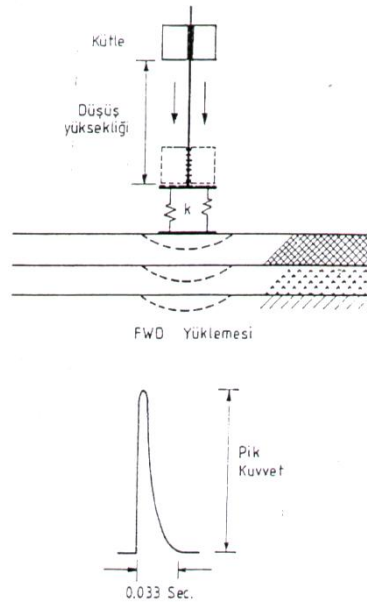
2. Titreşimli Sistemler; Sabit durumdaki titreşimli sistemler, statik bir yük üzerine eklenen sinüzoidal bir kuvvet üretir. En yaygın olarak kullanılan tipleri;

▪ Dynaflect

▪ Yol Değerlendirici (Road Rater) dır.

3. İtici Sistemler; İtmeli defleksiyon ölçüm aletleri, "Düşen Ağırlıklı Deflektometre (Falling Weight Deflectometer) (FWD)" olarak tanımlanırlar. Şekil 3.6. bir FWD'nin temel prensibini göstermektedir. Ölçüm esnasında 5 ton ağırlığındaki bir yük belli bir yükseklikten kaplama üzerine düşürülmesi sonucu oluşan defleksiyon, cihazın duyargaları ile algılanıp bilgisayara iletilmekte ve kaydedilmektedir.

Ölçülen defleksiyon miktarına bağlı olarak yolun ihtiyaç gösterdiği takviye kalınlığı bir analiz programı ile hesaplanmaktadır. Uygulanan pik kuvvet düzeylerindeki değişimlere, düşürülen kuvvetin büyüklüğünü ve düşme ağırlığını değiştirerek ulaşılır. Düşey pik defleksiyonlar, yükleme plakasının merkezindeki ve levhadan değişen mesafelerde uzaklıktaki FWD'ler tarafından ölçülür. Bunlar defleksiyon çukurları olarak işaretlenebilirler. Başlıca tipleri; Dynatest FWD, Phoenix FWD ve KUAB FWD dir.



Şekil 3.6: Bir düşen ağırlıklı deflektometre (FWD)'nin temel prensibi

4.Çok Modlu Sistemler; En yaygın tip FHWA “Thumber” olarak bilinen FHWA (Federal Highway Administration) çok modlu bir yükleme defleksiyon sistemidir.

NDT(Nondestructive Deflection Testing) aletlerinden elde edilen verilerin değeriendirilmesi

Tahribatsız olarak defleksiyon ölçebilen aletlerden elde edilen verilerin yol üstyapı tabakalarının elastik parametrelerini belirlemede kullanılması, otoyol üstyapısının durumunu belirlemek için oldukça önemlidir. Bunun için bir çok metot kullanılmaktadır.

- Denk Kalınlık Metodu: Tabakalı sistemlerde gerilme, şekil değıştirme ve defleksiyonları hesaplamakta kullanılan yaklaşık bir metottur. Temel prensip, çok tabakalı bir üst yapıyı tek bir tabakaya dönüştürmektir. Özellikle granüler temel tabakaları için çok fazla gerçekçi sayılmayan bir metottur.

- Elastik Tabaka Teorisi: Elastik tabaka teorisine göre, sistemdeki herhangi bir yerdeki gerilme ya da defleksiyon değeriğini hesaplamak için kullanılan bazı değeriğeri alınığı abaklar geliştirilmiştir. Bu abaklar her farklı tabaka sayısı için farklı farklıdır. Bu teorisinin temel kabulleri şunlardır:

- Her tabaka; homojen, izotropik ve bir E elastik modülü ile bir ν poisson oranına sahip olup lineer elastiktir.

- Her tabaka sorunlu bir h kalınlığına sahiptir, fakat en alt tabakanın kalınlığı sonsuzdur.

- Yatay yönde tabakaların sonsuz genişlikte olduğı kabul edilir ve sürşarj yükü ihmal edilir.

- Üniform bir q basıcı a yarıçaplı dairesel bir alan üzerinden üstyapı yüzeyine uygulanır.

- Tabaka ara yüzeylerinde süreklilik söz konusudur. Yani aynı gerilme ve deplasmanlar söz konusudur.

- Sonlu Elemanlar Metodu: Karayolları üstyapısında kullanılan granüler ve kohezyonlu malzemelerin nonlinear davrandığı düşünöldüğünde, sonlu elemanlar metodu diğeri yöntemlere nazaran önem kazanmaktadır. Granüler malzeme davranışı için en çok K-Q modeli kullanılmış, fakat günümüzde Boyce, Mayhew, Brown, Pappin ve Elhannani'nin geliştirdiğı malzeme modelleri de kullanılmaya başlanmıştır. Ayrıca Karaşahin'in geliştirmiş olduğı modelde malzeme anizotropisi dikkate alınmış ve gerçek malzeme davranışına daha fazla yaklaşım sağlamıştır. Yapılacak çalışmalarda bu modelin kullanılması daha gerçekçi sonuçlara ulaşılmasını sağlayacaktır [12].

3.2.4. Tahribatlı deneyler

Tahribatlı deneyler, yapım sonrası üstyapının özelliklerinin geri hesaplanması için, kullanılır. Üstyapı tabaka kalınlığının belirlenmesi için karot alınması, malzeme özelliklerine ait deneyler; elek analizleri, aşınma mukavemeti, soyulma mukavemeti, gradasyon kontrolü, stabilite ve zeminin taşıma direncini ölçen deneyler;

Dinamik Konik Penetrasyon Ölçer (DCP) CBR deneyine benzer. Zemin direnci ölçülür. CBR deneyi DCP' ye göre daha fazla zaman alır. DCP 1,5875 cm (5/8 inç) uzunluğundaki bir çelik çubuk ve ucunda çelik bir koniden oluşur.

3.3. Karayolları Genel Müdürlüğü'nce Yapılan Üstyapı Performansı

Değerlendirme Ölçütleri

Üstyapı performansı ilerleyen zamana karşın, kaplamanın, sürüş konforu ve güvenliğini sağlayabilme yeteneğidir. Üstyapı değerlendirmesinin yapmak için üstyapı performans verilerinin, kaplama karakteristiğinin ve yapısal dayanımının belirlenmesi gereklidir.

Üstyapı karakteristiği fiziksel özelliklerdir, yani kaplama tipi, düzgünsüzlüğü, yüzey dokusu, kayma direnci gibi kaplama yüzeyinin özellikleridir.

KGM'ce üstyapı performans değerlendirmeleri, aşağıda özetlenen ölçütlerin bir bütün olarak değerlendirilmesi sonucunda yapılmaktadır.

1. Sürüş Konforu ve Güvenlik
 - Düzgünsüzlük
2. Kaplamanın Güvenliği
 - Tekerlek İzinde Oturma
 - Kayma Direnci
3. Yapısal Uygunluk (Dayanım)
4. Yüzey Bozuklukları (Çatlak, Çukur, Soyulma, Yama, Kusma vb.)
5. Üstyapı Yönetim Sistemi Raporları

3.3.1. KGM’ce yapılan üstyapı performans ölçümleri, kullanılan araçlar ve dünyada uygulanan şartname ölçütleri

Veri ölçümleri, ölçüm amaçları ve sonuçları Çizelge 3.1 de özet halinde verilmiştir.

Çizelge 3.1: KGM’ce yapılan üstyapı performans ölçümleri

ÖLÇÜM AMACI	ÖLÇÜM ARACI	ÖLÇÜM SONUCU
DÜZGÜNSÜZLÜK (Sürüş Konforu) ve Güvenlik	Profilometre	Profil (IRI, RN, Rutting vs.)
	Kayma Direnci	KS (KAYMA SAYISI)
Yapısal Dayanımı (Mukavemeti)	Deflektometre	Deformasyon
Kaplama Bozuklukları	Gözlem (Kamera)	Çatlak, Çukur, Soyulma, Yama, Kusma vb.

3.3.1.1.Üstyapı performans ölçüm araçları

Profilometre

Karayolu ağını oluşturan yolların performansları, ağır taşıt trafiğinin geçtiği sağ şerit boyunca profilometre ölçüm aracı ile ölçülerek düzgünlük değerleri tespit edilmektedir.

Karayolu ağı verisi, T6500 sistemi, üç veya daha fazla kızılötesi alıcı, her bir tekerlek geçiş yeri için bir ivmeölçer, bir VGA gösterici, bir AT uyumlu endüstriyel destekli bilgisayar ve bir de ona bağlı grafik yazıcıdan meydana gelir.

Aşağıda boyuna düzgünlük verisinin toplanması için TCK tarafından kullanılan profilometre aracı görülmektedir (Şekil 3.7).

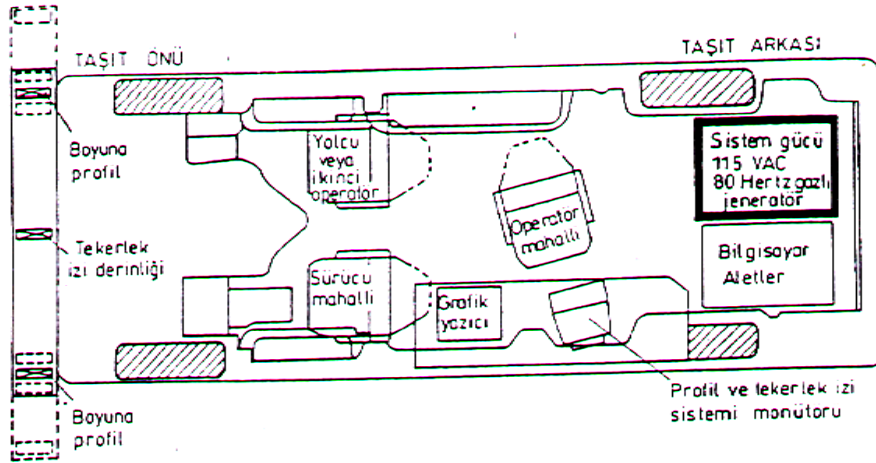


Şekil 3.7: TCK tarafından kullanılan profilometre aracı

Yol ölçücü, karayolları ve pistler için, her bir tekerlek geçiş yerindeki üstyapı profili ve tekerlek izi derinliğini ölçen ve kaydeden temassız bir profilometre (profil ölçüm sayacı) sistemidir. 30 ve 110 km/saat arasındaki hızlarda sonuç vermekte ve tekrarlanabilir bir özelliğe sahiptir. Yol ölçüm prensibi ise Şekil 3.9 da verilmektedir.

İki hassas ivmeölçer ve üç kızılötesi alıcı ana sistemin önemli parçalarını oluşturmaktadır. Buralardan elde edilen girdiler, üstyapı profilleri, tekerlek izi derinlikleri ve düzgünsüzlük indekslerini hesaplayan ve saklayan, sistemin taşıta bağlı ana bilgisayarına aktarılmaktadır.

Tüm ölçümler, taşıt ağırlığı, hız, sıcaklıktaki uç noktalar, güneş ışığı, rüzgar veya üstyapı rengi ve dokusundaki değişimlerden bağımsızdır. Sistemin taşıta bağlı bilgisayarı, gerçek zamanlı, profile dayanan iki yol düzgünsüzlük indeksini; IRI, (International Roughness Indeks) ve RN, (Ride Number) sürüş sayısını ölçmektedir (ASTM NCHRP 1-23'den). Her iki indeks ile, tekerlek izi derinliği ölçümleri, geometrik veriler, kamulaştırma genişliği video kaydı ve bir coğrafik yerleşim sistemi ile enine profiller elde edilebilmektedir (Şekil 3.8) [9,13].



Şekil 3.8: Boyuna düzgünlük verisinin toplanması kullanılan profilometre aleti

Mevcut Profil Kullanım Programları

Bitümle doldurarak düzleştirme, tornalama veya frezeleme ile düzeltmeler, birleştirilmiş tornalama ve bitümle doldurma kullanımı, beton plak kusur ölçümü ve sınıflandırması, şerit grafik profil çizimi, Profilograf, Mays Sürüş Sayacı, değişken uzunluk cetveli.

Performans Standartları:

İvmeölçer Hassasiyeti	: 1 mikro g
Kızılötesi Alıcı Hassasiyeti	: 0.025 mm. (0.001 inç statik)
	: 0.025 mm. (0.010 inç dinamik)
Profil Örnekleme Hızı	: 25mm. (1")
Profil Tekrarlanabilirliği	: Kesinlik: 0,5 mm. (0,02 inç)
Profil Ortalama Değişimi	: 0.025 mm. (0.001 inç)
Profil Mutlak Değişimi	: 1.25mm. (0.05 inç)

Aletler

- Hassas İvmeölçerler (Standart 2)
- Kızılötesi Alıcılar (Standart 3)
- Başlangıç - Bitiş Belirlenmesi & Sonuçlar için Fotosel
- Dijital Aralık (Mesafe) Kodlayıcısı

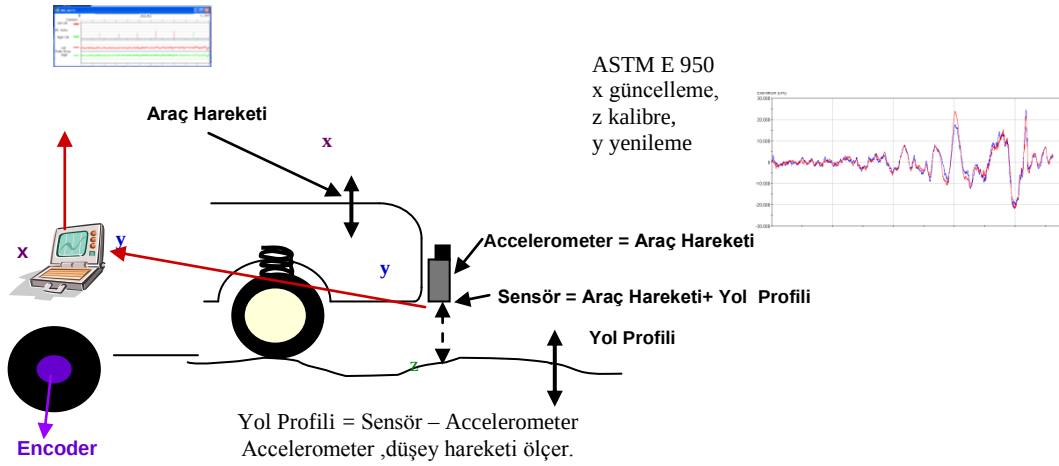
Bilgisayar:

- IBM PC-Uyumlu, Endüstriyel Takviyeli
- Integral Matematik Ortak İşlemcili 80486 İşlemci
- İkili (Çift) 5-1/4" veya 3-1/2" Disket Sürücü
- 80 - Kolonlu Grafik Yazıcı

Tercihler:

- Küçük veya Azami Büyüklükte Vagon Şekilleri
- Beş İzli Tekerlek izi Derinliği için Eklenmiş iki Alıcı
- Enine Profil için 25'e kadar Alıcı
- PCR Sınıflama Klavyeleri & LCD Monitörleri (5 diziye kadar)
- Kamulaştırma Genişliği için Video & Yol Kenarı Video Kayıt Kameraları
- Optik Video Disket Kaydedici
- PCR için Video Üstyapı Yüzey Bozulma Kayıt Kameraları
- Geometrik Ölçüm: Enine Eğim, Düşey Kurba, Kurb Yarıçapı
- Coğrafik Yerleşim Sistemi (GPS)

Yol Profil Ölçüm Prensibi



Şekil 3.9 : Boyuna düzgünsüzlük verisinin toplanması kullanılan profilometre aleti

Kayma Direnci (Skid Resistance)

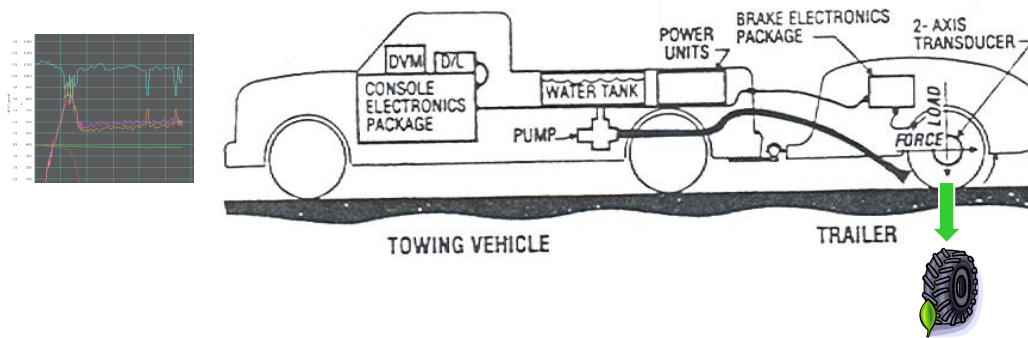
Trafik kazalarının meydana gelmesinde çok sayıda ve farklı nedenler etkili olmaktadır. Bu nedenlerden biri de karayolu kaplamalarında ki yetersiz kayma direncidir. Kayma direnci, seyahat edilen yol yüzeyi ile araç tekerleği arasındaki kaymaya karşı gösterilen dirençtir.

Yol yüzey sürtünmesi, KS (kayma sayısı) ile ifade edilir. Asfalt kaplama için KS 0–100 aralığında olup, 30'un altındaki değerler yol durumunun kayma direnci açısından kritik kesim olduğunu göstermektedir [13,24].

Kayma sayısı, aracın, 65 km/saat hızla gidişi sırasında test lastiğine su püskürtülerek uygun frenleme yapmak suretiyle tekerlerin kilitlenip, aracın yol yüzeyi üzerinde kayması sonucunda ölçülmektedir. Sürtünme direnci ölçümleri sadece aşınma tabakasında yapılmaktadır. Aşağıda kayma Sayısı değerinin belirlenmesi için TCK tarafından kullanılan araç görülmektedir (Şekil 3.10). Kayma direnci ölçüm prensibi ise Şekil 3.11 de verilmektedir.



Kayma Direnci Ölçüm Prensibi



Şekil 3.11: Kayma direnci ölçüm prensipleri

$$KS \text{ (KAYMA SAYISI)} = (\text{Kuvvet/yük}) \times 100$$

- Kuvvet : tekerleğin kilitlenmesinden dolayı, yatay düzleme uygulanan kuvvet miktarı
Yük : düşey düzleme uygulanan kuvvet miktarı
KS : Kayma sayısı (Skid Numbers)
Cihaz : ASTM E-274 standardına uygun üretilmiştir.

2008/16 No.lu İç Genelgede belirtilen ve Çizelge 3.2.'de yol yüzeyi sürtünme direnci ölçütüne göre müteahhide yapılacak tam, kesintili veya kaplamanın yeniden yaptırılmasına ilişkin KS değerleri verilmektedir.

Çizelge 3.2: Yüzey sürtünme direnci ve ödeme ölçütleri [53]

Sürtünme Direnci (Kayma Sayısı / Skid Number. KS)		ÖDEME ŞEKLİ
YOGT < 7000	YOGT ≥ 7000	
≥ 35	≥ 45	0 tam ödeme
34 - 30	44 - 30	-%5 cezalı ödeme
< 30	< 30	Yüzeyin pürüzlendirilmesi gerekir (pürüzlülüğü artırmak için kazıma yapılmayacaktır.)

Deflektometre

KGM’ce takviye projesine esas teşkil eden defleksiyon ölçümleri düşen ağırlıklı deflektometre (FWD) ile yapılmaktadır (Şekil 3.12). Ölçüm sırasında 5 ton ağırlığındaki bir yükün belli yükseklikten kaplama üzerine düşürülmesi sonucu oluşan defleksiyon, cihazın duyargaları ile algılanıp bilgisayara iletilmekte ve kaydedilmektedir. Ölçülen defleksiyon miktarına bağlı olarak yolun ihtiyaç gösterdiği taşıma kapasitesi, takviye tabakası ve beklenen ömür oranı tespit edilmektedir. KGM’de 1984 ve 1991 yıllarında, bir İsveç firması olan KUAB’ dan alınmış olan iki adet FWD (Falling Weight Deflectometer) cihazı bulunmaktadır.



Şekil 3.12: Deflektometre aracı

3.3.1.2. Üstyapı performansı ölçüm sonuçları , IRI ve RN ilişkisi

AASHTO Road Test'i araştırmaları, hizmet kabiliyetinin % 95'inin, yol yüzeyi boyunca düzgünsüzlüğü değeri ile belirlenebileceğini göstermiştir [60]. Profilometre ölçümlerinden elde edilen üstyapının boyuna profili ile de, sürüş konforunu gösteren "RN ve IRI" gibi düzgünsüzlük indisleri hesaplanmaktadır.

Uluslararası Düzgünsüzlük İndeksi IRI, (International Roughness Index) Dünya Bankası tarafından 1982 yılında Brezilya'da geliştirilmiştir [64]. IRI, genel bir kaplama durumu göstergesi olup, 80 km/saat hızla giden ölçüm aracı ile ölçülen yolun boyuna profil değeri (ASTM E 1926) olup, birimi m/km dir. IRI değeri; sürüş kalitesi, trafik emniyeti, araç bakım maliyeti değerlerini açıklamaktadır [64].

IRI değeri ise 0 ile 2,13 arasında değişmekte olup, 0'a yaklaştıkça mükemmel bir yolu, > 2,13 değeri ise geçit vermeyen bir yolu tanımlamaktadır. Yeni yapılan yol kesimlerinde IRI değerinin, 0 – 1,11 değerine sahip olması gerekmektedir.

RN değerleri, AASHTO yöntemindeki Hizmet Kabiliyetine karşılık gelen bir değer olarak kabul edilmiştir [60,66]. 0 ile 5 arasında değişmekte olup, 0 değeri geçit vermeyen bir yolu, 5 değeri ise, mükemmel bir yolu göstermektedir.

RN ile IRI değerleri arasında bir korelasyon eşitliği kurulmakla birlikte birbirlerine dönüştürülemezler. Yol profilinin karakteristik yapısı, RN değerlerini IRI değerlerine göre daha farklı etkilemektedir. Bu nedenle aralarında bir korelasyon bulunmakla birlikte her iki indeksten farklı düzgünsüzlük verisi elde edilmektedir. RN ile IRI ölçümleri arasındaki temel farklılıklar aşağıda sıralanmıştır.

RN ölçümlerinin,

- Alt ve üst limit değerlerinin kesin sınırlar içermesi,
- Uluslararası geçerliliği olan standart bir değer olmaması,
- Daha kısa genlik ve dalga boylarında ölçüm yapılması
- Ön tahmin için sınırlı bir yaklaşım değeri vermesi,

IRI ölçümlerinin,

- Alt ve üst limit değerlerinin kesin sınırlar içermemesi,
- Uluslararası geçerliliği olan standart bir değer olması,
- Daha büyük dalga boylarında ölçüm yapılması,
- Düzgünsüzlük değeri için kesin bir değer vermesi.

FDOT (The Florida Department of Transportation) tarafından sekiz test alanında ve üç farklı boyuna profilde yapılan düzgünsüzlük indeksi ölçümleri sonucunda RN ile IRI indeksleri arasında aşağıda verilen korelasyon eşitliği bulunmuştur [67].

Regresyon katsayısı $R^2 = 0,94$ elde edilmiştir.

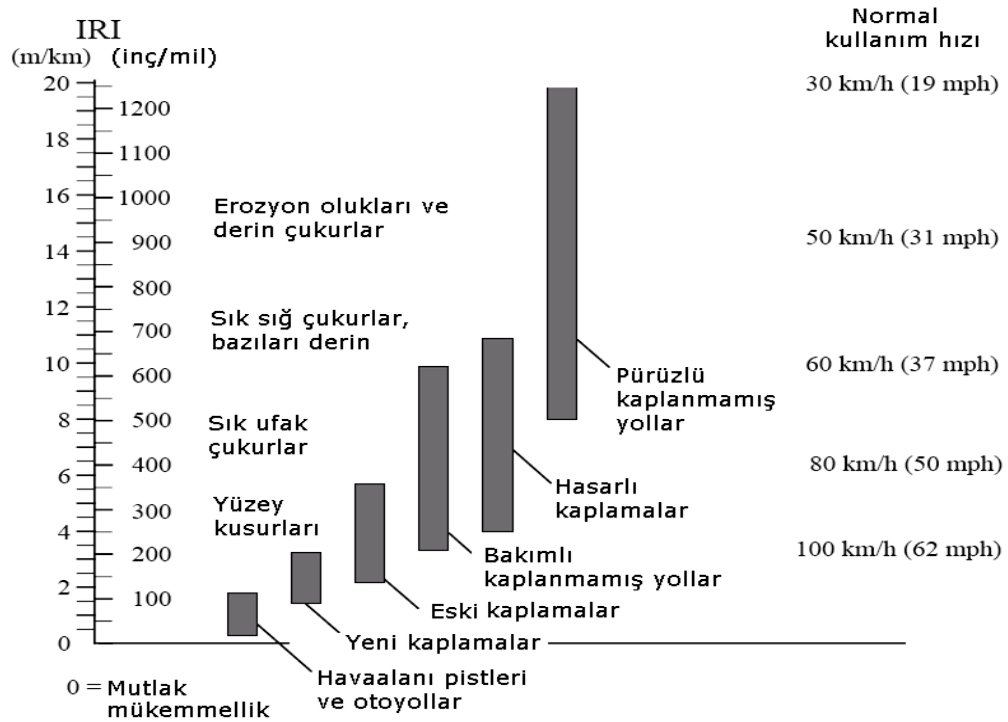
$$IRI = 563982.18 e^{(-1,51 RN)} \quad (3.8)$$

IRI: International Roughness Index, mm/km

RN: Ride Number

3.3.1.3. IRI düzgünsüzlük indeksi şartname değerleri

Üstyapı kaplama tabakasının yüzeyinin düzgünlüğü hususunda, son durumunun ilk durumuna göre değişiminin mühendislik alanında değerlendirilmesi, Uluslararası Düzgünsüzlük İndeksi IRI ile ifade edilen ölçüm değerlerine göre yapılmaktadır Şekil 3.13 [13,64].



Şekil 3.13: IRI değerleri

Asfalt Kaplamanın Kabulü İçin Kullanılan “ IRI “ Şartname Değerleri

Asfalt ve beton kaplama yüzeylerindeki düzgünsüzlük değerleri derecelendirilmiştir. Yeni yapılan kaplama tabakasından alınan IRI ölçümlerinin şartname değerlerini tutmaması halinde dış ülkelerde müteahhide cezalı ödeme yapılmakta veya kaplama yeniden yaptırılmaktadır.

Ülkemizde de KGM'nin 11.09.2008 tarihli iç genelgesi ile performans ölçütleri ve ödeme koşulları şartnamesi yayımlanmış olup, yeni yapılacak BSK ihalelerinde yeni yapılan asfalt kaplama yüzeyine ait IRI ve KS ölçüm değerlerine göre yükleniciye ya cezalı ödeme yapılacak ya da kaplama yeniden yaptırılacaktır.

2008/16 No.lu İç Genelgede belirtilen ve Çizelge 3.3.'de düzgünsüzlük derecesine göre müteahhide yapılacak tam, kesintili veya kaplamanın söktürülüp yeniden yaptırılmasına ilişkin IRI değerleri verilmektedir.

Çizelge 3.3: Otoyol ağı için IRI değerleri ve ödeme ölçütleri [53]

DÜZGÜNSÜZLÜK (m/km) (IRI)		ÖDEME ŞEKLİ
Binder	Aşınma	
< 1,30	< 1,20	0 tam ödeme
1,30 – 1,60	1,20 – 1,50	-%5 cezalı ödeme
1,61 – 1,90	1,51-1,80	-%10 cezalı ödeme
> 1,90	> 1,80	Yeniden Yapım

ABD’de Çizelge 3.4’de düzgünsüzlük derecesine göre müteahhide yapılacak ödüllü, tam, kesintili ödemeler ve kaplamanın söktürülüp yeniden yaptırılmasına ilişkin IRI değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.4: ABD’de IRI değerleri [13]

Eyalet	Ödüllü ödeme (çok düzgün)	Tam ödeme (düzgün)	Cezalı ödeme (Düzgünsüzlük)	Düzeltilme sınırı (Çok Bozuk İyileş.Gerekli)
CT	<950 mm/km	950-1260 mm/km	1261-1894 mm/km	>1894 mm/km
ME	<945 mm/km	946-1105 mm/km	1106-1260 mm/km	>1260 mm/km
VT	<950 mm/km	950-1090 mm/km	1091-1500 mm/km	>1500 mm/km
VA	<868 mm/km	869-1105 mm/km	1106-1578 mm/km	>1578 mm/km
WA	<946 mm/km	947-1500 mm/km	1501-1815 mm/km	>1815 mm/km

Türkiye’de kabul edilen ve Çizelge 3.5.’te detayları verilen Asfalt Kaplamalı yol yüzeyleri için genel yüzey düzgünlük şartnamesi.

Çizelge 3.5: Asfalt kaplama için yüzey düzgünlük şartnamesi [64].

Düzgünsüzlük Değeri	Düzgünsüzlük Değeri	Düzgünsüzlük Sınıflaması	Değerlendirme
4.0–5,0	0–0,71	Çok İyi	Yeni veya yeni sayılabilen kaplama; iyileştirmeye gerek yok.
3,0–4,0	0,72–1,11	İyi	İyi durumdaki kaplama; yakın gelecekte iyileştirmeye ihtiyaç yok.
2,5–3,0	1,12–1.58	Orta-İyi	Trafığe bağlı olarak yakın gelecekte iyileştirmeye ihtiyaç duyacaktır.
2,0–2,5	1,59–1,80	Orta	Kullanılabilirliğini sürdürebilmek için yakında onarım gerektirir.
1,5–2,0	1,81–2,13	Kötü	Hemen iyileştirme gerekir.
0,0–1,5	> 2,13	Çok Kötü	Hemen iyileştirme gerekir.

3.3.1.4. Dünyada uygulanan kayma direnci şartnameleri

Birçok ülke kendi yol yüzey özelliklerine bağlı olarak kayma direnci sınırlarını belirlemişlerdir. Bazı ülkeler ise kayma direnci değerinin yanı sıra yol yüzey makrodokusu için belli sınırlamalar getirmektedirler.

- Belçika’da bir karayolu, yapım aşamasına kontrol edilirken hem kayma direnci hem de yüzey dokusu değerlerine bakılmaktadır. Otoyol ve diğer yol tiplerinde 80km/sa kızıla giden bir taşıt için kayma direncinin yol yüzeyinin ölçülen kesimi boyunca ortalama 0,5’in altına düşmemesi istenmektedir Çizelge 3.6.

Çizelge 3.6: Belçika karayolları için kayma direnci şartnamesi [15].

YOL TİPİ	KAPLAMA TİPİ	HIZ (KM/SA)	KAYMA DİRENCİ (SFC 20D)	KAPLAMA TİPİ	MAKRODOKU (KUM-YAMA)
Otoyol	Tüm kaplama tipleri	80	>0,45 (tek ölçüm) >0,50 (ortalama)	Beton Yol	1,00
				Esnek üstyapı	0,70
Diğer Yollar	Tüm kaplama tipleri	50	>0,45 (tek ölçüm) >0,50 (ortalama)	Beton Yol	0,75
				Esnek üstyapı	0,60

- FHWA ise kayma direnci için rutin ölçümler sonucunda kaplama yüzeyi ile ilgili yapılması gereken işlemleri Çizelge 3.7’de özetlemiştir.

Çizelge 3.7: Amerikan karayolları için kayma direnci şartnamesi [15].

SINIF	KAYMA DİRENCİ	KAZA	ALINACAK ÖNLEMLER
A	< 31	Var	Kaplama Yenilenmeli
B	31–34	Var	İyileştirme yapılmalı
C	> 34	Yok	İzlemeye devam edilmeli ve gerekirse iyileştirme yapılmalıdır.
D	35–40	-	“
E	> 40	-	Önlem gerekmez

- Almanya’da ise tek bir hızdaki değer yerine, her karayolu tipi için değişik hızlarda yapılan ölçümlerde elde edilebilecek en düşük kayma direnci değerleri (BFC, Braking Force Coefficient) kullanılmaktadır Çizelge 3.7. Böylece sabit bir değer yerine değişken değerler yani rutin ölçümlerin önemi ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 3.8: Almanya karayolları için kayma direnci şartnamesi [15]

HIZ (km/sa)	MİNİMUM (BFC)
40	0,42
60	0,33
80	0,26

3.4. Dünyada Üstyapı Performansının Değerlendirmesinde Kullanılan Yöntemler, Ölçüm Ekipmanları ve Bakım Stratejileri

Dünyadaki performans değerlendirmesinde kullanılan ölçüm ekipmanları ve bakım stratejileri ile ilgili raporlar Yüzey Karakteristikleri Teknik Komitesi (daha sonra Kayganlık ve Düzgünlük) tarafından 1975 yılında Meksika’da 15’inci Kongrede sunulmuş olup, bu raporlar kayma direnci ve sürüş kalitesi ile sınırlandırılmıştı.

Üstyapı kaplaması bakımı hakkındaki çalışmalar ise, Viyana’da 1979 yılındaki 16.Dünya Kongresinin “Kaplama Bakımı” başlıklı “sürtünme katsayısı ölçme ve sonuçları değerlendirme prosedürleri” konferansında değerlendirilmiştir.

Aşağıda, 13 ülkede üstyapı performansının değerlendirmesinde kullanılan yöntemler, ölçüm ekipmanları ve bakım stratejileri hakkında ayrıntı bilgileri verilmiştir Çizelge 3.8, 3.9 [17].

AVUSTRALYA

Avustralya’daki önemli yolların bakımı eyalet ve kırsal alanlardaki 8 farklı otoritenin sorumluluğundadır. Kullanılan testler, amaçları, sınıflandırma düzeyleri, data analizi bu kurumların arasında çok farklılıklar göstermektedir. Bakım stratejileri oluşturulmasında yüzey özelliklerinin test sonuçları sistematik olarak kullanılmaz. Testleri değerlendirmek için bazı özel ölçütler belirlenmiştir.

Örneğin kavşak, sinyal yaklaşım ve diğer şehir alanlardaki kayma direncinin bulunması gibi. Buna karşın sonuçlar genelde bakım programlarında önceliklerinin belirlenmesi için kullanılır.

Kayma direnci

Kazaların olduğu yerlerin ve şüpheli kısımların araştırılmasında ve ayrıca mevsimlerdeki değişim eğilimlerini bulmak ve agregaların cilalanma oranlarını bulmak için periyodik olarak SCRIM (Enine Sürtünme Katsayısı Sürekli Araştırma Makinesi) kullanılır. Doku derinlik ölçümleri genelde kayma direnci ölçümleri ile birlikte yapılır.

Pürüzlülük

Mali planların hazırlanması için ulusal karayolu araştırması yapılmaktadır. Bu araştırma yolun kalan ömrünü tahmin etmek için pürüzlülük ile servis ömrü ilişkisini kullanan bir planlama modelini içerir. Pürüzlülük araca monte edilmiş ve PCA ölçere benzeyen NAASTRA pürüzlülük sarkacı tarafından ölçülür. Bu sarkaç ayrıca öncelik gerektiren yolların ve kaplama rehabilitasyonu için iyileştirme tiplerin belirlenmesinde ve ulusal planlama için devlet yollarının karşılaştırmasında kullanılmaktadır. Sarkaçlar mekanik olarak çalışır ve arka aksa göre aracın yukarı yöndeki düşey hareketlerin toplamına göre tasarım edilir. Basit modellerinde manüel kayıt vardır, otomatik model ise bir seferde 25.000 km yolun datalarını saklamaktadır. Ölçüm değerleri servis yeteneği indeksi ile korelasyon yapılır ve bazı limit değerler belirlenir.

BELÇİKA

Kayma direnci

SCRIM kullanılır. Otoyollar ve daha büyük ulusal karayolları her yıl izlenir ve diğer yollardaki ölçüm oranı ölçüm ekipmanının bulunması durumuna göre yapılır.

Düzgünlük

APL 72 kullanılır. Deformasyon katsayıları 0,6, 2,5, 10 ve 40m olan dört genlik ve dalga boyu skalasına göre düzenlenmiş cetvelle ölçülür.

Tekerlek izi

Delft iz ölçer (RWL tipi) izin ortalama derinliğini ölçer. Ayrıntılı testler (su derinliği) için yanal Profilograf kullanılır. Sistematik görsel izleme ile ekstra bilgiler sağlanabilir. Özel durumlarda fotoğrafik araştırma yapılır.

ÇEKOSLOVAKYA

Çekoslovakya’da yüzey özelliklerini ölçmek için kullanılan aparatlar şunlardır:

Kayma direnci

Boyuna sürtünmeyi ölçmek için CVVL-SVST-III/70 ve VUD-2 tiplerinin dinamometre treyleri kullanılır. Birinci tipteki araca yardımcı ekipmanlar takılarak 15⁰ derece açıya kadar tekerlekteki sürtünme kuvvet katsayıları ölçülebilir. Ayrıca SRT sarkacı kullanılır.

Yüzey dokusu

Hem kalem kayıtlı hem tam otomatik mikro profilograflar kum yama yönteminde olduğu gibi kullanılır.

Yüzey düzgünlüğü

Kullanılan yöntemler lata master, Profilograf ve kompezasyon multigrafıdır. Araştırma amacı dışında sık sık trafik kazalarının olduğu yerlerde yüzey durumunu belirlemek için kayma dirençleri düzenli olarak ölçülür. Bazı seçilen yollarda kamu otoritelerinin talebine göre yol yüzeyinin asıl durumunu belirlemek ve yetersiz yüzeyleri tamir ederek trafik kazalarından kaçınmak için testler yapılır.

DANİMARKA

Bakım ölçümleri normalde kayma direnci için Stradografi ve sürüş kalitesi için tümsek ölçer kullanılır. Bu ekipman Ulusal Danimarka Yol Laboratuvarındır. Otoyollarda (yaklaşık 500km) her yıl her iki yönden ölçüm yapılır. Diğer ulusal yollarda (yaklaşık 4200km) ölçümler her yıl yalnız bir yönde yapılır. Bölgesel ve belediye yollarında yönetimin talebine göre yapılır. Ölçümler normalde nisan ve aralık aylarının ortasında yapılır. Otoyol ve diğer ulusal yollar devlet tarafından idare edilir ve sorumluluk alanları şunlardır;

- önemli projelerde kullanılması için kaynak yönetimi
- ana yol sistemini standart hale getirmek
- yolları fonksiyonel hale getirmek yani yol standartlarını gerçekleştirmek

Ana yollardaki önemli asfalt çalışmalarının seçimi yol data bankasına dayanan entegreli EDP sistemi yardımı ile yapılır.

Düzgünlük verileri, taşıma kapasitesi ve kayma direnci kümülâtif toplam kontrol çizelgelerinin (CSCC) hazırlanmasında kullanılır. Eğer ölçüm sonuçları sadece kayma dirençlerinin yol standart taleplerini karşılamadığını gösterirse normal geçici bir çözüm uygulanır ve mümkün olan en kısa zamanda yüzey tamirat veya yenilemesi yapılarak kayma direnci iyileştirilir.

FRANSA

Ulusal yol ağının önleyici bakımı için teknik kılavuzdaki kurallara göre periyodik olarak yapılması gereken işler veya ilave çalışmalar belirlenir ve önceliklere karar verilir.

Periyodik rutin dolaylı test

Yüzeyin adezyon kuvvet özellikleri her yıl ıslak zeminde enine sürtünme kuvvet katsayısının SCRIM aparatı ile ölçüm sonucuna göre belirlenir. Geometrik boyuna yol düzgünlüğü her dört yılda bir APL 72 tip çift hat boyuna profil analizatörü ile belirlenir.

Kusma veya kabarma ve tekerlek izi tip kusurları görsel gözlemle en az yılda bir tespit edilir. Yüksek trafik hacimli ve otoyol tipi yollarda GERPHO aparatı ile kayıt alınır. İz derinliği ayrı noktalarda master veya yanal Profilograf ile ölçülür. İz ölçer 60 km/sa hızda sürekli yanal profil deformasyonunu ölçebilir. Bu ölçüm sonuçları tüm yol bilgilerini içeren bir data bankasında saklanır.

Karar verme

Yüzey özelliklerinin değerlendirmesi dört göstergeye dayanarak yapılır: adezyon kuvvet, düzgünlük, iz oluşması, kusma ve kabarma. Karar bir parametrenin şiddetine bağlı olarak yapılacak çalışmalar (iş, ilave araştırma, takip) belirlenir ve ayrıca yolun ilk durumu (sıfır noktası ile verilen) ve ikincil parametreler (uygunsuz geometrik şartlar ve kara noktalar) de dikkate alınır.

İlave araştırmalar

Kaza sayısındaki ve yolu kullananlardan şikayetlerdeki artış bu bölgelerde ilave araştırma yapmayı gerektirir ve yalnız kısa kısımları ilgilenen daha ayrıntılı çalışmalar için LCP kayma direnç treyleri, SRT sarkacı, kum yama yöntemi veya drainoroute gibi başka yöntemlerden faydalanılır.

ALMANYA

Almanya’da kayma direnci normalde SRM treyleri(Stuttgarter ReibungsMesser) ile ölçülür. Bakım düzeyleri yoktur ama kayma direnci ile bakım çalışması arasında bir ilişkiyi veren tavsiye vardır. 200 yoldan oluşan ağ en az yılda bir PSI değerlerini bulmak için gözlem altındadır.

PSI ölçümleri boyuna ve iz derinlik ölçümünü ve ayrıca yama ve çatlakların gözlemini içerir. Bölgesel otoriteler kayma direnci için SRT sarkacını ve iz derinliği ölçmek için 4m.lik cetvelleri kullanır.

İNGİLTERE

Yüzey özelliklerinin yenilenmesi için zorunlu bakım standartları yoktur fakat bakım programlarının belirlenmesinde özellikle Ulaşım ve Yol Araştırma laboratuvarı tarafından yapılan araştırma sonuçları karayolu otoriterlerine tavsiye olarak sunulur.

Kamunun otoyol ve ana arter yol ağında yüzey agrega özellikleri, doku derinliği ve kısa masterla ölçülen (3m boyda) düzgünlük ile ilgili zorunlu standartlar yeni yolların inşasında kullanılır.

Yakın gelecekte bu standartlar bakım çalışmalarında da kullanılacaktır.Benzer standartlar en önemli karayolu otoriterlerinin kendi kontrolleri altındaki yolların önemli kısımlarına uygulanır.

Kayma direnç ölçümü

Islak kayma direncinin mevcut düzeylerini ve farklı yol bölgelerindeki kaza geçmişini belirlemek için iki yıllık iş programı SCRIM ekipmanı ile Ulaşım Departmanı tarafından hazırlanır.

Sağlanan bilgiye göre kamunun elindeki yollara uygulamak üzere ıslak kayma direnç limit değerleri hazırlanabilir. SRT sarkacı da kullanılır ama dezavantajlarından dolayı SCRIM kullanımı daha çok artmaktadır.

Doku derinliği

Kum yama testi çok yaygın olarak kullanılmaktadır, ama TRRL tarafından geliştirilen iki makine doku derinliğini ölçmek için lazer kırımlarını kullanır. Bir tanesi araçla çekilir ve sistematik ölçümler için 100 km/sa hıza kadar kullanılır.

Sürüş kalitesi, tekerlek izi ve diğer yüzey eksikleri

Bu özelliklerin ölçümleri ve deplasman ölçümleri kaplama değerlendirme planları mesela Chart ve March'ın parçasını oluşturur. Ölçümün yavaş olmasından dolayı şebekenin bir kısmı ölçülebilir.

Lazer sistemler gibi hızlı yöntemler geliştirildi ve günümüzde sadece deneysel ölçeklerde kullanılmaktadır.

JAPONYA

Yüzey özelliklerinin araştırmasının asıl amacı, kaplamanın yapısal ve fonksiyonel özelliklerini korumak ve çok yoğun bölgelerde çevresel etkilerini de incelemektir. Ulusal otoyol, kent otoyol ve tasarım edilmiş ulusal karayolları için data kayıtları vardır ve diğer yollar için de hazırlanmaktadır.

Bu data yol geometrisi, tipi, köprü, tünel, çevre, trafik, bakım çalışmaları, kazalar gibi bilgilerin yanında yol düzgünlüğü, kayma direnci, deplasman ve tekerlek izi gibi yüzey özelliklerini de içerir.

Ana yolları 1 km ara ile ayıran bir düğüm referans sistemi kullanılır. Ulusal otoyolların %70'i için optik kart takip sistemi kullanılmaktadır. Diğerleri için manüel veri takibi yapılmaktadır.

Önemli bilgiler merkezde toplanır ve bölge büro ve yapım ofislerine kendi yolları ile ilgili gerekli bilgi verilir.

HOLLANDA

Bakım kararları kayma direnci, boyuna ve enine yöndeki düzgünlük, doku, çatlama, parçalanma, deformasyon, açılma ve kopma, trafik şartları ve drenaj sorunlarına göre verilir. Kurumlar bakımın planlandığı yol kısımlarının listesini Devlet Yol Araştırma laboratuvarına gönderir.

Talep edilen kısımlarda ölçümler ve gözlemler yapılır ve değerlendirme raporu kuruma gönderilir ve bu rapora göre taslak plan hazırlanır.

Bakım tavsiyeleri iki test sonuç düzeyine göre yapılır: birinci düzeyde iyileştirme tavsiyesi direk olarak verilir, diğer düzey daha düşüktür ve bakım kararından önce diğer test sonuçları ile birlikte değerlendirme yapılır.

Kaplama kalitesi ile ilgili son karar trafik hacmi, kaplama yapısı ve yaşı ile birlikte gözlem ve ölçüm sonuçlarına göre verilir. Seçenekler gözden geçirilerek bu ölçütlere göre bakım kararı verilir.

NORVEÇ

Bakım kararları bölge yol kurumlarının değerlendirmelerine göre yapılır. Mevcut mali fon büyük ölçüde bakım çalışması ile sınırlıdır.

Kayma direnci

Mu-sayacı farklı test hızlarında kullanılır. Ölçümler talebe göre lokal olarak veya bir araştırma programının parçası olarak yapılır. Özel çalışmalar için SRT sarkacı kullanılır. Kum yama yüzey doku çalışmasında kullanılır.

Sürüş kalitesi (düzgünlük)

Boyuna ve enine düzgünlük masterlarla ölçülebilir. Kılavuzlar bunların kullanımına göre hazırlanır. Özel çalışmalar için ivme ölçerler kullanılır ve araştırma programı için büyük kapasiteli GM-profil ölçer kullanılır.

Tekerlek izi

Şimdiye kadar en çok masterlar kullanılırdı. Yüksek kapasite ihtiyacında üç tekerlekli treyler data kayıt ekipmanı ile birlikte kullanılır. Bu sayede yüzey özelliklerini değerlendirmek için diğer kusurları da kayıt etme imkanı olmaktadır. Kabaklaşmış tekerleklerin kullanımı bakım çalışmalarının ana nedenidir.

Yol yüzey durum değerlendirmesi

Bir aparat sayesinde izler, pürüzlülük, çatlaklar, aşınma, çukurlar ve yamalar bir seferde kaydedilebilir. İlk iki parametre otomatik ve diğerleri manuel olarak bir klavye ile kayıt edilir. Her bir kusurun büyüklüğü belirlenir ve dataların işlenmesi bilgisayarla yapılır. Bu çalışma henüz sürekli yapılmamaktadır.

POLONYA

Yüzey düzgünlüğü tümsek ölçer ile 1975 yılından beri ölçülmektedir. Kayma direnci 1981 den beri Polonya izleyicisi ile ve yüzey bozuklukları ise görsel kontrolle belirlenir.

Uluslararası ve ulusal yolların toplam uzunluğu 11.000 km kadardır. Uluslar arası yollarda her iki yılda bir, ulusal yolda dört yılda bir düzgünlük ölçümü yapılır. Sonuçlar merkezi ve bölge idare kurumları tarafından yolların uzun süreli bakım planlarının hazırlanmasında kullanılır.

İSPANYA

Kayma Direnci

Aşınma tabakalı yolların SFC değerlerini ölçmek için SCRIM kullanılır. İki yıl ara ile yapılan testlerde her 20 m ara ile SFC değerleri ölçülür. Ölçüm sonuçları kayma direnci yetersiz yolların tamirat çalışmalarının planlamasında kullanılır.

Bütün yol laboratuvarlarının portatif kayma direnç ölçücüler (SRT) vardır. Testler İngiliz 812 standardına benzer NLT-175/73 standardına göre yapılır. Bunlar kara noktalarda kullanılır ve sonuçlar tehlikeli kısımların hemen tamir edilmesini sağlar.

Makrodoku

Antıkayma aşınma tabakalarının (özel yüzey giydirme, bitümlü betonlar, vb.) doku gelişimini izlemek için yol laboratuvarları tarafından kum yama yöntemi kullanılır.

Boyuna düzgünlük: Pürüzlülük İndikatör Zemin ölçeri CT444 iki yılda bir 15.000 km lik şebekeyi ölçer. Sonuçlar nümerik ve farklı renklerde 1/400.000ölçekli haritalarda verilir. Bu sonuçlara göre yüzey yenileme veya güçlendirme gereken kısımlar belirlenir.

Enine düzgünlük: Tekerlek izi aşınma kaplamalı yollarda her yıl yaz sonunda ölçülür. Ölçümler 2m.lik masterlarla yapılır. Tekerlek izleri 10mm'den az, 10-20mm arası ve 20mm.den fazla diye üçe ayrılır.

İSVEÇ

Aynı anda birkaç yüzey özelliğini ölçebilen bir ekipman geliştirildi. Avantajları yüksek ölçüm kapasitesi ve ihmal edilebilecek kullanıcı faktörüdür. Ölçülen ana yol özellikleri düzgünlük, kayganlık, kesit profili ve çökmedir.

Bu veriler saklanır ve tarih, yol numarası, çatlak, aşınma ile ilgili sübjektif bilgilerle birlikte çıktı alınır.

Bu ölçüm sonuçları İsveç yol data bankasına gönderilir, bu bankada yol geometrisi, köprüler, kazalar ve kaplamalar ile ilgili bilgilerde vardır.

Bu ekipman başlıca üç uygulama için düşünülmektedir; yol araştırması istenen standartlara getirmek için kaplama yenileme, iş hacmini belirlemek, tek parametreye dayanan özel çalışmalar, (kara noktaların bulunması gibi).

İSVİÇRE

Kanton yönetimi yol şebeke bakımından sorumludur. Şimdiye kadar kararlar görsel kontrollere dayanırdı. SN 640731 normu bakım kılavuz olarak kullanılır. Norma göre mühendis araştırmaya kusurun görsel durumunu belirleyerek başlaması gerekir. Gerekli görülen yerlerde kayma direnci, boyuna ve enine yönlerdeki yüzey düzgünlüğü, deplasman ölçülür.

Yeterli bakım çalışmalarını seçmek için yolun her yüzey özelliği ayrı ayrı değerlendirilir. Test yöntemleri ve düzeylendirme 640540 /511 ve 6540 520/521 normlarında açıklanmıştır.

Kayma direnci için iki limit değer vardır. A (uyarı düzeyi) ve B (bakım düzeyi). Kanton Neuchatel ve Geneva yol kurumları bir yol data bankası oluşturmaktadır ve diğer kurumlarda yakında buna başlayacaktır.

AMERİKA BİRLEŞİK DEVLETLERİ

Programlar kayma direnci, pürüzlülük ve deformasyon (çatlaklar ve çukurlar) değerlerine göre hazırlanır. Kayma direnci için çoğu eyalet ASTM-274 standart kilitli tekerlek kayma treylerini kullanır ve birkaç tanesi Mu-sayacını kullanır.

Pürüzlülük ölçümü için çok yaygın olan bilinen standart GM (General Motors) profil ölçeridir. Daha ekonomik olan başka bir ekipman Mays sarkacıdır.

Bu sarkaç aracın düşey ivmelenmesini mekanik olarak ölçer ve yüksek frekanslı pürüzlülükte uygundur fakat uzun dalga boylu ondülasyonlar da çok hassas değildir.

Yüzey deformasyonları, çatlak ve çukurlar ya fotoğrafla ya da gözlemlerle belirlenir. Yapısal düzgünlük özel dinamik yükler altındaki deplasman ölçümü ile belirlenir. Benklemanın kirişi ve Dinaflex gibi aletler kullanılır.

Sonuç olarak;

Her ülkedeki uygulamalar birbirinden farklı olmakla birlikte, ülke içindeki çeşitli yol kurumları arasında bile bazı farklar görülmektedir. Bir çok ülke üç kademeli sistemi; taktiksel, stratejik ve uzun süreli stratejik prosedürler olmak üzere uygulamaya koymuştur.

Taktiksel düzeyde ölçümler: Özel bir sorunun olduğu yol kısmında yapılır (örneğin kara noktadaki kazalar gibi). Ölçümler öncelikle soruna katkıda bulunan yüzey özelliklerinin bulunması için kullanılır (örneğin kara nokta bölgesi oluşumunda önemli katkısı olan kayma direnç ölçümü gibi). Ölçüm sonuçları ilgili kuruma yüzey yenileme gibi gerekli ihtiyaçları belirlemesini sağlar.

Stratejik düzeyde: Her yol sınıfının kabul edilmiş kalite değerlere ulaşması için yolların belli bir program dahilinde iyileştirme stratejisi vardır. Bu stratejilerin etkinliği büyük ölçüde araştırmaların yapılması, toplanan verilerin işlenmesi ve diğer ilgili verilere (örneğin kaza kayıtları ve trafik sayım bilgileri) ulaşmak için gerekli imkanlara bağlıdır.

Eğer bir özelliğin ölçüm değeri düşük çıkarsa, bakım programı orta dereceli olabilir ama mevcut mali fonun en iyi kullanılması ve yol ağının kademeli iyileştirilmesi için önceliklerin belirlenmesini sağlayacaktır.

Uzun süreli stratejik düzeyde: Yüzey özellik ölçüm yöntemlerini geliştirmek, farklı yol sınıflarının bakım düzeylerinin belirlenmesi için mevcut bilgileri gözden geçirmek, yol araştırma ve verileri işleme yöntemlerini optimize etmek için bir araştırma yapılmaktadır.

Çizelge 3.9: Bakım test yöntemleri [17]

Ülke	Kayma Direnci		Makro doku	Sürüş kalitesi	Tekerlek izi	Yüzey bozuklukları
	Test yöntemi Hız(km/sa)	Amaç	Test yöntemi Hız(km/sa)	Test yöntemi Hız(km/sa)	Test yöntemi Hız(km/sa)	Test yöntemi Hız(km/sa)
Fransa	SCRIM (60) PLC Treyler (40/80/120) SRT Sarkacı (S)	DR DIB DM	Kum yama(S) DIB Drainoroute (15) RIB Tasarlanan:- YüKS (Kayma Sayısı)ek hızlı doku ölçeri (60)RB	Boyuna profil analizatörü:- APL 72Tipi (72) DR APL 25 Tipi(22) DRI	Enine Profilograf (S) DIB Tasarlanan:- İz ölçer (60) DR	Görsel gözlem(5) DRIB GERPHO (60) DR
Almanya	SRM treyler SRT Sarkacı (S)		Kum yama(S)	PSI ölçüm ekipmanı	PSI ekipmanı olan özel aparat Enine Profilograf 4m cetvel	Görsel gözlem
İngiltere	SCRIM (50) Bazen (80) SRT Sarkacı (S)	DRIB DIBM	Kum yama(S) Değerlendirme:- Lazer oluk ölçeri (1-10) YüKS (Kayma Sayısı)ek hızlı lazer doku ölçeri (1-100) Düşük hızlı lazer doku ölçeri (1-6)	Tümsek ölçer Hareketli master (3m) Değerlendirme:- YüKS (Kayma Sayısı)ek hızlı lazer Profilograf	Görsel gözlem ve düz kenar Değerlendirme:- Lazer iz ölçer	Görsel gözlem (CHART) (Cz,Ck,Df,Ph,Df)

Çizelge 3.10: Testin amacı [17]

Ülke	Yol Tipi Test uzunluğu (km)	Rapor edilen uzunluk (örnek uzunluk m) Kayma Direnci Sürüş Kalitesi Tekerlek İzi Deformasyon	Test aralığı (yıl) S.R T.D R.Q R.T D.F	Test Mevsimi	Notlar
Avustralya	Çevreyolları Arter yollar >3000 Karayolları		1 3 1	Özel mevsim yok	Çoğu test sürkli değil özel sorunla ilgili yapılır.
Danimarka	Otoyollar 1000 Ulusal 4200 Diğerleri 1500-2000	(100/20) (400/100) (100/20) (400/100) (100/20) (400/100)	1++ 1++ 1+ 1+	Nisan ortası- Aralık ortası	
Fransa	Otoyollar 7500 Ulusal yollar 17000 Departman yolları birkaç yüz km	Ölçülen uzunluk SCRIM(20) APL72(200) Görsel gözlem(50) APL25(25) GERPHO(20) Analiz kısmın uzunluğu 200m dir	2+* 4+* 1++ 1++		

S.R=Kayma direnci T.D=Doku derinliği R.Q=Sürüş kalitesi RT=Tekerlek izi DT=Bozulma DF=Deformasyon; + Yolun bir kenarı ++ Yolun her iki kenarı

4. OTOYOL AĞI ESNEK ÜST YAPILARINDA MEYDANA GELEN YÜZEY BOZULMALARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Mühendislik açısından bozulma, ”üstyapının özgün fiziksel koşullarından herhangi bir şekilde sapması” olarak düşünülebilir. Trafiğin tahminden daha fazla artması, iklimsel koşulların ağırlığı yol yapımı sırasındaki projeye ve tekniğe uygunluk oluşturmeyen alt yapı inşası, bakım ünitesinin daha az etkin çalışması ve öteki ünitelerle koordinasyon eksiklikleri başlıca bozulma nedenleridir. Yol bozulmalarının giderilmesi, nedenlerinin iyice anlaşılmasına bağlıdır. Aksi durumlarda nedeni hiç anlaşılmayan ya da araştırılmayan bir yolun bakım ve onarım hizmetleri var olan aksaklıkları gideremeyecektir. Mühendislik yapıları içerisinde kendine has özelliği bulunan yol sonsuz uzunluktaki bir yapıdır. Bu nedenle yol boyunca, bozulmaya etki eden etkenler sürekli değişim göstermekte olup, zemin yapısı, nem oranı, iklim, trafik gibi faktörler yolu etkilemektedir. Böylece sayısız aksaklıklar yüzeyde kendini gösterirken, başka mühendislik yapılarından farklı olarak, kullanıcıları tarafından bu arazılar gözlenmekte ve bunların giderilmesi konusunda kamuoyu bir baskı unsuru olmaktadır.

4.1. Genel Bozulma Faktörleri

Genellikle, birlikte etkili olan bu etkenler trafik ve iklim koşulları ile, tasarım ve yapım hataları olarak sıralanabilir [1,2,3,18,70].

- **Trafik:** Trafiğin neden olduğu ilk ve son bozulmaların gelişimi, gözönüne alınan periyottaki taşıt sayılarına, dingil yüklerine ve onların uygulanma sürelerine, taşıt hızlarına bağlıdır. Trafiğin yol açtığı başlıca bozulmalar; yorulma çatlakları, aşınma kaybı, agregaların cilalanması, deformasyonlar ve micirlerin aşırı gömülmesi şeklinde sıralanabilmektedir.
- **İklim:** Bozulmalar, yağış miktarı, donma-çözülme devreleri, yüksek ve düşük sıcaklıklar özellikle de; su etkisi altında soyulma, yüksek sıcaklıklarda kuruma ve donmayı etkileyen sıcaklık yüzünden oluşan bozulmalar, çözülme sırasında veya taban zemininin su içeriği yüksek olduğundaki taşıma kapasitesi kaybı, kimyasal

maddelerin kullanımları (kış bakımı) nedeniyle olası bozulmaların hızlanması gibi nedenlerle ortaya çıkacaklardır.

• Tasarım ve Yapım Hataları

Tasarım ve yapım üstyapı performansı üzerinde doğrudan etkilidir. Trafik ve taban zeminine göre yetersiz tasarlanan bir üstyapıda bozulmaların zamanından önce belirmeleri olasıdır. Bu duruma, hatalı tasarım; uygun olmayan bağlayıcı ve filler oranı, hatalı üretim; yetersiz karışım ve yetersiz sıcaklık, hatalı işçilik; yetersiz sıkıştırma, aşırı sıkıştırma, düşük serme ve sıkıştırma sıcaklığı, yapım sırasında oluşan segregasyon, yetersiz zemin etütleri veya beklenmeyen trafik hacimleri neden olabilir.

4.2. Bozulma Seyri

Bozulmalar genel olarak; Kayma direnci kaybı, tekerlek izi oluşumu, aşınma tabakası çatlaması şeklinde genellikle yol yüzeyi boyunca veya zamanla ilerleyerek, oyuklar, tümsekler, çökme ve sınırlı aşınma tabakası bozulmaları gibi sınırlı alanlar boyunca da hızla veya aniden oluşur. Genel ifade ile bozulma, her bir üstyapı tabakasının trafik yüklerini dağıtmadaki davranışlarını etkiler. Üstteki tabakalar kesme gerilmelerine ve tüm yatay kuvvetlere dayanma, taban zemini ise, düşey yükleri dağıtma yeteneğine sahip olmalıdır.

Bozulma tipleri çok sayıda farklı oluşum şekli ile gelişirler. Trafikten gelen dingil yükleri üstyapı tabakaları içinde gerilme ve deformasyona yol açarlar. Bu gerilme ve deformasyonlar, malzemelerin tabaka kalınlığı ve rijitliklerinin fonksiyonları olup, tekrarlı yükleme altında, bağlı malzemelerdeki yorulma etkisiyle çatlamanın başlamasına ve çeşitli derecelerde malzeme özelliklerine bağlı tüm malzemenin deformasyonuna neden olacak düzeydedir. İklim değişikliği ile bitümlü üstyapı malzemelerinin gevrekleşmelerine ve böylece çatlama ile sökölme, kabarıp dökölme ve kenar kırılmasını kapsayan dağılmaya karşı daha duyarlı hale gelmelerine neden olur. Çatlama alan ve şiddet bakımından kabarıp dökölmenin olduğu noktaya kadar ilerler ve sonunda oyuklar oluşur. Yüzeydeki açık çatlaklar ve iyi korunmayan drenaj sistemleri suyun üstyapıya girmesine izin verirler. Bunun sonucunda dağılma hızlanır, bağlayıcısız malzemelerin kesme dirençleri azalır ve böylece trafik yüklerinin neden olduğu gerilmeler altında deformasyon hızı artar.

Üstyapı kalınlığı boyunca toplam deformasyon, tekerlek geçiş yerlerinde tekerlek izleri olarak veya daha genel şekilde yüzeyde bir düzgünsüzlük veya geometrik düzgünlük azalması ile saptanan bir profil çarpıklığı olarak kendini gösterir. Drenaj, hava ve mevsimsel değişimler, üstyapı malzemelerinin trafik altındaki davranış ve dirençlerini etkiler ve geometrik düzgünlüğün azalmasına yol açan hacim değişimlerine neden olur. Bu yüzden, üstyapı geometrik düzgünlüğünün azalması, bir bozulma oluşum şekilleri zincirinin sonucudur ve çeşitli bozulma şekillerinin etkilerini birleştirir.

4.3.Bozulma Biçimleri

Üstyapının bozulması, yol yüzey durumunun hizmet dışı kalması eğilimi ile saptanır. Yüzey bozulmaları ve yapısal bozulmalar olarak sınıflandırılan genel olarak yetersiz kayma direnci, mikrodoku kaybı (cilalanma) veya makrodoku kaybı, soyulma, çatlaklar önemli yüzey bozulmaları olarak, üstyapının deformasyona karşı çok düşük dirençli olması, dolayısı ile yorulma, oyuklanma, ondülasyon, altyapı tabakalarının ani değişimleri yapısal bozulmalar olarak tanımlanabilir. Üstyapı yüzeyindeki bozulmalar üç ana bozulma şekli altında sınıflandırılır [10,18,70].

a) atlama

- Timsah sırtı çatlak: 300mm'den daha küçük çapta birbirine bağlı poligonlar şeklinde çatlaklar
- Boyuna atlak: Üstyapı boyunca uzunlamasına düz çatlaklar
- Enine atlak: Enine yönde düz çatlaklar
- Düzensiz atlak: Belli bir modele oturtulamayan ve birbirine bağlı olmayan çatlaklar.
- Harita Şeklinde atlak: 300mm'den daha büyük çapta birbirine bağlı poligonlar şeklinde çatlaklar.
- Blok atlak: 1.0m'den daha büyük aralıkta dikdörtgen şekil, kesişen düz çatlaklar.

b) Dağılma

- Sökölme: Yüzeyden taş parçacıkları kaybı
- Oyulma: Yüzeydeki açık boşluk(> 150mm.çapta; > 50mm derinlikte)
- Kenar Kırılması: Yüzeyin kenarındaki kırılmış malzeme kaybı

c) Kalıcı Deformasyon (Şekil Değiştirme)

- Tekerlek İzi Oluşumu: Tekerlek geçiş yerlerindeki boyuna çökme.
- Göçme: Yüzeydeki tas şekli çökme.
- Toplanma: Yüzeydeki belirli bir yere sınırlanmış yükselti.
- Kabarma: Boyuna tümsek
- Buruşma: Yakın aralıklı enine çökmeler(küçük boyutlu dalgalanma)
- Ondülasyon:Uzun Aralıklı (>5.0m) enine çökmeler (büyük boyutlu dalgalanmalar)
- Düzgünsüzlük: Yüzey düzensizliği

4.4. Bozulma Etütleri Ve Bozulma Değerlendirme Sistemleri

Üstyapı yüzey bozulmalarının ölçülmesi, bozulma tipinin tanımlanması, şiddetinin ve yoğunluğunun, bazı durumlarda da yerinin tayin edilmesini sağlar. Genellikle, ölçülen bileşenler, aşağıdaki etken sınıflarını kapsarlar.

1. Yüzey kusurları
2. Kalıcı deformasyon veya çarpılma
3. Çatlama
4. Yama

Üstyapı yüzey bozulmalarının ölçülmesini sağlayan bir üstyapı bozulma etüdü işleminin geliştirilmesi ve yürütülmesi, açık bir bozulma tipi tanımı gerektirir. Bozulmalar genellikle, ya trafik ve çevre veya ikisinin bileşimi ile meydana getirilmiş olmalarına göre sınıflandırılırlar. Bu sınıflama, bozulmayı onarma işlemlerinin seçimine yardım eder.

ÜYS kapsamında yer alan bozulma etütleri, gelecekteki üstyapı bozulmasını önlemek için gerekli bakım önlemlerini veya üstyapıyı geliştirmek için gerekli iyileştirme önlemlerini değerlendirmek için yaygın biçimde kullanılır. Bu etütler, bozulma tipi, şiddeti ve yoğunluğu ile bozulmanın yerini tayin etmelidir. Bozulma etüdünün ilk adımı, kullanılacak verinin nasıl elde edileceğini tanımlamaktır.

Daha sonra ise, tayin edilen kullanım gereksinimlerini karşılamak için, etütte gerekli ayrıntı düzeyi saptanır ve etüdün kapsayacağı bozulma tipleri seçilir.

Seçilen bozulma tipleri, yoğunluğu ölçüp, şiddetini sınıflayarak tanımlamalı ve bu tanımlar fotoğraflar ile de desteklenmelidir.

Üstyapı bozulma etütleri, genel yol durumunu değerlendiren işlemler için, özgün bozulma tiplerinin ayrıntılı ölçümü ve planlanmasını sağlar. En yaygın olarak kullanılan bozulma etüdü örnekleri;

- **PAVER Bozulma Etüdü:**her bir bozulma tipi için sonuç-değer eğrileri geliştirilmiştir. Mükemmel bir üst yapının sonuç-değeri 100 kabul edilmektedir. X eksenini bozulma yoğunluğunu, y eksenini de sonuç-değeri göstermekte ve grafik, bozulma şiddetine karşılık gelen üç eğriyi içermektedir [9].
- **MTCO (Ministry of Transportation and Communications of Ontario) Bozulma Etüdü,** dır.

Bozulma Değerlendirme Sistemleri: Mevcut sistemler, programlanmış bilgisayarlar gibi otomatik veri toplama sistemlerinden, üstyapı yüzeyinin video ve filme çekilmesine kadar değişik şekillerdedir. Bu sistemlerin en yaygın olanları;

- **PASCO ROADRECON Sistemi,** üstyapı yüzeyinin sürekli filme kaydını sağlar ve üstyapı düzgünsüzlük miktarını verir.
- **GERPHO Sistemi,** üstyapı yüzeyinin sürekli görünümünü 35mm.lik filme kaydeder. Bozulma bilgisi özel tasarlanmış bir gösterge çizelgesi kullanılarak filminden sağlanır. Sistem, Fransa, İspanya, Portekiz ve Tunus'ta yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.
- **Otomatik Yol Analizörü (ARAN, Automatic Road Analyzer),** Ultrasonik algılayıcılar ile tekerlek izi derinliği ve enine profili, arka tekerlek üzerindeki bir ivmeölçer ile de sürüş kalitesini ölçer.
Ayrıca üstyapı yüzeyinin video filmi kaydedilir. Bu sistem bozulma verisini 20 tip, 3 şiddet düzeyi ve 15 yoğunluk düzeyine kadar kaydeden ve depolayan iki klavye grubu kullanır.
- **Lazer Yol Yüzey Ölçücü (RST,Laser Road Surface Tester),** Çatlama derinliği ve genişliği, tekerlek izi derinliği, boyuna profil, makrodoku, enine profil ve aralık ölçmek için lazer teknolojisi kullanılır. Bozulma tiplerini tanımlamak için “ön cam” etüdü yapılabilir.

Bir üstyapı yönetim sistemini yürüten kuruluşlar, bir bozulma etüdü işlemini Üstyapı Yönetim Sistemi (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. Üstyapı değerlendirmesi, genellikle aşağıdaki amaçlar doğrultusunda yapılır;

- Ağ düzeyinde proje ve işlem stratejilerinin seçimi
- Proje düzeyinde özgün bakım gereksinimlerinin tayini.

Bu amaçların her biri daha fazla veya daha az derecede ayrıntılı üstyapı değerlendirme bilgisi gerektirir. Daha az ayrıntı durumunda, bilgiyi kapsayan tek tek ölçümlerin biraraya toplanması önemli olabilir, Böyle toplanma bir bileşik veya birleştirilmiş üstyapı kalite ölçümlerini gösterir.

4.5. KGM’ce Tanımlanan Yüzey Bozulmalarının Nedenleri ve Onarım Yöntemlerine Genel Bir Bakış

Yüzey bozulma etütleri, çeşitli şekillerdeki çatlama, şekil değiştirmeler ve yüzey kusurlarının varlığını, şiddetini ve yoğunluğunu verirler. KGM’ce yüzey bozulmaları genel olarak on ana başlık altında inceleme alanı bulmuştur [10].

➤ Timsah Sırtı Çatlakların Muhtemel Oluşma Sebepleri;

1. Taban zemini, alttemel ve/veya temel tabakalarının yetersiz sıkışması ve/veya yetersiz drenajı nedeni ile taşıma gücü yetersizliği
2. Kaplamanın aşırı trafik yükleri altında yorulması
3. Uygun olmayan malzeme kullanımı ve kötü yapım teknikleri
4. Çevre ve iklim şartları (donma etkisi, nem değişiklikleri, vs.)

➤ Kenar Çatlakların Muhtemel Oluşma Sebepleri;

1. Donma etkisi
2. Kaplama kenarında yetersiz taşıma gücü ve/veya üstyapının kenarında aşırı trafik yüklemesi
3. Üstyapı kenarlarında ve bankette yetersiz drenaj
4. Üstyapı genişliğinin yetersiz olması nedeni ile trafiğin banket kenarlarına yakın seyretmesi

➤ Enine Çatlakların Muhtemel Oluşma Sebepleri;

1. Asfalt kaplamada çok düşük sıcaklıklarda meydana gelen büzülme
2. Tabanda don etkisi ve su içeriği değişikliği
3. Alt tabakalarda daha önce oluşan çatlakların yüzeye yansması
4. Karışım içindeki bitümün sıcaklığa olan yüksek hassasiyeti

➤ **Boyuna Çatlakların Muhtemel Oluşma Sebepleri;**

1. Dolgularda yetersiz sıkıştırma ve yetersiz drenaj nedeniyle oturma.
2. Dolgunun yanal hareketi.
3. Çevre ve iklim şartları (donma etkisi, nem değişiklikleri, vs.).
4. Üstyapının taşıma gücünün yetersiz oluşu ve bunun trafik yükü ile birleşmesi sonucu oluşan oturmalar.
1. Boyuna ek yerlerinin uygun inşa edilmeyişi.

➤ **Blok (Harita) Çatlakların Muhtemel Oluşma Sebepleri;**

1. Şişme ve büzülme etkisi.
2. Donma etkisi.
3. Asfalt kaplamanın yaşlanması dolayısı sertleşmesi ve kırılması.

➤ **Tekerlek İzinin Oluşma Sebepleri;**

1. Yüksek ısı, düşük viskoziteli bağlayıcı ve yüksek bitüm içeriği nedenleri ile bitümlü sıcak karışım tabakalarının stabiliteelerini kaybetmeleri.
 2. Bitümlü sıcak karışım tabakalarının yetersiz sıkıştırılması.
 3. Üstyapı tabakalarının aşırı gerilmeler altında kalıcı deformasyonlara maruz kalması. Trafik yükleri altında boşluk suyu basıncı nedeniyle doygunluğa ulaşan temel ve alttemel tabakalarının stabiliteelerini kaybetmeleri.
 4. Drenaj yetersizliği ve/veya yetersiz sıkışma nedeni ile üstyapı tabanının stabilitesini kaybetmesi, taşıma gücünün zayıflaması.
 5. Banket malzemesinin stabil olması, yeterli yanal desteği sağlayamaması.
- ** Her şeritte ayrı ayrı oluşan en uzun tekerlek izinde oturma uzunlukları toplamının [şerit sayısı x birim uzunluk (50 m)]'ye oranıdır.

➤ **Ondülasyonların, Ötelenmelerin ve Yoğrulmaların Oluşma sebepleri;**

1. Asfalt karışım stabilitesinin yetersizliği
2. Karışımın serilmesi sırasındaki serim ve sıkıştırma hataları
3. Kavşak, trafik ışıkları ve duraklarda duruş ve kalkış şeklindeki trafik etkisi.
4. Üstyapı tabakaları arasındaki bağlantının yetersizliği. (Yapıştırma tabakasının fazla veya yetersiz uygulanması).
5. Temel tabakasındaki stabilite bozukluğunun yüzeye yansması.
6. Köprü tabliyesinde su geçirimsizliği için kalın membran kullanılması.
7. Ağır trafik altında suya doygun granüler tabakaların varlığı.

➤ **Lokal Oturmaların Muhtemel Oluşma Sebepleri;**

1. Taban, alttemel ve/veya temel tabakalarında yetersiz sıkışma nedeni ile oluşan oturmalar.
2. Üstyapı tabanının taşıma gücünün zayıf olması.
3. Sanat yapılarının yaklaşım imlalarındaki yetersiz sıkıştırma ve drenaj yetersizliği nedeni ile oturmalar.
4. Kaplamanın bankete yakın kesimlerinde, menfezlerde, eksende, çatlak kesimlerde, rögar kenarlarında, yetersiz drenaja sahip yarmalarda gözlenen donma-kabarma.
5. Dolgu şevinde hatalar, Uygun olmayan bakım teknikleri.

➤ **Yamaların ve Çukurların Muhtemel Oluşma Nedenleri;**

1. Diğer bozuklukların etkileri.(soyulma, segregasyon, çatlaklar vs.)
2. Yanlış yapım teknikleri ve düşük kalite kontrolü.
3. Kaplamadaki düşük kaliteli agrega kullanımı.
4. Üstyapı kalınlıklarının yetersiz oluşu.

➤ **Segregasyon, Sökülme ve Soyulmaların Muhtemel Oluşma Nedenleri;**

1. Su ve trafik etkisi altında soyulma.
2. BSK içinde kil toprakları veya kille kaplı agrega taneciklerinin bulunması.
3. Zayıf sıkışma ve yüksek boşluk yüzdesi.(Özellikle soğuk hava koşullarında yapılan kaplamalarda su ve tuzlar tabakalar arasına sızar, donma ve erime olayları sırasında asfaltın bozuşmasına neden olur.)
4. Yetersiz bitüm yüzdesi.
5. Yaşlanma nedeni ile oluşan asfalt sertleşmesi.
6. Uygun olmayan yapım teknikleri ve ekipman kullanımı.
7. Donma çözünme olaylarının tekrarlanması ile absorpsiyonu ve kırılganlığı yüksek agregaların kullanıldığı karışımlarda, ayrışma meydana gelmesi.

Onarım Yöntemleri [10,70]

Timsah Sırtı Çatlaklar

- Timsah sırtı deseni yeni yeni oluşmaya başlamış, desen oluşumu az sayıda çatlaklarla meydana gelmiştir. Çatlaklar kılcal düzeydedir. *Bozuklukların gelişimi sürekli gözlenmelidir.*

Timsah sırtı oluşumu iyice belirginleşmiş, poligon köşelerinde kopmalar başlamıştır. Çatlakların genişliği artmış ve daha belirginleşmiştir. *Çatlaklı bölge düzgün bir şekilde kesilip atılmalı ve sıcak veya soğuk karışım malzemesi ile yamanmalıdır. Geçici çözüm (bakım) amaçlı olarak bozuk yüzey harç tipi örtü tabakası veya sathi kaplama ile kaplanmalıdır. Kalıcı çözüm amaçlı olarak: Bozuk yüzey veya Asfalt Kaplamaların Yeniden Kullanımı Metodu ile iyileştirilmeli ya da (düzeltme tabakası+geotekstil) uygulaması ile düzeltildikten sonra defleksiyon etüdü sonucu belirlenen takviye kalınlıkları uygulanmalıdır.*

- Poligon blokları kopmaya başlamıştır. Bazı oyuklar ve lokal oturmalar meydana gelmiş, kopmalar ileri düzeylere ulaşmıştır. *Çatlaklı bölge düzgün bir şekilde kesilip atılmalı ve sıcak veya soğuk karışım malzemesi ile yamanmalıdır. Ayrıntılı üstyapı etüdü yapıldıktan sonra bozuk yüzey, asfalt kaplamaların yeniden kullanımı metodu ile iyileştirilmelidir. Yeniden yapım metodu uygulanmalıdır.*

Kenar Çatlaklar

- Çatlaklar kaplama kenarına paralel olup bir veya birden çok olabilir. Çatlaklar kaplama kenarından 300mm içeriye yayılmış olabilir. *Bozuklukların gelişimi sürekli gözlenmelidir. Çatlaklar dış tekerlek izine kadar ilerlemiş ve kaplama kenarlarından 600 mm kadar içeri ilerlemiştir. Çatlaklar birbirinden bağımsız boyuna çatlaklar olabileceği gibi bazen de dalga şeklinde olabilir.*
- *Çatlaklı bölge düzgün şekilde kesip atıldıktan sonra uygun bir karışımla yamanmalıdır. Bozuk kesim sathi kaplama ile kaplanmalıdır.*
- Dalga şeklinde çatlaklar görülmeye başlanmış olup bunlar timsah sırtı desenine dönüşmüş ve dış teker izinden daha da içeri ilerlemiştir.

Enine Çatlaklar

- Çatlaklar 6 mm'den incedir ve ayrışmamıştır. Çatlaklar kaplama genişliği boyunca değişken uzunluktadır. *Bozuklukların gelişimi sürekli gözlenmelidir.*
- Çatlaklar 6 ile 15mm arası genişliğe ulaşmıştır. Çatlak boyunca hafif kopmalar oluşmuş ve kılcal çatlaklar meydana gelmiştir. *Çatlaklar, gerekirse genişletilerek uygun bir dolgu malzemesi ile doldurulmalıdır.*

- Tek veya birden fazla çatlaklar ayrılmaya devam edip 15 mm'den fazla açıklığa ulaşmıştır. Bazı kopma ve bozulmalar oluşmuştur. Çatlak oluşumu yaygınlaşmıştır. *Geçici çözüm (bakım) amaçlı olarak: Çatlaklar uygun bir dolgu malzemesi ile doldurulmalıdır. Kalıcı çözüm amaçlı olarak: Yol diğer bozukluklar nedeni ile iyileştirilecek ise özel bir çatlak etüdü yapılarak çatlakların oluşma sebebi belirlendikten sonra, gerekirse taban iyileştirilmeli ve Asfalt Kaplamaların Yeniden Kullanımı Metodu, veya Yeniden Yapım Metodu uygulanmalıdır.*

Boyuna Çatlaklar

- Çatlaklar 6mm'den incedir, ayrışma yoktur. Tek veya birden çok olabilir. Çatlak, kaplama kenarına paralel, diyagonal veya kıvrımlar şeklindedir. *Bozuklukların gelişimi sürekli gözlenmelidir.*
- Çatlaklar 6 ile 15 mm arası genişliğe ulaşmıştır. Bazı ayrışmalar başlamıştır. Çok yönlü kılcal çatlaklar oluşmuştur. *Çatlaklar, gerekirse genişletilerek uygun bir dolgu malzemesi ile doldurulmalıdır.*
- Tek veya çok yönlü çatlaklar ayrılmaya devam edip 15 mm'den fazla açıklığı ulaşmıştır. Ayrışmalar daha derinleşmiştir ve çatlak sayısı artmıştır. *Geçici çözüm (bakım) amaçlı olarak: Çatlaklar uygun bir dolgu malzemesi ile doldurulmalıdır. Kalıcı çözüm amaçlı olarak: yol diğer bozukluklar nedeni ile iyileştirilecek ise özel bir çatlak etüdü yapılarak çatlakların oluşma sebebi belirlendikten sonra: Asfalt Kaplamaların Yeniden Kullanımı Metodu, Yeniden Yapım Metodu, Dolgular iyileştirildikten sonra Yeniden Yapım Metodu.*

Blok, harita Çatlaklar

- Çatlakların genişliği 6 mm'den incedir. Boyuna ve enine çatlaklar birbiri ile birleşerek harita şeklinde görülür. *Bozuklukların gelişimi sürekli gözlenmelidir.*
- Çatlaklar 6 mm ile 15mm arası genişliğe ulaşmıştır. Çatlak formasyonu birden fazla çatlak veya bir çatlağın ayrılıp kopması şeklindedir. *Bozuk kesim düzgün bir şekilde kesilip atılmalı ve sıcak veya soğuk karışımla yamanmalıdır. Geçici çözüm (bakım) amaçlı olarak: Bozuk yüzey harç tipi örtü tabakası veya sathi kaplama ile kaplanmalıdır.*

Kalıcı çözüm amaçlı olarak: *Bozuk yüzeye ya Asfalt kaplamaların Yeniden Kullanım Metodu ile ya da düzeltme tabakası+geotekstil ile düzeltildikten sonra defleksiyon etüdü sonucu belirlenen takviye kalınlıkları uygulanmalıdır.*

- Çok yönlü çatlaklar ayrışmaya devam edip 15 mm'den fazla açıklığa ulaşmıştır. Timsah sırtı çatlaklar oluşmuştur. *Harç tipi örtü tabakası veya sathi kaplama ile onarım yapılmalıdır.*

Tekerlek İzi Oturmalar

- Oturma derinliği 15mm'den daha azdır. Oturmalar üzerinde hafif şiddette çatlamlar olabilir. *Bozuklukların gelişimi sürekli gözlenmelidir.* Oturmaların derinliği 15-30 mm arasındadır. Genellikle iz üzerinde çatlamlar vardır. *Tümseklikler freze makinesi ile kesilmelidir.*
- Oturmaların derinliği 30 mm'den daha fazladır. Çatlaklar daha belirginleşmiştir. *Tekerlek izinde oturma derinliği 3-5 cm ise derinlik kadar üstyapı kalınlığı kazılmalı yerine kazınan malzemem cinsinden aynı kalınlıkta malzeme getirilmelidir. Oturma derinliği 5 cm'den fazla ise; Geçici çözüm (bakım) amaçlı olarak: Tekerlek izinde oturma derinliği kadar üstyapı kalınlığı kazınmalı yerine kazınan malzeme cinsinden aynı kalınlıkta malzeme getirilmelidir (asfalt tabakalarının yeniden kullanılması metodu ile).*

Ondülasyonlar, Ötelenmeler ve Yoğrulmalar

- Çeşitli yüksekliklerde enine ondülasyonlar ve lokal kabarmalar, yığılmalar ve ötelenmeler oluşmaya başlamıştır. Sürüş konforunda düşüş hissedilmeye başlanmıştır. *Bozuklukların gelişimi sürekli gözlenmelidir.*
- Sürüş konforu belirgin bir şekilde düşmüş, yol yüzeyi tümsekli bir görünüş almıştır. *Bozuk kesimler freze makinesi ile kazılmalı gerekirse yama yapılmalıdır.*
- Yol yüzeyindeki düzgünsüzlükler iyice artmış, sürüş konforu iyice azalmıştır. Güvenli sürüş için hızın azaltılması zorunluluğu vardır. *Bozuk kesimler freze makinesi ile kazılmalı ve yama yapılmalı gerekirse kapsamlı üstyapı etüdü yapılarak Yeniden Yapım Metodu uygulanmalıdır.*

Lokal Oturmalar

- Düşey yönlü deplasman 50 mm'den azdır. Sürüş konforundaki azalma çok az olup hafif sarsıntı yaratabilir. *Bozuklukların gelişimi sürekli gözlenmelidir.*

Düşey deplasman 50-100 mm arasındadır. Hissedilir düzeydeki yükselme ve alçalmalar oluşmuştur. *Drenaj sistemleri gözden geçirilmeli, bozuk kesim gerekirse kazılıp atılmalı ve sıcak veya soğuk karışım malzemesi ile yamanmalıdır.* Düşey deplasman 100 mm'nin üzerindedir. Sürekli hale gelen yükselip alçalmalar rahatsızlık verici düzeydedir. Hız azaltma zorunluluğu hissedilir. *Drenaj sistemleri gözden geçirilmeli, bozuk kesim gerekirse kazılıp atılmalı ve sıcak veya soğuk karışım malzemesi ile yamanmalıdır. Gerekirse üstyapı tabanı ve dolgular iyileştirilmelidir.*

Yamalar ve Çukurlar

- Çukurun derinliği 5 cm'den çapı 10 cm'den azdır. Yamalar iyi durumdadır. *Çukur uygun bir şekilde düzeltilip soğuk veya sıcak karışım ile yamanmalıdır.*
- Yama üzerinde bozulmalar başlamıştır. Çukurların derinliği $5 < H < 10$ cm çapı $10 < R < 30$ cm dir. *Çukur uygun bir şekilde düzeltilip soğuk veya sıcak karışım ile yamanmalıdır*

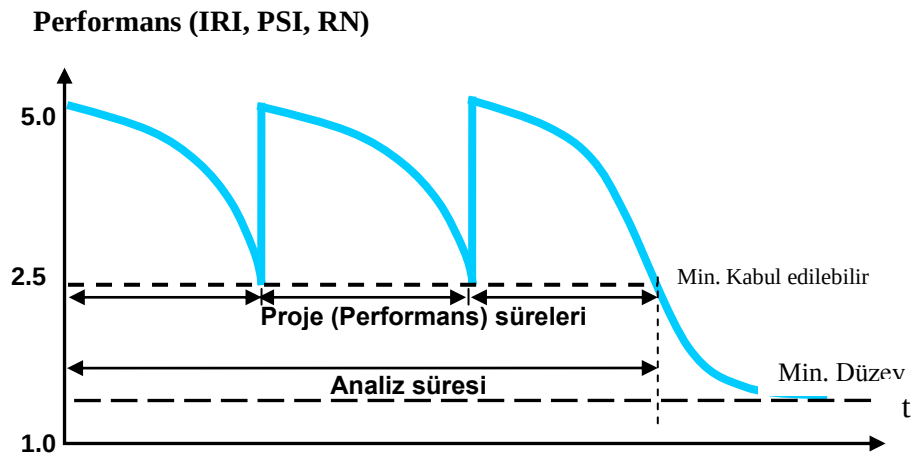
Geçici çözüm (bakım) amaçlı olarak: Bozuk kesim bozukluk derinliğince kazılmalı, kazılan malzeme cinsinden aynı kalınlıkta malzeme getirilmelidir. Kalıcı çözüm amaçlı olarak: Geçici çözüm önerisine ilave olarak üstyapı etüdü sonucu belirlenen takviye kalınlıkları uygulanmalıdır.

Segregasyon, Sökülme ve Soyulmalar

- Yüzeyde agregat kaybı başlamıştır. Kaplama karışımının dokusal görüntüsünde hafif bir artış meydana gelmiştir. *Bozuklukların gelişimi sürekli gözlenmelidir.*
- Yol yüzeyindeki agregat eksilmesi artmıştır. Yüzeyde sık bir ayrışma gözlenir. Hızlanan agregat kaybı kaplamada açık görünümlü bir doku meydana getirmiştir. *Harç tipi örtme tabakası veya sathi kaplama uygulanır.*
- Agregat kaybının devamında yüzeydeki açık görünümlü doku iyice belirginleşmiştir. Bazı lokal çukurlar ve kopmalar oluşmuştur. *Çukurlar sıcak karışım yama ile yamanır ve harç tipi örtme tabakası uygulanır. Yüzey tek tabaka asfalt betonu, sathi kaplama veya harç tipi örtme tabakası ile kaplanır.*

5. OTOYOL AĞI ESNEK ÜST YAPILARINDA MEYDANA GELEN ÜSTYAPI BOZULMALARI İÇİN BAKIM VE ONARIM YÖNTEMLERİ İLE TAKVİYE TABAKALARININ PROJELENDİRİLMESİ

Yollar yeni inşa edildiklerinde iyi durumdadırlar, fakat trafik yükleri ve iklim koşulları nedeniyle zamanla bozulurlar. Bu bozulmalar başlangıçta çok yavaş olup yolların performansını koruyabilmek için sadece periyodik bakıma ihtiyaç gösterirler (Şekil 5.2). Ancak süre ilerleyip zamanında iyileştirme yapılmazsa, bozulmalar artarak çok pahalı iyileştirme seçeneklerine gereksinim gösteren sonuçlar doğar. Bu nedenle bozulmaya başlamış yollarda, zamanında yapılmış iyileştirme programları, sınırlı kamu fonlarına azami kazanç sağlar. Proje Süresi (Performans) yolun trafiğe açılacağı zaman ile ilk takviye tabakası uygulamasının planlanan zaman arasındaki yıl sayısıdır veya servis kabiliyetinin önceden belirlenen değere ineceği süredir. Analiz süresi ilk inşaat ve ileride yapılacak takviye dahil olmak üzere, değişik projelendirmelerin ekonomik karşılaştırmalarının yapıldığı zaman süresidir. Diğer bir deyişle, performans periyotlarının toplamıdır. Asfalt kaplamalı yollarda analiz süresi 20–50 yıl arasında proje süresi ise 20 yıl mertebesinde (Şekil.5.1).



Şekil 5.1: Performans ve proje süresi

Bakım-Onarım, “üstyapıyı, normal trafik koşulları ve normal doğal etkiler altında, başlangıçtaki hizmet (servis) özelliklerine olabildiğince yakın bir durumda tutmak amacıyla yapılan çalışma” şeklinde tanımlanabilmektedir.

Bakım-Onarım çalışmasının, üstyapının bütünlüğü ve sürekliliğini koruyup, konforlu bir seyir yüzeyi sağlarken, üstyapının hizmet ömrünü uzatma amacını da taşıması gerekmektedir. Üstyapı hangi tipte olursa olsun, bir karayolu için yapılan yatırımı korumak, ancak etkili bir drenaj sistemi ile birlikte, yeterli bir bakım işlemi sayesinde mümkün olmaktadır. Bakım-Onarım çalışmasının başlatılmasından önce, bakım gereksinimleri ve stratejileri ile ilgili gerekli minimum bilgiyi sağlayan ve üstyapı durumundaki önemli sapmaları (bozuklukları) tüm yol uzunluğu boyunca belirleyebilen yoğun bir etüdün yapılması gerekmektedir.

Üstyapı bakımı-onarımı, “Sürekli Bakım-Onarım” ve “Yapısal Bakım-Onarım” olmak üzere iki farklı etkinliği kapsamaktadır. Sürekli bakım-onarım, mevcut yolun taşıma kapasitesini değiştirmeden, sabit hizmet düzeyini korumak üzere, yolların yüzey bozulmalarını önlemeye ve düzeltmeye yaramaktadır. Yapısal bakım-onarım ise, ek bir yapısal eleman ile destekleyerek ya da bozulmanın nedenlerini ortadan kaldırarak yapısal kusurları gidermeye ve yolun taşıma kapasitesini trafik artışına uydurmaya yaramaktadır.

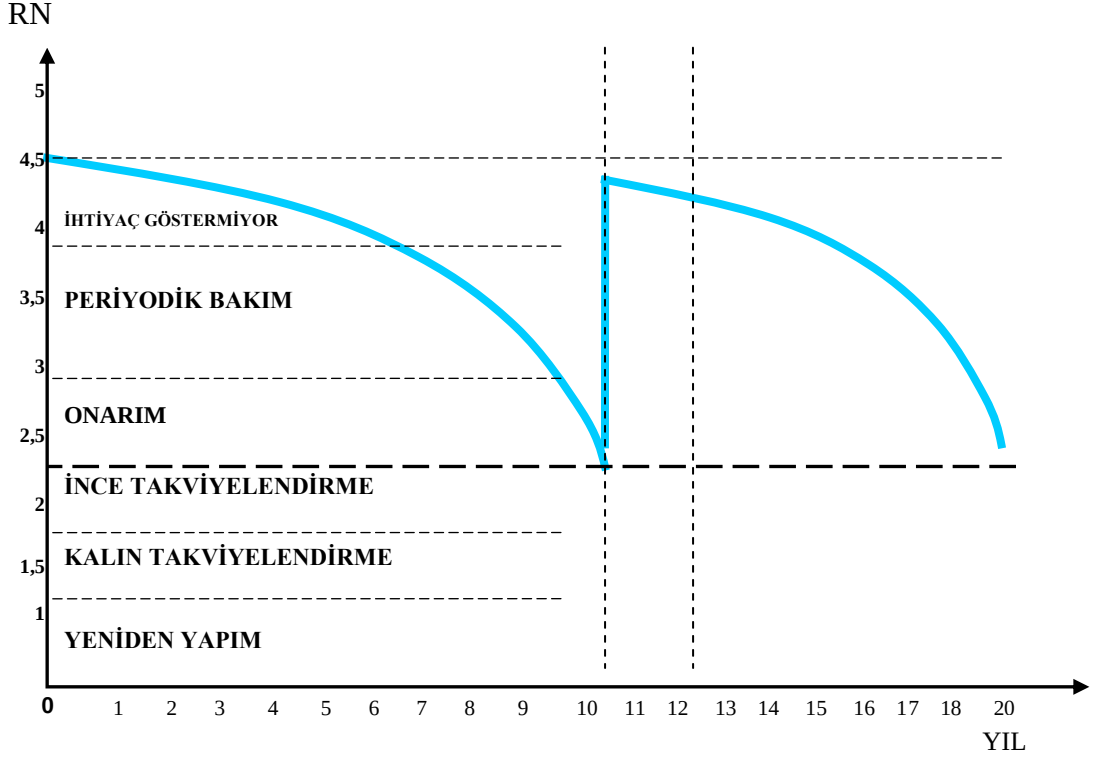
Üstyapıda oluşan küçük çaptaki bozulmaların, büyümesi halinde onarılması zor ve yüksek maliyetli olacağından, küçük çatlakların doldurulması veya yamalama gibi küçük müdahaleler ile giderilmesi, yani koruyucu bakıma başvurulması uygun bulunmaktadır.

Karayolu eksek üstyapılarının önemli bir özelliği, değişik bakım ve iyileştirme yöntemleri uygulayarak yolların servis ömrünü arttırılabilme ve hizmet kabiliyetini gerekli olan düzeye çıkartabilme olanağının bulunmasıdır. Bakım Dairesi Başkanlığı tarafından yürütülen bakım çalışmaları, KGM bütçesinde yol bakımı için ayrılan bütçelerin KGM’nin toplam bütçesinin % 4-5’i düzeyine düşmesi nedeniyle, son dört yılda yeterince verimli şekilde yürütülememiştir.

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde, bakım-onarım bütçesinin toplam bütçedeki payının yaklaşık olarak % 12–20 arasında değiştiği görülmektedir. KGM bütçesinden ayrılan bu pay ancak acil bakım kalemindeki bakım ve onarım işleri için kullanılabilmektedir.

Yapılacak iyileştirme programları karayolu üstyapısının sağlıklı değerlendirilmesi ile başlar. Bu amaçla bozulmaya yüz tutan yolların yapısal mukavemetinin, yüzey bozuklarının ve üstyapı tabakalarının fiziksel özelliklerinin belirlenmesi gerekir.

Gerekli etütler yardımı ile toplanan verilerle kesim kesim analizler yapılır ve üstyapı takviye kalınlıkları belirlenir. Mevcut durum hakkındaki bilgiler sadece kötü durumda olan yollar için değil, aynı zamanda orta ve iyi durumda olanları belirlemek için de kullanılır.



Şekil 5.2: Üstyapı performans eğrisi

Asfalt takviye tabakaları hem yüzeysel, hem de yapısal kusurların giderilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Asfalt kaplamalardaki yüzeysel bozulmalar genellikle ince tabakalar ile düzeltilebilmektedir. Fakat yapısal bozulmalar, üstyapı özellikleri ve trafik yükleri gibi faktörlere göre ilave mukavemet sağlayacak şekilde tasarım edilmiş takviye tabakaları gerektirmektedir.

Esnek üstyapıların takviyelendirilmesi sırasında, takviye edilecek üstyapının mukavemeti, bozuklukları ve mevcut üstyapı tabakalarının nitelikleri tabaka kalınlıklarının hesaplanmasında esas alınmaktadır. Bu nedenle takviye tabaka kalınlıklarının hesaplanmasından önce mevcut üstyapının mukavemeti, bozulmaların muhtemel nedenleri ve yoldaki mevcut tabakaların özellikleri belirlenmelidir.

Esnek üstyapıdaki bozulmaların değerlendirilmesi bozulmaların nedenleri ve nasıl giderilecekleri hakkında bir fikir vermesi açısından çok önemlidir. Bozulmaların değerlendirilmesi uygulanacak yöntem için belirleyici veriler sağlar.

Proje sürelerinin sonuna yaklaşılarak çeşitli bozulmalara uğrayan eksek üstyapı tabakaları, bozulmaya neden olan trafik yükleri ve çevre koşulları etkisiyle, orijinal fiziksel özelliklerinin, dolayısıyla mukavemetlerinin bir kısmını kaybederler. Mevcut malzemelerin özelliklerinin incelenmesi, tabakaların kalan mukavemetlerinin takviyelendirme sırasında göz önüne alınarak kullanılmasını amaçlar. Takviye tabakalarının projelendirilmesi sırasında, önce mevcut üstyapının kaç yıllık bir süre için takviye edileceği belirlenmelidir. Takviye tabakaları için 10 yıllık bir proje süresi önerilmektedir. Takviye tabakalarının projelendirilmesinde trafik yüklerinin üstyapıya etkisi eşdeğer standart dingil yükü sayısı ile tanımlanır.

5.1. Onarım Metotları

Asfalt betonu yolların yüzey bozuklukları için hazırlanmış ve Kısım 4.3.1.1’de verilmiş olan bozulmaların tanımı, şiddeti, yoğunluğu ve muhtemel oluşma nedenlerinin yanı sıra onarım şekilleri de önerilmiştir. Önerilerde geçici çözüm (bakım amaçlı) ve kalıcı çözüm (iyileştirme amaçlı) hususları göz önüne alınmıştır. Özellikle yüksek bozulma şiddeti düzeyine ulaşmış bozukluklarda her iki amaçlı öneriler yer almaktadır. Geçici çözüm amaçlı öneriler bakım amaçlı olup, kolay uygulanabilir önerilerdir. Kalıcı çözüm önerileri ise uzun vadeli köklü çözüm önerileridir. Onarım yöntemleri aşağıda açıklanmıştır [10,18,70].

5.1.1. Asfalt kaplamaların yeniden kullanımı (recycling) metodu

Trafik yükü ve çevre koşulları gibi nedenlerden ömürlerinin bir kısmını kaybetmiş, bozulmuş asfalt kaplamalar, gerekirse yeniden kullanılabilir. Bozulmuş asfalt kaplamalar sıcak karışım olarak yeniden kullanılabileceği gibi soğuk karışım olarak da yeniden kullanılabilir.

Asfalt kaplamanın sıcak karışım olarak yeniden kullanımının, ekonomik açıdan bitüm ve agrega kaynaklarının korunması gibi avantajlarının yanı sıra, mevcut üstyapı kalınlığını çok az artırmak suretiyle taşıma gücünde artış sağlar ve yüzeydeki geometrik ve yapısal bozukluklar giderilmiş olur. Ayrıca kaynakların, çevrenin korunması ve enerji tasarrufu gibi yararlar sağlar. Kazılan malzemelere belirlenen miktarda bitüm ve yeni agrega ilave edilerek yeni bir karışım malzemesi elde edilir ve üstyapıda yeniden kullanılır.

Asfalt Kaplamaların Yeniden Kullanımı Metodunun uygulanmasından sonra üstyapıya takviye olarak yeni tabakalar gelecek ise kazılan malzeme ile aynı kalınlıkta malzeme üstyapıya getirildikten sonra takviye tabakaları uygulanmalıdır.

5.1.2. Sıcak karışım takviyelerinde geosentetik malzemelerin ve çelik gridin kullanımı

Her türlü çatlak şeklinde bozulmaların meydana geldiği yol üstyapılarının, taşıma gücünü artırabilmek için takviye edilmesi sırasında, mevcut çatlakların üzerine bitümlü sıcak karışım tabakalarının getirilmesi durumunda eski kaplamada yer alan çatlaklar yeni takviye yüzeyine kısa sürede yansıyabilmektedir.

Yansıma çatlağının oluşumu, özellikle beton yolların veya çimento bağlayıcılı granüler temelin yer aldığı rijit veya yarı rijit üstyapılar üzerine getirilen bitümlü sıcak karışım takviyelerinde görülmektedir. Esnek üstyapı takviyelerinde ise çok çatlaklı bir yüzey üzerine nispeten ince bir takviye tabakası geldiğinde oluşmaktadır.

Ayrıca enine çatlaklar, genellikle termal etkilerle oluşmalarından nedeniyle tam derinlikli çatlak olduklarından, rijit üstyapılara benzer bir şekilde yansıma çatlağı oluşturabilmektedirler.

Kalınlığı 5 cm ve daha küçük olan takviyeler ince takviye olarak bilinmekte olup, çatlaklı yüzey üzerine gelen takviye tabakasındaki yansıma çatlağı oluşumunu azaltmak için minimum takviye kalınlığının 11 cm olması önerilmektedir.

Bununla birlikte, yansıma çatlaklarının önlenmesi yada geciktirilmesi için Geosentetik malzemeler ve çelik gridlerin kullanımı mümkün olup, bu malzemelerin yansıma çatlaklarını önlemesi hususunda henüz ideal sonuçlar bulunmamış ise de yansıma çatlaklarını geciktirdikleri bilinmektedir.

Takviye tabakalarında kullanılacak geosentetik malzemeler geotekstil, geogrid veya bu ikisinin bileşiminden oluşan geokompozitler olabilmektedir. Her malzemenin kendine özgü fonksiyonu olup, geogridler mekanik bir stabilizasyon sağlayarak üstyapıda oluşan gerilmeleri alıyor iken, geotekstillerin bitümlü malzeme emdirip sızdırmaz hale getirilerek altta yer alan tabakalara su geçişini önlemek, eski kaplama ile yeni kaplama arasındaki yapışmayı arttırmak ve gerilme azaltıcı membran olarak çalışmak gibi görevleri bulunmaktadır.

5.1.3. Yeniden yapım metodu (reconstruction)

Taşıma gücünü büyük ölçüde yitirmiş olan üstyapılarda, yolun bitümlü sıcak karışım tabakaları ile takviye edilmesi, bozulmaların takviye tabakalarına yansıtacağı düşüncesi ile mümkün değildir. Bu nedenlerden dolayı mevcut üstyapı üzerine bir yastık tabakası gibi görev yapacak ve aynı zamanda üstyapının taşıma gücüne katkıda bulunacak granüler bir temel tabakasına ihtiyaç duyulur.

Bozuk yol yüzeyine getirilen granüler tabakanın CBR ve M_R (Resilient Modulus, esneklik modülü) değerleri ile standart dingil tekerrür sayısı değerine bağlı olarak granüler tabaka üzere gelecek bitümlü temel, asfalt betonu binder ve aşınma tabakalarının kalınlıkları belirlenerek temel tabakası üzerine getirilir.

M_R (Resilient Modulus, esneklik modülü) elastik teoreminin uygulaması olup, üstyapı malzemelerinin tekerrür eden trafik yükleri altındaki elastikiyet modülünün tespiti için geliştirilmiş bir yaklaşımdır. Esneklik modülü deneyle ya da aşağıda verilen bağıntıyla bulunur.

$$M_R = \sigma_d / \varepsilon_r \quad (5.1)$$

formülü ile belirlenir. Burada M_R : esneklik modülü, σ_d : deviatör gerilme, ε_r : elastik deformasyon olarak tanımlanır. Bu tür yöntemlerde mevcut üstyapı malzemeleri yol tabanı olarak değerlendirilir ve kalınlıkları dikkate alınmaz.

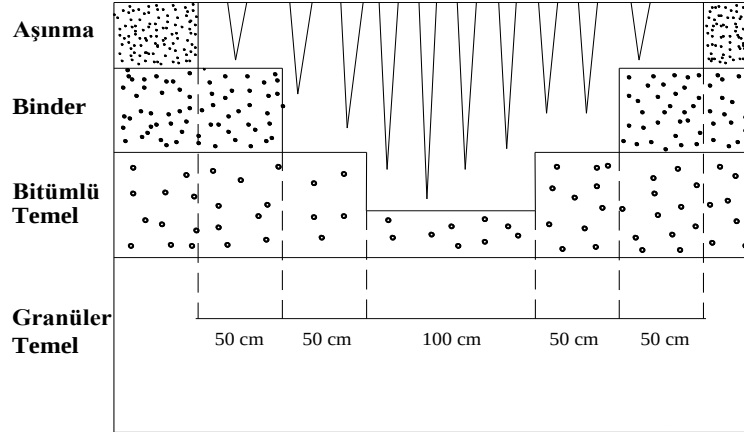
5.2. Bakım Metotları

Yol kaplamalarında uygulanacak bakım metotlarından en yaygın olanları aşağıda verilmiştir [10,18].

5.2.1. Yamalar

Yamalar en yaygın olarak kullanılan bakım metotlarından biridir. Çatlakların birleşerek poligon şeklini oluşturduğu veya poligonların yavaş yavaş ayrışmaya başladığı timsah sırtı çatlaklı kesimler ile çukur, segregasyon, lokal oturma, tekerlek izinde oturma ve ötelenmelerin olduğu kesimlerde yama uygulaması yapılacaktır. Yama işleminde; bozulmanın olduğu kesimler düzgün bir dikdörtgen şeklinde kesilerek bozulmanın bittiği bitümlü tabakaya kadar kazılıp atılır.

Kazıma işlemi Şekil 5.3 de görüldüğü gibi en alt tabakada minimum silindirleme genişliği kadar, üste doğru ise her bir tabakada kazıma genişliği bir alt tabakaya göre her yönde 50 cm. artırılarak basamaklı bir şekilde yapılmalıdır. Üstyapı tabakalarında açılan kazı tabanı ve kazı yüzeylerine uygun yapıştırıcı püskürtülerek aynı türden bitümlü sıcak karışım malzemeleri ile teşkil edilip, sıkıştırılarak yama işlemi tamamlanacaktır.



Şekil 5.3: Yama kazıma yöntemi

5.2.2. Çatlak dolgusu ve yalıtım

Çatlaklar, asfalt betonu üzerinde görülen en yaygın bozulma türüdür. Kaplama üzerindeki çatlak boyunca suyun temel ve alt temele sızarak kaplamadaki bozuklukları hızlandırmakta ve üstyapının ömrünün beklenenden daha kısa olmasına neden olmaktadır.

Çatlakların yalıtımı yada doldurulması, hem çatlaklar boyunca suyun geçişini engelleyerek üstyapının zamanından önce bozulmasını engellemekte, hem de çatlak kenarları boyunca meydana gelen agrega kaybının önüne geçmektedir.

Genel olarak çatlak yalıtımı aktif çatlaklarda ve çatlak kenarlarında aşırı sökülmeler bulunmaması durumunda uygulanıyor iken, çatlak dolgusu hareketsiz çatlaklarda ve/veya şiddetli bozulmuş çatlaklarda asıl takviye tabakasının öncesinde yolun belli bir süre hizmet vermesini sağlamak için kullanılmaktadır.

Çatlak genişliği 3–20 mm arasında olan enine çatlaklarda çatlak yalıtımı, boyuna çatlaklarda ise çatlak dolgusu yapılacaktır. Çatlak genişliğinin 20 mm’den büyük olması durumunda ise harç tipi kaplama veya ince taneli bitümlü sıcak karışım malzemesi ile çatlaklar doldurulacaktır.

Çatlak yalıtım veya dolgu uygulaması yol yüzeyinin çok şiddetli timsah sırtı çatlaklarla aşırı derecede bozulduğu, tekerlek izinde oturmaların ve taban zemininden gelen oturmaların olduğu çatlak kesimlerinde uygulanmamalıdır.

5.2.3. Bitümlü koruyucu sathi kaplama (seal coat)

Bitümlü koruyucu sathi kaplama, aşınmış mevcut bitümlü kaplama üzerine bitümlü bağlayıcı ve agreganın birbirinin peşi sıra serilerek sıkıştırılması ile oluşturulan bir yüzey kaplamasıdır.

Bitümlü koruyucu sathi kaplama uygulaması kaplamanın oksidasyonunu azaltmakta, kaplama üzerinde geçirimsiz bir yüzey oluşturarak suyun üstyapıya girmesine engel olmakta ve yüzey pürüzlüğünü artırarak emniyetli bir sürüş sağlamaktadır.

5.2.4. Harç tipi kaplama (slurry seal)

Harç tipi karışım (slurry seal), bir kaplama yüzey işlemi olarak uygulanan iyi gradasyonlu ince agrega, mineral filler (gerekli ise) bitüm emülsiyonu, su ve/veya katkı maddeleri ile tasarımı edilen bir karışım olup, asfalt kaplama yüzeylerinin hem koruyucu hem de düzeltici bakım işlemlerinde kullanılmaktadır. Lokal olarak yapısal zayıflıklar gösteren kısımlar harç tipi kaplama uygulanmadan önce onarılmalıdır. Sürüş konforunu düşürebilecek olan bütün tekerlek izleri, tümsekler, oturmalar, düşük banketler, enine eğim kusurları, ondülasyonlar ya da diğer yüzeysel düzensizlikler harç tipi kaplama uygulaması öncesinde düzeltilmelidir. Harç tipi kaplama yüzey çatlaklarının yalıtımını sağlayarak suya ve havaya karşı geçirimsiz bir yüzey oluşturmada, sökölme ve agrega kaybını durdurmakta, kayma direnci ile sürüş emniyetini artırmaktadır. Harç tipi kaplama nispeten düşük trafikli yollarda tercih edilmeli, yüksek şiddette çatlak, ondülasyon ve tekerlek izinde oturma içeren yol kesimlerinde uygulanmamalıdır.

5.2.5. İnce yüzey kaplaması (micro-surfacing)

İnce yüzey kaplaması, esas olarak polimer modifiye bitüm emülsiyonu, %100 kırılmış agrega, mineral filler, su ve bazı katkı maddelerinden oluşan bir harç tipi kaplama türüdür. İnce yüzey kaplaması, kaplamanın oksidasyonunu geciktirmek, kayma direncini artırmak, agrega sökölmesi ve cilalanmadan kaynaklanan yüzey kusurlarını gidermek ve hafif şiddetteki tekerlek izinde oturma ve profil düzgünsüzlüklerini düzeltmek için kullanılmaktadır.

Tek tabaka yapılabileceği gibi birkaç tabaka halinde yapılarak önemli yol kusurlarının iyileştirilmesinde kullanılabilmektedir. İnce yüzey kaplama düşük veya yüksek trafikli her yolda uygulanabilmektedir. Ancak, taban zemininin yetersizliğinden kaynaklanan oturmaların olduğu ve şiddetli çatlaklı kesimler üzerinde uygulanmamalıdır.

5.3.Takviye Projesinin Hazırlanması Sırasında Yapılacak Çalışmalar

Mevcut yolların servis kabiliyetinin artırılması amacıyla hazırlanacak takviye projeleri şu çalışmaları kapsar [10,18].

- a) Performans gözlemleri
- b) Arazi ve laboratuvar çalışmaları
- c) Defleksiyon etütleri
- d) Trafik analizleri

5.3.1.Performans gözlemleri

Performans gözlemleri; yol üstyapısının fiziksel durumunu incelemek ve takviye projesinin hazırlanmasına esas teşkil edecek arazi çalışmalarının yer ve sayısını tespit etmek amacıyla yapılacak bir ön etüt çalışmasıdır. Performans gözlemlerinde temel amaç, gözlem sırasında her tür yüzey bozukluğunun tipini tanımlamak ve uygun onarım metodunu tayin etmektir. Bu yapılırken, belirlenen yüzey bozukluğunun ne kadar kötü olduğu (şiddet düzeyi) ve ne kadar yoğun olduğu belirlenmelidir.

5.3.2. Arazi ve laboratuvar çalışmaları

Bu çalışmaların amacı, yol üstyapısını teşkil eden tabakaların fiziksel özelliklerinin ve kalınlıklarının tespit edilmesidir. Tabakaların incelenmesi, çukur çalışmaları ile olabileceği gibi karot numuneleri almak suretiyle de yapılabilmektedir.

5.3.3. Defleksiyon etütleri

Defleksiyon etüdünün amacı üstyapının taşıma gücünün belirlenmesi ve yolun taşıma gücü dikkate alınarak homojen kesimlere ayrılmasıdır. Bir üstyapının yük altında gösterdiği defleksiyon, elastik deformasyon şeklindedir. Başka bir deyişle, yükün uygulanmasıyla oluşan defleksiyon, yükün kalkmasıyla geri döner.

Ancak, trafik yükünün kısa aralıklarla tekrarlanması nedeniyle, yol üstyapısı sürekli geri gelen deformasyonların etkisinde kalır ve yorulma olarak isimlendirilen bir olay oluşur. Yorulma, oluşan defleksiyonların mertebesi ve üstyapının mukavemetiyle ilişkilidir. Bir başka deyişle yüksek defleksiyonlar üstyapının mukavemetiyle ilişkilidir. Defleksiyonlar arttıkça yol üstyapısındaki bozulmalar da artar. Trafik yükleri ve çevre koşulları nedeni ile bozulmaya başlayan asfalt kaplamalı yollar, defleksiyon metodu ile değerlendirilebilir ve gerekli takviye tabakası kalınlıkları bulunabilir. Ayrıca bu metotla üstyapıların kalan ömürleri de hesaplanabilir. Üstyapının durumu, taban zeminin mukavemeti ve drenaj koşulları, takviyesi düşünülen yol boyunca değişiklikler gösterir. Bu farklılıkları dikkate alarak yolun değişik kesimlerine değişik takviye kalınlıkları vermek maliyeti düşürmek açısından gereklidir. Gözlemlere ve deney verilerine bağlı olarak yol güzergahı homojen kesimlere ayrılabilir. Bazı durumlarda da yol güzergahı, defleksiyon değerleri dikkate alınarak kesimlere ayrılabilir. Ölçülen defleksiyon değerleri (Benkelman kirişi, Düşen Ağırlıklı Deflektometre, FWD) bazı bilgisayar programları yardımı ile değerlendirilerek takviye tabakalarının kalınlıkları belirlenir.

5.3.4. Trafik analizleri

Üstyapıların taşıma gücünün artırılması amacıyla yapılacak takviye projelerinin hazırlanmasında 10 yıllık proje ömrü içinde yoldan geçecek Eşdeğer Standart Dingil Yüğü (T8,2) sayısının belirlenmesi gerekir.

5.4. Üstyapı Takviye Projelerinin Hazırlanması

Üstyapıların yapısal kapasitesi zamana ve trafik yüklerine bağlı olarak azalmaktadır. Yolun başlangıçtaki yapısal kapasitesi SC_i ve buna tekabül eden üstyapı sayısı ise SN olmaktadır. Üstyapının taşıma kapasitesi zamanla azalarak belirli bir süre sonra mevcut taşıma kapasitesi SC_m ve mevcut üstyapı sayısı SN_m değerine düşecektir. Mevcut üstyapı sayısının bulunması yolun durumuna ve üstyapı etüdünün çeşidine göre aşağıdaki üç metottan biri ile yapılacaktır [10].

- Efektif Kalınlıklar Metodu
- Performans Gözlemleri ve Arazi Çalışmaları Metodu
- Defleksiyon Metodu
- Kalan Ömür Metodu

6. TÜRKİYE OTOYOL AĞI İÇİN ÖNERİLEN ÜSTYAPI YÖNETİM SİSTEMİ AKIŞ DİYAGRAMI VE DEĞERLENDİRMELERİ

Üstyapı bakım-onarım yönetim sisteminin en önemli bileşeni veri tabanıdır. Veri tabanının da en önemli bileşenlerinden biri üstyapıdaki bozulmaların ölçüm değerleridir. Elde edilen bozulma değerlerine göre, hem üstyapı onarım seçenekleri değerlendirilmekte, hem de onarım maliyeti konusunda bilgi edinilebilmektedir. Doğru onarım kararları verebilmek için, doğru zamanda ve doğru ölçümlerin yapılması çok önemlidir. Bu nedenle, BSK kaplamalı Otoyollar ve Devlet Yollarında meydana gelen bozulmalar sistematik ve periyodik olarak ölçülmelidir.

KGM tarafından BSK kaplamalı üstyapılar için RN (sürüş sayısı) ve IRI (Uluslararası Düzgünsüzlük İndeksi) ölçümleri yapılmaktadır.

Bu değerler performans ölçütü olup, AASHTO Yöntemindeki hizmet kabiliyetine yani Mevcut Hizmet Kabiliyeti Sınıflaması-PSR' ye karşılık gelen bir değer olarak kabul edilmektedir [13,65].

Yapılan çalışmada KGM'den sağlanan üstyapı bilgileri ile Meteoroloji Genel Müdürlüğünden elde edilen iklim verileri dikkate alınarak veri tabanı oluşturulmuştur.

Karayolu ağı düzeyinde üstyapı değerlendirmesi yapmak gerektiğinde, yol yüzey düzgünsüzlüğü, kaplama bozuklukları ve kayma direnci (kayma sürtünme katsayısı) ölçümleri birinci derecede önemlidir. Defleksiyon ölçümleri ve tabakalarda kullanılan malzeme özellikleri ise, ikinci derecede önem taşımaktadır. Ağ düzeyinde değerlendirme yapmak için, yol yüzey düzgünsüzlüğü, kaplama bozukluklarının belirlenmesi, yüzey kayma direncinin ölçülmesi yeterli görülebilir.

Onarımda öncelikli yol kesimleri belirlendikten sonra, ayrıntılı projelendirme çalışmaları için, defleksiyon ölçümleri yapıp karot numunesi alınarak tabaka malzeme özelliklerinin belirlenmesi gerekir. Kaplama bozuklukları, arazide gözle muayene ile belirlenebileceği gibi, daha hızlı veri toplamak için, ileri teknolojiler kullanılarak görüntü analizi yapılmak suretiyle saptanabilmektedir.

İleri teknoloji kullanan aletlerin ithal bedelleri çok yüksektir. Bu nedenle, ülkemizde gerek üniversitelerin gerekse özel şirketlerin AR-GE çalışmaları yaparak, daha ucuz teknolojik aletleri geliştirmeleri yararlı olacaktır. KGM’de mevcut olan profilometre (T6500 Road Surveyor) ile BSK’lı kesimlerin yol yüzey düzgünsüzlüğü, RN (Ride Number, Sürüş Sayısı) değeri ve IRI (Uluslararası Düzgünsüzlük İndeksi) ile değerlendirildiği daha önce ifade edilmiştir.

KGM’nin elinde bulunan bir adet Düşen Ağırlıklı Deflektometre (Falling Weight Deflectometer-FWD) aleti, ancak gerekli görülen detaylı onarım çalışmalarının planlanmasında kullanılmaktadır.

Yol yüzey düzgünsüzlüğü ölçümleri, sürüş konforu ve güvenliği için yeterli iken, tüm bakım ve onarım çalışmaları için yeterli değildir. Zira düzgünsüzlük ölçüm değerlerine bağlı olarak her zaman doğru onarım seçeneğinin belirlenmesi mümkün olmayabilir veya çözüm pahalı olabilir. Örneğin, yapısal olarak taşıma gücü yetersiz ve düşük düzeyde olan timsah sırtı çatlaklı BSK kaplamalı bir kesim, iyi bir sürüş konforu sağlayabilir. Dolayısıyla, yüksek bir RN/IRI değerleri elde edilebilir.

Bu kesimin normal koşullarda onarımda öncelikli olması gerekirken, RN/IRI değerlerinin yüksek olması nedeniyle onarım sıralamasına giremediğinden, üstyapı daha çabuk bozulacak, belki de yeniden yapım söz konusu olabilecektir.

Yukarıdaki nedenlerden dolayı, doğru onarım seçeneklerine karar verilebilmesi için IRI/RN değerlerine ilave olarak güvenlik açısından yol yüzeyi kayma direncinin arazide ölçülmesi ve üstyapı bozukluklarının arazide belirlenmesi gerekmektedir. Bilindiği gibi, bir üstyapı bakım-onarım yönetim sistemi, periyodik performans değerlendirmesi, yatırımların planlanması, programlanması, tasarımı ve yapımı gibi oldukça geniş uygulama alanına sahiptir.

Üstyapı bakım-onarım yönetim sisteminin temel amacı, bütçe kısıtları içerisinde karayolu ağındaki üstyapıların mevcut performanslarını maksimum düzeyde tutabilecek çözümler üreterek, karar vericilere mevcut kaynakların optimum şekilde dağıtımını ve kullanımını sağlamada rehberlik etmek ve aynı zamanda gelecek yıllar için gerekli bütçeyi hazırlamakta yardımcı olmaktır. Üstyapı yönetim sisteminin en önemli özelliği, karar vermede kişilere bağlı inisiyatifi en aza indirmesidir.

KGM’de üstyapı bakım-onarım yönetim sistemi konusunda yetişmiş çok az sayıda personel bulunduğu gibi, aktif olarak üstyapı yönetim sistemi konusunda çalışan eleman sayısı da oldukça azdır. Bütün Türkiye’nin BSK kaplamalı yollarının yönetimi KGM merkezinden yapılmaktadır.

Bölge Müdürlükleri bünyesinde bakım şube müdürlükleri bulunduğu dikkate alınırsa, bölge müdürlük personelinin de üstyapı yönetim sistemi konusunda yetiştirilmesi ve her bölgenin kendisine ait üstyapı bozulma ölçümlerini yapması, hem düzenli veri toplama olanağı, hem de daha fazla sayıda ölçüm yapma olanağı sağlayacaktır.

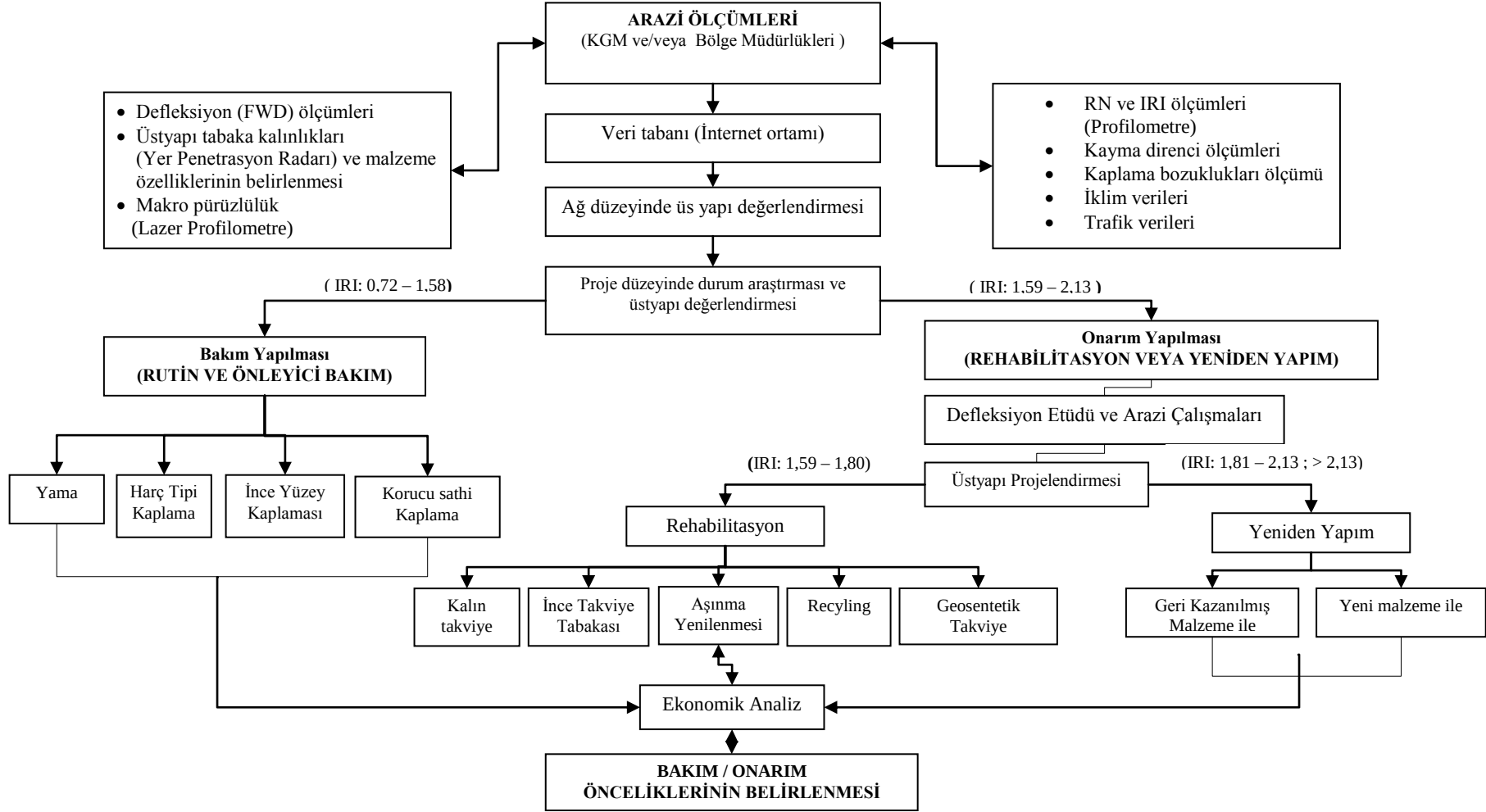
Bu bağlamda, fazla uzunlukta BSK’ ya sahip bölge müdürlüklerine bütçe olanakları içerisinde en az bir adet profilometre, her bölge müdürlüğüne en az bir adet kayma direnci ölçme aleti, FWD ve yol üstyapı kalınlıklarının belirlenmesi için Yer Penetrasyon Radarı (Ground Penetration Radar) aletinin alınması iyi bir üstyapı yönetim sisteminin uygulanabilmesi için zorunlu görülmektedir.

Uzun vadede, arazide görüntü toplayıp, analiz edebilen modern ölçüm aletlerinin alınması bakım-onarım çalışma planı hazırlama sürecini kısaltacaktır. Yukarıda önerilen modelde, her bölge müdürlüğü topladığı bozulma ölçümlerini internet ortamında genel merkeze gönderecek, Genel Merkezde ağ düzeyinde öncelikler belirlenecektir.

Belirlenen önceliklere göre, her bölge müdürlüğü proje bazında değerlendirme yapmak için ilave testler ve ölçümler yardımıyla, örneğin FWD yardımıyla ve/veya karot numunelerinden malzeme özelliklerini belirleyecektir. BSK kaplamalı yollarda yılda en az bir kere, bahar aylarında olmak üzere yol yüzey düzgünsüzlüğü, kayma direnci ve üstyapı bozuklukları saptanmalı ve inşaat sezonu içerisinde onarım çalışması gerçekleştirilmelidir.

Önerilen Üstyapı Bakım-Onarım Yönetim Sistemi Modeli

Yukarıdaki açıklamalar ışığında, Türkiye Otoyol Ağının üstyapısının bakım-onarımının yönetimi için Şekil 6.1’de verilen akış diyagramı geliştirilmiştir [3,10]



Şekil 6.1: Önerilen ÜYS akış diyagramı

6.1. Türkiye Otoyol Ağı İçin Üstyapı Performans Tahmin Modeli Geliştirilmesi

6.1.1. Üstyapı performans tahmini için kullanılan modeller

Bir model oluşturulduğu zaman sahip olması istenen pek çok özellik vardır. En önemlilerden birisi doğruluğu, diğeri de yorumlanabilirliğidir. Doğruluk, modelin tahmin ettiği değerin gerçek değere olan yakınlığıdır. Yorumlanabilirlik, modelin elde edilen girdi ile çıktı arasındaki ilişkinin modelin kullanıcısı tarafından elde edilebilmesi anlamındadır.

Yorumlanabilir model çeşitli nedenlerden dolayı daha avantajlıdır. Daha önceden bilinmeyen bir bilgiye erişme olanağı sağlayabilir. Bu yeni araştırma alanlarının önünü açacaktır. Eğer girdi ve çıktı açıklaması bilinen gerçeklerle çatışıyorsa, modelde bir hata olduğunu ortaya çıkarabilmektedir.

Genel olarak üstyapı performansının tahmini için aşağıda belirtilen modeller kullanılmaktadır. Bunlar;

- Markov modeli,
- S-şekilli eğriler
- Olasılık dağılım
- Doğrusal azalan tahmin modeli,
- Mekanistik-Ampirik model,
- En küçük kareler yöntemi ile polinom modeli,
- Regresyon modeli,
- Yapay zeka modelleri dir.

İleride, bu çalışmada kullanılacak olan regresyon modeli ile yapay zeka yöntemlerinden, Fuzzy (bulanık mantık) modeli hakkında ayrıntılı bilgiler verilmiş olup, diğer model yöntemleri aşağıda kısaca özetlenmiştir.

6.1.2. Regresyon modeli

Regresyon çözümlemesinin genel amacı, bağımlı değişkenler ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi matematik modelle açıklayarak bağıntılar bulmak ve bağımsız değişkenler yardımı ile bağımlı değişkeni kestirmek şeklinde özetlenebilir.

Değişkenler arasındaki fonksiyonel ilişkinin kurulmasını sağlaması nedeni ile de ekonomiden ziraata, biyolojiden psikolojiye, tıptan eğitime kadar hemen tüm alanlarda yaygın bir kullanım alanı bulmaktadır [52.]

Elde edilecek matematiksel modelin iki önemli amacı bulunmaktadır;

1. Bağımsız değişkenler yardımıyla bağımlı değişkeni kestirmek.
2. Bağımsız değişkenlerden hangisi ya da hangilerinin bağımlı değişkeni daha çok etkilediğini bulmak ve aralarındaki karmaşık yapıyı tanımlamak.

Regresyon çözümlemesinde ilk adım bağımlı değişken ile bağımsız değişkenlerin belirlenmesidir. Araştırmacıların kendi yargılarını ve bilgi birikimlerini ortaya koymadan belirleme yaptığı durumlarda (örneğin, değişkenlerin herhangi bir ayırım işlemi yapılmadan seçilmesi ve sadece deneysel temellere dayalı bağımsız değişken seçimine olanak tanınması) model geliştirmenin temel ilkelerinin dikkate alınmadığı ortaya çıkmaktadır.

Regresyon çalışmalarındaki önemli bir sorun, özellikle bağımlı değişkende ortaya çıkan ölçüm hatası kavramıdır. Ölçüm hatası; gözlenen değerlerin gerçek değerlerin temsilcisi olup olmadığını ifade eder. Eğer bağımlı değişkende ölçüm hataları varsa, çok iyi seçilmiş bağımsız değişkenler bir şey ifade etmeyeceklerdir. Bağımsız değişkenlerin seçiminde önemli bir sorun ise, bir çok değişken arasından ilgisiz değişkenlerin modele alınması, ilgili değişkenlerin ise model dışında bırakılmasıdır.

Regresyon çözümlemesi sonuçlarının genellenebilmesi için önerilen en az gözlem sayısı, bağımsız değişken başına 5 gözlemdir. Bu sayının 5'in altına düşmesi durumunda sonuçlar 'aşırı uygunluk riski' ile karşılaşılabilir. Bununla birlikte genellenebilirlik için en az gözlem sayısının 15-20 arasında olması arzu edilir.

Birden fazla bağımsız değişken ile bağımlı değişken arasında ne derecede bir ilişki olduğunu gösteren ölçüye çoklu korelasyon katsayısı denir ve R ile gösterilir. R'nin değeri 0 ile 1 arasında değişir. Çoklu korelasyon katsayısı, mükemmel bir uyum olduğunda 1 iken uyumun en az olduğu durumlarda 0'a yaklaşır [52].

Çoklu belirtme katsayısı, R^2 birden çok bağımsız değişkenin bağımlı değişkeni açıklama miktarını verir. Modelin veriye uyumunun ölçüsü olarak da kullanılan R^2 , regresyon modeli ile açıklanabilen değişimin toplam değişim içindeki yüzdesidir. Diğer bir tanımla bağımlı değişkenlerdeki varyansın bağımsız değişkenlerle açıklanan miktarıdır.

Regresyon modelinin anlamlılığı konusunda F istatistiği ile model katsayılarına ilişkin t istatistikleri incelenmektedir. F istatistiği, modelin bir bütün olarak anlamlılığını test etmek için kullanılırken, t istatistiği değişkenlerin ayrı ayrı anlamlılıklarını test etmek amacıyla kullanılmaktadır.

Modelde çoklu doğrusal bağlantı sorunu olup olmadığını belirlemek için **tolerans** ve **VİFi** (bağımsız değişkenlere ilişkin korelasyon matrisinin tersinin köşegen öğelerine varyans şişme değerleri denir.) değerlerine bakılır. **VİFi** değerleri,

$$VIF_i = 1/(1-R_i^2) \quad (6.1)$$

ile de hesaplanabilir. **VİFi** değerlerinin 5 ya da 10'un üstünde olmaması gerekir. Başka bir değişle 5 - 10 üzerinde olması durumu regresyon katsayılarına güvenilmemesi gerektiğini belirtir. Bazı yazarlar, **VİFi** değerinin ancak 30'un üzerinde olması durumunda ilgili değişkenler arasında güçlü çoklu bağlantı olduğunu belirtmektedir. Tolerans değerlerinin ise 0 ile 1 aralığında değişmesi durumunda çoklu bağlantı sorunundan bahsedilemez [52].

6.1.3. Yapay zeka yöntemleri

Yapay zeka üzerine araştırma yapan araştırmacılar öğrenme, problem çözme, teorem geliştirme, tümevarım, genelleme gibi alanlarda çok sayıda yöntem geliştirmişlerdir. Yapay zeka, genel olarak bilgi sistemleri kapsamındadır, ancak matematik, psikoloji, biyoloji, felsefe, davranışsal ve beyin bilimleri gibi pek çok bilim dalı ile de yakın ilişki içerisinde.

Lotfi A.Zadeh, yapay sinir ağları, bulanık mantık, evrimsel hesaplama, kaotik modelleme gibi yaklaşımların tümüne esnek yöntemler (soft computing) adını vermiştir [20].

Klasik yöntemlerden farklı olarak, esnek yöntemler, keskinliğin olmadığı ve belirsizliğin egemen olduğu alanlarda çok daha uygundur. Esnek yöntemler, temel olarak bulanık sistemler, yapay sinir ağları, olasılıkçı akıl yürütme ve genetik algoritmaları içermektedir. Bu yöntemler birbirleri ile ya da klasik matematiksel yöntemlerle **hibrid** sistem oluşturacak şekilde kullanılabilirler [20]. Bulanık mantık esnek yöntemlerin özüdür.

Bulanık mantık temel olarak kesin olmayan durumlar ve yaklaşık akıl yürütme, sinir ağları öğrenme, olasılıkçı akıl yürütme, kabul yayılımı ve belirsizlik, evrimsel hesaplama genel optimizasyon ve araştırma, kaotik modelleme ise doğrusal olmayan dinamiklerle ilgilenmektedir. Genel bir bakış açısından tüm bu yöntemler birbirini tamamlayıcı yöntemlerdir. Çizelge 6.1’de yapay zeka yöntemleri avantaj ve dezavantajları verilerek karşılaştırılmıştır.

Çizelge 6.1: Yapay zeka yöntemlerinin karşılaştırılması [20]

Yöntem	Bulanık Mantık	Yapay Sinir Ağları	Genetik Algoritma	Olasılıkçı Akıl Yürütme	Kaotik İşlem
Dezavantajları	- Bilgi Edinimi - Öğrenme	Kara kutu özelliği	- Kodlama - Hesaplama Hızı	- Tam bilginin olmayışı - Karmaşıklık derecesi	- Karmaşıklık derecesi - Kaosu tanımlama karmaşıklığı
Avantajları	- Yorumlanabilirlik - Şeffaflık - Akla Yakınlık - Dereceli Olma - Modelleme - Akıl Yürütme	- Öğrenme - Uyum sağlama - Hata toleransı - Eğri uydurma - Yaklaşım yeteneği - Genelleştirme yeteneği	- Hesaplama etkinliği - Genel Optimizasyon	- Güçlü çatı - İyi anlaşılabilir olması	- Doğrusal olmayan dinamiklerin taklidi - Gözlenen veride kaosu bulma - Öngörülebilirliği belirleme - Öngörme stratejileri biçimlendirme

Bulanık mantık, yapay sinir ağları ve genetik algoritmalar kullanılarak, öğrenen bulanık sinir ağları için nöro-genetik algoritmalar oluşturulabilir. Böylece yukarıda açıklanan dezavantajlar ortadan kaldırılıp daha etkin sonuçlar alınabilmektedir. Bu çalışmada çoklu regresyon modeli ile birlikte bulanık mantık yöntemi kullanılarak performans tahmini modellemesi yapılacaktır.

6.1.3.1. Bulanık mantık yöntemi

Modern anlamda bulanık mantık düşüncesinin kurucusu sayılan California Berkeley Üniversitesinden Lotfi A.Zadeh (1921-) öznel ve bulanık insan düşüncesini temsil eden veriyi işlemede alışlageldik bilgisayar mantığının yetersiz kaldığını gözlemlemiş ve 1965’de bulanık kümeler çalışmasını yayınlamıştır.

Bu çalışmada bulanık küme teorisi ve bulanık mantıkla olan bağıntısını açıklamıştır. Bulanık mantığı diğer mantık sistemlerinden ayıran önemli özelliklerden ilki, incelenen olayın çok karmaşık olması ve bununla ilgili yeterli bilginin bulunmaması durumunda kişilerin görüş ve değer yargılarına yer verilmesi, ikincisi, insan kavrayış ve yargısına gerek duyan hallerdir. Kesin olmayan verileri, belirsizlik ve olasılık durumlarını, karmaşık ve doğrusal olmayan fonksiyonları uzman görüşüne dayanılarak modelleyebilir ve uzman sistemlerin yeteneğini de artırır. Bununla birlikte girdilerin çıktılar ürettiği bir süreç yoksa bulanık mantık kullanılamaz. Olayların bulanık mantıkla incelenmesi için öncelikle, yapılacak çıkarımların belirli güven sınırları içinde kalmasına karar vermek gerekir. Yüksek kesinlik sadece yüksek maliyetlere değil aynı zamanda sorunun çözülmesinin çok karmaşık olmasına da neden olur. Bulanık mantık sözel verilerin işlenmesinde de etkindir. Bulanık mantıkla herhangi bir problemin yaklaşık olarak modellenmesi ve matematiksel olarak karmaşık olmayacak çözümlerle denetim altına alınmasına çalışılmaktadır. Bulanık Mantığın Genel Özellikleri [19,20];

- Bulanık mantıkta kesin nedenlere dayalı düşünme yerine yaklaşık değerlere dayanan düşünme kullanılır.
- Bulanık mantıkta her şey $[0,1]$ aralığında belirli bir derece ile gösterilir.
- Bulanık mantıkta bilgi büyük, küçük, çok az gibi sözel ifadeler şeklindedir.
- Bulanık çıkarım işlemi sözel ifadeler arasında tanımlanan kurallar ile yapılır.
- Her mantıksal sistem bulanık olarak ifade edilebilir.
- Bulanık mantık matematiksel modeli çok zor elde edilen sistemler için çok uygundur.

Bulanık kümeler ve üyelik dereceleri

Aristo mantığına göre klasik küme kavramında, bir kümeye giren öğelerin ait oluşları durumunda üyelik dereceleri 1'e, ait olmamaları durumunda ise 0'a eşit var sayılmış olup, bunun arasında hiçbir üyelik derecesi düşünülmemiştir. İşte bulanık kümeler kavramında 0 ile 1 arasında değişen, değişik üyelik derecelerinden söz etmek mümkündür. Zadeh küme öğelerinin üyelik derecelerinin 0 ile 1 arasında değişebileceğini ileriye sürerek kümeler teorisinde geniş uygulamaya sahip, doğal hayatla uyumlu olan bulanık küme teorisini geliştirmiştir. Üyelik derecelerinin üç temel özelliği sağlaması tanım olarak gerekmektedir. Bunlar,

- Kümede bulunan öğelerden bir tanesinin en büyük üyelik derecesi olan 1'e sahip bulunması gerekmektedir.
- Üyelik derecesi 1'e eşit olan öğeye yakın sağda ve soldaki öğelerin üyelik derecelerinin de 1'e yakın olması gerekmektedir.
- Üyelik derecesi 1'e eşit olan öğeden sağa veya sola eşit mesafede hareket edildiği zaman buluna öğelerin üyelik derecelerinin birbirine eşit olması beklenebilir.

Üyelik fonksiyonları

Genel olarak, küme üyelerinin değerleri ile değişiklik gösteren eğriye üyelik fonksiyonu (önem eğrisi) adı verilir. Üçgen, yamuk, çan eğrisi, Gaussian ve sigmoidal gibi çok sayıda üyelik fonksiyonu olmakla beraber pratikte en fazla kullanılanlar, üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonlardır [20].

Bulanıklaştırma

Klasik küme şeklinde beliren değişim aralıklarının bulanıklaştırılması, bulanık küme, mantık ve sistem işlemleri için gereklidir. Bunun için, bir aralıkta bulunabilecek öğelerin hepsinin, 1'e eşit üyelik derecesine sahip olması yerine, 0 ile 1 arasında değişik değerlere sahip olması düşünülür. Bu durumda bazı öğelerin belirsizlik içerdikleri kabul edilir. Bu belirsizliğin sayısal olmayan durumlardan kaynaklanması halinde bulanıklıktan söz edilir. Özellikle, $\pm \% 1$ 'lik hassaslık, ölçülen x büyüklüğünün $(x+0.01)$ ve $(x-0.01)$ arasında değişeceği beklentisini ifade etmektedir.

Üyelik derecesi atanması

İhtimaller hesabından bilineceği üzere rastgele bir değişkene değişik ihtimal yoğunluk fonksiyonları uydurulabileceğine benzer olarak, bulanık kümelere daha da fazla şekilde üyelik fonksiyonu uydurmak mümkündür. Üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde kullanılan yöntemlerden bazıları; [21]

- Sezgi,
- Çıkarım,
- Mertebelendirme,
- Açılı bulanık kümeler,
- Yapay sinir ağları,
- Genetik algoritmalar,
- Çıkarımcı muhakeme gibi değişik yaklaşımlardır.

Durulaştırma

İnsanlar için yapay zeka çalışmalarında bulanık değişken, küme, mantık ve sistemler öneme sahip olmasına mukabil, bunların bulanık olabilecek çıkarımlarının kesin sayılar haline dönüştürülmesi gerekir. Bulanık olan bilgilerin kesin sonuçlar haline dönüştürülmesi için yapılan işlemlerin tümüne birden durulaştırma (defuzzification) işlemleri adı verilir. Başka bir değişle, elde edilmiş bir bulanık denetim etkinliğinde olasılık dağılımını en iyi gösteren, bulanık olmayan denetim etkinliğini elde etme sürecidir. Ancak, iyi bir durulama stratejisi seçmek için sistematik bir işlem yoktur ve bundan dolayı uygulamanın özelliklerini dikkate alan bir yöntem seçilmesi gerekir. 30’dan fazla durulaştırma yöntemi vardır [19,21]. Bunlardan en önemlileri; en büyük üyelik ilkesi, sentroid yöntemi, ağırlıklı ortalama yöntemi, ortalama en büyük üyelik, toplamaların merkezi, en büyük alanın merkezi, en büyük ilk veya son üyelik derecesi olarak sıralanabilir.

Bulanık kurallar ve sistemler

Hiçbir bilgi tabanlı sistem tek kuraldan oluşmaz. Pek çok kuralın bileşkesi ve çıkarım mekanizmaları sayesinde bütüncül olarak ortaya konmuştur. Bilgi tabanları çok sayıda bilgiden oluşur. Çıkarım yapabilmek için bilginin sunumu önemli bir konudur. Sunum yöntemlerine baktığımızda en yaygın olanı; (IF-THEN) “EğER, İSE” kural tipi’dir. Bu ifade bilinen bazı bilgilerin kullanılması ile bunların ışığı altında faydalı olan diğer bazı bilgilerin çıkarılması anlamına gelir.

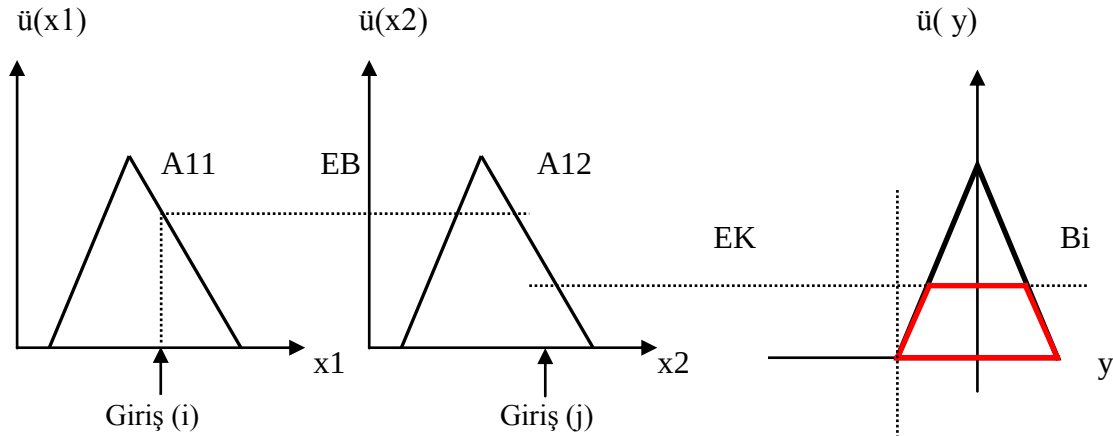
Grafik ıkarım teknikleri

Bulanık bir sistem, x_1 ve x_2 gibi iki öncül ve y gibi bir tane çıkarımı olan r tane kural tabanlı EğER-İSE ifadesi ile modellenenebilir [19]. Kural tabanının grafik gösterimi şekil 6.2.’de verilmiştir. Burada bulanık iki alt küme birbirine “VE” bağlacı ile bağlanmıştır.

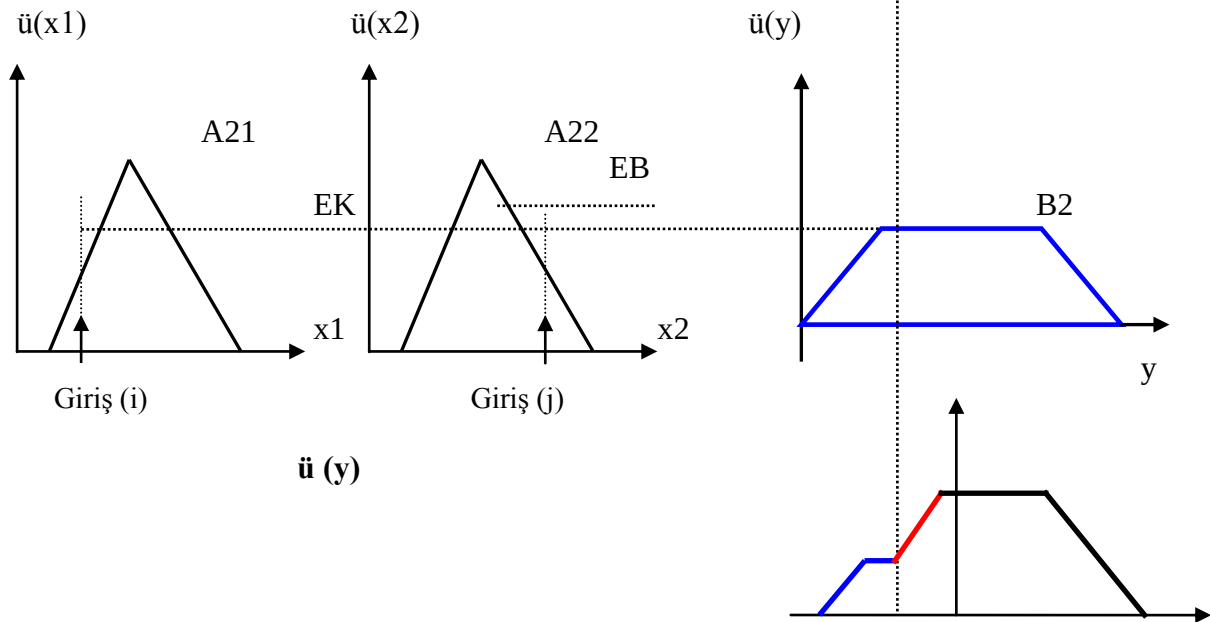
Böylece girdi değerleri ile öncül kısım bulanık kümelerinden bulunan üyelik derecelerinin en küçüğü, olduğu gibi aynı kuralın soncul kısmına taşınarak oradaki çıkarım alt kümesi bu düzeyden kesilerek çıkarım olarak kesilmiş bulanık alt küme kısmı göz önünde tutulur.

Yani en büyük-en küçük (EB-EK) ıkarımı gereğince girdi değerlerinin üyelik derecelerinden en kk, çıktının üyelik derecesi olacaktır [19].

Kural 1



Kural 2



Şekil 6.2: EB-EK çıkarımı model uygulaması

6.1.3.2. Bulanık modelleme çeşitleri

Bir bilgi sistemini modellediğimiz zaman, model kural tabanı şeklinde temsil edilir. Bulanık Kural Tabanı, bulanık EĞER - İSE kurallarını içerir. Pek çok kuralın bileşkesi ve çıkarım mekanizmaları bütüncül olarak ortaya konmuştur. Mamdani, Larsen, Tsukamoto, Takagi - Sugeno-Kang yaygın çıkarım yöntemleridir [20,21]. Bulanık sistem genel olarak iki kısımda incelenebilir.

Birincisi hem öncül, hem de sonuç bulanık değer kullanan EĞER-İSE kurallarının toplamına dayanan sözel modellerdir. Bu model, akıl yürütme kullanır ve sistem davranışı doğal dil terimleri ile tanımlanabilir.

Mamdani modeli bu gruptandır. Mamdani yöntemi genelde uzman sistemlerin (uzman sistem; genel olarak, bir uzmandan alınan bilgilere dayanarak oluşturulan, karmaşık problemleri çözmek için olayları ve deneyimleri kullanan etkileşimli bilgisayar destekli kara aracıdır) geliştirilmesi için kullanılmaktadır.

Mamdani tipi bulanık model beş adımda oluşturulur; [20,21]

- Girdilerin bulanıklaştırılması:öncül kısımdaki bütün bulanık ifadeleri kullanarak girdi değişkenlerine ait 0 ile 1 arasında değişen üyelik derecelerinin belirlenmesi.
- Bulanık mantık işlemlerini kullanarak kural ağırlıklarının belirlenmesi.
- Bulanık küme mantıksal işlemcilerin (ve, veya) uygulanması.
- Sonuçların toplanması, her bir kuralın çıktısını temsil eden bulanık kümelerin birleştirilmesi.
- Durulaştırma, tek bir sayıya dönüştürülmüş toplam bulanık küme sonuçlarının durulaştırılması

Mamdani tipi bulanık modelin faydaları, modelin oluşturulmasının basit olması, diğer bulanık mantık modellerinin temelini oluşturması olarak söylenebilir.

İkinci kategori Sugeno tipi sistemlere dayanmaktadır. Kullanılan kural yapısında öncül parça bulanık, sonuç parça da fonksiyoneldir. Bu yöntem, doğrusal olmayan bir sistemi çeşitli doğrusal sistemlerin bileşkesi ile yaklaştırır. Bunu da tüm girdi uzayını çeşitli bulanık uzaylara ayırıştırarak ve her çıktı uzayını da doğrusal bir eşitlik ile göstererek yapar.

Girdi değişkenlerinin bulanıklaştırılması ve bulanık mantık işlemleri Mamdani bulanık modelleme ile tamamen aynıdır. İki yöntem arasındaki fark çıktı üyelik fonksiyonlarıdır.

Sugeno tipi bulanık modellemede çıktı üyelik fonksiyonları sadece lineer ya da sabittir. Çıktı üyelik fonksiyonları sabit olduğu zaman sıfırıncı derece, birinci derece doğru denklemi olduğu zaman ise 1. derece Sugeno bulanık model olarak adlandırılır.

Böylece Sugeno tipi bulanık model, Mamdani tipi bulanık modelden daha karmaşık ve gösterim açısından daha elverişlidir. Bu nedenle Sugeno tipi bulanık model uyarlanabilir tekniklerle birlikte kullanılabilir.

Birinci derece Sugeno bulanık model aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$\text{Eğer } x = A \text{ ve } y = B \text{ ise } z = f(x,y) = px+qy+r \quad (6.2)$$

Burada A ve B, x ve y üyelik fonksiyonları için tanımlanmış öncül kısımdaki bulanık kümeler, p,q ve r ise soncul parametrelerdir. Böylece her bir kural için bir çıktı değeri elde edilir.

Sugeno tipi bulanık modelin avantajları aşağıda sıralanmıştır [20,21].

- Lineer olmayan sistemlerin kontrol edilmesi için lineer teknikler kullanılabilir.
- Optimizasyon ve uyarlanabilir (adaptive) tekniklerle birlikte iyi çalışır ve çıktı parametrelerini optimize ederek sonuçları iyileştirir.
- Matematiksel analiz için uygundur.

Sugeno tipi bulanık modelinin mahzurları ise;

- Yüksek derecedeki Sugeno bulanık modelleme kullanıldığında oldukça karmaşık bir yapıya sahip olur.
- Girdi ve altküme sayılarının artması verilerin eğitilmesini zorlaştırır, sonuçların elde edilmesi için belirlenmesi gereken soncul parametrelerin sayısı artar.

6.1.3.3. Yapay sinir ağları

Yapay sinir ağı, insan beyninin işleyişinin bir modellemesidir. Sinir hücrelerinin yapısından esinlenerek tasarlanan yapay sinir hücre modeli, VE, VEYA, DEĞİL gibi mantık işlemlerinin sayısal olarak modellenebileceğini göstermiştir.

Sinir ağları, bulanık sistemler gibi insan düşünce sistematiğine benzer sistemler geliştirmede çok başarılıdır.

Genel olarak yapay sinir ağı uygulamaları, örüntü sınıflama, tahmin ve finansal analiz, denetleme ve optimizasyon olarak sayılabilir.

Basit bir yapay sinir hücresi çok sayıda girdisi ve tek bir çıktısı olan bir yapı olarak tanımlanır. Bir sinir ağı birbirlerine bağlarla bağlı çeşitli sayıda düğüm'den meydana gelmektedir. Yapay sinir ağı, üç (veya daha çok) katman içerisinde ve her katmanda paralel olarak hücrelerin bir araya gelmesi ile oluşturulur.

İlk katman girdi katmanı, ikincisi ara katman, üçüncüsü de çıktı katmanıdır. Girdi katmanındaki düğümler gelen verileri ara katmana iletir. Ara katmandakiler bu verileri işler. Çıktı katmanı ise ara katmandan gelen verileri işleyerek çıktıyı üretir.

Yapay sinir ağı, ileri ve geri beslemeli olarak sınıflandırılabilir. İki tip öğrenme algoritması bulunmaktadır. İlk tipi, **gözetimli öğrenme**'dir. Burada girdi ve çıktı çiftlerini içeren bir eğitim veri kümesi kullanılır. İkinci tip **gözetimsiz öğrenme**'dir. Ağ genellikle girdi verilerini benzerlik sınıflarına ayırır [20,21].

Yapay sinir ağlarının pek çok farklı modeli bulunmaktadır. En yaygın olanları tek katmanlı, çok katmanlı algılayıcılar, vektör nicelemeli modeller, özörgütlemeli model, uyarlamalı rezonans teorisi modelleri, Elman ağı ve ışın temelli ağlar olarak sıralanabilir.

Sinir ağları karışık ve belirsiz veriden anlam çıkarabilme özelliği ile örüntü elde etme ve eğilimleri belirleme konusunda kullanılabilmektedir. Bununla birlikte en çok eleştiri alan yönü ise “kara kutu” yapılarıdır. Yani çıktıların uzman olmayanlar için anlaşılabilir olmamasıdır [20].

6.1.3.4. Sinirsel bulanık sistemler

Sinir ağları ve bulanık sistemler birbirlerini tamamlayan iki teknolojidir. Sinir ağları veriden öğrenebilir, fakat sinir ağlarıyla sunulan bilgiyi anlamak zordur. Bulanık sistemler de ise sözel terimler ve EĞER-İSE kuralları kullanıldığı için kolayca anlaşılabilir. [20].

Bulanık bir sistem sunulan sayısal örneklerden çıkarım yaparak ve bulanık ilişkileri ayarlarken, sinir ağları, öğretim verisinden bulanık kuralları rastgele üretip düzeltebilmektedir. Her kural tabanlı bulanık sisteme bir sinir ağı ile yaklaşım sağlanabilmektedir [20].

Bulanık mantık ile sinir ağlarının bütünleştirilmesi için bulanık sinir ağları ve sinirsel bulanık sistemler olmak üzere iki yaklaşım geliştirilmiştir. Bulanık sinir ağı ile, bulanık bilgi işleme yeteneğinde bulanık bir sinir ağı ifade edilmektedir. Sinirsel bulanık sistemlerde ise, bulanık sistemin esneklik hız ve uyarlanırlık gibi özellikleri sinir ağları ile arttırılmıştır.

Sinirsel bulanık sistem, geriyayılım tipi öğrenme algoritması kullanarak bulanık kuralları tanımlayabilmekte ve bulanık akıl yürütmenin üyelik fonksiyonlarını öğrenebilmektedir. Sıradan sinir ağlarına sinirsel bulanık sistemlerin bir üstünlüğü de öğrenmeden önce uzman bilginin kolayca eklenebilmesidir.

Modern sinirsel bulanık sistemler genel olarak ileri beslemeli ve çok katmanlıdır. Son yıllarda ANFIS, FALCON, FuNe, NEFCON, NEFCLASS vs., adlı sinirsel bulanık sistemler ortaya konulmuştur. ANFIS modeli Sugeno benzeri bulanık sistem içermekte olup, ***bu çalışmada Sugeno tipi bulanık çıkarım sistemi kullanılmıştır.*** Sinirsel bulanık sistemler için yaklaşım, eldeki kurallar kümesinin üyelik fonksiyonlarının ayarlanması için yada otomatik kural üretimi için sinir ağı tasarlanmasıdır [20].

Jang'ın ANFIS (Adaptif Sinir Ağına Dayalı Bulanık Çıkarım Sistemi) sistemi bu kategorideki en eski ve en sık başvurulmuş sistemlerden birisidir [20]. ANFIS'in temeli Takagi-Sugeno-Kang bulanık çıkarım sistemidir.

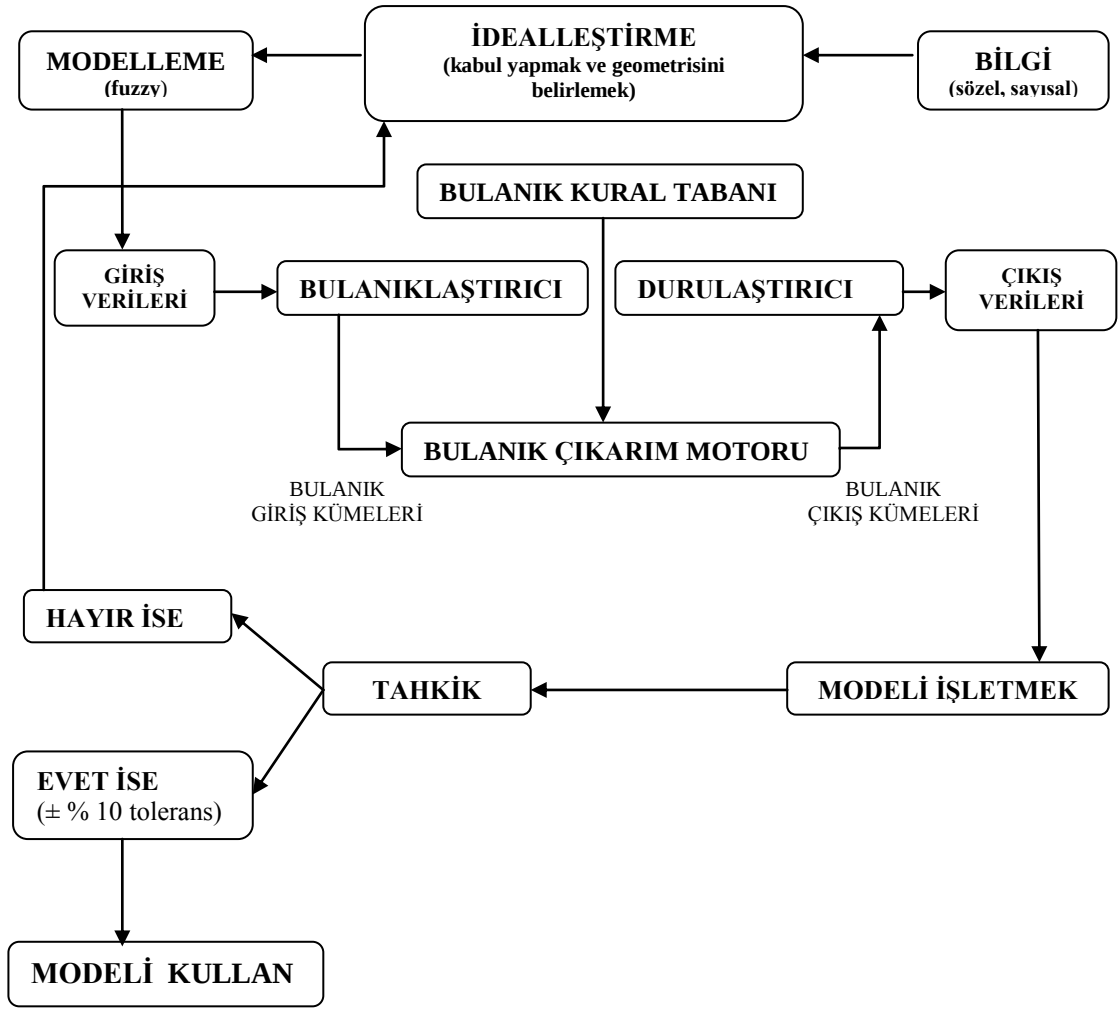
Burada kuralın sonuç kısmı bulanık bir küme değil, kesin girdilerin ağırlıklı doğrusal bileşkesidir [20].

Bulanık mantık sistemi, başarılı sonuçlarına rağmen hala evrensel bir kabul görmemiştir. Başlangıçtan beri bulanık mantık adından dolayı bir tartışma konusu olmuştur. Daha da önemlisi, bulanık mantık klasik yöntembilimlerin yetersizliğini vurgulamakta ve Ortodoks bilim anlayışına meydan okumaktadır.

Bilimsel devrimler her zaman sıkıntılıdır ve mevcut yöntembilim ve kuramlar konusunda oluşan yakınma ve yetersizliklerin birikimini gerektirir.

Ancak şu açık bir gerçektir ki bilişsel dönüşüm ve gelişim bilimsel anlayış ve bilgi konusunda da yönelimini bulanık mantık kavramsal zeminde gerçekleştirmektedir.

Şekil 6.3.'de bulanık mantık sistemi ile ileriki bölümlerde yapılacak olan modelleme yönteminin akış şeması verilmektedir [19].



Şekil 6.3: Bulanık mantık sistemi akış diyagramı [19]

6.2. Türkiye Otoyol Ağı İçin Önerilen Üstyapı Performans Tahmin Modeli Ve Uygulaması

Bu çalışmada, Türkiye Otoyol Ağı için önerilecek üstyapı performans modellemesine esas teşkil edecek, Karayolları Genel Müdürlüğü sorumluluk alanında bulunan toplam 1987 km uzunluğundaki otoyol güzergâhından, KGM tarafından IRI düzgünsüzlük değeri ölçümleri yapılan ve Karayolları 17.Bölge Müdürlüğü sınırları içinde bulunan, 2x3 şeritli Trakya ve Anadolu Otoyol'u ele alınmıştır.

Yol yüzey karakteristik özelliklerinden düzgünsüzlük değerleri, profilometre ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. İlk olarak ölçümlerde, Trakya Otoyolu için Edirne başlangıç olarak alınmış olup, Kozyatağı Köprülü Kavşağı'nda ölçme işlemleri tamamlanmıştır. Anadolu Otoyolu'nda ise, başlangıç olarak Anadolu Otoyolu Köprülü Kavşağı ele alınmış olup, TCK 4.Bölge Hududunda (Düzce İl Sınırı) çalışma tamamlanmıştır.

İkinci olarak, Anadolu Otoyolu için, Düzce İl Sınırı başlangıç noktası olarak ele alınmış olup, Anadolu Otoyol Kavşağında ölçme işlemleri tamamlanmıştır. Trakya Otoyolu için Kozyatağı KöprülÜ Kavşağı başlangıç olarak ele alınmış olup, Edirne’ de ölçme işlemleri tamamlanmıştır. Gidiş ve dönüş olmak üzere toplam 886,4 km. yol ölçölmüştür. Bunun 443 km.si Batı-Doğu ve Kuzey-Güney istikameti (Edirne-İstanbul, İstanbul-İzmit, Adapazarı), 443,4 km.si de Doğu-Batı, Güney-Kuzey istikametidir.(Adapazarı – İzmit - İstanbul, İstanbul - Edirne) [24].

6.2.1. Otoyol üstyapısı performans değeriendirmesi

6.2.1.1. Anadolu otoyolu üstyapı performans değeriendirmesi

Anadolu otoyolu trafiğe açıldıktan kısa bir süre sonra enine ve boyuna çatlaklar belirlemeye başlamış, köprü yaklaşım dolgularında ve dolgu kesimlerinde oturmalar meydana gelmiştir. Bu bozulmalar 1999 depreminden sonra çok büyük oranda artış göstermiş olup, proje kotları ve koordinatları değeriışikliğe uğramıştır. Bu bozulmalar fay hattının geçtiğı kesimlerde, Sapanca Gölü geçişinde daha yoğun olmakla birlikte yolun tamamında çatlak ve deformasyonlar olarak kendini göstermiştir. Performans gözlemleri, Anadolu Otoyolu’nda beş ayrı kesimde yapılmıştır [26].

Bu kesimler;

1. Çamlıca-Gebze Kesimi
2. Gebze-İzmit Kesimi
3. İzmit Kuzey Kent Geçişİ (İzmit Batı-Kandıra Kavşağı)
4. İzmit-Adapazarı Kesimi
5. Adapazarı-TCK 4. Bölge (Düzce İl Sınırı) dır.

Çamlıca-Gebze Kesimi; bu kesim 1990 yılında trafiğe açılmıştır. Trafiğe açıldıktan sonra emanet olarak çatlak dolgu malzemesi ve küçük yamalar ile onarım çalışması yapılmıştır.1998–2005 yılları arasında ihaleli olarak bakım çalışmaları yapılmıştır. Söz konusu kesimlerdeki üstyapı projeksiyonu kalınlığı 54cm olup, bunun 4cm’si aşınma, 5cm’si binder, 10cm’si bitümlü temel,15cm’si ÇBGT, 20cm’si alttemeldir.

Söz konusu kesim boyunca hafif araç trafiğı ihmal edilerek bütün proje süresince kamyonlar için 4115, otobüsler için 1019 YOGT, yıllık ortalama günlük trafik değerieleri dikkate alınmıştır [31].

Gebze-İzmit Kesimi; bu kesim 1984 yılında trafiğe açılmıştır. Bu kesim otoyolun ilk trafiğe açıldığı kesimidir. Trafiğe açıldıktan sonra enine ve boyuna çatlaklar oluşmuştur. Çatlakların meydana gelme nedenlerinden biri, altyapıdan gelen bozuklukların üstyapıya yansması, diğeri ise tabaka kalınlıklarının artan trafik sayılarını karşılayamamasıdır.1996 yılında ihaleli olarak bakım çalışmaları yapılmıştır.

Söz konusu kesimlerdeki üstyapı projeksiyonu kalınlığı 54cm olup, bunun 4cm'si aşınma, 5cm'si binder, 10cm'si bitümlü temel,15cm'si ÇBGT, 20cm'si alttemel dir. Söz konusu kesim boyunca hafif araç trafiği ihmal edilerek bütün proje süresince kamyonlar için 4115, otobüsler için 1019 YOGT, yıllık ortalama günlük trafik değerleri dikkate alınmıştır [32,33,34].

İzmit Kuzey Kent Geçişi; bu kesim 1992 yılında trafiğe açılmıştır. Trafiğe açıldıktan sonra bu kesimde de enine ve boyuna çatlaklar oluşmuştur. Çatlakların meydana gelme nedenleri olarak, altyapıdan gelen bozuklukların üstyapıya yansması ve ÇBGT ve dolguların üst kısmındaki killi kesimlerindeki hacimsel değişiklikler olduğu düşünülmektedir. 2000–2005 yılları arasında ihaleli olarak bakım çalışmaları tamamlanmıştır.

Söz konusu kesimlerdeki üstyapı projeksiyonu kalınlığı 74cm olup, bunun 4cm'si aşınma, 5cm'si binder, 10cm'si bitümlü temel,20cm'si ÇBGT, 35cm'si de alttemeldir. Söz konusu kesim boyunca 14478 hafif araç, kamyonlar için 5067, otobüsler için 1154 YOGT, yıllık ortalama günlük trafik değerleri, dikkate alınmıştır [35,38].

İzmit-Adapazarı Kesimi; bu kesim 1992 yılında trafiğe açılmıştır. Trafiğe açıldıktan sonra bu kesimde de enine ve boyuna çatlaklar oluşmuştur. Çatlakların meydana gelme nedenleri olarak, altyapıdan gelen bozuklukların üstyapıya yansması ve ÇBGT ve dolguların üst kısmındaki killi kesimlerindeki hacimsel değişiklikler olduğu düşünülmektedir. 2000–2005 yılları arasında ihaleli olarak bakım çalışmaları tamamlanmıştır.

Söz konusu kesimlerdeki üstyapı projeksiyonu kalınlığı 75cm olup, bunun 5cm'si aşınma,8cm'si binder, 12cm'si bitümlü temel,22cm'si ÇBGT, 28cm'si de alttemel dir. Söz konusu kesim boyunca, kamyonlar için 5067, otobüsler için 1154 YOGT, yıllık ortalama günlük trafik değerleri, dikkate alınmıştır [39].

Adapazarı-TCK 4. Bölge Hududu; 1992 yılında trafiğe açılmıştır. Trafiğe açıldıktan sonra bu kesimde de enine ve boyuna çatlaklar, timsah sırtı çatlakları ve tekerlek izi oturmaları oluşmuştur. Otoyolun bu kesimi gece ve gündüz sıcaklık farklarına en fazla maruz kalan kesimi olması nedeniyle su ve don tesiri ile bozulmalar alt tabakalara kadar inmektedir. Bugüne kadar herhangi bir onarım çalışması yapılmamıştır.

Söz konusu kesimlerdeki üstyapı projeksiyonu kalınlığı 75cm olup, bunun 5cm'si aşınma, 8cm'si binder, 12cm'si bitümlü temel, 22cm'si ÇBGT, 28cm'si de alttemel dir. Söz konusu kesim boyunca, kamyonlar için 2256, otobüsler için 564 YOGT, yıllık ortalama günlük trafik değerleri, dikkate alınmıştır [39].

6.2.1.2. Trakya otoyolu üstyapı performans değerlendirmesi

Performans gözlemleri, Trakya Otoyolu'nda üç ayrı kesimde yapılmıştır [26]. Bu kesimler;

1. Edirne Batı Kavşağı-Kınalı Kavşağı Arası
2. Kınalı Kavşağı – Mahmut Bey kavşağı Arası
3. Mahmut Bey Kavşağı- Kozyatağı Kavşağı Arasıdır.

Edirne Batı Kavşağı-Kınalı Kavşağı Arası; Kapıkule-Edirne arası 1987, Babaeski-Edirne arası 1994, Babaeski-Lüleburgaz arası 1993, Lüleburgaz-Kınalı arası ise 1992 yılında trafiğe açılmıştır.

Trafiğe açıldıktan hemen sonra bu kesimde enine ve boyuna çatlaklar, tekerlek izi oluşumları, oturmalar ve soyulmalar oluşmuştur. Söz konusu bozulmaların nedenleri olarak, dolguda kil malzemelerinin kullanılmış olması, yapım metodu yanlışlığı, yetersiz drenaj ve ÇBGT sıralanabilir. 2004–2005 yılları arasında ihaleli olarak bakım çalışmalarına başlanılmıştır. Söz konusu kesimlerdeki üstyapı projeksiyonu kalınlığı 75cm olup, bunun 5cm'si aşınma, 8cm'si binder, 12cm'si bitümlü temel, 22cm'si ÇBGT, 28cm'si de alttemel dir [26].

Kınalı Kavşağı – Mahmut Bey kavşağı Arası; 1990 yılında trafiğe açılmıştır. Bozulmalar, enine boyuna çatlaklar, segregasyon, tekerlek izinde oturma, timsah sırtı çatlaklar şeklindedir. Boyuna çatlaklar şiddetlidir. 2005 yılında ihaleli olarak bakım çalışmalarına başlanılmıştır. Onarım çalışmaları güney yolda, Hadımköy-Selimpaşa ve kuzey yolda, Kumburgaz-Çatalca Kavşağı arasında tamamlanmıştır.

Söz konusu kesimlerdeki üstyapı projeksiyonu kalınlığı 75cm olup, bunun 5cm'si aşınma, 8cm'si binder, 12cm'si bitümlü temel, 22cm'si ÇBGT, 28cm'si de alttemeldir

Mahmut Bey Kavşağı- Kozyatağı Kavşağı Arası; bu kesim 1989 yılında trafiğe açılmıştır. Trafiğe açıldıktan sonra zaman içinde enine boyuna çatlaklar, timsah sırtı çatlaklar belirmeye başlamıştır. Ağır vasıta şeritlerinde tekerlek izleri mevcuttur. Bazı kesimlerde ek yeri çatlakları, boyuna çatlaklar halinde orta şerit boyunca şiddetli olarak devam etmektedir.

Bozulmalar Mahmutbey-Kavacık arasında yoğun, Kavacık-Kozyatağı arasında ise daha az yoğun olarak görülmektedir.

2005 yılında ihaleli olarak bakım çalışmalarına başlanılmıştır. Söz konusu kesimlerdeki üstyapı kalınlığı 75cm olup, bunun 5cm'si aşınma, 8cm'si binder, 12cm'si bitümlü temel, 22cm'si ÇBGT, 28cm'si de alttemeldir [26,50].

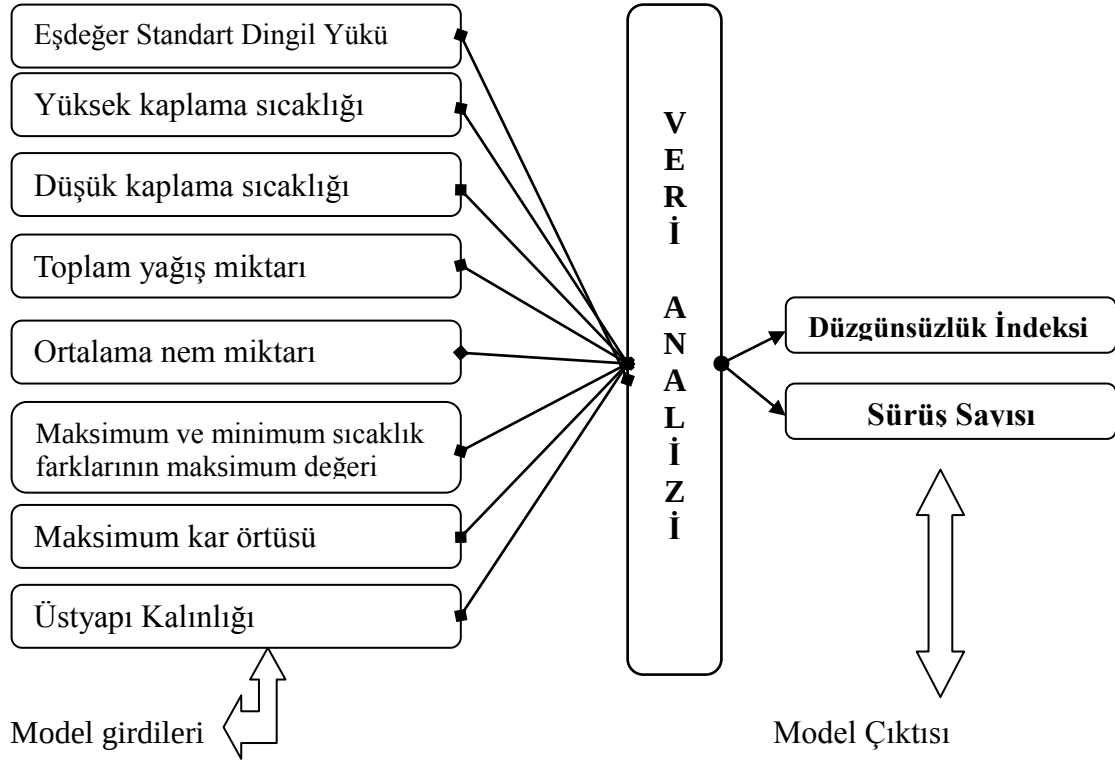
6.2.2. Otoyol üstyapısında veri analizi ve performans tahmin modellemesi

Performans göstergesinin önemli ölçütü olan düzgünsüzlük ölçüm sonuçları, güzergah boyunca yapılan bozulma etütleri, yer yer yapılan iyileştirmeler ve üstyapı projeksiyonu göz önüne alınarak otoyol performans değerlendirmesi yapılmıştır.

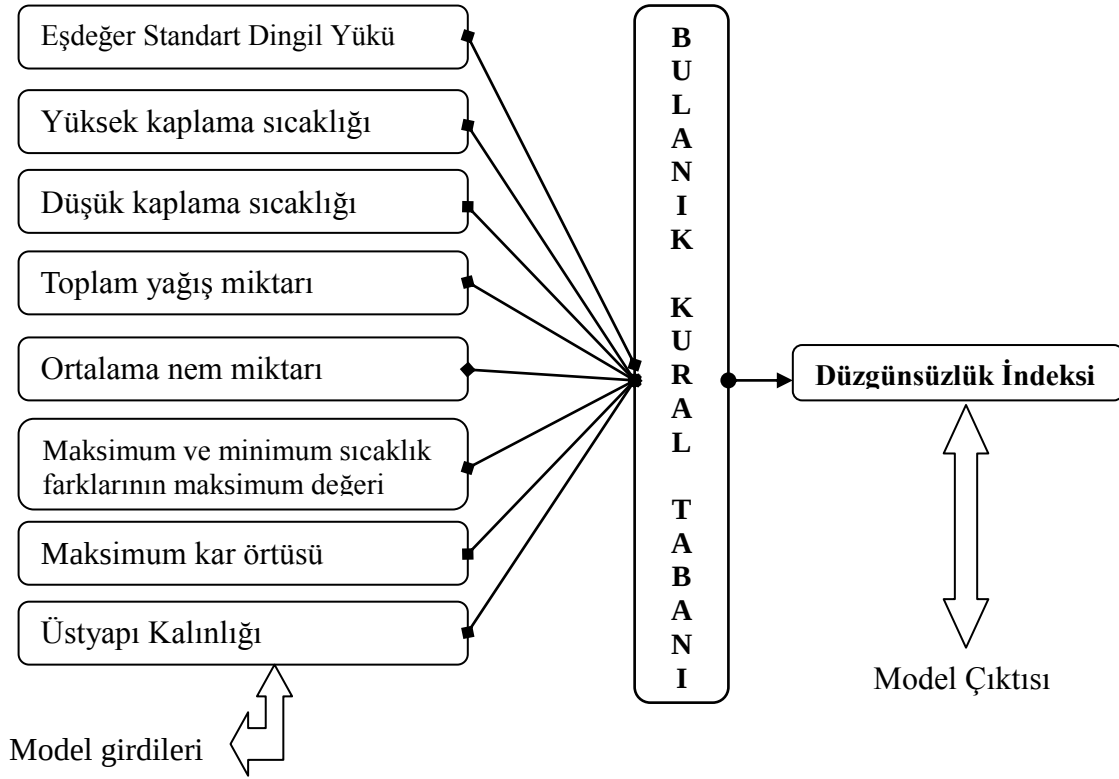
Düzgünsüzlük değerlerine karşılık gelen RN ve IRI değerlerinin tahmini için bir bozulma modeli oluşturmak üzere, öncelikli olarak regresyon analizi, akabinde bulanık mantık yöntemi kullanılarak performans tahmini modellemesi yapılacak olup, her iki modelin sonuçları ile gerçek değerler kıyaslanacaktır.

Zamanla meydana gelen bozulma ilişkilerinin sınıflandırılması maksadıyla geliştirilen modellerden; Şekil 6.4'de Regresyon Modelinin, Şekil 6.5'da ise Bulanık Mantık Modelinin en genel yapısı gösterilmiştir.

İncelenen otoyol kesimlerinde, üstyapıda bozulmalara neden olan $T_{8.2}$ eşdeğer standart dingil yükü ile ifade edilen trafik verisi, iklim verileri, üstyapı kalınlığı ve zeminin durumu gibi tüm etkenler modelin girdisi olarak dikkate alınmıştır. Model çıktısı ise sürüş sayısı ve Düzgünsüzlük İndeksi değerleridir.



Şekil 6.4: Üstyapı performans tahmini regresyon modelinin genel yapısı



Şekil 6.5: Bulanık mantık modelinin genel yapısı

Modellerde dikkate alınan girdi verileri, üstyapının hizmet ömrünü etkileyen en önemli güvenlik parametrelerinden olup, üstyapı performansı üzerinde çok etkilidirler. Öncelikli olarak, söz konusu otoyol kesimlerindeki hafif ve ağır taşıt trafiğine ait 1984–2006 yılları arasındaki (yolun trafiğe açıldığı yıldan düzgünsüzlük ölçümleri yapıldığı yıllara kadar) yıllık ortalama günlük trafik (YOGT) değişim değerleri belirlenerek 2006 Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi’nde belirtilen esaslar dahilinde her yıl için Toplam Standart Dingil Yüğü Tekerrür Sayısı $T_{8.2}$ bulunmuştur. Bu değerler, her bir yol kesimi için bakım yapıldığı yıl belirtilmiş ise, bakım yapıldığı yıldan itibaren, herhangi bir bakım belirtilmemiş ise trafiğe açıldığı yıldan başlayarak yığışimli olarak düzgünsüzlük ölçümlerinin yapıldığı yıla getirilmiştir. Çizelge 6.2. [40,41,42,43,44,45,46,47,48,49].

Üstyapının hizmet ömrünü etkileyen bir diğer önemli parametre olan iklim verilerinin ilişkilendirilmesinde ise, Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nün 1984–2006 yılları arasındaki istatistiklerinden sağlanan ve göz önüne alınan otoyol kesimlerinin bulunduğu bölgelerin il bazında olmak üzere;

- Aylık ortalama nem miktarı,
- Aylık toplam yağış miktarı, Aylık maksimum yağış miktarı,
- Aylık ortalama sıcaklık değeri,
- Aylık minimum ortalama sıcaklık, Aylık maksimum ortalama sıcaklık,
- Aylık minimum sıcaklık, Aylık maksimum sıcaklık,
- Aylık maksimum ve minimum sıcaklık farkları ortalaması,
- Aylık minimum Maks. Sıcaklık değeri ile maksimum Min. Sıcaklık değerinin farkı,
- Aylık maksimum sıcaklık değeri ile minimum sıcaklık farklarının minimumu,
- Aylık maksimum Maks. Sıcaklık değeri ile minimum Min. Sıcaklık değerinin farkı,
- Aylık maksimum ve minimum sıcaklık farklarının maksimum değeri,
- Aylık maksimum kar örtüsü,

verileri kullanılmıştır [29].

Bu değerler, veri girişi olarak doğrudan doğruya analiz girdisi olarak kullanılmıştır. Meteoroloji Genel Müdürlüğünün istatistiklerinden elde edilen veriler, göz önüne alınan otoyol kesimlerinin bulunduğu bölgelerdeki meteoroloji istasyonlardan alınan veriler olup, istasyonların kapsama alanı içindeki otoyol kesimleri, lineer enterpolasyon ve poligon metodu yöntemi ile belirlenmiştir.

Başlangıçta regresyon çözümlemesi ile üstyapı performansının tahmini amacıyla oluşturulacak bozulma modelinin ana parametreleri, RN, IRI ölçümleri ile bu ölçümlerin yapıldığı yıla karşılık gelen, yığışımlı $T_{8.2}$ trafik değeri ve iklim verileri ile kalınlık parametreleridir.

Özellikle iklim verileri olarak başlangıç da; Yağış (kar ve yağmur), nem, sıcaklık, kaplama sıcaklıkları, don indeksi değerleri kullanılmıştır [10].

Kaplama sıcaklıkları olarak, kaplama yüzeyinden 20mm derinlikteki yüksek kaplama sıcaklığı ile kaplama yüzeyindeki düşük kaplama sıcaklık değerleri kullanılmıştır. Aylık periyotta maksimum hava sıcaklığı değeri ile minimum hava sıcaklığı değerleri Superpave yönteminde belirtilen bağıntı kullanılarak kaplama sıcaklık değerlerine dönüştürülmüştür [51].

$$T_{20} = 0,9545(T_{havamax} - 0,00618E_n^2 + 0,2289E_n + 42,2) - 17,78 \quad (6.3)$$

$$T_{yüzey} = 0,859T_{havamin} + 1,7 \quad (6.4)$$

Burada;

T_{20mm} : yüzeyden 20mm derinlikteki yüksek kaplama sıcaklığı

$T_{havamax}$: aylık dönem, maksimum hava sıcaklığı değeri

$T_{havamin}$: aylık dönem, minimum hava sıcaklığı değeri

E_n : derece olarak otoyol kesiminin coğrafi enlemidir

Model girdisi olarak kullanılan yüksek kaplama sıcaklığı değeri ile kaplama yüzeyi düşük sıcaklık değerleri, yolun bulunduğu il bazında hizmet süresi boyunca her yılın en yüksek (>25 derece) ve en düşük (<0 derece) hava sıcaklık değerlerine sahip aylarına ait bu değerlerin, ilgili ayların tüm günlerinde aynı oldukları kabul edilerek aya ait gün sayısı ile çarpıldıktan sonra toplanıp, formül 6.3 ve 6.4’de belirtilen bağıntılar yardımıyla kaplama sıcaklık değerlerine dönüşümü yapılmıştır (Çizelge 6.3).

Regresyon analizinde iklim parametreleri olarak kullanılan YMTYTS (yıllık maksimum toplam yağış tekrar sayısı; $>50\text{mm}$), YMONTS (yıllık maksimum ortalama nem tekrar sayısı; >20), YMAXMİNSFMAXSFTS (yıllık maksimum ve minimum sıcaklık farklarından maksimum olan sıcaklık farkı tekrar sayısı; $>15^{\circ}$), YMAXKÖTS (yıllık maksimum kar örtüsü toplam tekrar sayısı; >10), değerleri otoyol kesimlerinin trafiğe açıldığı yıldan, RN ve IRI ölçümlerinin yapıldığı yıllara kadar değerlendirmeye alınan ayların tüm günlerinde aynı oldukları kabul edilerek, aya ait gün sayısı ile çarpıldıktan sonra bulunan sonuçların toplanması suretiyle elde edilmişlerdir.

Sonuçta, trafik parametresinde olduğu gibi iklim parametreleri de, her bir yol kesimi için bakım yapıldığı yıl belirtilmiş ise, bakım yapıldığı yıldan itibaren, herhangi bir bakım belirtilmemiş ise trafiğe açıldığı yıldan başlayarak yığışımli olarak düzgünsüzlük ölçümlerinin yapıldığı yıla getirilerek kullanılmıştır [9,10,13].

İklim parametrelerindeki sınır değerler, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden elde edilen ölçüt değerleridir.

Çizelge 6.2: Regresyon analizinde kullanılan Trakya Otoyoluna ait yığılmı trafık değeri

YOLUN ADI	TRAFİĞE AÇILDIĞI YIL	BAKIM YILI	YOGT DEĞERLERİ		YOGT DEĞERLERİ		YESDY 1992	YESDY 1993	YESDY 1994	YESDY 1996	YESDY 1997	YESDY 1999	YESDY 2003	YESDY 2004	YESDY 2005	YESDY 2006
			2005		2006											
	TRAKYA OTOYOLU			HAFİF	AĞIR TAŞIT	HAFİF										
Edirne Batı - Lalapaşa	1994	bakım yok	2020	1471	1940	1732			382534	1209061	1582646	2360363	3851759	4343307	5224024	6260969
	1994		2020	1471	1940	1732			382534	1209061	1582646	2360363	3851759	4343307	5224024	6260969
	1994		2020	1471	1940	1732			382534	1209061	1582646	2360363	3851759	4343307	5224024	6260969
	1994		2020	1471	1940	1732			382534	1209061	1582646	2360363	3851759	4343307	5224024	6260969
Lalapaşa -Edirne Doğu	1994		2020	1471	1940	1732			382534	1209061	1582646	2360363	3851759	4343307	5224024	6260969
Edirne Doğu-Havsa	1994	2006	2020	1471	1940	13732			382534	1209061	1582646	2360363	3851759	4343307	5224024	8220145
Havsa -Kırklareli İl Sınırı	1994	2005	2202	1546	2127	1854			406314	1284222	1691937	2567255	4427683	5168230	925628	2035619
Kırklareli İl Sınırı-Babaeski	1994	2006	2202	1546	2127	1854			406314	1284222	1691937	2567255	4427683	5168230	6093858	1109991
Babaeski -Lüleburgaz	1993	2005	2986	1862	2966	2266		459927	944062	1990113	2511001	3656358	5964715	6633669	1114855	2471542
	1993	0	2986	1862	2966	2266		459927	944062	1990113	2511001	3656358	5964715	6633669	7748523	9105211
	1993	2005	2986	1862	2966	2266		459927	944062	1990113	2511001	3656358	5964715	6633669	1114855	2471542
	1993	0	2986	1862	2966	2266		459927	944062	1990113	2511001	3656358	5964715	6633669	7748523	9105211
	1993	2005	2986	1862	2966	2266		459927	944062	1990113	2511001	3656358	5964715	6633669	1114855	2471542
	1993	2005	2986	1862	2966	2266		459927	944062	1990113	2511001	3656358	5964715	6633669	1114855	2471542
Lüleburgaz -Tekirdağ İl Sın.	1992	2005	3758	2309	3862	2712	771200	1361008	1981858	3323307	4035798	5485939	8416303	9522357	1382497	3006238
	1992	2005	3758	2309	3862	2712	771200	1361008	1981858	3323307	4035798	5485939	8416303	9522357	1382497	3006238
	1992	2003	3758	2309	3862	2712	771200	1361008	1981858	3323307	4035798	5485939	884897	1990950	3373447	4997188
	1992	2004	3758	2309	3862	2712	771200	1361008	1981858	3323307	4035798	5485939	8416303	1106053	2488550	4112291
	1992	2004	3758	2309	3862	2712	771200	1361008	1981858	3323307	4035798	5485939	8416303	1106053	2488550	4112291
Tekirdağ İl Sınırı-Saray	1992	2004	3758	2309	3862	2712	771200	1361008	1981858	3323307	4035798	5485939	8416276	1106050	2488547	4112288
	1992	2004	3758	2309	3862	2712	771200	1361008	1981858	3323307	4035798	5485939	8416276	1106050	2488547	4112288
Saray Kavşağı-Çorlu	1992	2004	4413	2878	4480	3296	899973	1606194	2349584	3876672	4722679	6485343	10167496	1378588	3101745	5075123
	1992	2004	4413	2878	4480	3296	899973	1606194	2349584	3876672	4722679	6485343	10167496	1378588	3101745	5075123
	1992	2004	4413	2878	4480	3296	899973	1606194	2349584	3876672	4722679	6485343	10167496	1378588	3101745	5075123

Çizelge 6.3: Regresyon analizinde kullanılan Trakya Otoyoluna ait maksimum kaplama sıcaklık parametrelerinin hesabı

YOLUN ADI	COĞRAFİ ENLEMİ	TRAFİĞE AÇILDIĞI YIL	BAKIM YILI	MAX SICSAYISI (>25)	MAX SICAKLIK TEKRAR SAYISI (>25x30)	KAPLAMA SICAKLIĞI	MAX SICSAYISI (>25)	MAX SICAKLIK TEKRAR SAYISI (>25x30)	KAPLAMA SICAKLIĞI	MAX SICSAYISI (>25)	MAX SICAKLIK TEKRAR SAYISI (>25x30)	KAPLAMA SICAKLIĞI
				2004			2005			2006		
Edirne Batı Kvs.-Lalapaşa Kvs.	41,68	1994	BY	226	6.786	6.499	221	6.633	6.353	233	6.978	6.682
Edirne Doğu Kvs-Havsa kvs	41,63	1994	2006	226	6.786	6.499	221	6.633	6.353	233	6.978	6.682
Havsa Kvs-Kırklareli İl S.	41,57	1994	0	185	5.535	5.305	192	5.769	5.528	196	5.883	5.637
Kırklareli İl S.-Babaeski Kvs	41,52	1994	2006	185	5.535	5.305	192	5.769	5.528	196	5.883	5.637
Babaeski Kvs-Lüleburgaz Kvs	41,47	1993	0	305	9.138	8.744	282	8.454	8.091	235	7.044	6.745
Lüleburgaz Kvs-Tekirdağ İl S.	41,42	1992	2005	305	9.138	8.744	282	8.454	8.091	235	7.044	6.745
Lüleburgaz Kvs-Tekirdağ İl S.	41,37	1992	2004	305	9.138	8.744	282	8.454	8.091	235	7.044	6.745
Tekirdağ İl Sınırı-Saray Kvs	41,35	1992	2004	172	5.163	4.950	122	3.654	3.509	159	4.758	4.563
Saray Kvs-Çorlu	41,32	1992	2004	172	5.163	4.950	122	3.654	3.509	159	4.758	4.563
Çorlu Kvs-İstanbul İl Sınırı	41,22	1992	0	172	5.163	4.950	122	3.654	3.509	159	4.758	4.563
Çatalca Kvs-Hadımköy Kvs	41,08	1990	2005	153	4.575	4.388	205	6.141	5.883	161	4.833	4.635
Hadımköy Kvs-Avcılar Kvs	41,07	1990	0	153	4.575	4.388	205	6.141	5.883	161	4.833	4.635
Avcılar Kvs-Mahmutbey Batı	41,05	1990	0	153	4.575	4.388	205	6.141	5.883	161	4.833	4.635
Mahmutbey Doğu-Metris Kvs	41,08	1989	0	213	6.378	6.109	170	5.094	4.884	208	6.228	5.966
Kavacık Kvs-Ümraniye Kvs	41,03	1989	2006	213	6.378	6.109	170	5.094	4.884	208	6.228	5.966
Ümraniye Kvs-Anadolu O. Kvs	41,02	1989	2004	212	6.363	6.095	205	6.159	5.900	218	6.534	6.258

6.2.2.1. Regresyon analizi ile modelleme

Edirne-Düzce arası otoyol kesimlerinde, düzgünsüzlük değerlerinin tahmini için bir bozulma modeli oluşturmak üzere kurulan çoklu doğrusal regresyon modelinde, bağımlı değişken olarak düzgünsüzlük değerlerine karşı gelen RN ve IRI değerleri, bağımsız değişken olarak da $T_{8.2}$ Eşdeğer standart dingil yükü ile ifade edilen trafik, kaplama kalınlıkları ile iklim verilerine bağlı olarak hesaplanan Yıllık Yüksek Kaplama Sıcaklık Toplam Tekrar Sayısı (YYKSTTS), Yıllık Düşük Kaplama Yüzeyi Sıcaklık Toplam Tekrar Sayısı (YDKSTTS), iklim verilerinden YMTYTS yıllık maksimum toplam yağış tekrar sayısı, YMONTS yıllık maksimum ortalama nem tekrar sayısı, YMAXMİNSFMAXSFTS yıllık maksimum ve minimum sıcaklık farklarından maksimum olan sıcaklık farkı tekrar sayısı, YMAXKÖTS yıllık maksimum kar örtüsü parametreleri kullanılmıştır.

Regresyon modellemesi **SPSS16** paket programı kullanılarak yapılmıştır

IRI için çok katlı regresyon ve varyans analizi

Bu çalışmada; Trakya ve Anadolu Otoyolu'nun 2006 yılında IRI düzgünsüzlük ölçümleri yapılan 33 ayrı kesimi göz önüne alınmıştır (Çizelge 6.4).

Çizelge 6.4: Regresyon analizi için SPSS 16 programında kullanılan Trakya ve Anadolu otoyoluna ait veri çizelgesi

KESİM NO	YOLUN ADI	TRAFİĞE AÇILDIĞI YIL	BAKIM YILI	MEVCUT ÜSTYAPI KALINLIĞI	IRI	T8.2	MAKSİMUM KAPLAMA YÜZEYİ SICAKLIĞI	MİNİMUM KAPLAMA YÜZEYİ SICAKLIĞI	MAX.TOP. YAĞIŞ TS	MAX NEM TS	Y MAX MİN SF MAX SFTS	YMAX KAR ÖRT. TS
				cm	2006	2006	2006	2006	2006	2006	2006	2006
1	Anadolu Otoyolu-Samandıra	1990	2004	54	2,64	95.272.825,00	120170,5	-3347,7	364356	1469211	53325	13440
2	Anadolu Otoyolu-Samandıra	1990	2004	54	1,54	29.368.988,66	13658,5	-484,7	52230	170589	5016	1410
3	Kurtköy-Kocaeli İl Sınırı	1990	2005	54	1,23	10.946.693,61	13658,5	-484,7	52230	170589	5016	1410
4	Kocaeli İl Sınırı - Şekerpınar Kavşağı	1990	2005	54	1,33	26.947.890,81	13658,5	-484,7	52230	170589	5016	1410
5	Şekerpınar kavşağı-Gebze Kavşağı	1990	2004	54	1,45	23.553.241,37	11921,1	-805,7	70926	256212	8526	4080
6	Gebze Kavşağı-Dilovası Kavşağı	1984	1998	54	1,81	58.224.485,00	65889,2	-1695,2	196866	772866	28617	7350
7	Dilovası Kavşağı-Batı Hereke Kavşağı	1984	1998	54	1,80	57.887.167,45	65889,3	-1695,4	196866	772866	28617	7350
8	Batı Hereke Kavşağı-Doğu Hereke Kavşağı	1984	1998	54	1,91	61.894.235,51	72316,2	-2006,1	227907	860013	31977	8280
9	Doğu Hereke Kavşağı-Körfez Kavşağı	1984	1998	54	1,71	57.776.376,55	65889,3	-1695,4	196866	772866	28617	7350
10	Körfez Kavşağı-İzmit Batı	1984	1999	74	1,67	52.066.765,20	59081,5	-1572,9	175194	685434	25545	7350
11	Kandıra Kavşağı-İzmit Doğu	1992	2005	75	1,45	17.825.136,90	13658,6	-484,7	52230	170589	5016	1410
12	İzmit Doğu Kavşağı-Sakarya İl Sınırı	1992	2004	75	1,53	37.127.845,96	15909,4	-523,4	48477	171840	9609	1320
13	İzmit Doğu Kavşağı-Sakarya İl Sınırı	1992	2005	75	1,54	19.598.280,71	24475,4	-906,2	72666	257142	14718	3570
14	Sapanca Kavşağı-Adapazarı Kavşağı	1992	2005	75	1,45	17.045.171,88	15909,4	-523,4	48477	171840	9609	1320
15	Adapazarı Kavşağı-Akyazı Kavşağı	1992	2005	75	1,39	16.059.764,63	15909,4	-523,4	48477	171840	9609	1320
16	Hendek Kavşağı-Düzce il Sınırı	1992	BY	75	1,69	46.629.520,08	115856,7	-4185,5	346677	1302900	80766	9720
17	Düzce İl Sınırı-17.Bölge Sınırı	1992	BY	75	1,67	30.103.590,51	107544,6	-4185,5	346677	1302900	80766	9720
18	Edirne Batı Kavşağı - Lalapaşa Kavşağı	1994	BY	75	1,22	6.260.969,29	86517,62	-10301,36	174846	1102083	73662	10350
19	Edirne Doğu Kavşağı-Havsa kavşağı	1994	2006	75	1,17	8.220.145,14	6681,87	-990,45	15771	85797	5481	900
20	Havsa Kavşağı-Kırklareli İl Sınırı	1994	0	75	1,12	2.035.619,22	78480,25	-9693,19	137748	1098744	50754	1620
21	Kırklareli İl Sınırı-Babaeski Kavşağı	1994	2006	75	0,77	1.109.990,73	5636,73	-1062,60	11226	83829	3396	1080
22	Babaeski Kavşağı-Lüleburgaz Kavşağı	1993	0	75	1,18	9.105.210,78	102526,24	-11762,52	176640	1160790	101922	1080
23	Lüleburgaz Kavşağı-Tekirdağlı sınırı	1992	2005	75	1,19	3.006.238,11	14835,70	-1584,03	28728	171240	13992	1080
24	Lüleburgaz Kavşağı-Tekirdağlı sınırı	1992	2004	75	1,14	4.112.291,36	23579,39	-2618,29	34509	253152	21528	1440
25	Tekirdağ İl Sınırı-Saray Kavşağı	1992	2004	75	0,98	4.112.288,06	8072,15	-1140,79	20988	178980	936	0
26	Saray Kavşağı-Çorlu Kavşağı	1992	2004	75	1,18	5.075.123,18	13021,71	-1793,65	32343	267498	1887	900
27	Çorlu Kavşağı-İstanbul İl Sınırı	1992	0	75	1,54	18.692.591,28	74753,96	-5301,98	192579	1233546	8817	5370
28	Çatalca Kavşağı-Hadımköy Kavşağı	1990	2005	75	1,59	44.503.680,53	10517,72	-579,00	23919	172395	1884	1680
29	Hadımköy Kavşağı-Avcılar Kavşağı	1990	0	75	1,96	80.193.334,05	93918,84	-2712,10	246615	1212045	9198	6960
30	Avcılar Kavşağı-Mahmutbey Batı Kavşağı	1990	0	75	2,13	81.018.091,07	93918,90	-2712,10	246615	1212045	9198	6960
31	Mahmutbey Doğu-Metris Kavşağı	1989	0	75	2,41	84.343.993,33	101238,90	-2036,92	375576	1211868	17886	8640
32	Kavacık kavşağı-Ümraniye Kavşağı	1989	2006	75	1,53	27.106.955,36	10849,92	-568,69	26244	85575	978	1500
33	Ümraniye kavşağı-Anadolu Otoyolu Kvs	1989	2004	75	1,69	52.769.689,00	18253,56	-871,08	48045	259233	3885	3120

Çok değişkenli analizlerde değişkenler kümesini tanımlamak için korelasyon katsayısı ve korelasyon matrisinden sıklıkla yararlanılmaktadır. Regresyon çözümlemesine başlanmadan önce tüm değişkenlere ilişkin korelasyon matrisinin incelenmesinde fayda vardır. Böylece öncelikle bağımsız değişkenler arasında kuvvetli ilişki olup olmadığı kolayca görülebilir. Ayrıca bir değişkenin modelde göreceli olarak neden önemsiz olduğu konusunda da bu matristen yararlanılmaktadır. Önemsizliğin nedeni, ilgili değişkenin bağımlı değişkenle ilişkisinin olmaması olabileceği gibi bağımsız değişkenlerin kendi aralarında yüksek ilişki göstermesi de olabilmektedir. Kurulan modelde değişkenler arasındaki içsel bağımlılık katsayıları Çizelge 6.5’de verilmiştir.

Çizelge 6.5: Değişkenler arasındaki korelasyon matrisi

		IRI	T82	YYKS TTS	YDKS TTS	1/YDKS TTS	YTYAĞ. TS	YNEM TS	Y KAR TS
IRI	Pearson	1	,924**	,609**	-,109	,212	,744**	,583**	,745**
	Sig. (2-tailed)		,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
T82	Pearson	,924**	1	,589**	,137	,254	,713**	,560**	,724**
	Sig. (2-tailed)	,000		,000	,447	,154	,000	,001	,000
YYKS TTS	Pearson	,609**	,589**	1	-,629**	,757**	,952**	,988**	,830**
	Sig. (2-tailed)	,000	,000		,000	,000	,000	,000	,000
YDKS TTS	Pearson	-,109	,137	-,629**	1	-,662**	-,388*	-,647**	-,263
	Sig. (2-tailed)	,000	,447	,000		,000	,026	,000	,139
1/ YDKSTTS	Pearson	,212	,254	,757**	-,662**	1	,643**	,777**	,585**
	Sig. (2-tailed)	,000	,154	,000	,000		,000	,000	,000
YTYAĞTS	Pearson	,744**	,713**	,952**	-,388*	,643**	1	,929**	,896**
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,026	,000		,000	,000
YNEM TS	Pearson	,583**	,560**	,988**	-,647**	,777**	,929**	1	,807**
	Sig. (2-tailed)	,000	,001	,000	,000	,000	,000		,000
YKARÖRTTS	Pearson	,745**	,724**	,830**	-,263	,585**	,896**	,807**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,139	,000	,000	,000	

Çizelge incelendiğinde bağımlı değişkenler ile bağımsız değişkenler arasındaki korelasyon katsayılarının genelde yüksek olduğu görülmektedir. Bununla birlikte bağımsız değişkenlerden yağmur, nem ve kar örtüsü parametrelerinin içsel bağımlılığının daha yüksek olduğu görülmektedir. (Genel olarak bağımsız değişkenler arasındaki korelasyon katsayılarının 0,5'ten küçük yada eşit olması istenir) [52].

Gerek yukarıda belirtilen bağımsız değişkenler arasındaki içsel bağımlılığın yüksek olması, gerekse içsel bağımlılıkları dikkate alınmadan bütün bağımsız değişkenler ile yapılan regresyon analizi sonucunda Çizelge 6.6'da özeti verilen t istatistiği değerlerinden modeldeki değişkenlerin ayrı ayrı her düzeyde anlamlılık derecesini belirten p değerlerinin gereken ölçütleri sağlamaması nedeniyle, ($p < 0,05$ veya $0,01$ olmalıdır), yağmur, nem ve kar örtüsü parametreleri değerlendirmeye alınmamışlardır.

Burada her ne kadar kaplama sıcaklık değişkenlerinin anlamlılık derecelerinin de gereken ölçütleri sağlamamasına rağmen, kendi aralarındaki içsel bağımlılığın nispeten daha az olması, tecrübeye dayalı öngörülerin, söz konusu değişkenlerin kendi aralarındaki ilişkinin olabileceğini ve bu durumun, modele katkılarındaki etkinliklerini azaltarak göstereceğini belirtmesi nedeniyle;

Modelde bağımsız değişken olarak “ $T_{8,2}$ Standart Dingil Yüğü Tekerrür Sayısı değerleri” ile “Yıllık Yüksek Kaplama Sıcaklık Toplam Tekrar Sayısı (YYKS TTS) ile 1/Yıllık Düşük Kaplama Yüzeyi Sıcaklık Toplam Tekrar Sayısı (1/YDKS TTS) değerleri model parametreleri olarak kullanılmıştır.

Model parametrelerinden kaplama kalınlıklarının değerlendirilmeye alınan otoyol kesimlerinde genelde aynı kalınlıkta olması nedeniyle modele katkısının olmadığı görülmüştür.

Şöyle ki analizde kullanılan $T_{8,2}$, YYKSTTS ile 1/YDKSTTS parametrelerine ilave olarak kaplama kalınlığının kullanılması halinde; model katsayıları çizelgesinde kaplama kalınlığına ait t istatistik değerinin **$t=1,35$** olduğu, dolayısıyla gerek bu değer, **t** istatistiği çizelgesinden (ASM, İrwing, W.B 1974) bulunan 2,042 değerinden küçük olması, gerekse kalınlık parametresinin her düzeyde anlamlılık derecesini belirten **p değerinin**, gereken ölçütleri sağlamaması nedeniyle (**$p=0,188$**), $p < 0,05$ veya $0,01$ olmalıdır, **kalınlık parametresi değerlendirmeye alınmamıştır**.

Çizelge 6.6: Model katsayıları

Model	Std.mamış Katsayılar		Stand. Kts.lar	t	Anlamlılık	% 95 Güven Aralığı		Korelasyonlar			Doğ.Bağımlılık İstatistikleri	
	B	Std. Hata				Alt Sınır	Üst Sınır	Sıfır Der.	Kısmi	Yarı Kısmi	Tolerans	VIF
(SABİT)	,917	,108		8,525	,000	,696	1,138					
T82	9,855E-9	,000	,684	6,521	,000	,000	,000	,924	,788	,414	,365	2,736
YYKSTTS	-4,363E-6	,000	-,434	-,859	,398	,000	,000	,609	-,166	-,054	,016	63,498
1/YDKSTTS	-125,278	63,403	-,222	-1,976	,059	-255,604	5,048	,212	-,361	-,125	,320	3,128
MAX.TOP. YAĞIŞ TS	1,285E-6	,000	,374	1,228	,230	,000	,000	,744	,234	,078	,043	23,009
MAX NEM TS	2,945E-7	,000	,362	,850	,403	,000	,000	,583	,165	,054	,022	45,002
YMAX KAR ÖRTTS	1,222E-5	,000	,114	,751	,459	,000	,000	,745	,146	,048	,174	5,744

a. Bağımlı değişken: IRI

Kurulan modele ait tanımlayıcı istatistikler, Çizelge 6.7’de, Model özeti ise Çizelge 6.8’de, Varyans analizi Çizelge 6.9’da, doğrusal bağımlılık durumu Çizelge 6.10’da verilmiştir.

Çizelge 6.7: Tanımlayıcı istatistikler

	Ortalama	Std. Sapma	N
IRI	1,5324	,39279	33
T82	3,158E7	2,7270E7	33
YYKSTTS	47399,983	39091,2088	33
1/YDKSTTS	-,0009324075	,00069493426	33

Çizelge 6.8: Model özeti

Model	R	R Kare	Düzeltilmiş R Kare	Tahminin Std. Hatası	Değişim İstatistikleri				
					R Kare Değişimi	F Değişimi	df1	df2	F Değişiminin Anlamlılığı
1	,937 ^a	,879	,866	,14362	,879	70,114	3	29	,000

a. Tahmin Eden Değişkenler: (Sabit), 1/YDKSTTS,T82, YKSTTS

b. Bağımlı Değişken : IRI

Çoklu korelasyon katsayısı, **R=0,937** dir. R^2 ; bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni açıklama miktarını göstermektedir. Regresyon denkleminin uygunluk ölçüsü olarak da kullanılan R^2 , regresyon modeli ile açıklanabilen değişimin toplam değişim içindeki yüzdesidir [52]. Bir başka deyişle R^2 , bağımlı değişkenin varyansının regresyon modeli ile açıklanan oranı olarak da tanımlanabilir. Ancak bağımsız değişkenlerin model ile ilişkisini doğru yorumlamak için düzeltilmiş R^2 ye bakılmalıdır. Çünkü düzeltilmiş R^2 , yalnızca eklenen değişken model ile ilişkili ise artmaktadır [52]. Kurulan Modeldeki R^2 değeri 0,879, düzeltilmiş R^2 değeri ise 0,866'dır. Yani IRI değerlerinin tahmininde, toplam değişimin % **86,6**'sının, ele alınan $T_{8,2}$, YKSTTS ve 1/YDKSTTS bağımsız değişken parametreleri tarafından açıklanabilmekte olduğunu göstermektedir.

Çizelge 6.9: Varyans analizi (Anova^b)

Model		Kareler Toplamı	df	Kareler Ortalaması	F	Anlamlılık p
1	Regression	4,339	3	1,446	70,114	,000 ^a
	Kalıntı	,598	29	,021		
	Toplam	4,937	32			

a. Tahmin eden Değişkenler: (sabit), 1/YDKSTTS, T82,YYKSTTS

b. Bağımlı Değişken: IRI

Çizelge 6.9’da verilen varyans analizinde 0,95 güvenirlilik düzeyinde kullanılan parametrelerin etkisi görülmektedir. ANOVA çizelgesi, modelin bir bütün olarak anlamlı olup, olmadığını göstermektedir.

F dağılımı çizelgesine göre [52], $F_{HESAP} = 70,114 > F_{TABLO(3,29;\alpha:0,05)} = 2,93$ olduğu için doğrusal ilişkinin anlamlı olduğu ya da y değişkenindeki değişimin x_1 , x_2 ve x_3 değişkenlerince açıklanabildiği söylenebilmektedir. Başka bir deyişle model bir bütün olarak her düzeyde anlamlı olduğunu göstermektedir ($p = 0,000$).

Çizelge 6.10’da regresyon katsayıları ve buna ilişkin t istatistikleri görülmektedir. Daha önce bahsedilen F istatistiği, modelin bir bütün olarak anlamlılığını test etmek için kullanılırken, t istatistiği değişkenlerin ayrı ayrı anlamlılıklarını test etmek amacıyla kullanılmaktadır [52]. Çizelgede görülen t istatistik değerlerinden, modeldeki değişkenlerin ayrı ayrı her düzeyde anlamlı olduğu p anlamlılık değerinden anlaşılmaktadır ($p < 0,05$ veya $0,01$).

Yine $T_{8,2}$ parametresi için bulunan 9,333 değerinin, YYKSTTS için bulunan 2,405 değerinin ve yine 1/YDKSTTS için bulunan -2,097 değerinin t istatistiği çizelgesinden (Applied Statistical Methods, İrwing, W.B 1974) bulunan 2,042 değerinden büyük olması, seçilen parametrelerin uygunluğunu ortaya koymaktadır.

Çizelge 6.10: Model katsayıları ve doğrusal bağımlılık durumu

Model	Standartlaştırılmamış Katsayılar		Std. Kats.	t	Anlamlılık p	%95 Güven Aralığı (B için)		Korelasyonlar			Doğal Bağımlılık İstatistikleri	
	B	Std. Hata	Beta			Alt Sınır	Üst Sınır	Sıfır Der.	Kısmi	Yarı Kısmi	Tolerans	VIF
(Sabit)	,906	,098		9,226	,000	,705	1,106					
T82	1,154E-8	,000	,801	9,333	,000	,000	,000	,924	,866	,603	,567	1,763
YYKSTTS	3,068E-6	,000	,305	2,405	,023	,000	,000	,609	,408	,155	,259	3,856
1/YDKSTTS	-125,728	59,953	-,222	-2,097	,045	-248,345	-3,112	,212	-,363	-,136	,371	2,693

a. Bağımlı Değişken: IRI

Modelde yakın doğrusal bağımlılık sorunu olup olmadığını gösteren diğer bir istatistik VIF (Varyans Şişme Değeri) değerleridir. Uygulamada VIF değerlerinin 5 ya da 10’un üzerinde olması güçlü çoklu bağlantının bir göstergesidir.

Bazı araştırmacılar VİF değerinin ancak 30'un üzerinde olması durumunda ilgili değişkenler arasında güçlü çoklu bağlantı olduğunu göstermektedir [52]. Çizelge 6.10'da verilen VİF değerlerinden, kurulan modelde bağımsız değişkenler arasında çoklu doğrusal bağıntı olmadığı görülmektedir.

Beta değerleri bağımsız değişkenlerin önem sırasını göstermektedir. Beta değeri daha büyük olan değişken daha önemlidir.

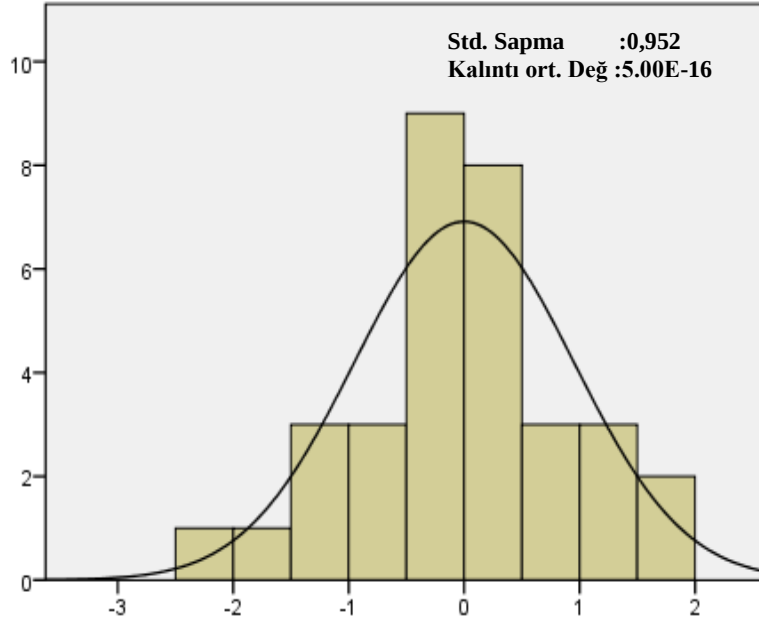
Çizelge 6.10'da ki katsayılarla oluşturulan model;

$$\text{IRI} = 0,906 + 1,154 \times 10^{-8} \times T_{8,2} + 3,068 \times 10^{-6} \times \text{YYKS TTS} \\ - 125,728 \times (1 / \text{YDKSTTS}) \quad (6.5)$$

şeklinde olup, bir mevcut hizmet kabiliyeti sınıflaması (PSR) performans tahmin eşitliğidir. Formülde; IRI değerleri, düzgünsüzlük değerini, $T_{8,2}$ Eşdeğer Standart Dingil Yüğü değerini, YYKSTTS, Yıllık Yüksek Kaplama Sıcaklık Toplam Tekrar Sayısını, YDKSTTS, Yıllık Düşük Kaplama Yüzeyi Sıcaklık Toplam Tekrar Sayısı değerini ifade etmektedir.

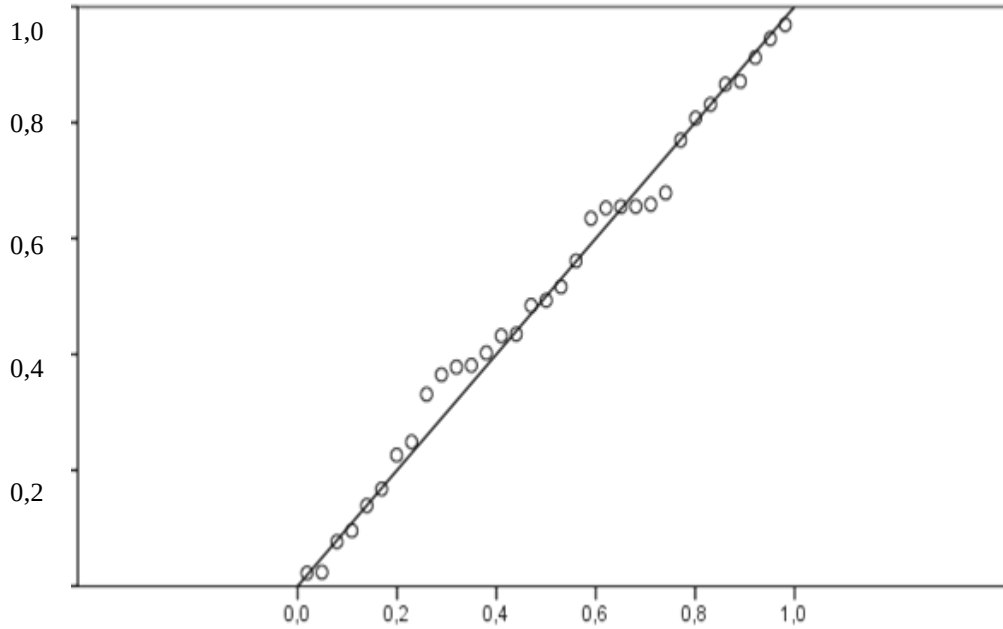
Hataların normal dağılımı, regresyon çözümlemesinin varsayımlarından biridir. Normallikten ciddi sapmalar söz konusu olduğunda, bu varsayıma bağlı olan güven aralıkları, t ve F istatistiklerinde sorunlar çıkarabilir. Normallik varsayımının yerine gelip gelmediği artıkların incelenmesi ile yapılır [52]. Normal dağılımda ortalama sıfır (0), standart sapma 1 (bir)' dir.

Şekil 6.6'deki histogramda standartlaştırılmış kalıntıların ortalama değeri sıfır ve standart sapması 0,952 dir. Yani kalıntıların normal dağıldığı söylenebilir.



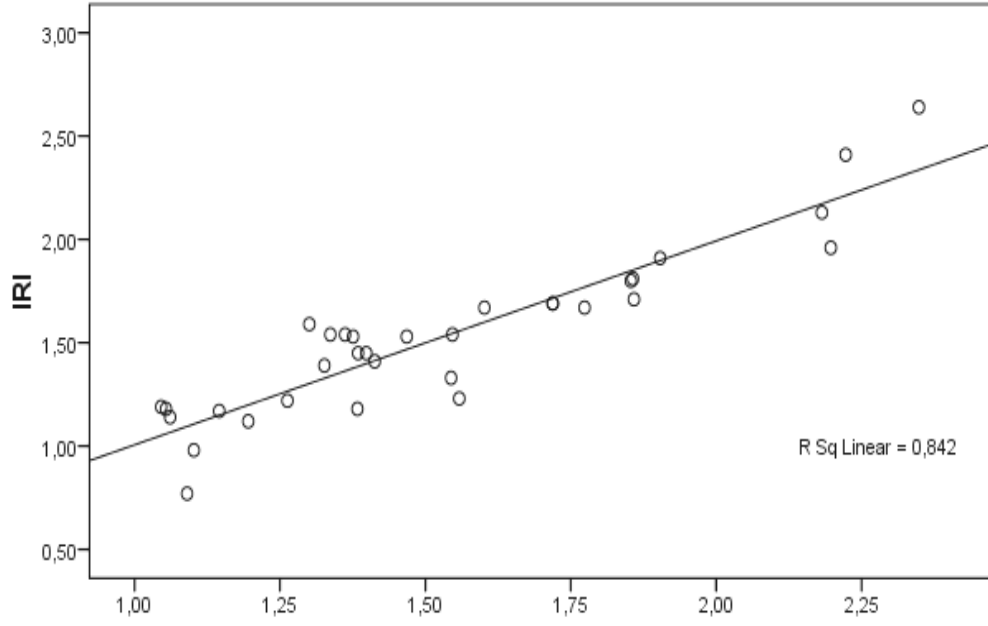
Şekil 6.6: Standartlaştırılmış kalıntıların histogramı

Şekil 6.7’de ise standartlaştırılmış kalıntıların normal P-P grafiği görülmektedir. Saçılımın doğru üzerinde veya etrafında kümelenmiş olması kalıntıların normal dağıldığını göstermektedir.

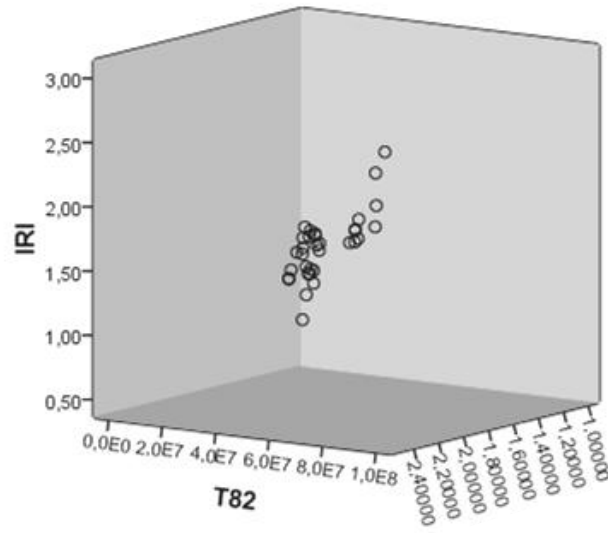


Şekil 6.7: Standartlaştırılmış kalıntıların normal P-P grafiği

KGM tarafından ölçülen gerçek arazi IRI değerleri ile regresyon modelince tahmin edilen IRI değerlerinden oluşan grafikler Şekil 6.8 ve Şekil 6.9’da verilmektedir.

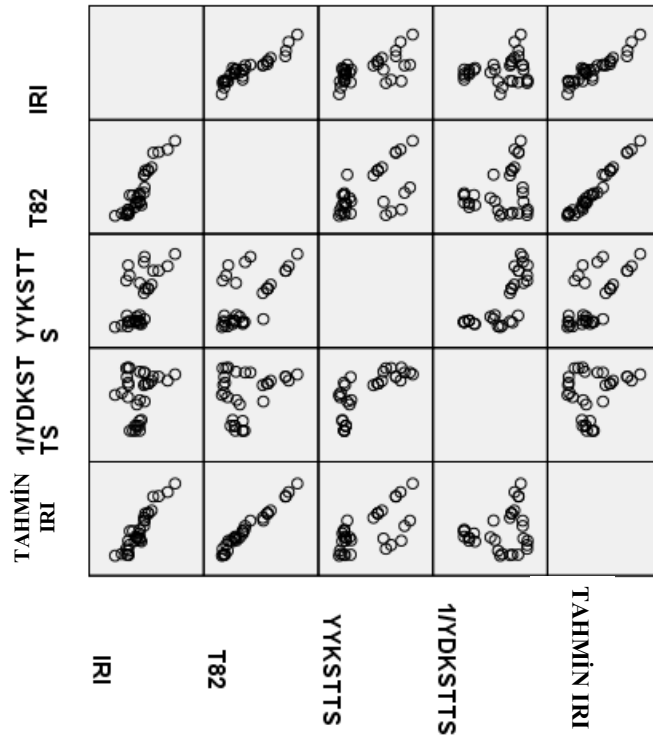


a) Gerçek IRI değerleri ile Model IRI değerlerinin kıyaslanması

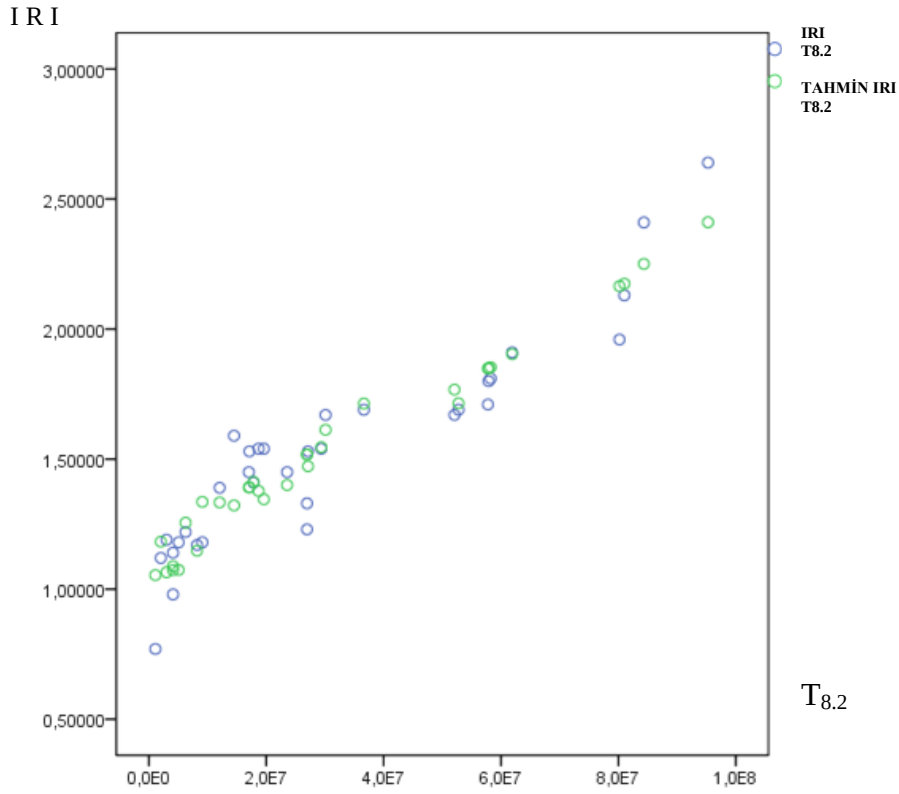


b) Model parametreleri arasındaki ilişkinin üç boyutlu gösterimi

Şekil 6.8: Ölçülen IRI değerleri ile modelden hesaplanan IRI değerlerinin kıyaslaması



a) Model parametreleri ilişkileri



b) Model ve gerçek IRI değerlerinin $T_{8.2}$ ile değişim grafiği

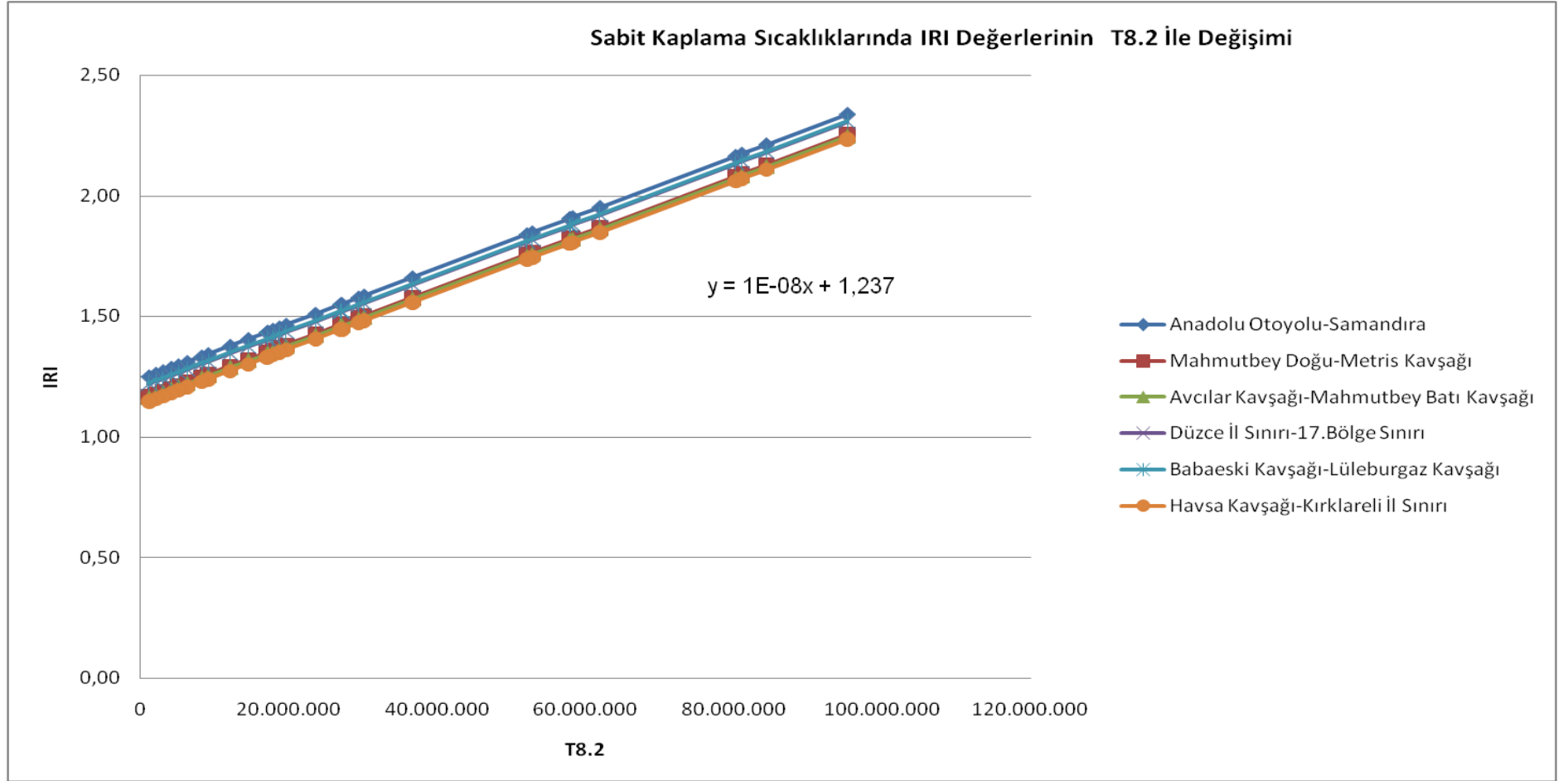
Şekil 6.9: Ölçüm IRI değerleri ile model IRI değerlerinin $t_{8.2}$ ile karşılaştırılması

Regresyon Analizi İle Tahmin Edilen IRI Değerlerinin İrdelenmesi

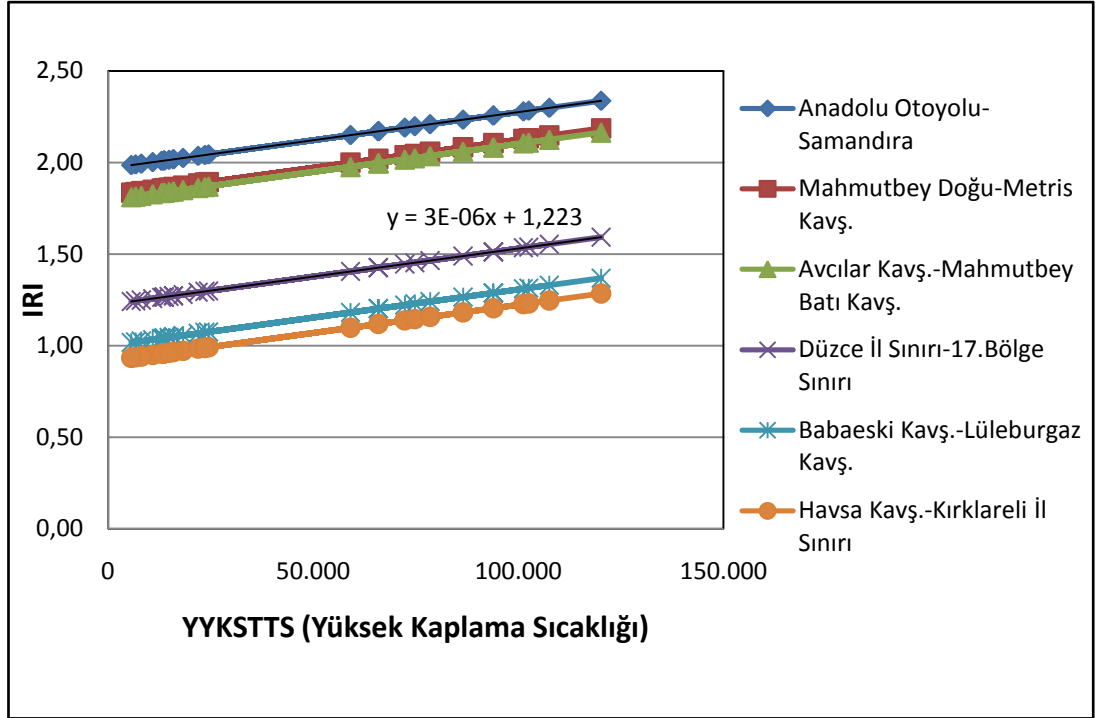
Modellemeden sonra,bozulmalara neden olan etkenlerin düzgünsüzlük değeri IRI' ye etkilerini incelemek amacıyla çizelge ve grafikler oluşturulmuştur. Bu bağlamda ilk olarak farklı $T_{8,2}$ Eşdeğer Standart Dingil Yüğü değerlerinde ve sabit Yüksek Kaplama Sıcaklık Toplamı Tekrar Sayısı ile Düşük Kaplama Yüzeyi Sıcaklık Toplam Tekrar Sayısı değerlerinin model tahmin IRI' ya olan etkisi Çizelge 6.11'de, grafiği ise Şekil 6.10'de verilmiştir. Sabit, $T_{8,2}$ değerleri ile düşük kaplama sıcaklık değerlerinde,yüksek kaplama sıcaklık değerlerinin model tahmin IRI' ya olan etkisi Şekil 6.11'de, Sabit $T_{8,2}$ Değerleri ve yüksek kaplama sıcaklıklarında IRI-1/YDKSTTS değişimi Şekil 6.12'de verilmiştir.

Çizelge 6.11: Sabit kaplama sıcaklıklarında IRI değerlerinin $T_{8,2}$ ile değişimi

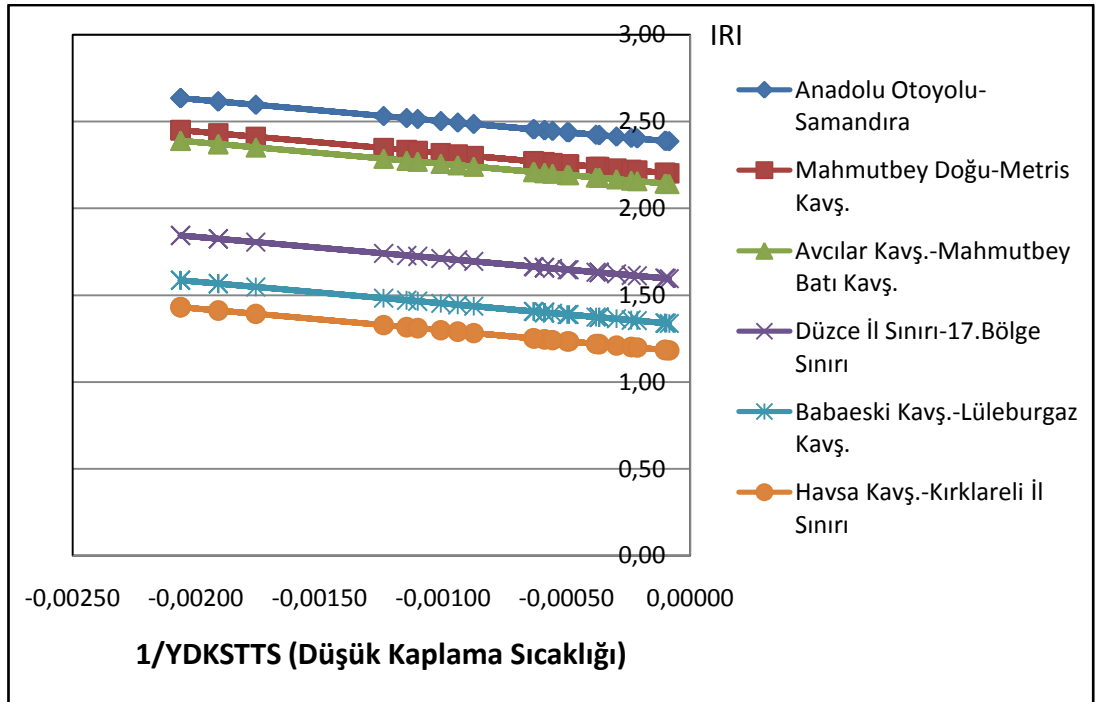
T8.2	YYKSTTS-1/YDKSTTS											
	120170,5	-0,0002987	101238,897	-0,00049094	93918,90	-0,000369	107544,6	-0,0002389	102526,24	-0,000085	78480,25	-0,00010317
	Anadolu Otoyolu-Samandıra		Mahmutbey Doğu-Metris Kavşağı		Avcılar Kavş.-Mahmutbey Batı Kavş.		Düzce İl Sınırı-17.Bölge Sınırı		Babaeski Kavş.-Lüleburgaz Kavş.		Havsa Kavş.-Kırklareli İl Sınırı	
95.272.825	2,34		2,25		2,25		2,31		2,31		2,23	
84.343.993	2,21		2,13		2,12		2,18		2,18		2,11	
81.018.091	2,17		2,09		2,08		2,14		2,14		2,07	
80.193.334	2,16		2,08		2,07		2,13		2,14		2,06	
61.894.236	1,95		1,87		1,86		1,92		1,92		1,85	
58.224.485	1,91		1,83		1,82		1,88		1,88		1,81	
57.887.167	1,91		1,82		1,82		1,87		1,88		1,80	
57.776.377	1,90		1,82		1,81		1,87		1,88		1,80	
52.769.689	1,85		1,76		1,76		1,81		1,82		1,74	
52.066.765	1,84		1,76		1,75		1,81		1,81		1,73	
30.103.591	1,58		1,50		1,50		1,55		1,56		1,48	
29.368.989	1,58		1,49		1,49		1,54		1,55		1,47	
27.106.955	1,55		1,47		1,46		1,52		1,52		1,45	
26.947.891	1,55		1,47		1,46		1,52		1,52		1,44	
23.553.241	1,51		1,43		1,42		1,48		1,48		1,41	
19.598.281	1,46		1,38		1,37		1,43		1,44		1,36	
18.692.591	1,45		1,37		1,36		1,42		1,43		1,35	
17.825.137	1,44		1,36		1,35		1,41		1,42		1,34	
17.045.172	1,43		1,35		1,34		1,40		1,41		1,33	
12.059.765	1,38		1,29		1,29		1,35		1,35		1,27	
9.105.211	1,34		1,26		1,25		1,31		1,31		1,24	
8.220.145	1,33		1,25		1,24		1,30		1,30		1,23	
6.260.969	1,31		1,23		1,22		1,28		1,28		1,21	
5.075.123	1,30		1,21		1,21		1,26		1,27		1,19	
4.112.291	1,28		1,20		1,20		1,25		1,26		1,18	
4.112.288	1,28		1,20		1,20		1,25		1,26		1,18	
3.006.238	1,27		1,19		1,18		1,24		1,24		1,17	
2.035.619	1,26		1,18		1,17		1,23		1,23		1,16	
1.109.991	1,25		1,17		1,16		1,22		1,22		1,15	



Şekil 6.10: IRI değerlerinin T_{8.2} ile değişimi



Şekil 6.11: Sabit $T_{8.2}$ ve düşük kaplama sıcaklığında, IRI - YYKSTTS değişimi



Şekil 6.12: Sabit $T_{8.2}$ değerleri ve yüksek kaplama sıcaklıklarında IRI-1/YDKSTTS değişimi

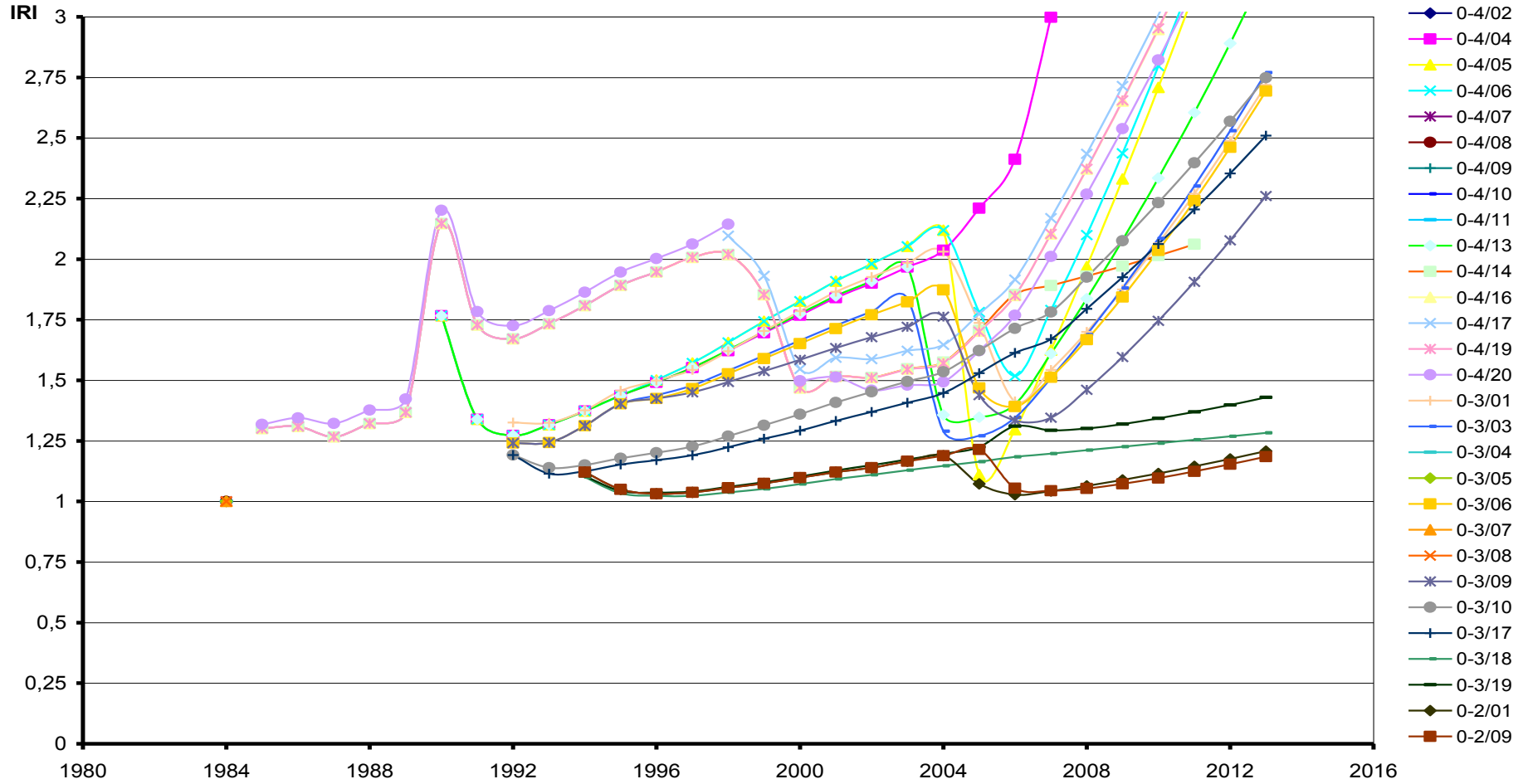
Çok katlı regresyon tekniği ile geliştirilen modele göre, eşdeğer standart dingil yükü değerlerine ve kaplama sıcaklıklarına bağlı olarak Otoyol Ağının göz önüne alınan her bir kesimine ait IRI değerinin, yolun yapıldığı tarihten itibaren 20 yıllık değişimleri, Çizelge. 6.12, Çizelge. 6.13 ve Şekil. 6.13’de verilmiştir.

Çizelge 6.12: Tüm otoyol ağındaki IRI değerlerinin modelden hesaplanan 20 yıllık değişimleri

KESİM NO	MODEL IRI DEĞERLERİ															
	(0-4/02)	(0-4/04)	(0-4/05)	(0-4/06)	(0-4/07)	(0-4/08)	(0-4/09)	(0-4/10)	(0-4/11)	(0-4/13)	(0-4/14)	(0-4/16)	(0-4/17)	(0-4/19)	(0-4/20)	(O-3/01)
YIL																
1984					0,30	0,45	0,45	0,45	0,47							
1985					0,74	0,74	0,74	0,74	0,76							
1986					0,85	0,85	0,85	0,85	0,88							
1987					1,01	1,01	1,01	1,01	1,07							
1988					1,09	1,09	1,09	1,09	1,14							
1989					1,18	1,18	1,18	1,18	1,24							
1990	0,18	0,18	0,18	0,18	0,56	0,56	0,56	0,56	0,62							
1991	0,74	0,74	0,74	0,74	1,13	1,13	1,13	1,13	1,19							
1992	0,96	0,96	0,96	0,96	1,36	1,36	1,36	1,36	1,41	0,67	0,76	0,76	0,76	0,71	0,71	
1993	1,06	1,06	1,06	1,06	1,47	1,47	1,47	1,47	1,53	0,86	0,96	0,96	0,96	0,85	0,83	
1994	1,15	1,15	1,15	1,15	1,58	1,58	1,58	1,58	1,64	1,02	1,09	1,09	1,09	0,93	0,91	0,76
1995	1,23	1,23	1,23	1,23	1,68	1,68	1,68	1,68	1,74	1,13	1,21	1,21	1,21	0,99	0,96	0,87
1996	1,30	1,31	1,31	1,30	1,76	1,76	1,76	1,76	1,81	1,23	1,27	1,26	1,26	1,04	1,01	0,92
1997	1,40	1,42	1,42	1,40	1,86	1,86	0,91	1,86	1,91	1,34	1,35	1,33	1,32	1,09	1,06	0,96
1998	1,48	1,51	1,51	1,48	0,20	0,20	0,30	0,20	2,00	1,43	1,42	1,41	1,37	1,15	1,10	0,99
1999	1,56	1,60	1,60	1,56	0,31	0,31	0,38	0,31	2,14	1,52	1,49	1,48	1,43	1,20	1,15	1,02
2000	1,65	1,71	1,71	1,65	0,88	0,88	0,96	0,88	0,68	1,63	1,57	1,56	1,49	1,27	1,20	1,05
2001	1,72	1,79	1,79	1,73	1,01	1,01	1,08	1,01	0,83	1,72	1,63	1,62	1,54	1,32	1,24	1,08
2002	1,79	1,87	1,87	1,80	1,16	1,16	1,24	1,16	1,04	1,80	1,70	1,69	1,60	1,37	1,29	1,11
2003	1,87	1,95	1,95	1,87	1,27	1,26	1,34	1,26	1,15	1,87	1,76	1,75	1,64	1,42	1,33	1,14
2004	1,95	2,03	2,03	1,57	1,37	1,37	1,44	1,36	1,26	1,93	0,63	1,80	1,69	1,47	1,38	1,17
2005	2,13	1,03	0,36	0,84	1,52	1,52	1,59	1,52	1,42	0,31	0,89	0,59	0,56	1,56	1,47	1,20
2006	>2,13	1,22	1,00	1,40	1,71	1,70	1,77	1,70	1,61	1,41	1,35	0,91	1,33	1,65	1,55	1,23
2007	>2,13	1,55	1,39	1,34	1,98	1,97	2,04	1,97	1,87	1,13	1,28	1,16	0,99	1,72	1,61	1,26
2008	>2,13	1,80	1,77	1,60	>2,13	>2,13	>2,13	>2,13	>2,13	1,36	1,49	1,38	1,18	1,87	1,74	1,29
2009	>2,13	>2,13	>2,13	1,87	>2,13	>2,13	>2,13	>2,13	>2,13	1,58	1,71	1,61	1,36	2,02	1,87	1,32
2010	>2,13	>2,13	>2,13	>2,13	>2,13	>2,13	>2,13	>2,13	>2,13	1,81	1,93	1,84	1,54	>2,13	2,01	1,35
2011	>2,13	>2,13	>2,13	>2,13	>2,13	>2,13	>2,13	>2,13	>2,13	2,04	>2,13	2,07	1,73	>2,13	>2,13	1,39
2012	>2,13	>2,13	>2,13	>2,13	>2,13	>2,13	>2,13	>2,13	>2,13	>2,13	>2,13	>2,13	1,92	>2,13	>2,13	1,42
2013	>2,13	>2,13	>2,13	>2,13	>2,13	>2,13	>2,13	>2,13	>2,13	>2,13	>2,13	>2,13	>2,13	>2,13	>2,13	1,46

Çizelge 6.13: IRI değerinin modelden hesaplanan 20 yıllık değişimleri

KESİM NO	MODEL IRI DEĞERLERİ												
	(O-3/03)	(O-3/04)	(O-3/05)	(O-3/06)	(O-3/07)	(O-3/08)	(O-3/09)	(O-3/10)	(O-3/17)	(O-3/18)	(O-3/19)	(O-2/01)	(O-2/09)
YIL													
1984													
1985													
1986													
1987													
1988													
1989												0,31	0,34
1990									0,40	0,57	0,62	0,52	0,57
1991									0,59	0,60	0,59	0,82	0,89
1992					0,82	0,66	1,11	1,10	0,83	0,65	0,83	0,94	1,04
1993				0,82	0,91	0,82	0,82	0,82	0,92	0,84	0,93	1,01	1,15
1994	0,76	0,74	0,74	0,90	0,96	0,88	0,88	0,89	0,98	0,93	0,99	1,07	1,25
1995	0,87	0,86	0,86	0,94	0,99	0,91	0,92	0,92	1,04	1,02	1,05	1,13	1,35
1996	0,92	0,92	0,92	0,98	1,03	0,96	0,96	0,97	1,10	1,11	1,12	1,20	1,45
1997	0,96	0,96	0,96	1,02	1,06	0,99	1,00	1,01	1,17	1,19	1,19	1,26	1,56
1998	0,99	0,99	0,99	1,05	1,09	1,02	1,03	1,04	1,24	1,25	1,26	1,33	1,66
1999	1,02	1,02	1,02	1,08	1,12	1,05	1,06	1,07	1,31	1,31	1,33	1,39	1,75
2000	1,05	1,05	1,05	1,11	1,15	1,08	1,09	1,10	1,37	1,38	1,40	1,46	1,84
2001	1,08	1,07	1,07	1,14	1,19	1,10	1,12	1,14	1,43	1,45	1,46	1,52	1,93
2002	1,11	1,10	1,10	1,17	1,22	1,13	1,15	1,17	1,49	1,52	1,52	1,58	2,02
2003	1,14	1,13	1,13	1,20	1,25	1,16	1,18	1,20	1,55	1,61	1,59	1,65	2,11
2004	1,17	1,16	1,16	1,24	1,29	0,74	0,74	1,24	1,63	1,71	1,65	1,73	2,22
2005	1,20	0,79	1,19	1,28	0,79	0,82	0,86	1,28	0,50	1,80	1,83	1,90	1,95
2006	1,06	0,90	0,82	1,32	0,91	0,92	0,93	1,32	1,30	1,97	2,01	2,09	0,87
2007	1,13	0,94	0,89	1,36	0,98	0,98	0,99	1,38	1,13	>2,13	>2,13	>2,13	>2,13
2008	1,18	0,98	0,94	1,40	1,04	1,03	1,05	1,44	1,38	>2,13	>2,13	>2,13	>2,13
2009	1,23	1,02	0,98	1,44	1,10	1,08	1,10	1,50	1,63	>2,13	>2,13	>2,13	>2,13
2010	1,27	1,05	1,02	1,48	1,16	1,13	1,16	1,56	1,88	>2,13	>2,13	>2,13	>2,13
2011	1,30	1,09	1,06	1,53	1,22	1,18	1,22	1,63	>2,13	>2,13	>2,13	>2,13	>2,13
2012	1,34	1,13	1,09	1,57	1,27	1,23	1,27	1,69	>2,13	>2,13	>2,13	>2,13	>2,13
2013	1,38	1,16	1,13	1,62	1,33	1,29	1,33	1,76	>2,13	>2,13	>2,13	>2,13	>2,13



Şekil 6.13: Edirne Düzce arasında değerlendirmeye alınan 29 farklı kesimin IRI değerlerinin modelden hesaplanan 20 yıllık değişimleri

RN için çok katlı regresyon ve varyans analizi

Bu çalışmada; gidiş-dönüş olmak üzere 886,4 km.lik, Batı-Doğu ve Kuzey-Güney istikametindeki (Edirne-İstanbul, İstanbul-Adapazarı-Düzce İl Sınırı),Trakya ve Anadolu Otoyolu'nun KGM tarafından 1997,1998 ve 2000 yıllarında düzgünsüzlük ölçümleri yapılan 198 ayrı kesimi göz önüne alınmıştır (Çizelge 6.14, Çizelge 6.15).

Çoklu doğrusal regresyon modellerinde değişken seçilmesi yöntemlerinden “geriye doğru çıkarma yöntemi” [52] kullanılarak, çok katlı regresyon ve varyans analizinde bağımsız değişken olarak kullanılmak üzere; trafik parametresi olarak $T_{8.2}$ Eşdeğer Standart Dingil Yüğü değerleri ve iklim parametreleri olarak da; Yıllık Yüksek Kaplama Sıcaklık Toplam Tekrar Sayısı (YYKSTTS), Yıllık Düşük Kaplama Yüzeyi Sıcaklık Toplam Tekrar Sayısı (YDKSTTS), Yıllık Maksimum ve Minimum Sıcaklık Farklarının Maksimum Sıcaklık Değeri Toplam Tekrar Sayısı (YMAX-MİN SFMAXTTS), Yıllık Maksimum Yağış Toplam Tekrar Sayısı (YMYAĞ.TTS), Yıllık Ortalama Nem Toplam Tekrar Sayısı (YONTTS), Yıllık Maksimum Kar Örtüsü Toplam Tekrar Sayısı (YMKTTTS), değerleri kullanılmıştır.

Değişkenler arasındaki içsel bağımlılık katsayıları Çizelge 6.16'da verilmiştir. Matriste her ne kadar bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken ile yüksek bir ilişki içinde olmadığı görülmesine rağmen, bağımsız değişkenlerin kendi aralarında içsel bağımlılığın kabul edilebilir düzeyde düşük olması, ölçüm sayısına bağlı olarak bağımlı değişkeni açıklamada bağımsız değişkenlerin göreceli önemleri dikkate alındığında modele katkılarının olabileceği öngörüsü ile Çizelge 6.17'de verilen genel model özetinden ve Çizelge 6.18'de verilen t istatistiği değerlerinden p değerlerinin gereken ölçütleri sağlaması nedeniyle, modelde bağımsız değişken olarak; $T_{8.2}$ Eşdeğer Standart Dingil Yüğü değerleri, 1/YYKSTTS, 1/YDKS TTS, 1/YMAX-MİNSFMAXTTS, 1/YONTTS ve Yıllık Maksimum Kar Örtüsü Toplam Tekrar Sayısı YMKTTTS değerleri kullanılmıştır.

Analizde, Yağış değerlerinin diğer parametrelerle yüksek ilişki içerisinde bulunması ve anlamlılık derecesi yönünden değerlendirmeye alınmamıştır. Yine kaplama kalınlıklarının değerlendirmeye alınan otoyol kesimlerinde fazla bir değişkenlik göstermemesi nedeniyle gerek t istatistiği gerekse anlamlılık yönünden gerek ve yeter şartları sağlamadığından değerlendirmeye alınmamıştır.

Çizelge 6.14: Trakya otoyoluna ait bilgiler

TRAKYA OTOYOLU	KKK NO	KESİMLER	ŞERİT SAYISI	ÜSTYAPI KALINLIĞI	TOPLAM KALINLIK	TRAFİĞE AÇILDIĞI YIL	BAKIM YILI	RN	T8.2	RN	T8.2	RN	T8.2
				Aş,Bn,Bt,Çb,Gt,At	cm			1997	1997	1998	1998	2000	2000
Edirne Doğu Kavşağı-Havsa kavşağı	0-3/03	(24+800)15+800-35+700 (44+631)	2x3	5, 8 12, 22, 28	75	1994	2006	3,45	1582646	3,60	1985576	3,86	2680684,225
Havsa Kavşağı-Kırklareli II Sınırı	0-3/04	(44+631) 35+700-40+700	2x3	5, 8 12, 22, 28	75	1994	2005	3,94	1691937	3,93	2147559	3,86	2938470,73
Kırklareli II Sınırı-Babaeski Kavşağı	0-3/05	40+700-45+700	2x3	5, 8 12, 22, 28	75	1994	0	3,94	1691937	3,93	2147559	3,86	2938470,73
		45+700-62+900	2x3	5, 8 12, 22, 28	75	1994	2006	3,94	1691937	3,93	2147559	3,86	2938470,73
		(71+810) 62+900-64+040	2x3	5, 8 12, 22, 28	75	1993	2005	4,04	2511001	3,71	3103136	3,61	4148534,169
		64+040-68+610	2x3	5, 8 12, 22, 28	75	1993	0	4,03	2511001	3,71	3103136	3,61	4148534,169
Babaeski Kavşağı-Lüleburgaz Kavşağı	0-3/06	68+610-71+210	2x3	5, 8 12, 22, 28	75	1993	2005	4,04	2511001	3,71	3103136	3,61	4148534,169
		71+210-72+500	2x3	5, 8 12, 22, 28	75	1993	0	4,03	2511001	3,71	3103136	3,61	4148534,169
		72+500-75+500	2x3	5, 8 12, 22, 28	75	1993	2005	4,04	2511001	3,71	3103136	3,61	4148534,169
		75+500-87+300(96+000)	2x3	5, 8 12, 22, 28	75	1993	2005	4,03	2511001	3,71	3103136	3,61	4148534,169
		(96+000) 87+300-88+300	2x3	5, 8 12, 22, 28	75	1992	2005	3,78	4035798	3,62	4765067	3,55	6141576,567
		88+300-102+300	2x3	5, 8 12, 22, 28	75	1992	2005	3,78	4035798	3,62	4765067	3,55	6141576,567
Lüleburgaz Kavşağı-Tekirdağlı sınırı	0-3/07	102+300-103+300	2x3	5, 8 12, 22, 28	75	1992	2003	3,78	4035798	3,62	4765067	3,55	6141576,567
		103+300-106+700	2x3	5, 8 12, 22, 28	75	1992	2004	3,78	4035798	3,62	4765067	3,55	6141576,567
		106+700-107+703	2x3	5, 8 12, 22, 28	75	1992	2004	3,78	4035798	3,62	4765067	3,55	6141576,567
Tekirdağ II Sınırı-Saray Kavşağı	0-3/08	107+703-111+993	2x3	5, 8 12, 22, 28	75	1992	2004	3,74	4035798	3,62	4765067	3,55	6141576,567
		107+703-111+993	2x3	5, 8 12, 22, 28	75	1992	2004	3,78	4035798	3,62	4765067	3,55	6141576,567
		116+100-121+100	2x3	5, 8 12, 22, 28	75	1992	2004	3,64	4722679	3,41	5601626	3,29	7322386,186
Saray Kavşağı-Çorlu Kavşağı	0-3/09	116+100-121+100	2x3	5, 8 12, 22, 28	75	1992	2004	3,64	4722679	3,41	5601626	3,29	7322386,186
		116+100-121+100	2x3	5, 8 12, 22, 28	75	1992	2004	3,58	4722679	3,41	5601626	3,29	7322386,186
Çorlu Kavşağı-İstanbul İl sınırı	0-3/10	136+300-138+300	2x3	5, 8 12, 22, 28	75	1992	0	3,43	5617119	3,23	6714021	3,23	8809073,332
		136+300-138+300	2x3	5, 8 12, 22, 28	75	1992	0	3,53	5617119	3,23	6714021	3,23	8809073,332
		143+500-147+000	2x3	5, 8 12, 22, 28	75	1992	2005	3,43	5617119	3,23	6714021	3,23	8809073,332
İstanbul İl sınırı-Çerkezköy Kavşağı	0-3/11	143+500-147+000	2x3	5, 8 12, 22, 28	75	1992	2005	3,53	5617119	3,23	6714021	3,23	8809073,332
		143+500-147+000	2x3	5, 8 12, 22, 28	75	1992	2005	3,43	5617119	3,23	6714021	3,23	8809073,332
		143+500-147+000	2x3	5, 8 12, 22, 28	75	1992	2005	3,53	5617119	3,23	6714021	3,23	8809073,332
		143+500-147+000	2x3	5, 8 12, 22, 28	75	1992	2005	3,43	5617119	3,23	6714021	3,23	8809073,332
		154+800-158+130	2x3	5, 8 12, 22, 28	75	1992	0	3,44	7732503	3,31	9267645	3,29	11906880,97
Çerkezköy Kavşağı-Kınalı I Kavşağı	0-3/12	154+800-158+130	2x3	5, 8 12, 22, 28	75	1992	0	3,47	7732503	3,31	9267645	3,29	11906880,97
		154+800-158+130	2x3	5, 8 12, 22, 28	75	1992	0	3,44	7732503	3,31	9267645	3,29	11906880,97
Kınalı I Kavşağı-Silivri I Kavşağı	0-3/13	167+100-173+900	2x3	5, 8 12, 22, 28	75	1990	0	3,26	13743171	3,18	16148835	3,24	20719077,24
		(65+500)173+900-174+900	2x2	5, 8 12, 22, 28	75	1990	2005	3,43	15411451	3,28	18197381	3,36	23625238,63
Silivri I Kavşağı-Selimpaşa Kavşağı	0-3/14	(65+500)173+900-174+900	2x2	5, 8 12, 22, 28	75	1990	2005	3,43	15411451	3,28	18197381	3,36	23625238,63
		(65+500)173+900-174+900	2x2	5, 8 12, 22, 28	75	1990	2005	3,43	15411451	3,28	18197381	3,36	23625238,63
Selimpaşa Kavşağı-Kumburgaz Kavşağı	0-3/15	186+000-193+500	2x2	5, 8 12, 22, 28	75	1990	2005	3,44	17541596	2,99	20714847	2,94	26256033,24
		193+500-195+200	2x2	5, 8 12, 22, 28	75	1990	2005	3,57	17541596	3,10	20714847	3,05	26256033,24
Kumburgaz Kavşağı-Çatalca Kavşağı	0-3/16	193+500-195+200	2x2	5, 8 12, 22, 28	75	1990	2005	3,44	17541596	2,99	20714847	3,05	26256033,24
		199+500-201+190	2x2	5, 8 12, 22, 28	75	1990	2005	3,24	21624535	2,80	25624231	2,96	33493181,74
		199+500-201+190	2x2	5, 8 12, 22, 28	75	1990	2005	3,02	21624535	2,80	25624231	2,96	33493181,74
Çatalca Kavşağı-Hadımköy Kavşağı	0-3/17	199+500-201+190	2x2	5, 8 12, 22, 28	75	1990	2005	3,02	21624535	2,80	25624231	3,16	33493181,74
		199+500-201+190	2x2	5, 8 12, 22, 28	75	1990	2005	3,24	21624535	2,80	25624231	3,16	33493181,74
		199+500-201+190	2x2	5, 8 12, 22, 28	75	1990	2005	3,02	21624535	2,80	25624231	2,96	33493181,74
Hadımköy Kavşağı-Avcılar Kavşağı	0-3/18	211+600-217+600	2x2	5, 8 12, 22, 28	75	1990	0	3,33	26498740	3,00	29633558	3,15	36706880,48
Avcılar Kavşağı-Mahmutbey Batı Kavşağı	0-3/19	217+600-229+000	2x3	5, 8 12, 22, 28	75	1990	0	2,88	27367831	3,11	30991795	3,22	38603957,02
Mahmutbey Batı Kavşağı-Mahmutbey Doğu	0-3/200	229+000-231+720	2x3	5, 8 12, 22, 28	75	1989	0	2,86	30693733	2,81	34317697	2,70	41929859,28
Mahmutbey Doğu-Metris Kavşağı	0-2/01	231+720-235+200	2x3	5, 8 12, 22, 28	75	1989	0	3,17	30693733	2,99	34317697	3,34	41929859,28
		235+200-238+700	2x3	5, 8 12, 22, 28	75	1989	0	3,18	30693733	3,16	34317697	2,79	41929859,28
Metris Kavşağı-Kemerburgaz Kavşağı	0-2/02	238+700-242+900	2x3	5, 8 12, 22, 28	75	1989	0	3,18	30693733	3,16	34317697	2,79	41929859,28
Kemerburgaz Kavşağı-Hasdal kavşağı	0-2/03	242+900-243+800	2x3	5, 8 12, 22, 28	75	1989	0	3,18	30693733	3,16	34317697	3,16	41929859,28

Çizelge 6.15: Anadolu otoyoluna ait bilgiler

ANADOLU OTOYOLU	KKK NO	KESİMLER	ŞERİT SAYISI	ÜSTYAPI KALINLIĞI	UYGULANAN ÜSTYAPI KALINLIĞI	TRAFİĞE AÇILDIĞI YIL	BAKIM YILI	RN	T8.2	RN	T8.2	RN	T8.2
				Aş,Bn,Bt,Çb,Gt,At	cm			1997	1997	1998	1998	2000	2000
Anadolu Otoyolu-Samandıra	0-4/02	0+00-3+500	2x3	4, 5, 10,15,20	54	1990	2004	2,55	34939118	2,85	39666034	2,32	49094038
Samandıra-Kurtköy	0-4/03	7+400-19+500	2x3	4, 5, 10,15,20	54	1990	2005	2,70	34939118	2,85	40201047	2,59	50550073
Kurtköy-Kocaeli İl Sınırı	0-4/04	19+500-27+800	2x3	4, 5, 10,15,20	54	1990	2005	2,83	36629121	2,62	42595905	2,68	54149718
Kocaeli İl Sınırı - Şekerpınar Kavşağı	0-4/05	27+800-28+900	2x3	4, 5, 10,15,20	54	1990	2005	2,83	36633910	2,62	42601293	2,68	54156303
Şekerpınar kavşağı-Gebze Kavşağı	0-4/06	28+900-39+100	2x3	4, 5, 10,15,20	54	1990	2004	2,48	34951413	2,54	39913435	2,76	49695825
Dilovası Kavşağı-Batı Hereke Kavşağı	0-4/08	45+300-51+400	2x3	4, 5, 10,15,20	54	1984	1998	3,05	64462123	3,00	5739581	3,34	17395785
Batı Hereke Kavşağı-Doğu Hereke Kavşağı	0-4/09	51+400-53+800	2x3	4, 5, 10,15,20	54	1984	1997	3,05	64462123	3,00	10772194	3,15	22428398
Doğu Hereke Kavşağı-Körfez Kavşağı	0-4/10	53+800-67+200	2x3	4, 5, 10,15,20	54	1984	1998	3,05	64462123	3,00	5739581	3,61	17395785
Körfez Kavşağı-İzmit Batı	0-4/11	67+200-74+400	2x3	4, 5, 10,20,35	74	1984	1999	3,05	9091221	3,00	14830802	3,59	11656204
İzmit Batı-Kandıra Kavşağı	0-4/12	74+400-86+200	2x3	4, 5, 10,20,35	74	1992	2000	3,05	41999866	3,00	47739447	2,96	6105169
Kandıra Kavşağı-İzmit Doğu	0-4/13	86+200-95+700	2x3	5, 8 12, 22, 28	75	1992	2005	3,05	35672948	3,00	41412529	3,27	53068733
İzmit Doğu Kavşağı-Sakarya İl Sınırı	0-4/14	95+700-103+850	2x3	5, 8 12, 22, 28	75	1992	2004	3,08	32180781	3,19	36075210	3,33	43682294
		103+850-108+600	2x3	5, 8 12, 22, 28	75	1992	2005	3,08	32180781	3,19	36075210	3,33	43682294
Sakarya İl Sınırı-Sapanca Kavşağı	0-4/15	108+600-110+200	2x3	5, 8 12, 22, 28	75	1992	2004	3,08	31042671	3,19	34937100	3,33	42544183
Sapanca Kavşağı-Adapazarı Kavşağı	0-4/16	110+200-123+700	2x3	5, 8 12, 22, 28	75	1992	2005	3,08	31042671	3,19	34937100	3,24	42544183
Adapazarı Kavşağı-Akyazı Kavşağı	0-4/17	123+700-129+500	2x3	5, 8 12, 22, 28	75	1992	2005	3,63	29772248	3,63	32062847	3,51	36762071
		129+500-139+500	2x3	5, 8 12, 22, 28	75	1992	2005	3,63	29772248	3,63	32062847	3,51	36762071

Çizelge 6.16: Korelasyon matrisi

	RN	T8.2	YYKSTTS	1/YYKSTTS	YDKS TTS	1/YDKSTTS	YONTTS	1/YONTTS	YMAX-MİN SFMAXTTS	1/YMAX-MİN SFMAXTTS	YMKTTS
RN	1,000	-,708**	-,376**	,057	-,610**	,407**	-,369**	,035	,316**	-,228**	-,329**
T8.2	-,708**	1,000	,585**	-,329**	,523**	-,243**	,384**	-,220**	-,043	-,098	,285**
YYKS TTS	-,376**	,585**	1,000	-,715**	-,176*	,326**	,710**	-,574**	,376**	-,325**	,470**
1/YYKSTTS	,057	-,329**	-,715**	1,000	,245**	-,586**	-,323**	,675**	-,182*	,193**	-,142*
YDKSTTS	-,610**	,523**	-,176*	,245**	1,000	-,737**	-,138	,240**	-,748**	,588**	-,226**
1/YDKSTTS	,407**	-,243**	,326**	-,586**	-,737**	1,000	,282**	-,540**	,473**	-,411**	,335**
YONTTS	-,369**	,384**	,710**	-,323**	-,138	,282**	1,000	-,671**	,331**	-,315**	,769**
1/YONTTS	,035	-,220**	-,574**	,675**	,240**	-,540**	-,671**	1,000	-,240**	,285**	-,438**
YMAX-MİN SFMAXTTS	,316**	-,043	,376**	-,182*	-,748**	,473**	,331**	-,240**	1,000	-,830**	,447**
1/YMAX-MİN SFMAXTTS	-,228**	-,098	-,325**	,193**	,588**	-,411**	-,315**	,285**	-,830**	1,000	-,557**
YMKTTS	-,329**	,285**	,470**	-,142*	-,226**	,335**	,769**	-,438**	,447**	-,557**	1,000

Çizelge 6.17: Genel model özeti

Model	R	R Kare	Düzeltilmiş R Kare	Tahminin Standart Hatası	Değişken istatistik				
					R Kare Değişimi	F Değişimi	df1	df2	F Değişiminin Anlamlılığı
1	,708 ^a	,501	,498	,25211	,501	196,479	1	196	,000
2	,768 ^b	,590	,586	,22908	,089	42,389	1	195	,000
3	,848 ^c	,719	,715	,19001	,129	89,440	1	194	,000
4	,875 ^d	,766	,761	,17388	,047	38,651	1	193	,000
5	,879 ^e	,772	,766	,17203	,006	5,185	1	192	,024
6	,885 ^f	,784	,777	,16795	,012	10,424	1	191	,001

a. Tahmin eden değişkenler: (SABİT), T8.2

b. Tahmin eden değişkenler: (SABİT), T8.2, 1/SF

c. Tahmin eden değişkenler: (SABİT), T8.2, 1/SF, Y KAR ÖRT. TS

d. Tahmin eden değişkenler: (SABİT), T8.2, 1/SF, Y KAR ÖRT. TS, 1/YDKSTTS

e. Tahmin eden değişkenler: (SABİT), T8.2, 1/SF, Y KAR ÖRT. TS, 1/YDKSTTS, 1/YYKSTTS

f. Tahmin eden değişkenler: (SABİT), T8.2, 1/SF, Y KAR ÖRT. TS, 1/YDKSTTS, 1/YYKSTTS, 1/NEM

Bağımlı Değişken: RN

Kurulan modele ait model özeti, Çizelge 6.18’de, Varyans analizi, Çizelge 6.19’da, Modele ait katsayılar ile doğrusal bağımlılık durumu Çizelge 6.20’de verilmiştir.

Çizelge 6.18: Model özeti

Model	R	R Kare	Düzeltilmiş R Kare	Tahminin Std.Hatası	Değişken istatistik				
					R Kare Değişimi	F Değişimi	df1	df2	F Değişiminin Anlamlılığı
1	,885 ^a	0,784	0,777	,16795	0,784	115,552	6	191	,000

a. Tahmin eden değişkenler: (sabit), 1/NEM, T8.2, 1/SF, YKAR ÖRT. TS, 1/YDKSTTS, 1/YYKSTS

b. Bağımlı Değişken: RN

Çoklu korelasyon katsayısı, R^2 Bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni açıklama miktarını göstermektedir. Kurulan Modeldeki R^2 değeri 0,784, düzeltilmiş R^2 değeri ise 0,777'dir. RN değerlerinin tahmininde, toplam değişimin % 77,7'sinin, bağımsız değişken parametreleri tarafından açıklanabildiğini göstermektedir.

Çizelge 6.19: Varyans analizi (Anova^b)

Model	Kareler Toplamı	df	Kareler Ortalaması	F	Anlamlılık p
1 Regresyon	19,557	6	3,260	115,552	,000 ^a
Kalıntı	5,388	191	,028		
Toplam	24,945	197			

a. Tahmin eden Değişkenler: (sabit), 1/NEM, T8.2 , 1/SF, YKAR ÖRT. TS , 1/YDKSTS, 1YYKSTS

b. Bağımlı Değişken: RN

Çizelge 6.19'da verilen varyans analizinde 0,95 güvenirlik düzeyinde kullanılan parametrelerin etkisi görülmektedir. ANOVA çizelgesi, modelin bir bütün olarak anlamlı olup, olmadığını göstermektedir [52].

Ayrıca F dağılımı çizelgesine göre [52], $F_{HESAP} = 115,552 > F_{TABLO(6,197;\alpha:0,05)} = 2,10$ olduğu için doğrusal ilişkinin anlamlı olduğu ya da y değişkenindeki değişimin x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 ve x_6 değişkenlerince açıklanabileceği söylenebilmektedir. Başka bir deyişle model bir bütün olarak her düzeyde anlamlı olduğunu göstermektedir ($p = 0,000$).

Çizelge 6.20, model katsayıları çizelgesinde, regresyon katsayıları ve buna ilişkin t istatistikleri görülmektedir. Daha önce bahsedilen F istatistiği, modelin bir bütün olarak anlamlılığını test etmek için kullanılırken, t istatistiği değişkenlerin ayrı ayrı anlamlılıklarını test etmek amacıyla kullanılmaktadır [52].

t istatistik değerlerinden, modeldeki değişkenlerin ayrı ayrı her düzeyde anlamlı olduğu p anlamlılık değerinden anlaşılmaktadır ($p < 0,05$ veya 0,01).

Çizelge 6.20: Model katsayıları

Model	Standartlaştırılmamış Katsayılar		Std. Kats.	t	Anlamlılık p	%95 Güven Aralığı (B için)		Korelasyonlar			Doğal Bağımlılık İstatistikleri	
	B	Std. Hata				Alt Sınır	Üst Sınır	Sıfır Der.	Kısmi	Yarı Kısmi	Tolerans	VIF
(Sabit)	4,163	,047		87,915	,000	4,070	4,257					
T8.2	-1,068E-8	,000	-,444	-8,450	,000	,000	,000	-,708	-,522	-,284	,411	2,436
1/YYKSTS	4840,880	1331,617	,241	3,635	,000	2214,315	7467,444	,057	,254	,122	,256	3,899
1/YDKSTS	200,209	34,822	,366	5,750	,000	131,524	268,894	,407	,384	,193	,278	3,591
1/SF	-1568,418	142,498	-,469	-11,007	,000	-1849,490	-1287,345	-,228	-,623	-,370	,623	1,604
YKÖRT TS	,000138	,000	-,627	-12,282	,000	,000	,000	-,329	-,664	-,413	,434	2,305
1/NEM	-40033,214	12399,180	-,169	-3,229	,001	-64490,126	-15576,303	,035	-,227	-,109	,413	2,421

a. Bağımlı değişken: RN

t istatistiği ile regresyon parametreleri kontrol edildiğinde; $T_{8,2}$ parametresi için bulunan -8,450 değerinin, 1/YYKSTTS için bulunan 3,635 değerinin, 1/YDKSTTS için bulunan 5,750 değerinin, 1/YONTTS için bulunan -3,229 değerinin, 1/YMAX-MİNSFMAXTTS için bulunan -11,007 değerinin ve son olarak da YMKTTTS için bulunan -12,282 değerinin t istatistiği çizelgesinden (Applied Statistical Methods, İrwing, W.B 1974) bulunan 1,96 değerinden büyük olması, seçilen parametrelerin uygunluğunu ortaya koymaktadır [52].

Modelde yakın doğrusal bağımlılık sorunu olup olmadığını gösteren diğer bir istatistik VİF (Varyans Şişme Değeri) değerleridir. Uygulamada VİF değerlerinin 5 ya da 10'un üzerinde olması güçlü çoklu bağlantının bir göstergesidir. Bazı araştırmacılar VİF değerinin ancak 30'un üzerinde olması durumunda ilgili değişkenler arasında güçlü çoklu bağlantı olduğunu göstermektedir [52].

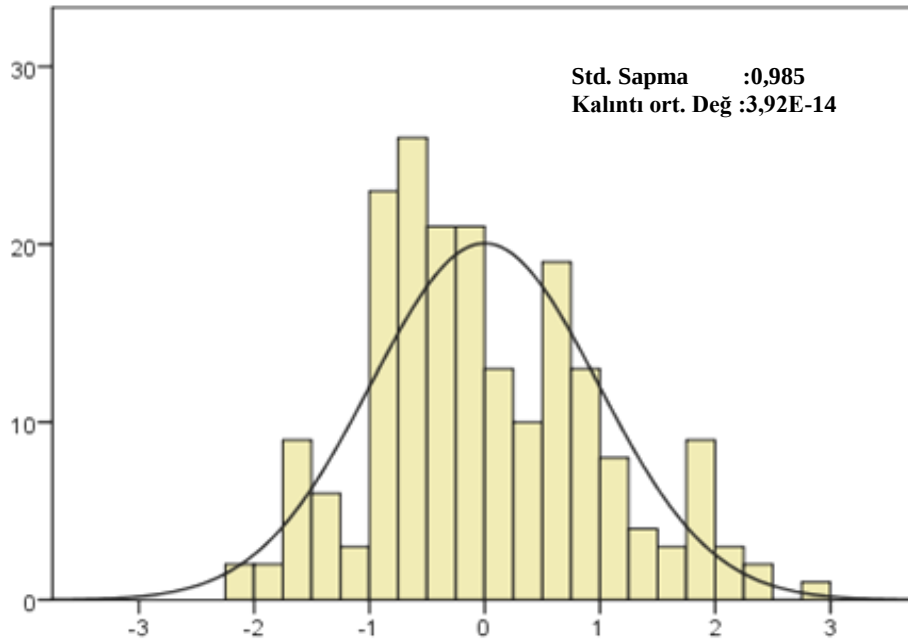
Çizelge 6.20'de verilen VİF değerlerinden, kurulan modelde bağımsız değişkenler arasında çoklu doğrusal bağıntı olmadığı görülmektedir. Yine Beta değerleri bağımsız değişkenlerin önem sırasını göstermektedir. Beta değeri daha büyük olan değişken daha önemlidir.

$T_{8,2}$ Eşdeğer Standart Dingil Yüğü değerleri ve iklim parametrelerine bağlı olarak, çok katlı regresyon tekniği ile Çizelge 6.20'deki katsayılarla geliştirilen model aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned}
RN = & 4,163 - 1,068 \times 10^{-8} \times T_{8,2} + 4840,88 \times (1/YKSTTS) \\
& + 200,209 \times (1/YDKSTTS) - 40033,214 \times (1/YONTTS) \\
& - 1568,418 \times (1/YMAX-MINSFMAXTTS) - 0,000138 \times YMKTTTS \quad (6.6)
\end{aligned}$$

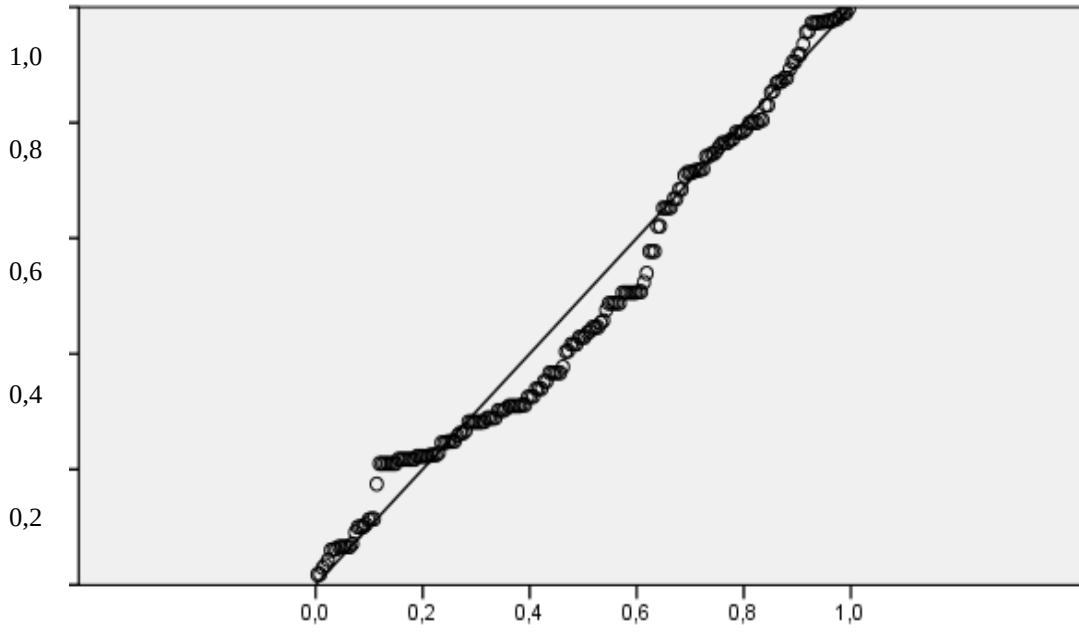
Hataların normal dağılımı, regresyon çözümlemesinin varsayımlarından biridir. Normallikten ciddi sapmalar söz konusu olduğunda, bu varsayıma bağlı olan güven aralıkları, t ve F istatistiklerinde sorunlar çıkarabilir.

Normallik varsayımının yerine gelip gelmediği artıkların incelenmesi ile yapılır [52]. Normal dağılımda ortalama sıfır (0), standart sapma 1 (bir)' dir. Şekil 6.14.'deki histogramda standartlaştırılmış kalıntıların ortalama değeri sıfır ve standart sapması 0,985 dir. Yani kalıntıların normal dağıldığı söylenebilir.



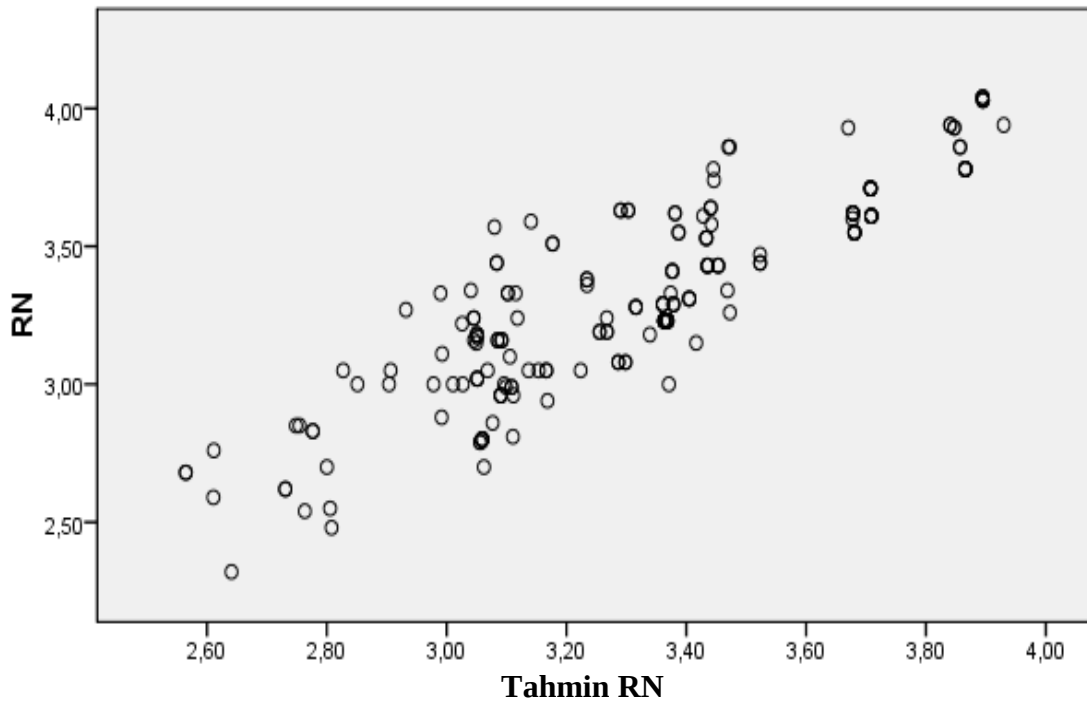
Şekil 6.14: Standartlaştırılmış kalıntıların histogramı

Şekil 6.15'de ise standartlaştırılmış kalıntıların normal P-P grafiği görülmektedir. Saçılımın doğru üzerinde veya etrafında kümelenmiş olması kalıntıların normal dağıldığını göstermektedir.

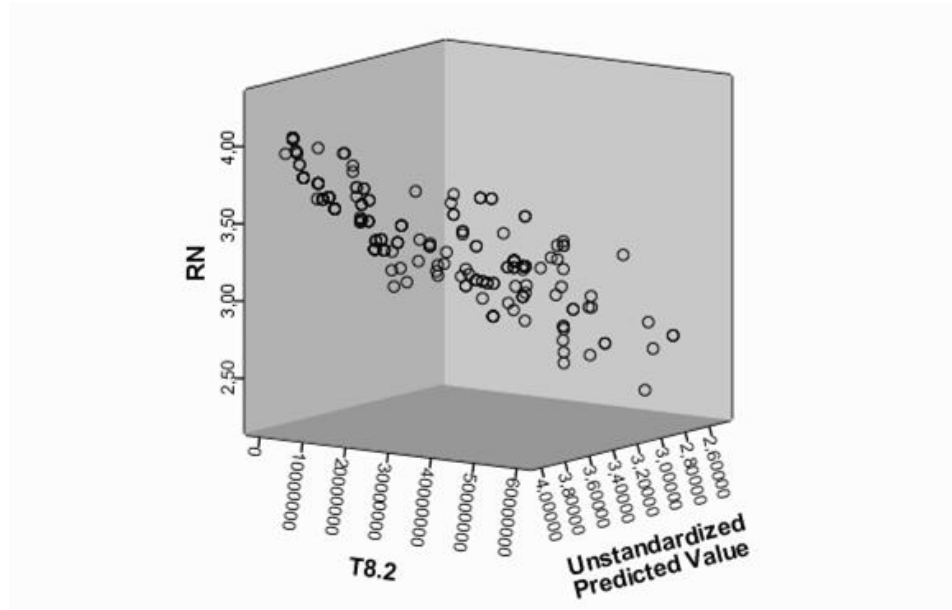


Şekil 6.15: Standartlaştırılmış kalıntıların normal P-P grafiği histogramı

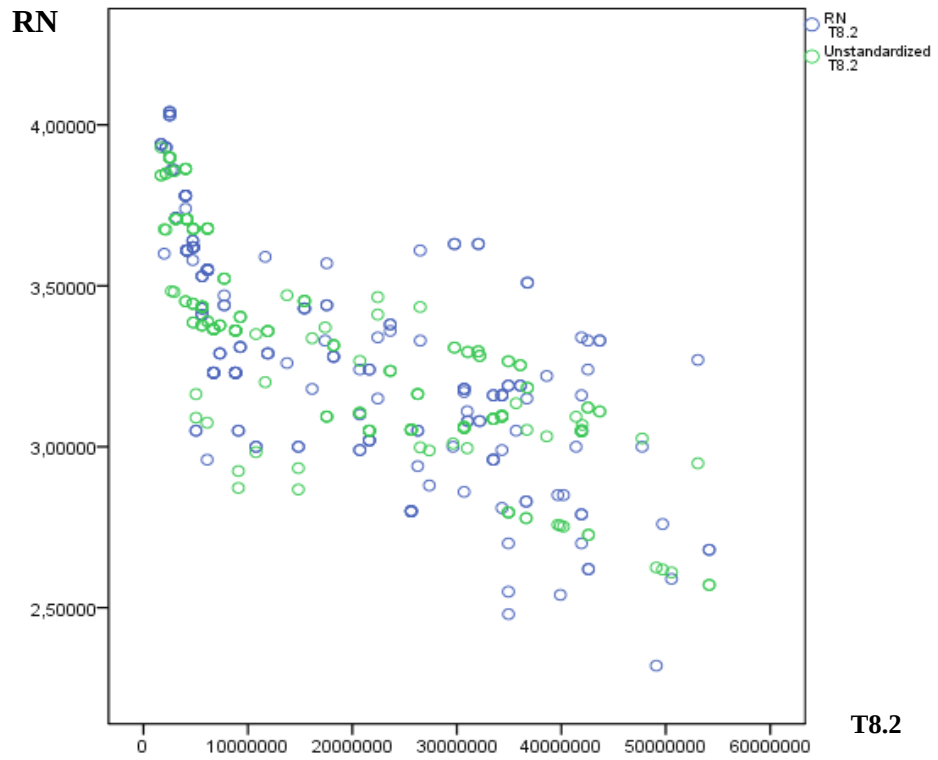
KGM tarafından ölçülen gerçek arazi RN değerleri ile regresyon modelince tahmin edilen RN değerlerinden oluşan grafikler Şekil 6.16 ve Şekil 6.17’de verilmektedir.



Şekil 6.16: Ölçülen RN değerleri ile modelden hesaplanan RN değerlerinin kıyaslaması



a) Model parametreleri arasındaki ilişkinin üç boyutlu gösterimi



b) Model ve gerçek IRI değerlerinin $t_{8.2}$ ile değişim grafiği

Şekil 6.17: KGM’ce ölçülen RN değerleri ile modelden hesaplanan RN değerlerinin $T_{8.2}$ ile karşılaştırılması

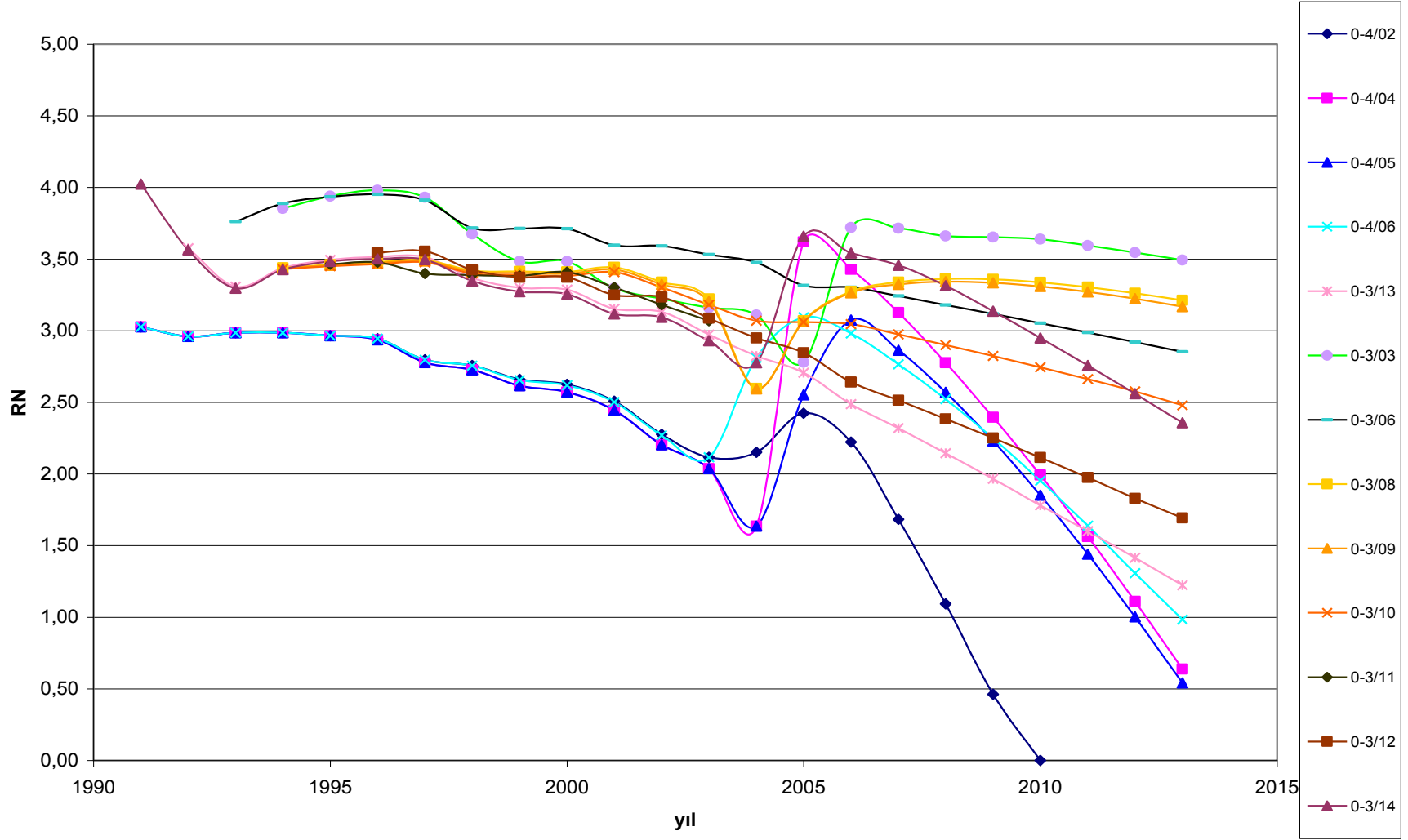
Çok katlı regresyon tekniği ile geliştirilen modele göre, $T_{8.2}$ eşdeğer standart dingil yükü değerlerine ve iklim parametrelerine bağlı olarak otoyol ağının göz önüne alınan her bir kesimine ait RN değerlerinin, yolun yapıldığı tarihten itibaren olmak üzere 20 yıllık değişimleri Çizelge 6.21, Çizelge 6.22 ve Şekil 6.18’de verilmiştir. Ayrıca aynı otoyol kesimlerinde regresyon modellerinden elde edilen RN ve IRI değerleri Çizelge 6.23’de kıyaslanmıştır.

Çizelge 6.21: RN değerinin modelden hesaplanan 20 yıllık değişimleri çizelgesi 1

KESİM NO	0-4/02	0-4/04	0-4/05	0-4/06	0-4/07	0-4/08	0-4/09	0-4/10	0-4/11	0-4/13	0-4/14	0-4/16
YIL												
1984					0,00	3,44	3,44	3,44	3,44			
1985					3,44	1,26	1,26	1,26	1,28			
1986					3,50	1,25	1,25	1,25	1,29			
1987					3,54	1,19	1,19	1,19	1,25			
1988					3,52	1,23	1,23	1,23	1,28			
1989					3,52	1,25	1,25	1,25	1,31			
1990	2,41	2,41	2,41	2,41	2,29	2,29	2,29	2,29	2,24			
1991	3,03	3,03	3,03	3,03	2,70	2,70	2,70	2,70	2,65			
1992	2,96	2,96	2,96	2,96	2,56	2,56	2,56	2,56	2,51	2,99	3,33	3,33
1993	2,99	2,99	2,99	2,99	2,54	2,54	2,54	2,54	2,49	3,20	3,46	3,46
1994	2,99	2,99	2,99	2,99	2,51	2,51	2,51	2,51	2,46	3,26	3,47	3,47
1995	2,96	2,96	2,96	2,96	2,45	2,45	2,45	2,45	2,40	3,25	3,44	3,44
1996	2,94	2,94	2,94	2,94	2,43	2,43	2,43	2,43	2,38	3,25	3,44	3,45
1997	2,80	2,78	2,78	2,80	2,28	2,28	3,69	2,28	2,23	3,14	3,28	3,29
1998	2,76	2,73	2,73	2,76	2,21	2,21	2,18	2,21	2,18	3,09	3,25	3,27
1999	2,66	2,62	2,62	2,66	2,63	2,63	2,50	2,63	0,00	2,99	3,22	3,23
2000	2,62	2,57	2,57	2,62	3,37	3,37	3,21	3,37	3,20	2,95	3,11	3,12
2001	2,51	2,44	2,44	2,50	3,32	3,32	3,16	3,32	3,23	2,83	3,00	3,02
2002	2,28	2,20	2,20	2,27	3,21	3,21	3,04	3,21	3,20	2,60	2,80	2,82
2003	2,12	2,04	2,04	2,12	3,10	3,10	2,93	3,11	3,12	2,44	2,68	2,69
2004	2,15	1,63	1,63	2,81	2,76	2,76	2,59	2,77	2,80	2,06	2,96	2,36
2005	2,42	3,62	2,55	3,09	2,67	2,68	2,51	2,68	2,72	2,59	3,21	3,14
2006	2,22	3,43	3,07	2,98	2,38	2,38	2,21	2,38	2,43	3,17	3,35	3,32
2007	1,68	3,13	2,86	2,77	1,89	1,88	1,93	1,88	1,81	1,49	1,42	1,45
2008	1,09	2,78	2,57	2,52	2,14	2,13	2,17	2,13	2,05	1,63	1,58	1,59
2009	0,46	2,40	2,23	2,25	2,41	2,39	2,43	2,39	2,30	1,79	1,76	1,75
2010	0,00	1,99	1,85	1,95	2,69	2,67	2,71	2,67	2,56	1,97	1,95	1,92
2011	0,00	1,56	1,44	1,64	2,98	2,96	2,99	2,96	2,84	2,16	2,15	2,12
2012	0,00	1,11	1,00	1,31		3,26	3,30	3,27	3,13	2,36	2,36	2,32
2013	0,00	0,64	0,54	0,98		3,58	3,62	3,59	3,44	2,58	2,59	2,54

Çizelge 6.22: RN değerinin modelden hesaplanan 20 yıllık değişimleri çizelgesi 2

KESİM NO	0-4/17	0-3/13	0-3/03	0-3/04	0-3/05	0-3/06	0-3/07	0-3/08	0-3/09
YIL									
1984									
1990		3,70							
1991		4,03							
1992	3,33	3,58					3,94	2,53	2,53
1993	3,46	3,31				3,76	3,66	2,81	2,81
1994	3,47	3,44	3,85	3,73	3,73	3,89	3,84	3,44	3,44
1995	3,44	3,50	3,94	3,83	3,83	3,93	3,90	3,46	3,46
1996	3,45	3,52	3,98	3,82	3,82	3,95	3,92	3,48	3,47
1997	3,31	3,51	3,93	3,84	3,84	3,91	3,88	3,49	3,49
1998	3,30	3,37	3,68	3,85	3,85	3,72	3,69	3,42	3,41
1999	3,28	3,30	3,48	3,86	3,86	3,71	3,69	3,41	3,40
2000	3,18	3,29	3,48	3,86	3,86	3,71	3,69	3,41	3,40
2001	3,09	3,15	3,30	3,86	3,86	3,60	3,57	3,44	3,43
2002	2,90	3,13	3,22	3,86	3,86	3,59	3,57	3,34	3,32
2003	2,78	2,97	3,16	3,85	3,85	3,53	3,73	3,22	3,20
2004	2,46	2,82	3,11	3,85	3,85	3,48	3,86	2,60	2,59
2005	3,17	2,71	2,78	3,90	3,85	3,32	3,76	3,07	3,06
2006	3,38	2,49	3,72	3,89	3,66	3,30	3,78	3,27	3,26
2007	1,35	2,32	3,72	3,87	3,73	3,24	3,72	3,34	3,32
2008	1,45	2,14	3,66	3,84	3,74	3,18	3,67	3,36	3,34
2009	1,57	1,97	3,65	3,78	3,71	3,12	3,60	3,36	3,33
2010	1,71	1,78	3,64	3,73	3,67	3,05	3,53	3,34	3,31
2011	1,85	1,60	3,59	3,67	3,62	2,99	3,46	3,30	3,27
2012	2,01	1,42	3,55	3,61	3,57	2,92	3,39	3,26	3,22
2013	2,18	1,22	3,49	3,55	3,51	2,85	3,32	3,21	3,17



Şekil 6.18: Edirne-Düzce arasında değerlendirmeye alınan 33 farklı kesimin RN değerlerinin modelden hesaplanan 20 yıllık değişimleri

Çizelge 6.23: Örnekleme olarak aynı otoyol kesimlerinde modelden elde edilen RN ve IRI değerlerinin kıyaslanması

KESİM NO	0-4/02 AO-SMD		0-4/04 KRT-KİS		0-4/05 KİS-ŞKP		0-4/06 ŞEKP-G		0-3/03 ED-HV		0-3/06 BESKİ-LBZ		0-3/09 SRY-ÇRL		0-3/10 ÇRL-İSTS		0-2/01 MHBDĞ-MTRS		0-3/18 HAD-AVC	
YIL	RN	IRI	RN	IRI	RN	IRI	RN	IRI	RN	IRI	RN	IRI	RN	IRI	RN	IRI	RN	IRI	RN	IRI
1991	3,03	0,74	3,03	0,74	3,03	0,74	3,03	0,74									3,06	0,82		
1992	2,96	0,96	2,96	0,96	2,96	0,96	2,96	0,96					2,53	1,11	2,52	1,10	2,81	0,94		
1993	2,99	1,06	2,99	1,06	2,99	1,06	2,99	1,06			3,76	0,82	2,81	0,82	2,80	0,82	2,98	1,01	2,53	0,84
1994	2,99	1,15	2,99	1,15	2,99	1,15	2,99	1,15	3,85	0,76	3,89	0,90	3,44	0,88	3,43	0,89	3,23	1,07	2,60	0,93
1995	2,96	1,23	2,96	1,23	2,96	1,23	2,96	1,23	3,94	0,87	3,93	0,94	3,46	0,92	3,45	0,92	3,28	1,13	2,86	1,02
1996	2,94	1,30	2,94	1,31	2,94	1,31	2,94	1,30	3,98	0,92	3,95	0,98	3,47	0,96	3,47	0,97	3,32	1,20	3,08	1,11
1997	2,80	1,40	2,78	1,42	2,78	1,42	2,80	1,40	3,93	0,96	3,91	1,02	3,49	1,00	3,48	1,01	3,33	1,26	3,12	1,19
1998	2,76	1,48	2,73	1,51	2,73	1,51	2,76	1,48	3,68	0,99	3,72	1,05	3,41	1,03	3,40	1,04	3,32	1,33	3,10	1,25
1999	2,66	1,56	2,62	1,60	2,62	1,60	2,66	1,56	3,48	1,02	3,71	1,08	3,40	1,06	3,39	1,07	3,20	1,39	3,02	1,31
2000	2,62	1,65	2,57	1,71	2,57	1,71	2,62	1,65	3,48	1,05	3,71	1,11	3,40	1,09	3,38	1,10	3,19	1,46	3,11	1,38
2001	2,51	1,72	2,44	1,79	2,44	1,79	2,50	1,73	3,30	1,08	3,60	1,14	3,43	1,12	3,41	1,14	3,11	1,52	3,03	1,45
2002	2,28	1,79	2,20	1,87	2,20	1,87	2,27	1,80	3,22	1,11	3,59	1,17	3,32	1,15	3,30	1,17	3,02	1,58	2,95	1,52
2003	2,12	1,87	2,04	1,95	2,04	1,95	2,12	1,87	3,16	1,14	3,53	1,20	3,20	1,18	3,18	1,20	2,73	1,65	2,66	1,61
2004	2,15	1,95	1,63	2,03	1,63	2,03	2,81	1,57	3,11	1,17	3,48	1,24	2,59	0,74	3,07	1,24	2,61	1,73	2,53	1,71
2005	2,42	2,13	3,62	1,03	2,55	1,36	3,09	0,84	2,78	1,20	3,32	1,28	3,06	0,86	3,06	1,28	2,28	1,90	2,34	1,80
2006	2,22	>2,13	3,43	1,22	3,07	1,00	2,98	1,09	3,72	1,06	3,30	1,32	3,26	0,93	3,05	1,32	1,93	2,09	2,13	1,97
2007	1,68	>2,13	3,13	1,55	2,86	1,39	2,77	1,34	3,72	1,13	3,24	1,36	3,32	0,99	2,97	1,38	1,27	>2,13	1,80	2,13
2008	1,09	>2,13	2,78	1,80	2,57	1,77	2,52	1,60	3,66	1,18	3,18	1,40	3,34	1,05	2,90	1,44	0,59	>2,13	1,46	>2,13
2009	0,46	>2,13	2,00	2,13	2,23	>2,13	2,25	1,87	3,65	1,23	3,12	1,44	3,33	1,10	2,82	1,50	0,00	>2,13	1,09	>2,13
2010	0,00	>2,13	1,99	2,13	1,85	>2,13	1,95	2,13	3,64	1,27	3,05	1,48	3,31	1,16	2,74	1,56	0,00	>2,13	0,71	>2,13
2011	0,00	>2,13	1,50	>2,13	1,44	>2,13	1,64	2,13	3,59	1,30	2,99	1,53	3,27	1,22	2,66	1,63	0,00	>2,13	0,31	>2,13
2012	0,00	>2,13	1,11	>2,13	1,00	>2,13	1,31	>2,13	3,55	1,34	2,92	1,57	3,22	1,27	2,58	1,69	0,00	>2,13	1,15	>2,13
2013	0,00	>2,13	0,64	>2,13	0,54	>2,13	0,98	>2,13	3,49	1,38	2,85	1,62	3,17	1,33	2,48	1,76	0,00	>2,13	0,71	>2,13

ŞARTNAME	RN	IRI
ÇOK İYİ	4-5	0-0,71
İYİ	3-4	0,72-1,11
ORTA-İYİ	2,5-3	1,12-1,58
ORTA	2-2,5	1,59-1,80
KÖTÜ	2-1,5	1,81-2,13
ÇOK KÖTÜ	0-1,5	> 2,13

6.2.2.2.Bulanık mantık ile modelleme

IRI değerlerinin tahmini için bir bozulma modeli oluşturmak üzere bulanık mantık modellemesi, Matlap paket programı kullanılarak yapılmıştır. Bulanık mantık modellemesinde, regresyon analizinde kullanılan değişkenler kullanılmıştır.

IRI değerlerine ait bulanık mantık yöntemi

Kurulan bulanık model yapısında 3 girdi değerine karşılık 1 çıktı değişkeni bulunmaktadır. Girdi değişkenleri, trafik parametresi $T_{8,2}$ Eşdeğer Standart Dingil Yüğü değeri, iklim parametrelerine bağlı olarak da Yıllık Yüksek Kaplama Sıcaklık Toplam Tekrar Sayısı (YYKSTTS) ile Yıllık Düşük Kaplama Yüzeyi Sıcaklık Toplam Tekrar Sayısı (1/YDKSTTS), çıktı değişkeni ise IRI düzgünlük değeridir. Modellemede, Sugeno tipi bulanık çıkarım sistemi kullanılmış olup, küme tahmini üzerine kurulu bir bulanık modelleme yapılmıştır [57,62].

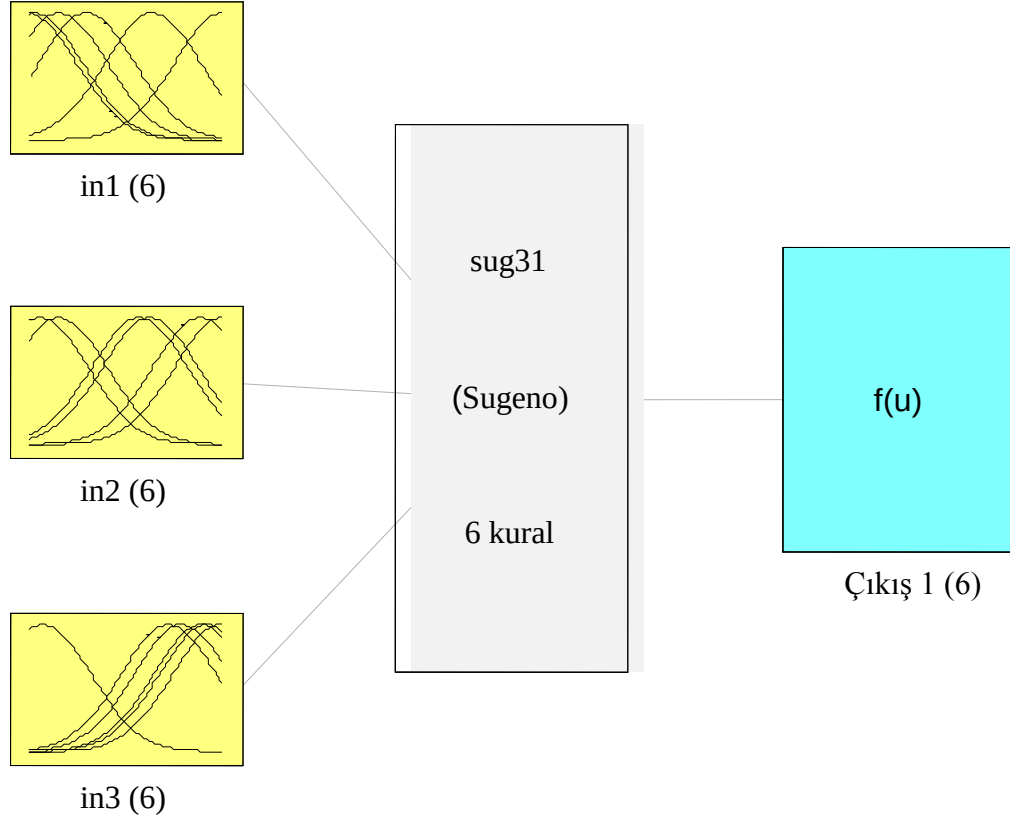
Sistemin eğitilmesi, giriş verilerinin kümelendirilerek kural ataması yapan bir algoritma kullanılması ile sağlanmıştır. Bu algorithmada veri toplulukları sınıflandırılarak, küme merkezleri belirlenmekte ve bu merkezlere kural ataması yapılmaktadır. Başka bir deyişle her bir küme merkezi bir kuralı temsil etmektedir. Kümelendirmenin amacı geniş veri topluluklarını sınıflandırarak, sistemin davranışını tanımlamaktır. Bu şekilde büyük veri topluluklarının az sayıda kural ile tanımlanması amaçlanmakta işlem yoğunluğu verilerin kümelendirilmesi yöntemiyle azaltılmaktadır.

Küme merkezi tahminine dayalı bu algorithmada, veriler arası komşuluk ilişkisinin fonksiyonu olan r sabiti, sisteme uzman kişi tarafından girilmektedir. Seçilen küme merkezi sayısı r sabit değeriyle ters orantılı olarak değişmektedir. ‘ r ’ değerinin küçük seçilmesi durumunda, sistem çok sayıda küme merkezi belirlemektedir. Büyük seçilmesi halinde ise küme merkez sayısı az olmaktadır. Bu değerin seçiminde en uygun olanın belirlenmesi modelin başarılı sonuçlanmasını sağlamaktadır [62].

Eğitim aşamasında kullanılmak üzere seçilen veri topluluğunun küme merkezlerinin belirlenmesi, başka bir deyişle kural atamasının yapılması maksadıyla, programda ki “ r ” değeri 0,70 olarak verilmiştir.

Performans tahmin modellemesi için, toplam 42 adet veri grubundan, 26'sı eğitimde, 4'ü kontrolde ve 10'u da testte kullanılması amacıyla seçilmiştir. Bulanık model girdi değişkenlerinde Gaussian üyelik fonksiyonu kullanılmıştır.

Sonuçta kural ataması yapılarak veri kümesi 6 bulanık kural ile en uygun bir şekilde tanımlanmıştır Şekil 6.19.

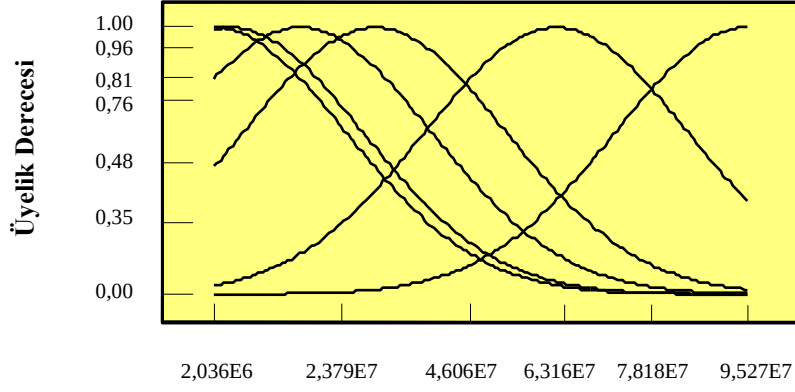


Sistem ; 3 giriş, 1 Çıkış, 6 kural

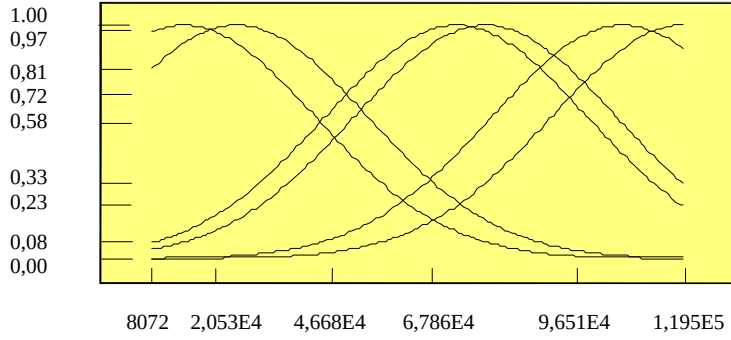
Şekil 6.19: Bulanık çıkarım modeli

Modelin girdi değişkenlerinden, $T_{8.2}$ Eşdeğer Standart Dingil Yüğü değerinin üyelik fonksiyonları ile Yıllık Yüksek Kaplama Sıcaklık Toplam Tekrar Sayısı ve Yıllık Düşük Kaplama Yüzeyi Sıcaklık Toplam Tekrar Sayısı değerlerinin üyelik fonksiyonları Şekil 6.20'de görülmektedir.

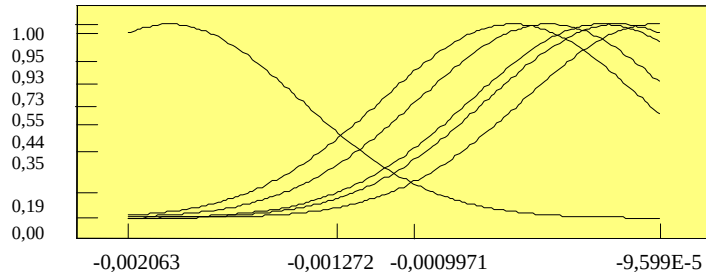
Bulanık modelin sonuçları, Matlab programı içinde yazılan program modülü tarafından oluşturulan grafikler halinde Şekil 6.21'de verilmiştir.



a) T8.2 Eşdeğer Standart Dingil Yüğü Değerinin Üyelik Fonksiyonları

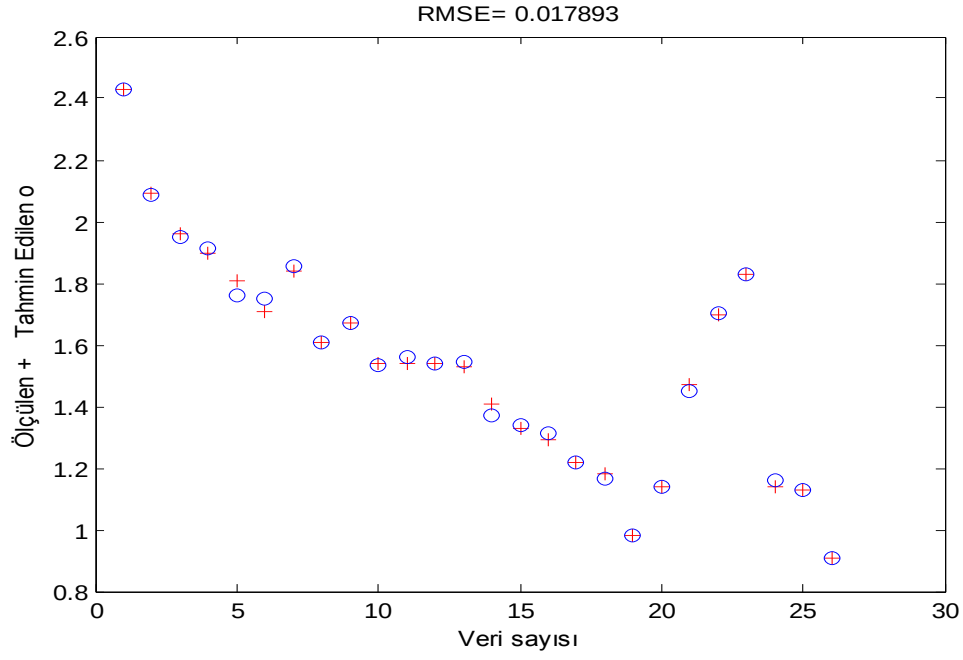


b) Yıllık Yüksek Kaplama Sıcaklık Toplam Tekrar Sayısı Üyelik Fonksiyonları

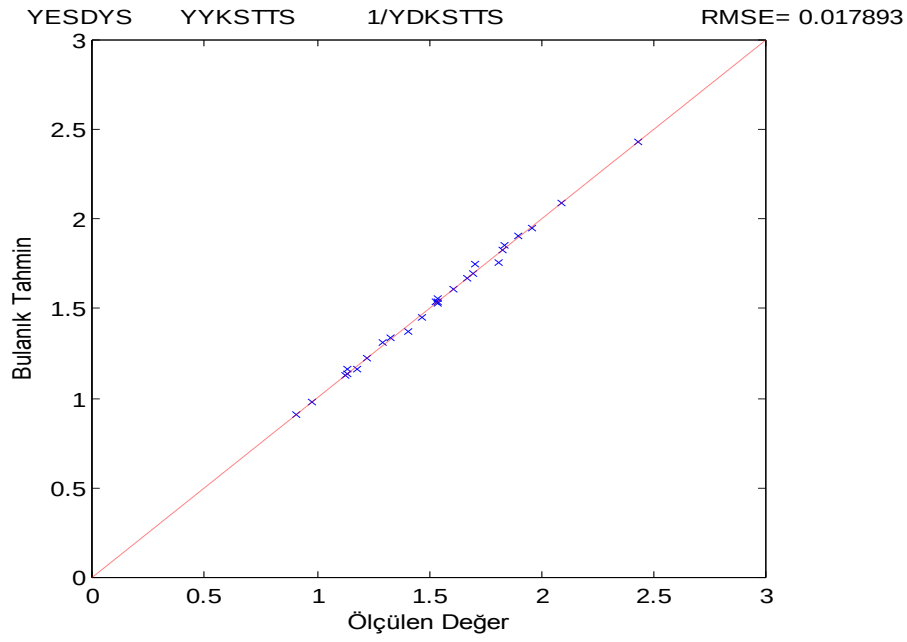


c) Yıllık Düşük Kaplama Yüzeyi Sıcaklık Toplam Tekrar Sayısı Üyelik Fonksiyonları

Şekil 6.20: Üyelik fonksiyonları



a) Gerçek IRI ile modelden hesaplanan IRI değerlerinin karşılaştırılması

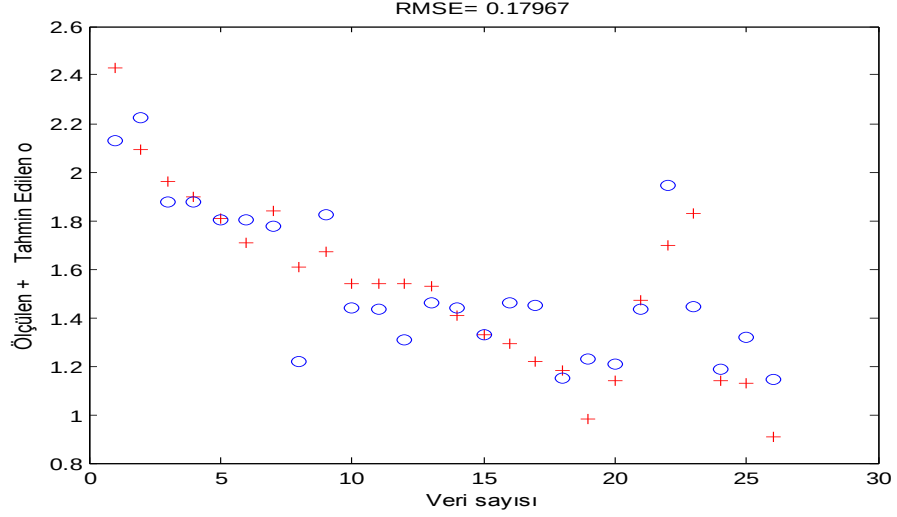


b) Model parametre ilişki grafiği

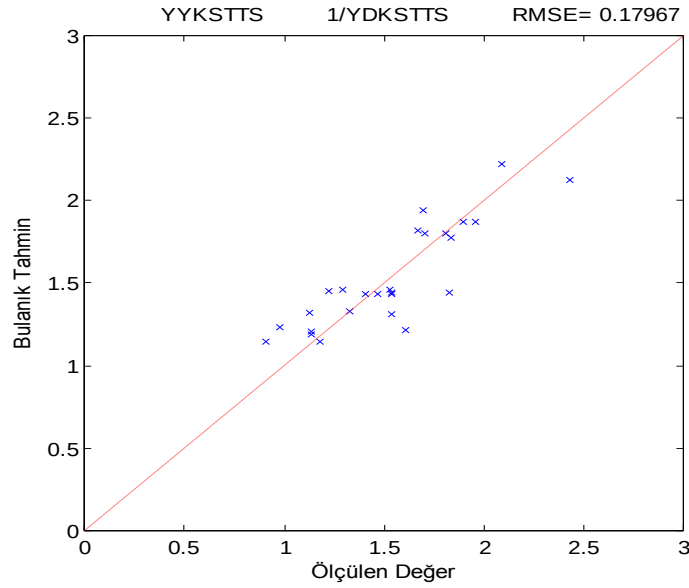
Şekil 6.21: Bulanık model sonuç grafikleri

Duyarlık analizi

Bulanık model sonuçları üzerinde etkin parametrelerin belirlenmesi maksadıyla duyarlılık analizi yapılmıştır. İlk olarak modelde trafik parametresi $T_{8.2}$ Eşdeğer Standart Dingil Yüğü değeri ihmal edilerek diğer iki parametre ile model kurulmuştur. Şekil.6.22'den görüleceği üzere **RMSE değeri 0,17967** değerine yükselmiştir. Bulanık modelin sonuçları, grafikler halinde Şekil 6.25'te verilmiştir.



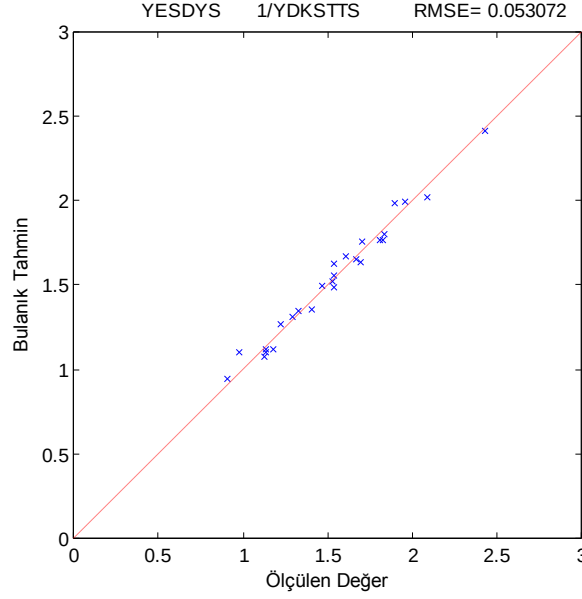
a) Arazi IRI ile model IRI değerlerinin kıyaslanması grafiği



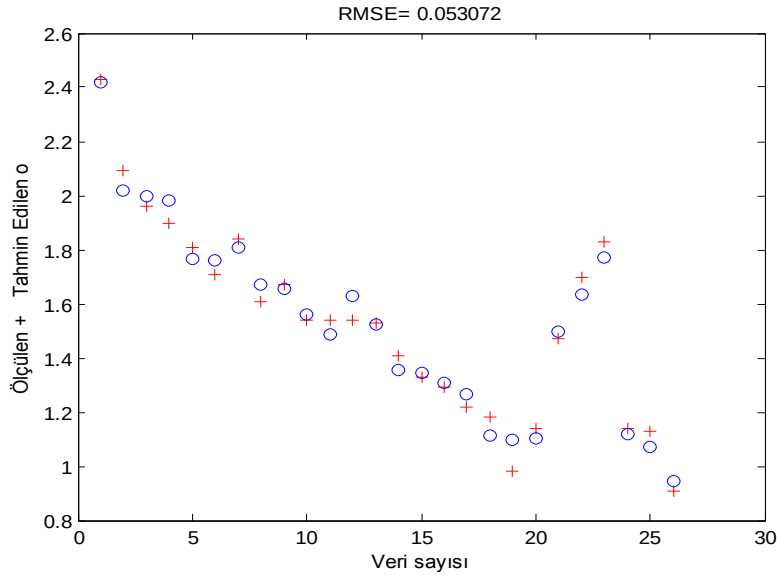
b) Model parametreleri değişim grafiği

Şekil 6.22: Bulanık model sonuç grafikleri

İkinci adımda; Yıllık Yüksek Kaplama Sıcaklık Toplam Tekrar Sayısının model üzerindeki etkisinin belirlenmesi maksadıyla bu parametre ihmal edilmiş olup, $T_{8,2}$ ile Yıllık Düşük Kaplama Yüzeyi Sıcaklık Toplam Tekrar Sayısı (1/YDKSTTS) parametreleri ile model tekrar kurulmuştur. Şekil.6.23'den görüleceği üzere **RMSE değeri 0,053072** olmuştur. Bulanık modelin sonuçları, grafikler halinde Şekil 6.25'te verilmiştir.



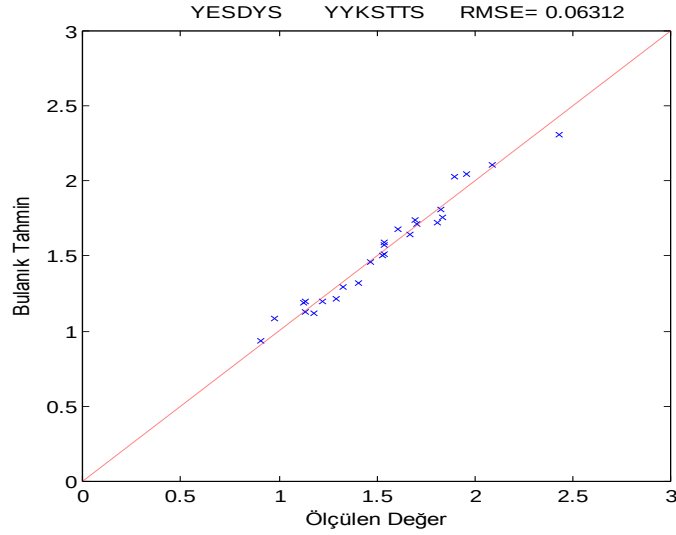
a) Arazi IRI ile model IRI değerlerinin kıyaslanması grafiği



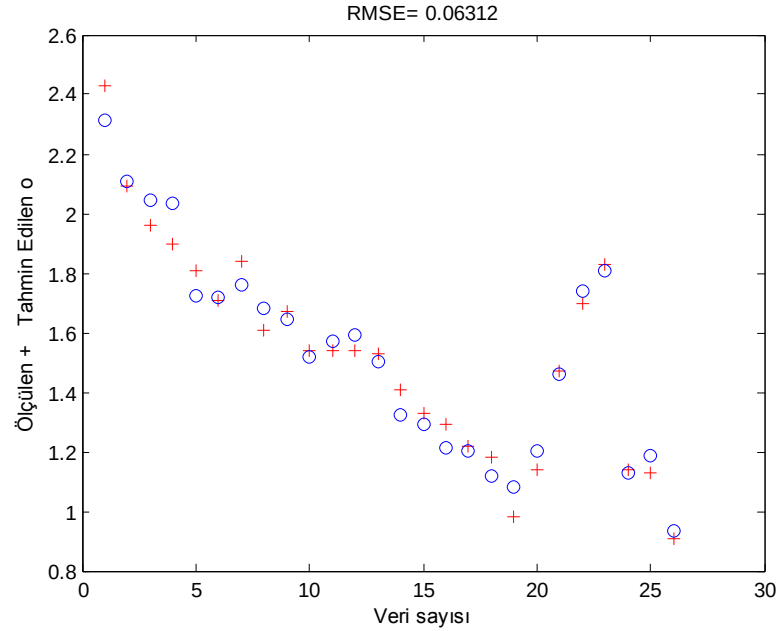
b) Model parametreleri değişim grafiği

Şekil 6.23: Bulanık model sonuç grafikleri

Duyarlılık analizinde üçüncü adımda; Yıllık Düşük Kaplama Yüzeyi Sıcaklık Toplam Tekrar Sayısı (1/YDKSTTS)’nın model üzerindeki etkisinin belirlenmesi maksadıyla bu parametre ihmal edilmiş olup, $T_{8.2}$ ile Yıllık Yüksek Kaplama Sıcaklık Toplam Tekrar Sayısı (YYKSTTS) parametreleri ile model tekrar kurulmuştur. Şekil.6.24’den görüleceği üzere **RMSE değeri 0,06312** olmuştur. Bulanık modelin sonuçları, grafikler halinde Şekil 6.25’te verilmiştir.



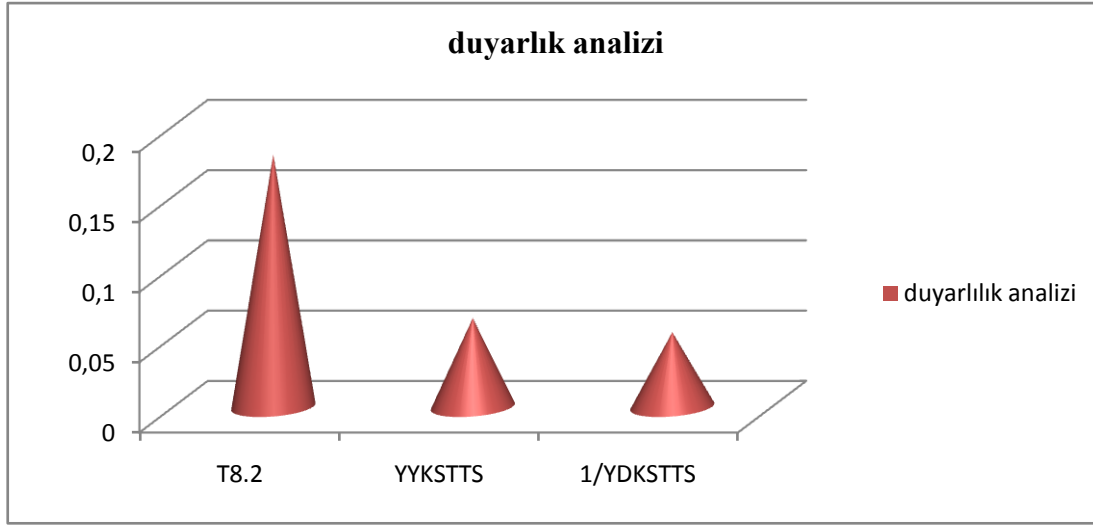
a) Arazi IRI ile model IRI değerlerinin kıyaslanması grafiği



b) Model parametreleri değişim grafiği

Şekil 6.24: Bulanık model sonuç grafikleri

Duyarlık analizi sonuçları Şekil.6.25'te özetlenmiştir.



Şekil.6.25: Duyarlık analiz sonuçları

6.2.2.3. Model sonuçlarının irdelenmesi

Ölçülen RN ve IRI değerleri göz önünde bulundurularak gerçekleştirilen çok katlı regresyon analizi ve fuzzy (bulanık mantık) yöntemi ile elde edilen performans modelleri, $T_{8.2}$ Eşdeğer Standart Dingil Yüğü değerlerinin artış ile doğru orantılı olarak yoldaki bozulmaların arttığını göstermiştir. (Şekil 6.26 ve 6.27)



Şekil.6.26: $T_{8.2}$ Eşdeğer standart dingil yükü değerlerinin yüksek olduğu kesimlerdeki bozulmalar



Şekil 6.27: $T_{8.2}$ Eşdeğer standart dingil yükü değerlerinin yüksek olduğu kesimlerdeki bozulmalar

Ancak özellikle çimento bağlayıcılı granüler temel tabakası yapılan ve gece ve gündüz sıcaklık farklarının maksimum olduğu otoyol kesimlerinde (örneğin; Lalapaşa - Edirne Doğu, Akyazı - Hendek arası) $T_{8.2}$ Eşdeğer Standart Dingil Yüğü değerleri ile yoldaki bozulmanın doğrusal bir ilişki içerisinde bulunmadığı tespit edilmiştir Şekil 6.28, Şekil 6.29.



a) Bozulan kesimden görünüş



b) Çatlaklı kesimden alınan karot

Şekil 6.28: ÇBGT kesimlerindeki bozulmalar



a) Bozulan kesitten bir görünüş



b) Onarım çalışmalardan bir görünüş

Şekil 6.29: ÇBGT kesimlerindeki bozulmalar

Model, incelenen otoyol kesimlerindeki bozulmaların, Yıllık Yüksek Kaplama Sıcaklık Toplam Tekrar Sayısı ile doğru orantılı, Yıllık Düşük Kaplama Yüzeyi Sıcaklık Toplam Tekrar Sayısı değerleri ile ters orantılı olarak arttığını göstermiştir. Şekil 6.30, Şekil 6.31



a) Bozulan kesimlerden bir görünüş



b) Onarılabacak kesimlerden bir görünüş

Şekil 6.30: Kaplama sıcaklıklarına bağlı olarak meydana gelen bozulmalar



a) Kaplama sıcaklık değişimlerinden meydana gelen bozulmalara ait bir görünüş



b) Sıcaklık değişimlerinin neden olduğu bozulmalara ait diğer bir görünüş

Şekil 6.31: Kaplama sıcaklıklarına bağlı olarak meydana gelen bozulmalar

6.2.2.4. IRI için regresyon ve bulanık mantık model sonuçlarının karşılaştırılması

Kurulan regresyon ve bulanık mantık model sonuçlarının karşılaştırılmasında, bulanık mantık modellemesinde test için ayrılan veriler kullanılmıştır. Bu veriler esas alınarak, KGM’ce arazide yapılan gerçek IRI ölçüm değerleri ile modellerden elde edilen IRI değerleri karşılaştırılmıştır (Çizelge 6.24).

Çizelge 6.24: IRI ölçüm sonuçları ile model sonuçlarının karşılaştırılması

IRI TEST VERİLERİ			ARAZİDE ÖLÇÜLEN IRI	IRI KABUL ARALIĞI (IRI-m/km)	MODEL SONUÇLARI	
KULLANILAN PARAMETRELER					BULANIK MANTIK	REGRES YON
T _{8.2}	YYKSTTS	1/YDKSTTS			IRI	IRI
1109991	5637	-0,0009411	0,77	0,72-1,11	0,89	0,82
10946694	13659	-0,002063	1,23	1,12-1,58	1,27	1,22
16059765	15909	-0,001911	1,39	1,12-1,58	1,35	1,33
23553241	11921	-0,001241	1,45	1,12-1,58	1,32	1,40
37127846	15909	-0,001910	1,53	1,12-1,58	1,54	1,35
44503681	10518	-0,001727	1,59	1,59-1,80	1,63	1,30
52769689	18254	-0,001148	1,69	1,59-1,80	1,72	1,61
57887167	65889	-0,000590	1,80	1,59-1,80	1,75	1,70
17825137	13659	-0,002063	1,45	1,12-1,58	1,34	1,41
46629520	115857	-0,000239	1,69	1,59-1,80	1,66	1,65
			KORELASYON		0,968839	0,950679
			RMSE		0,0725	0,1201
			ME		0,012	0,080

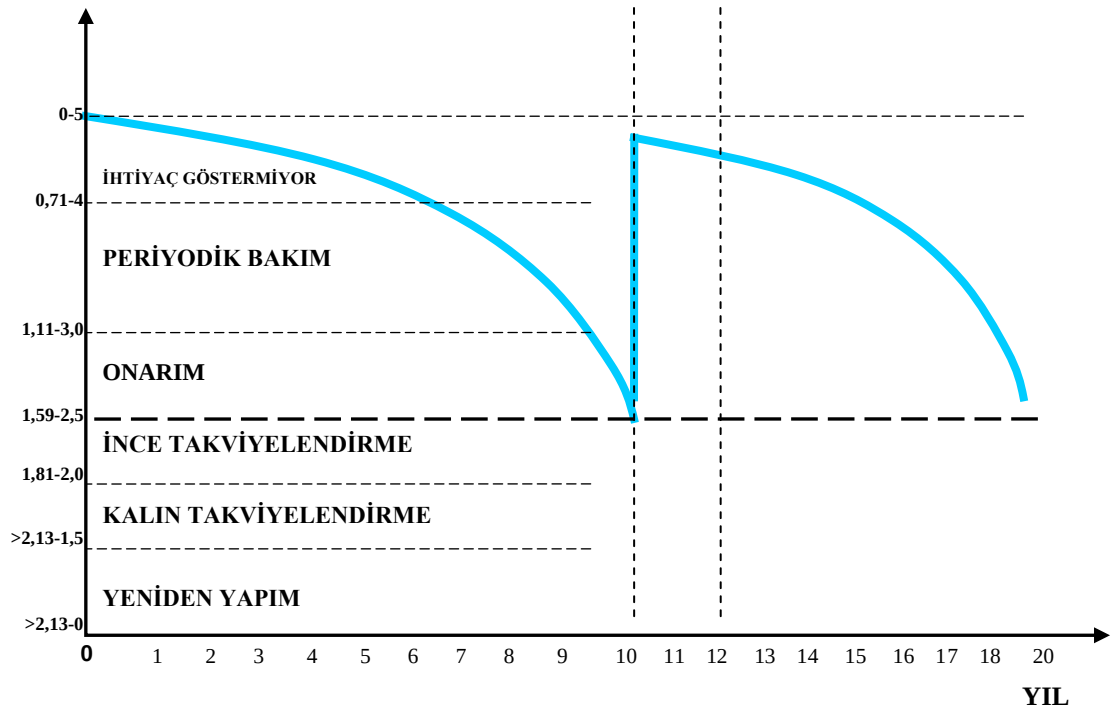
Çizelge incelendiğinde, arazi ölçüm sonuçları ile model sonuçlarının; özellikle “IRI Kabul Aralığı” göz önüne alındığında birbirlerine çok yakın değerler olduğu görülmektedir. Ölçüm sonuçları ile model sonuçlarının korelasyon katsayıları yönünden,yüksek bir ilişki içerisinde bulunmaları, modellerin tahmin yeteneğinin yüksek olduğunu göstermektedir. Modeller arasında bir kıyaslama yapıldığında ise; bulanık mantık modelinde, fuzzy sonuçları ile arazi ölçüm sonuçları arasındaki korelasyon katsayısının, regresyon modelinden daha yüksek olması, ayrıca RMSE (hataların karelerinin ortalama karekökü) ve ME (ortalama standart hata, hataların

farklarının toplamının ortalaması) değerlerinin regresyon modeli sonuçlarından daha küçük olması nedeniyle (tahminlerde daha az hata yapılması), bulanık mantık modellerinin, regresyon modellerine oranla daha yüksek bir tahmin gücüne sahip olduğu belirlenmiştir.

6.3. Ekonomik Analiz İle Bütçe Stratejilerinin Belirlenmesi

Bu bölümde, KGM tarafından IRI ölçümleri yapılan otoyol kesimlerinde, üstyapı performansının tahmini için oluşturulan modelden 20 yıllık değişimleri hesaplanan IRI değerlerine göre belirlenen üstyapı performansının, müdahale düzeyinin altındaki düzensizlik değişim aralıkları için bütçe stratejilerinin belirlenmesine yönelik planlamaya esas alınacak üstyapı iyileştirme seçenekleri, Şekil 6.32’de verilen zamana bağlı IRI/RN değişim grafiği ile KGM Teknik Araştırma Daire Başkanlığının muhtelif tarihlerde hazırlamış olduğu üstyapı takviye raporları baz alınarak belirlenmiştir olup, söz konusu iyileştirme seçenekleri uygulamadan resmedilmiştir [13,54].

IRI-RN



Şekil.6.32: Zamana-IRI/RN değişimi ve bakım-onarım sıralama grafiği

1) IRI; > 2,13 için,

- a) Mevcut üstyapı, Çimento Bağlayıcılı Granüler Temel dahil kaldırılacak ve üstyapı 4cm SMA, 8cm Binder ve 12 cm B.temel ve 22cm Pmt tabakaları ile yeniden yapılacaktır Şekil 6.33.



a) Kazı çalışmalarından bir görünüş



D

b) Onarım çalışmalarından görünüş

Şekil 6.33: IRI değerine bağlı olarak yapılacak onarım çalışmaları 1

2) IRI; 1,81-2,13 için,

- a) Mevcut asfalt tabakası 5 cm kazılacak ve timsah sırtı çatlak olarak devam eden aşırı bozulmuş kesimler, lokal olarak çatlağın sönümlendiği noktaya kadar sökülüp atılıp yerine aynı türden BSK malzemesi ile doldurulacaktır (13cm binder ve 12 cm b.temel ile aynı kota getirilmesi). Orta ve yüksek şiddetteki enine ve boyuna çatlaklar ile dış banket çizgisini takip eden kenar çatlakları uygun dolgu malzemesi ile doldurulduktan sonra tüm platforma, 4cm SMA, 8cm Binder tabakası yapılacaktır Şekil 6.34.



a) Onarım çalışmalarından bir görünüş



b) Diğer bir görünüş

Şekil 6.34: IRI değerine bağlı olarak yapılacak onarım çalışmaları 2

3) IRI; 1,59-1,80 için,

- a)** Mevcut yol yüzeyinde bulunan timsah sırtı çatlakların bulunduğu kesimler lokal olarak çatlağın sönümlendiği noktaya kadar sökülüp atılıp yerine aynı türden BSK malzemesi ile doldurulacaktır Çatlak genişliği 6mm'den büyük olan enine ve boyuna çatlaklar ile dış banket çizgisini takip eden kenar çatlakları düzgün bir silindiraj yapılmasına olanak sağlayacak genişlikte 5cm kazılarak dolgu malzemesi ile onarıldıktan sonra üzerine çatlağın üzerine geogrid serilecek ve Daha sonra tüm platform 4cm SMA takviye tabakası ile kaplanacaktır Şekil 6.35.



a) Onarım çalışmalarından bir görünüş



b) Diğer bir görünüş

Şekil 6.35: IRI değerine bağlı olarak yapılacak onarım çalışmaları 3

4) IRI; 1,12-1,58 için,

- a) Mevcut yol yüzeyinde bulunan timsah sırtı çatlakların bulunduğu kesimler lokal olarak çatlağın sönümlendiği noktaya kadar sökölüp atılıp yerine aynı türden BSK malzemesi ile doldurulacaktır. Çatlak genişliği 6mm'den büyük olan enine ve boyuna çatlaklar ile dış banket çizgisini takip eden kenar çatlakları düzgün bir silindiraj yapılmasına olanak sağlayacak genişlikte 5cm kazılarak dolgu malzemesi ile onarılacaktır Şekil 6.36.



a) Onarım çalışmalarından bir görünüş



b) Kazı çalışmaları



c) Onarım öncesi görünüş

Şekil 6.36: IRI değerine bağlı olarak yapılacak onarım çalışmaları 4

5) IRI; 0,72-1,12 için,

a) Periyodik bakım. (Dolgu malzemesi ile çatlak onarımı yapılacaktır.)

6.3.1. Karar vericiler için bakım bütçe senaryoları

Ömür-döngü maliyet analizleri genel anlamda, ekonomik prensipleri kullanarak, alternatif yatırım stratejilerinin karşılaştırılması için kullanılmaktadır [82]. Ömür-döngü maliyet analizleri ile bugünkü maliyetler kullanılarak gelecekteki maliyet tahminleri yapılmaktadır. Maliyet analizlerinde dikkate alınacak ana faktörler [82];

- İlk yapım maliyeti,
- Gelecekteki bakım,onarım,yenileme ve yeniden yapım maliyetleri,
- Mühendislik ve yönetim maliyetleri,
- Faiz maliyetleri,

Bakım, onarım ve rehabilitasyon işlerinin gecikmesi,ertelenmesi ya da yarıda bırakılması durumunda ki faktörler ise;

- Sürücü ve yolcu zaman giderleri,
- Taşıt işletme giderleri,
- Kaza maliyetleri,
- Konforsuzluk maliyetleri,

Kullanıcı harici maliyetler ise;

- Çevre kirliliği maliyetleri,
- Yol güvenliği

olarak sıralanmaktadır.

Ekonomik değerlendirme metotları genel olarak beş ana başlıkta incelenmektedir [82]. Bunlar;

- Fayda/Maliyet Oranı Metodu
- Dönüş Oranı Metodu,
- Eşdeğer Üniform Yıllık Maliyet Metodu,
- Bugünkü Değer Metodu; $BD = \sum \text{maliyet} / (1+i)^n$; i: ıskonto oranı n:yıl
- Maliyet-Etkinlik Metodu

Bu kısımda, KGM'nin sorumluluk alanında bulunan toplam 1987 km uzunluğundaki otoyol güzergâhından gidiş ve dönüş olmak üzere ele alınan toplam 886,4 km.lik kesiminde, modelden elde edilen IRI değerlerinin, kısım 6.3'de ayrıntıları verilen bakım-onarım seçenekleri ile söz konusu kesimlerde yapılması gereken iyileştirme seçeneklerinin toplam maliyetleri belirlenmiştir [10,18].

Çizelge 6.25'de bütçe stratejilerinin belirlenmesine yönelik planlamaya esas alınacak üstyapı iyileştirme seçeneklerinin birim maliyetleri verilmiştir. Maliyet hesabında 4734 sayılı yeni ihale yasasına göre ihale edilmiş olan otoyol kesiminde verilen teklif birim fiyatları kullanılmıştır.

2008 yılı teklif birim fiyatlarına göre belirlenen maliyetler; Devlet Planlama Teşkilatı ve KGM Keşif Şubesi Müdürlüğü ile yapılan görüşmeler neticesinde, Dünya Bankası ve finans kuruluşlarının fizibilite etütlerinde kullandıkları % 8-10 ve 12 güncelleştirme oranlarından %12 ıskonto oranı kullanılarak euro bazında güncelleştirilmiştir Çizelge 6.30.

Çizelge 6.25: Birim maliyetler

KESİM NO	KAPLAMA TİPİ	KESİM UZUNLUĞU (km)	BİRİM MALİYET	TOPLAM MALİYET (2008 YILI)	TOPLAM EURO MALİYETİ
0-2/01	SMA	3,48	294209	1023847,3	487.546
	BİNDER		527001	1833963,5	916.982
	B.TEMEL		400654	1394275,9	697.138
	PMT		248077	863307,96	431.654
	KAZIMA		232007	807384,36	403.692
0-2/09	SMA	4,2	294209	1235677,8	617.839
	BİNDER		527001	2213404,2	1.106.702
	B.TEMEL		400654	1682746,8	841.373
	PMT		248077	1041923,4	520.962
	KAZIMA		232007	974429,4	487.215
0-2/10	SMA	3,9	294209	1147415,1	573.708
	BİNDER		527001	2055303,9	1.027.652
	B.TEMEL		400654	1562550,6	781.275
	PMT		248077	967500,3	483.750
	KAZIMA		232007	904827,3	452.414
0-3/01	SMA	3	294209	882627	441.314
	BİNDER		527001	1581003	790.502
	B.TEMEL		400654	1201962	600.981
	PMT		248077	744231	372.116
	KAZIMA		232007	696021	348.011
0-3/03	SMA	19,9	294209	5854759,1	2.927.380
	BİNDER		527001	10487320	5.243.660
	B.TEMEL		400654	7973014,6	3.986.507
	PMT		248077	4936732,3	2.468.366
	KAZIMA		232007	4616939,3	2.308.470
0-3/04	SMA	5	294209	1471045	735.523
	BİNDER		527001	2635005	1.317.503
	B.TEMEL		400654	2003270	1.001.635
	PMT		248077	1240385	620.193
	KAZIMA		232007	1160035	580.018
0-3/05	SMA	17,2	294209	5060394,8	2.530.197
	BİNDER		527001	9064417,2	4.532.209
	B.TEMEL		400654	6891248,8	3.445.624
	PMT		248077	4266924,4	2.133.462
	KAZIMA		232007	3990520,4	1.995.260

Çizelge 6.25: Birim maliyetler (devam)

KESİM NO	KAPLAMA TİPİ	KESİM UZUNLUĞU (km)	BİRİM MALİYET	TOPLAM MALİYET (2008 YILI)	TOPLAM EURO MALİYETİ
0-2/01	SMA	3,48	294209	1023847,3	487.546
	BİNDER		527001	1833963,5	916.982
	B.TEMEL		400654	1394275,9	697.138
	PMT		248077	863307,96	431.654
	KAZIMA		232007	807384,36	403.692
0-2/09	SMA	4,2	294209	1235677,8	617.839
	BİNDER		527001	2213404,2	1.106.702
	B.TEMEL		400654	1682746,8	841.373
	PMT		248077	1041923,4	520.962
	KAZIMA		232007	974429,4	487.215
0-2/10	SMA	3,9	294209	1147415,1	573.708
	BİNDER		527001	2055303,9	1.027.652
	B.TEMEL		400654	1562550,6	781.275
	PMT		248077	967500,3	483.750
	KAZIMA		232007	904827,3	452.414
0-3/01	SMA	3	294209	882627	441.314
	BİNDER		527001	1581003	790.502
	B.TEMEL		400654	1201962	600.981
	PMT		248077	744231	372.116
	KAZIMA		232007	696021	348.011
0-3/03	SMA	19,9	294209	5854759,1	2.927.380
	BİNDER		527001	10487320	5.243.660
	B.TEMEL		400654	7973014,6	3.986.507
	PMT		248077	4936732,3	2.468.366
	KAZIMA		232007	4616939,3	2.308.470
0-3/04	SMA	5	294209	1471045	735.523
	BİNDER		527001	2635005	1.317.503
	B.TEMEL		400654	2003270	1.001.635
	PMT		248077	1240385	620.193
	KAZIMA		232007	1160035	580.018
0-3/05	SMA	17,2	294209	5060394,8	2.530.197
	BİNDER		527001	9064417,2	4.532.209
	B.TEMEL		400654	6891248,8	3.445.624
	PMT		248077	4266924,4	2.133.462
	KAZIMA		232007	3990520,4	1.995.260

Maliyet analizinden sonra bakım/iyileştirme seçeneklerinin belirlenmesi maksadıyla her bir yolun kullanılan modellerden elde edilen 20 yıllık tahmin IRI değerlerine bağlı olarak müdahale düzeyine göre ($1,52 \leq \text{IRI} \leq 2,13$) hangi yılda bakıma gereksinim göstereceğinin tespiti yapılmıştır Çizelge 6.26.

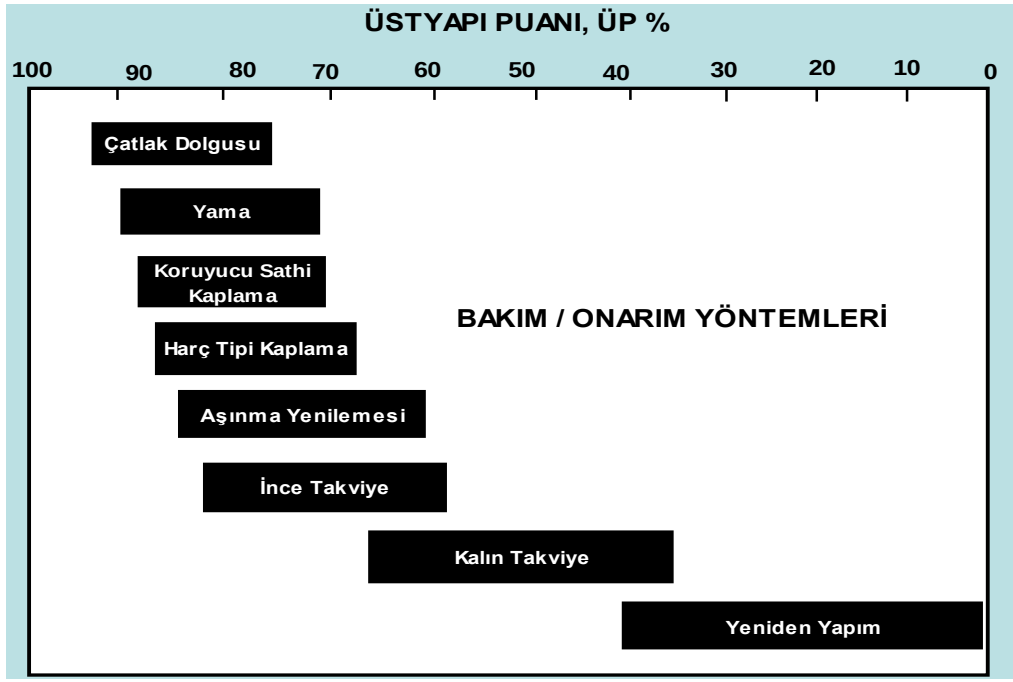
Çizelge 6.26: Modelden hesaplanan IRI değerlerine göre iyileştirme seçeneklerinin belirlenmesi için bakım zamanının belirlenmesi
(0-4/10 kontrol kesim no.lu yola ait örnek, yol uzunluğu 13,4 km)

Yıl	Toplam T8.2	IRI	YOGT	Bakım Yılları
1984	3095316	0,45	22923	
1985	6407363	0,74	23839	
1986	9951254	0,85	24793	
1987	13743217	1,01	25785	
1988	17800661	1,09	26816	
1989	22142127	1,18	27889	
1990	26787495	0,56	29005	
1991	31757983	1,13	30165	
1992	37076298	1,36	31371	
1993	42766865	1,47	32626	
1994	48855772	1,58	33931	
1995	55370902	1,68	35288	
1996	59429510	1,76	36700	
1997	64462123	1,86	38168	
1998	5739581	0,20	39695	
1999	11290616	0,31	41282	
2000	17395785	0,88	42933	
2001	22785047	1,01	44651	
2002	27458662	1,16	46438	
2003	31416208	1,26	48295	
2004	34659215	1,36	50226	
2005	45449537	1,52	52236	➤
2006	57776377	1,70	53266	➤
2007	78826963	1,97	57000	➤
2008	100930059	2,37	59852	➤
2009	124138290	2,66	62386	➤
2010	148506912	2,95	65270	➤
2011	174093943	3,26	68287	➤
2012	200960304	3,59	71446	➤
2013	229169960	3,93	74753	➤

KGM Teknik Araştırma Daire Başkanlığının muhtelif tarihlerde uygulamaya esas bölüm 6.3’de ayrıntıları açıklanan IRI değerlerine bağlı olarak hazırlamış olduğu üstyapı takviye raporları ile Şekil 6.37.’de geliştirilen cetvel kullanılarak, karar vericilere bakım ödeneklerinin öncelikli olarak kullanılması gereken otoyol kesimlerini göstermesi amacıyla iyileştirme seçeneklerinin birim maliyetleri Çizelge 6.27’de, uzunluğa bağlı olarak toplam maliyetleri ise Çizelge 6.30’da hesaplanmıştır,

Çizelge 6.27: İyileştirme seçenek maliyetlerinin yıllara göre güncelleştirilmesi
(0-4/10 kontrol kesim No.lu yola ait örnek)

YILLAR	IRI SENERYOLARI				
	IRI > 2,13	IRI 1,81-2,13	IRI 1,59-1,80	IRI 1,12-1,58	IRI 0,72-1,12
	1a	2a	3a	4a	5a
seçenek maliyetlerinin yıllara göre değişimi (€ cinsinden)					
2005				642.916	
2006			2.545.162		
2007		6.084.283			
2008	10.038.779				
2009	11.243.432				
2010	12.592.644				
2011	14.103.762				
2012	15.796.213				
2013	17.691.759				
2014	19.814.770				
2015	22.192.542				
2016	24.855.647				
2017	27.838.325				
2018	31.178.924				
2019	34.920.395				
2020	39.110.842				
2021	43.804.143				
2022	49.060.640				
2023	54.947.917				
2024	61.541.667				
2025	68.926.667				
2026	77.197.867				
2027	86.461.611				
2028	96.837.005				



Şekil 6.37: Esnek üstyapı bakım ve onarım metodunun seçimi

Bununla birlikte KGM tarafından bakım-onarım yöntemlerinin belirlenmesinde kullanılan ve teknik elamanlar tarafından arazide yapılan uzun süreli gözlemler ve tecrübeye dayalı olarak saptanan ÜP yerine, kısa zamanda ve daha güvenilir olarak elde edilen IRI değerlerine bağlı olarak elde edilecek ÜP ile iyileştirme yöntemleri belirlenmelidir. Buna göre ÜP, üstyapı puanı ile IRI düzgünsüzlük değeri karşılıkları Çizelge 6.28.'de geliştirilmiştir.

Çizelge 6.28: IRI değerlerinin ÜP karşılıkları çizelgesi

DÜZGÜNSÜZLÜK DEĞERİ	DÜZGÜNSÜZLÜK SINIFLAMASI	ÜSTYAPI PUANI	BAKIM/ONARIM STRATEJİSİ
0 - 0,71	Çok iyi	100-90	Bakıma gerek yok
0,72 - 1,11	İyi	90-75	Rutin bakım
1,12 - 1,80	orta	75-65	İnce takviye
1,80 - 2,13	Kötü	65-40	Kalın takviye
>2,13	Çok kötü	< 40	Yeniden yapım

Ekonomik analizler, üstyapının yapım, bakım ve onarım gibi birincil maliyetlerin yanında, yol kullanıcılarına ait giderleri de içermeli ve proje seçenekleri analiz süresi boyunca yapılacak maliyet analizlerini dikkate alarak karşılaştırılmalıdır.

Yol Kullanıcı Giderleri (taşıt işletme giderleri ve yolcu zaman giderlerinin toplamıdır) : IRI müdahale düzeyinde 2008 yılı fiyatları ile ; otobüs için 3,45 YTL / TAŞIT-KM, otomobil için, 0,580 YTL/ TAŞIT-KM, treyler için 1,819 YTL/TAŞIT-KM, kamyon için 1,395 YTL / TAŞIT-KM dir [14].

Yol kullanıcıları gider maliyetlerinden sadece otomobil için 2006-2013 yılları arasında kullanıcı giderleri hesaplanmış olup, Çizelge 6.29' ve Şekil 6.38 de müdahale zamanı gelmiş olan Trakya-Anadolu Otoyol kesimlerinde herhangi bir bakım-onarım çalışmasının yapılmaması durumunda, kullanıcı giderlerinin hangi mertebeye olabileceğine dair kullanıcı gider maliyet tablosu düzenlenmiştir.

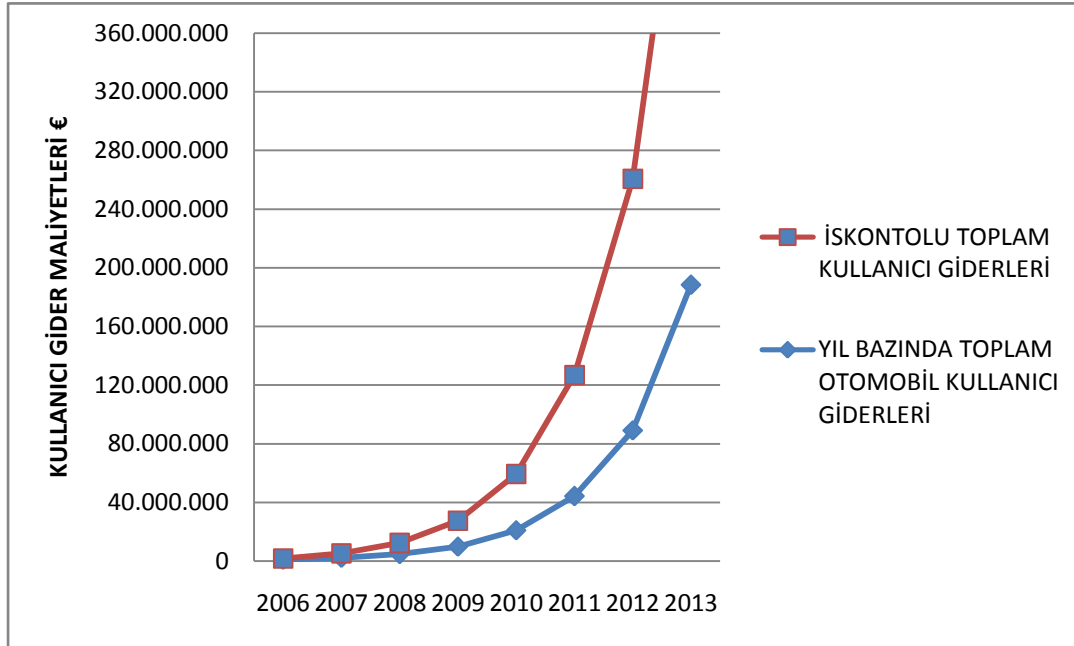
Otoyol kesimlerinde iyileştirme seçeneklerinin bakım gerektireceği yıllara göre belirlenen toplam güncel iyileştirme maliyetlerinin (yol kullanıcı giderleri dahil edilmemiştir.) yıllık bakım-onarım bütçe oranları ile kıyaslaması yapılarak, karar vericilere değerlendirme yapabilmeleri için seçenekli bütçe senaryoları düzenlenmiştir (Çizelge 6.31, Şekil 6.39).

Sonuç çizelge ve grafiklerden açıkça görüleceği üzere, otoyol kesimlerinde yapılması gereken yapım, bakım ve onarım çalışmalarının yapılabilmesi için seçilen yıllık bütçe miktarları, bugüne kadar Karayolları 17. Bölge Müdürlüğüne verilen yıllık ödenek miktarlarının çok üzerinde olmasına rağmen, yapım, bakım ve onarım işlerinin zamanında ve yeterli düzeyde yapılamaması durumunda, bozulmalar artmakta, dolayısı ile de bakım maliyetleri çok yükselmektedir.

Verilen yıllık ödeneklerin artış miktarına bağlı olarak da, toplam harcama yönünden önemli miktarda kazanç elde edilmektedir.

Çizelge 6.29: Otomobiller için yol kullanıcı giderleri

YIL	YIL BAZINDA TOPLAM OTOMOBİL KULLANICI GİDERLERİ EURO	İSKONTOLU TOPLAM KULLANICI GİDERLERİ i=12%
2006	907.464	907.464
2007	2.139.521	3.046.985
2008	4.655.187	7.702.172
2009	9.875.238	17.577.410
2010	20.891.286	38.468.696
2011	44.196.665	82.665.361
2012	89.007.850	171.673.211
2013	188.287.127	359.960.338



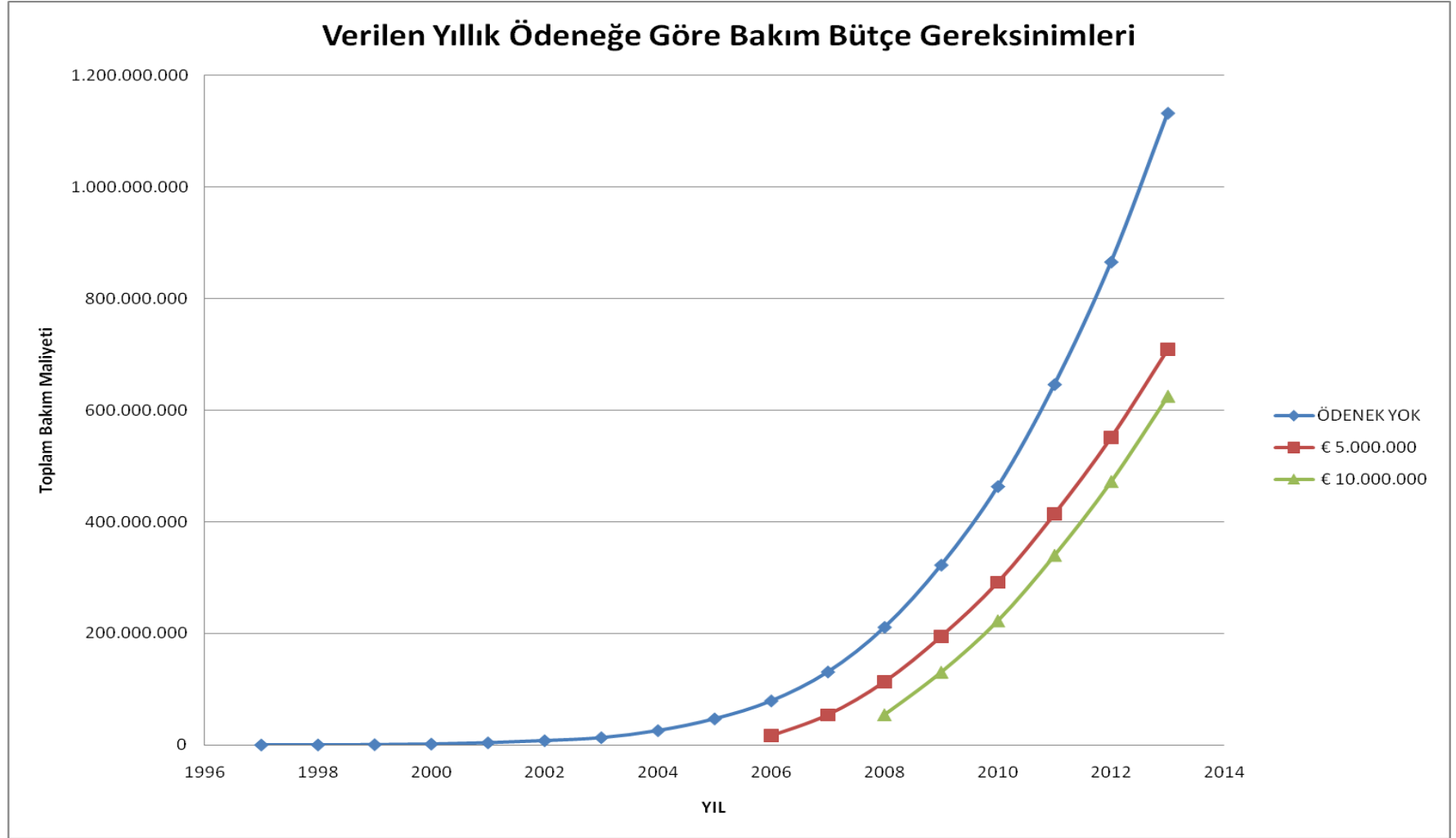
Şekil 6.38: Kullanıcı gider maliyetinin yıllara göre değişim grafiği

Çizelge.6.30: Trakya –Anadolu otoyolu yıllık kesim bakım maliyet çizelgesi (€ cinsinden)

KESİM NO	TAHMİN IRI (O-3/06)	TAHMİN IRI (O-3/10)	TAHMİN IRI (O-3/17)	TAHMİN IRI (O-3/18)	TAHMİN IRI (O-3/19)	TAHMİN IRI (O-2/01)	TAHMİN IRI (O-2/09)	TAHMİNİ IRI (0-4/02)	TAHMİNİ IRI (0-4/04)	TAHMİNİ IRI (0-4/05)	TAHMİNİ IRI (0-4/06)
YIL	YILLIK KESİM BAKIM MALİYETLERİ										
1995											
1996											
1997								89.389			
1998								154.262			
1999						112.040		238.987			
2000				325.585		185.265		395.180			
2001				398.593	758.060	226.807		483.793			
2002				660.024	1.255.260	375.567		801.105			
2003				858.433	1.632.603	488.466		1.041.925			
2004				2.123.905	1.894.883	1.209.312		1.209.312			
2005				2.370.520	4.508.086	1.349.729		2.071.145			
2006				2.512.629	4.778.339	2.195.307	670701	2.195.307			
2007				2.817.914	8.300.581	2.462.037	2462037	2.462.037	1769436	235051	2173712
2008			454.594	3.001.078	8.840.119	2.622.069	2622069	2.622.069	4017048	533722	4934712
2009		509.146	509.146	3.361.207	9.900.933	2.936.717	2936717	2.936.717	6964216	922968	5526877
2010		570.243	570.243	3.764.552	11.089.045	3.289.124	3289124	3.289.124	7799922	1033725	9585446
2011		638.672	638.672	4.216.299	12.419.730	3.683.818	3683818	3.683.818	8735912	1157771	10735699
2012	4.213.049	715.313	715.313	4.722.254	13.910.098	4.125.877	4125877	4.125.877	9784222	1296704	12023983
2013	4.718.615	801.150	801.150	5.288.925	15.579.310	4.620.982	4620982	4.620.982	10958328	1452309	13466861

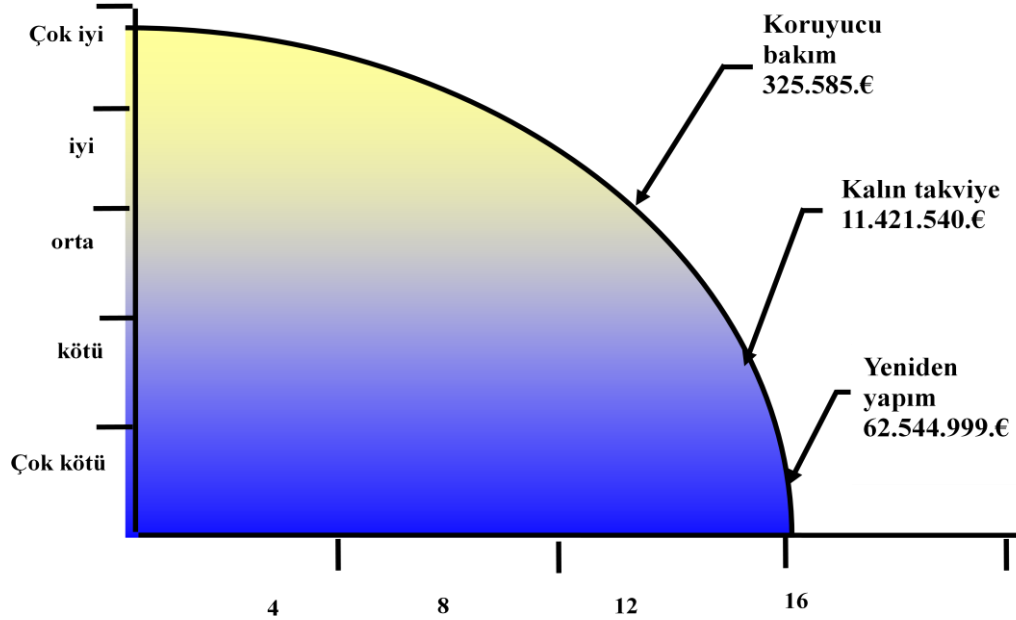
Çizelge 6.31: Trakya-Anadolu otoyol kesimlerinde model tahmin IRI değerlerine göre belirlenen bakım seçeneklerinin yıllık toplam maliyetleri ve bütçe gereksinimleri

YIL	YIL BAZINDA TOPLAM BAKIM MALİYETİ	Ö DENEK VERİLMEDİĞİ DURUMDA İSKONTOLU TOPLAM MALİYET	YILLIK VERİLEN BÜTÇE MİKTARINA GÖRE ÖDENEK İHTİYACI (euro)		
	EURO	i=12%	€ 2.000.000	€ 5.000.000	€ 10.000.000
1997	89.389	89.389	€ 1.910.611	€ 4.910.611	€ 9.910.611
1998	154.262	254.377	€ 3.756.349	€ 9.756.349	€ 19.756.349
1999	351.027	635.929	€ 5.405.323	€ 14.405.323	€ 29.405.323
2000	1.032.003	1.744.243	€ 6.373.320	€ 18.373.320	€ 38.373.320
2001	2.021.474	3.975.027	€ 6.351.846	€ 21.351.846	€ 46.351.846
2002	3.347.327	7.799.357	€ 5.004.519	€ 23.004.519	€ 53.004.519
2003	4.353.566	13.088.846	€ 2.650.953	€ 23.650.953	€ 58.650.953
2004	11.229.316	25.888.823	-€ 6.578.362	€ 17.421.638	€ 57.421.638
2005	17.957.141	46.952.622	-€ 22.535.503	€ 4.464.497	€ 49.464.497
2006	26.535.124	79.122.061	-€ 47.070.627	-€ 17.070.627	€ 32.929.373
2007	42.457.598	131.074.306	-€ 87.528.226	-€ 54.528.226	€ 471.774
2008	64.301.990	211.105.213	-€ 149.830.215	-€ 113.830.215	-€ 53.830.215
2009	86.260.920	322.698.758	-€ 234.091.135	-€ 195.091.135	-€ 130.091.135
2010	102.069.469	463.492.078	-€ 334.160.604	-€ 292.160.604	-€ 222.160.604
2011	127.341.397	646.452.524	-€ 459.502.000	-€ 414.502.000	-€ 339.502.000
2012	142.113.159	866.139.986	-€ 599.615.160	-€ 551.615.160	-€ 471.615.160
2013	162.913.492	1.132.990.277	-€ 760.528.652	-€ 709.528.652	-€ 624.528.652



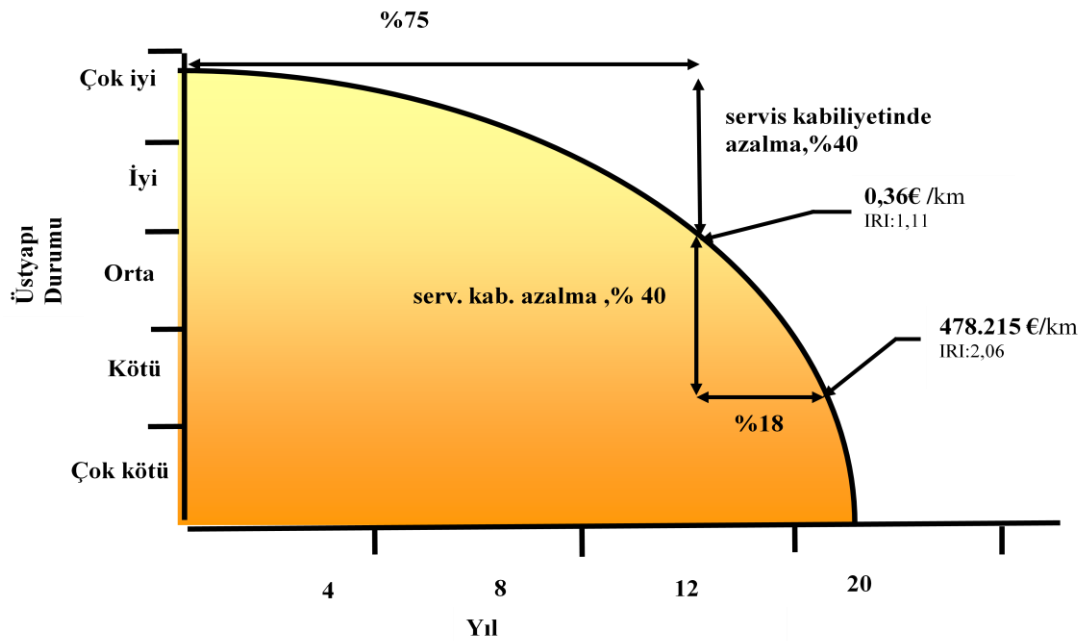
Şekil. 6.39: Trakya-Anadolu otoyol kesimlerindeki bakım seçeneklerinin bütçe gereksinimleri senaryoları grafiği

Ayrıca Şekil 6.40’da örnekleme olarak 6 km uzunluğundaki O-3/18 kesim no.lu Hadımköy-Avcılar Otoyol kesimi seçilerek bakımın geciktirilmesi durumundaki maliyet artışları da verilmiştir



Şekil 6.40: Hadımköy-Avcılar arasında geciken bakım-onarım maliyetleri

Şekil 6.41’de ise O-4/20 kesim no.lu Hendek-Düzce Otoyol kesimindeki servis kabiliyetinin zamana bağlı olarak, km bazında bakım-onarım maliyetlerinin değişimi verilmiştir [56].



Şekil.6.41: Hendek – Düzce otoyol kesimindeki servis kabiliyetinin zamana bağlı bakım-onarım maliyetlerinin değişimi

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

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 onarımı gibi aktivitelerinin tümünü içeren ve üstyapının servis düzeyini periyodik olarak takip eden işlemler bütünüdür.

Üstyapı yönetim sisteminin işlevi, yönetimle ilgilenen birimler içinde koordinasyonu sağlayarak karar verme, verilen kararların sonuçlarını yorumlama ve aynı organizasyon içerisinde farklı yönetim düzeylerindeki kararların tutarlılığını sağlamaktır.

Üstyapı yönetim sistemi gelişmiş ülkelerde yaygın olarak kullanılmakta olup, AB sürecinde, Üst yapı yönetim sisteminin karayolu alanındaki çalışmaları teorik ve pratik olarak AB normları ile bütünleştirmek ve uyumlu olabilecek plan, program ve değerlendirmeleri yapmak ülkemiz açısından oldukça önem taşımaktadır.

Bu çalışma, ülkemiz karayollarındaki otoyol ağı için, doğal kaynakları, teknik ve ekonomik imkanları, trafiği, iklimi, kaplama tipi, yaşı, malzeme özelliği ve taban zemini özelliği gibi değerler dikkate alınarak, ağ düzeyinde bakım etkinliklerini planlamaya yönelik bir ÜYS modelinin oluşturulmasını kapsamaktadır.

Otoyol ağında sistematik ve periyodik olarak yapılan ölçümler sonucu elde edilen veriler (ölçülen yüzey düzgünsüzlüğü değerleri, iklim verileri, asfalt kaplama sıcaklıkları, trafik yükleri) kullanılarak tahmin edilecek düzgünsüzlük verilerinden, otoyol kesiminin hizmet ömrü boyunca üstyapısındaki bozulmaların ne zaman ve nerede meydana geleceğinin saptanması ile ne tür bir iyileştirmeye gereksinim duyulacağı gibi konularda karar verici mercilere rehberlik etmek maksadıyla, Türkiye Otoyol Ağı'nın en uzun kesimini oluşturan 2x3 şeritli Trakya ve Anadolu Otoyol kesimi ele alınmıştır.

Çalışmadan elde edilen başlıca sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

1. Kavramsal bir tasarım geliştirmek, ülke genelinde uygulanabilir ve geliştirilebilir bir planı ortaya koymak, eğitim ve teknoloji transferi sağlamak amaçlarını taşıyan bir üstyapı yönetim sistemini geliştirmek ve otoyol ağı üstyapısı durumunun değerlendirilmesini ve gelecekteki performansını,

- Düzgünsüzlük değeri olarak ifade edilen IRI değerlerine,
- $T_{8.2}$ Eşdeğer Standart Dingil Yüğü ile ifade edilen trafik değerlerine,
- İklim verilerine bağlı olarak elde edilen kaplama sıcaklıklarına (Yıllık Yüksek Kaplama Sıcaklık Toplam Tekrar Sayısı, Yıllık Düşük Kaplama Yüzeyi Sıcaklık Toplam Tekrar Sayısı)

bağlı olarak tahmin edilmesi için öncelikli olarak çok katlı regresyon analizi, akabinde bulanık mantık yöntemi kullanılarak Türkiye Otoyol Ağı için yeni bir performans tahmin modeli geliştirilmiştir.

2. Aynı kesimde, otoyol ağı üstyapısı durumunun değerlendirilmesini ve gelecekteki performansını tahmin etmek amacıyla,

- Ölçülen RN değerlerine,
- $T_{8.2}$ Eşdeğer Standart Dingil Yüğü değerlerine,
- Kaplama Sıcaklıklarına, (Yıllık Yüksek Kaplama Sıcaklık Toplam Tekrar Sayısı, Yıllık Düşük Kaplama Yüzeyi Sıcaklık Toplam Tekrar Sayısı, Yıllık Maksimum ve Minimum Sıcaklık Farklarının Maksimum Sıcaklık Değeri Toplam Tekrar Sayısı, Yıllık Ortalama Nem Toplam Tekrar Sayısı, Yıllık Maksimum Kar Örtüsü Toplam Tekrar Sayısı)

bağlı olarak çok katlı regresyon tekniği ile yeni bir performans tahmin modeli geliştirilmiştir.

3. Yeni geliştirilen performans tahmin modellerinde, Türkiye Otoyol Ağı'nın en uzun kesimini oluşturan 2x3 şeritli Trakya ve Anadolu Otoyol kesiminde Karayolları Genel Müdürlüğü'nce 1997,1998 ve 2000 yıllarında ölçümleri yapılan RN değeri ile ilk olarak 2006 yılında ölçümlerine başlanılan IRI değerleri kullanılmıştır.

4. Türkiye otoyol ağı için ölçümü yapılan RN ve IRI değerlerine bağlı olarak geliştirilen performans tahmin modellerinden IRI için geliştirilen model, öncelikli olarak KGM'ce değerlendirilecektir.

Şöyle ki,

RN ölçümlerinin;

- Alt ve üst limit değerlerinin kesin sınırlar içermesi,
- Uluslararası geçerliliği olan standart bir değer olmaması,
- Daha kısa genlik ve dalga boylarında ölçüm yapılması
- Ön tahmin için sınırlı bir yaklaşım değeri vermesi,
- IRI değerine dönüştürülememesi,

IRI ölçümlerinin;

- Alt ve üst limit değerlerinin kesin sınırlar içermemesi,
- Uluslararası geçerliliği olan standart bir değer olması,
- Detaylı ölçümler yapılması,
- Düzgünlük değeri için kesin bir değer vermesi,

kullanılacak olan performans tahmin modellerinden, IRI düzgünlük değeri içeren modelleri daha tercih edilebilir kılmaktadır.

5. Aynı otoyol kesiminde, performans modelleri kullanılarak tahmin edilen RN değerleri ile IRI değerleri,üstyapı düzgünlüğünün sınıflandırılmasında yaklaşık sonuçlar vermiştir. Ancak RN ile IRI değerleri arasında bir korelasyon eşitliği kurulmakla birlikte birbirlerine dönüştürülemezler. Yol profilinin karakteristik yapısı, RN değerlerini IRI değerlerine göre daha farklı etkilemektedir. Bu nedenle aralarında bir korelasyon bulunmakla birlikte her iki indeksten farklı düzgünlük verisi elde edilmektedir.
6. Çalışmada uluslararası standart bir ölçüm olan IRI düzgünlük indeksi değerleri, üstyapının hizmet ömrünü etkileyen 11 farklı iklim parametreleri ile bu parametrelerden sıcaklık değişimlerine bağlı olarak elde edilen üstyapı kaplama sıcaklık verileri, Türkiye Otoyol Ağı için geliştirilen performans tahmin modelinde, özgün olarak ilk kez kullanılmıştır.
7. Edirne – Düzce arası otoyol ağı kesimlerinde veri tabanı oluşturulmak üzere; KGM, Karayolları 1.Bölge Müdürlüğü, Karayolları 17. Bölge Müdürlüğü, Hendek Bak. İşl. Şefliği, Çamlıca Bak. İşl. Şefliği, Sapanca Bak. İşl. Şefliği, Çorlu Bak. İşl. Şefliği, Boğaziçi ve F.S.M. Köp. Bak. İşl. Başmüh., Arşivlerinde yapılan yaklaşık 6 aylık bir çalışma sonucunda;

1984 - 2006 yılları arasında, 22 yıllık trafik verileri, otoyol kesimlerinin trafiğe açılış bilgileri, proje detayları, yapılan bakım / onarım çalışmaları, araştırma raporları, toplantı tutanakları, şantiye günlük defterleri, üstyapı dizayn raporları incelenmiştir. Ayrıca Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Bilgi İşlem Dairesi Başkanlığında yapılan ikili çalışmalar sonucunda da 1984 – 2006 yıllarını kapsayan dönemde, günlük olarak 11 farklı iklim parametreleri toplanmıştır.

8. Türkiye Otoyol Ağında Üst Yapı Yönetim Sisteminin kurulması için geliştirilen performans tahmin modelinde, regresyon modeli ile küme tahmini üzerine kurulu bulanık bir modelleme (fuzzy) yapılarak sonuçları karşılaştırılmıştır.
9. Çalışmada esas olarak Türkiye Otoyol Ağı için geliştirilen performans tahmin modelinde, Edirne-Düzce arası otoyol kesimleri göz önüne alınmış olmasına karşın, diğer otoyol kesimlerindeki üstyapı kalınlıklarının, modelde değerlendirmeye alınan otoyol kesimlerindeki üstyapı kalınlıkları ile aynı olması nedeniyle (75cm) geliştirilen model bütün otoyol ağı genelinde kullanılabilecektir.
10. Genel olarak ölçülen IRI ve RN değerleri göz önünde bulundurularak gerçekleştirilen gerek çok katlı regresyon analizi, gerekse bulanık mantık yöntemi ile elde edilen performans modelleri, en etkin parametrenin $T_{8.2}$ Eşdeğer Standart Dingil Yüğü değerleri olduğunu, bu parametrenin artışı ile otoyoldaki bozulmaların doğru orantılı olarak arttığını göstermiştir.

Diğer bir açıklamayla da regresyon analizindeki t istatistiklerinden görüleceği üzere, $T_{8.2}$ değişkeninin, diğer bağımsız değişkenlere göre bozulmayı açıklamadaki en yüksek önemlilik derecesine sahiptir.

11. Ancak özellikle üstyapıda çimento bağlayıcı granüler temel tabakası kullanılan ve gece ile gündüz sıcaklık değişimi farklarının maksimum olduğu otoyol kesimlerinde, (örneğin, Lalapaşa - Edirne Doğu, Akyazı - Hendek arası) bozulmalara neden olan en etkin parametrenin; $T_{8.2}$ Eşdeğer Standart Dingil Yüğü değerlerinin olmadığı, maksimum sıcaklık farkları değerlerine bağlı olarak hesaplanan aşınma tabakası kaplama sıcaklıkları değerlerinin en etkin bir parametre olduğunu yeni bir sonuç olarak ortaya koymuştur.

Başka bir deyişle, günlük en yüksek hava sıcaklığı değeri ile yine aynı günün en düşük hava sıcaklığı değeri arasındaki farkın 15°C'ye eşit veya daha büyük olduğu otoyol kesimlerinde, sıcaklık değişimine bağlı olarak hesap edilen aşınma tabakası kaplama sıcaklığı değişimlerinin, yoldaki bozulmalarda en etkin parametre olduğu belirlenmiştir.

12. Ölçülen IRI değerleri göz önüne alınarak geliştirilen çok katlı regresyon analizi ile bulanık mantık yöntemlerinden elde edilen bozulma modelleri, incelenen otoyol kesimlerindeki üstyapı performanslarının;

- En yüksek hava sıcaklığına bağlı olarak hesaplanan aşınma tabakasındaki Yüksek Kaplama Sıcaklıkları değişimi ile doğru orantılı olarak azaldığını,
- En düşük hava sıcaklığına bağlı olarak hesaplanan aşınma tabakası yüzeyindeki Düşük Kaplama Yüzeyi Sıcaklık değişimi değerleri ile ters orantılı olarak azaldığını göstermiştir.

Başka bir deyişle, otoyol üstyapısında, aşınma tabakası kaplama sıcaklığının 25°C'den daha yüksek sıcaklık değerlerine ulaştıkça yol yüzeyindeki bozulmaların sıcaklık değişimleri artışı ile orantılı olarak arttığı belirlenmiştir. Aşınma tabakası yüzeyindeki kaplama sıcaklığının, 0°C'den daha düşük sıcaklık değerlerine ulaşması durumunda da, sıfırın altındaki sıcaklık değeri düştükçe (-5°C,-10°C,-20°C vs.) otoyol kesimindeki bozulmaların arttığı belirlenmiştir.

13. Ölçülen RN değerleri göz önüne alınarak geliştirilen çok katlı regresyon analizi ile elde edilen bozulma modeli, incelenen otoyol kesimlerindeki **üstyapı performanslarının**;

- *Yıllık Maksimum Kar Örtüsü Toplam Tekrar Sayısı ile **doğru orantılı**,*
- *Yıllık Yüksek Kaplama Sıcaklık Toplam Tekrar Sayısı, Yıllık Düşük Kaplama Yüzeyi Sıcaklık Toplam Tekrar Sayısı, Yıllık Maksimum ve Minimum Sıcaklık Farklarının Maksimum Sıcaklık Değeri Toplam Tekrar Sayısı ile Yıllık Ortalama Nem Toplam Tekrar Sayısı değerleri ile **ters orantılı olarak** değiştiğini göstermiştir.*

14. Kurulan modellerde üstyapı performansının belirlenmesinde değerlendirmeye alınan iklim parametrelerinden sıcaklık değerlerine bağlı olarak hesap edilen kaplama sıcaklıklarının bozulmaların oluşmasında önemli bir etkisinin olduğu yeni bir sonuç olarak ortaya konulmuştur.

15. Ölçüm sonuçları ile model sonuçlarının korelasyon katsayıları yönünden, yüksek bir ilişki içerisinde bulunmaları, modellerin tahmin yeteneğinin yüksek olduğunu göstermektedir.
Başka bir deyişle performans tahmin modellerinden elde edilen IRI ve RN değerlerinin arazide ölçülen gerçek değerlere çok yakın bulundukları belirlenmiştir.
16. Modeller arasında bir kıyaslama yapıldığında ise; bulanık mantık modelinden tahmin edilen düzgünsüzlük indeks değerleri ile gerçek düzgünsüzlük indeksi ölçüm sonuçları arasındaki korelasyon katsayısının, regresyon modeli tahmin sonuçları-arazi ölçüm sonuçları arasındaki korelasyon katsayısından daha yüksek olması, ayrıca RMSE ve ME değerlerinin regresyon modeli sonuçlarından daha küçük olması nedeniyle (tahminlerde daha az hata yapılması), bulanık mantık modellerinin, regresyon modellerine oranla daha yüksek bir tahmin gücüne sahip olduğu belirlenmiştir.
17. Çalışmada, otoyol ağında ileriye dönük elde edilen tahmin IRI değerleri ile, otoyolun hangi kesimine, hangi yılda ve sırada müdahale edilmesi gerektiği, her yıl için öncelikli en uygun iyileştirme veya bakım programının ne olduğu ortaya konulmuştur.
18. Bozulmalar için yapılması gereken iyileştirme yöntemleri, KGM Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığının vermiş olduğu uygulamaya esas raporlar değerlendirilerek belirlenmiştir.
19. Maliyet analizleri, üstyapının yapım, bakım ve onarım gibi birincil maliyetleri dikkate alınarak yapılmıştır.
20. Maliyet analizlerinde kullanılan birim fiyatlar, Bayındırlık Ve İskan Bakanlığı'nın her yıl belirlemiş olduğu sıfır tenzilatlı birim fiyatlar olmayıp, 4734 sayılı yeni ihale yasasında belirtilen esaslar dahilinde otoyol kesimlerinde yapılmış olan yeni ihalelerdeki müteahhit firmaların gerçek teklif birim fiyatlar kullanılarak yapılmıştır. Dolayısı ile bakım-onarım işleri için ayrılması gereken bütçe değerleri, yaklaşık maliyetler olarak değil uygulamadaki gerçek değerler kullanılarak belirlenmiştir.

21. Bakım/iyileştirme seçeneklerinin belirlenmesi maksadıyla ele alınan otoyol güzergahlarındaki modellerden elde edilen 20 yıllık tahmin IRI değerlerinden, müdahale düzeyi ($1,53 \leq \text{IRI} \leq 2,13$) aralığına karşılık gelen kesimleri seçilerek hangi yılda ne tür bir bakıma gereksinim göstereceğinin tespiti yapılmıştır. Müdahale düzeyi sınırlarının belirlenmesinde;KGM'nin 2008/16 iç genelgesinde belirtilen ve aşınma tabakası seviyesinde, yeniden yapım öncesi, %10 cezalı ödeme düzgünsüzlük sınır değeri baz alınmıştır.
22. Türkiye Otoyol Ağının üstyapısının bakım-onarımının yönetimi için yeni bir akış diyagramı geliştirilmiştir. Akış diyagramına göre ele alınacak otoyol ağı kesiminde,
- Güncel olarak her yıl elde edilecek iklim verileri, trafik verileri ve IRI düzgünsüzlük ölçümü verileri ile veri tabanı oluşturulacak veya güncellenecektir.
 - Veri tabanındaki bilgiler kullanılarak (ölçüldüğü yıldaki ve performans modelleri kullanılarak tahmin edilen gelecekteki düzgünsüzlük değerlerine göre) gelecekteki bakım/onarım ihtiyacının tespiti için planlama amaçlı Ağ Düzeyinde üstyapı değerlendirilmesi yapılacaktır.
 - Ağ düzeyinde onarımda öncelikli otoyol kesimleri belirlendikten sonra söz konusu kesimlerde Proje Düzeyinde projelendirme çalışmaları yapmak için ayrıntılı arazi ölçümleri (defleksiyon ölçümleri, karot numunesi alınması, tabaka malzeme özelliklerinin belirlenmesi vs.) yapılacaktır.
 - Proje düzeyinde gerek ölçüldüğü yılda, gerekse performans modellerinden tahmin edilen IRI düzgünsüzlük değerlerine göre, seçenek tasarım, yapım, bakım veya rehabilitasyon ihtiyaçları belirlenecektir.
 - Bakım yöntemleri,yeniden yapım yöntemleri ve rehabilitasyon yöntemleri alternatif seçenekleri için ekonomik analiz yapılarak bakım/onarım yöntemlerine karar verilecektir.
 - Ekonomik analiz akabinde yapılacak olan bakım/onarım yöntemleri için gerekli olan bütçe ödenekleri karar vericiler için listelenecektir.
23. KGM teknik elemanları tarafından bakım/onarım yöntemlerinin belirlenmesinde, arazide yapılan uzun süreli gözlemlere ve tecrübeye dayalı olarak düzenlenen Üstyapı Puan çizelgesi yoğunlukla kullanılmaktadır.

Otoyol üstyapısı tabakalarındaki bozulmalar gözlemlenerek 0 ile 100 arasında değişen bir puanlama yapılmaktadır. Puanlamada;

- 0 - 40 arası, yeniden yapımı,
- 35 – 65 arası, kalın takviyelendirme,
- 60 – 92 arası, bakım veya rehabilitasyon, yöntemlerini ifade etmektedir.

Bu yöntem insan faktörüne dayalı ve çok vakit alan bir yöntemdir. Bu çalışmada kısa zamanda ve daha güvenilir olarak ölçülen yada tahmin edilen IRI değerlerine göre kolaylıkla ve daha güvenilir belirlenebilecek Üstyapı Puan Çizelgesi geliştirilmiştir. Sonuç olarak otoyol ağında, karar vericilerin, kısıtlı bütçe imkanlarının verimli kullanımında inisiyatifi minimize edecek bir üstyapı yönetim sisteminin oluşturulması için üstyapı performans modeli, uygulamaya esas bakım-iyileştirme seçenekleri ve maliyet analizleri kullanılmak suretiyle 20 yıllık bütçe planlaması için Türkiye Otoyol Ağı'na referans teşkil edecek bir otoyol üstyapısı iyileştirme programı geliştirilmiştir.

24. Yol kullanıcıları gider maliyetlerinden sadece otomobil için 2006-2013 yılları arasında kullanıcı giderleri hesaplanmış olup, müdahale zamanı gelmiş olan Trakya-Anadolu Otoyol kesimlerinde herhangi bir bakım-onarım çalışmasının yapılmaması durumunda, kullanıcı giderlerinin hangi mertebeye olabileceğine dair kullanıcı gider maliyet tablosu düzenlenmiştir.

ÖNERİLER

- Bu çalışmada, performans tahmin modellerinde, Türkiye Otoyol Ağı'nın en önemli ve en uzun otoyol kesimini oluşturan, KGM'ce güvenilir ölçümlerin yapılabildiği Edirne - Düzce arası otoyol kesimindeki veriler kullanılmıştır. Dolayısı ile Türkiye Otoyol Ağı'nın diğer kesimlerinde de bu çalışmada kullanılan ve veri tabanını oluşturan bilgilerin toplanması, geliştirilen yeni modelin bu verilere göre kullanılması, gerekiyorsa da düzenleme yapılması gerekmektedir.
- Yolların hangi durumda olduğunu değerlendirmek amacıyla, güçlü bir izleme sistemi oluşturulmalıdır. Teknolojik gelişmeler takip edilerek uzaktan algılama yöntemleri ile veri sağlamada seçenek kaynaklar geliştirilmelidir. Bu konuda özellikle özel firmalar teşvik edilmeli ve firmaların bu konuda yatırım yapmaları cazip hale getirilmelidir.

- Veri tabanları, Bölge Müdürlükleri sınırları dahilinde ve ilgili bölgenin Planlama ve Araştırma Başmühendisliğince, ÜYS Akış diyagramında belirtilen arazi ölçümlerinin yapılması sonucu oluşturulmalı ve elde edilen veriler düzenli olarak (yılda bir kez), KGM Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Üstyapı Yönetim Sistemi Şefliği'ne gönderilmelidir.
- ÜYS'nin etkin ve verimli olması için bölge müdürlükleri bünyesinde bir ÜYS Şefliği kurulmalı ve personeli eğitilmelidir. Aynı zamanda bu birim yeni yollarda Kısım 3.1'de verilen ve 2008/16 No.lu İç Genelgede belirtilen denetlemeleri de yaparak müteahhide yapılacak tam, kesintili veya kaplamanın söktürölüp yeniden yaptırılmasına ilişkin raporları da hazırlamalıdır.
- KGM'ce ağ düzeyinde öncelikleri belirlenmeyen otoyol kesiminin bakım-onarım projeleri yatırım programında yer almamalıdır. Ayrıca öncelikleri belirlenmiş olan otoyol kesiminin 1.keşif özetleri, proje düzeyinde üstyapı değerlendirme raporu hazırlanmadan onaylanmamalıdır.
- Oluşturulan standartlara ve kaliteye uygunluğu garanti altına alabilecek daha güçlü kontrol sistemleri geliştirilmelidir.
- Bu çalışmada; otoyol ağının mevcut performansının zaman içindeki değişimini tahmin etmek amacıyla kullanılan modellerden elde edilen otoyolun her bir kesimine ait, yolun yapıldığı tarihten itibaren **20 yıllık "TAHMİN İRİ" değişimleri sonuçlarının**, KGM, Otoyol Dairesi Başkanlığı ile Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı tarafından değerlendirilmesi, **özellikle otoyol ağının özelleştirilmesi öncesinde bakım-onarım önceliklerinin belirlenmesi bakımından büyük önem arz etmektedir.**

K A Y N A K L A R

- [1] **Ulaştırma Ana Planı Stratejisi 1.Rapor, 1Cilt.**, 2005. T.C. Ulaştırma Bakanlığı, İTÜ.,Ulaştırma ve Ulaşım Araçları Uyg.-Ar.Merkezi, İstanbul.
- [2] **Ulaştırma Ana Planı Stratejisi 2.Rapor, 1Cilt.**, 2005.T.C. Ulaştırma Bakanlığı, İTÜ.,Ulaştırma ve Ulaşım Araçları Uyg.-Ar. Merkezi, İstanbul.
- [3] **Ulaştırma Ana Planı Stratejisi 3.Rapor, 1Cilt.**, 2005.T.C. Ulaştırma Bakanlığı, İTÜ.,Ulaştırma ve Ulaşım Araçları Uyg.-Ar.Merkezi, İstanbul.
- [4] **KGM.**, 2008. *Karayolları Planlaması Bilgileri El Kitabı*, Karayolları Genel Müdürlüğü Bakım Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- [5] **Haas, R., Hudson, W.R., Zaniewski, J.**, 1994, *Modern Pavement Management* Krieger Publishing Company, Malabar, Florida.
- [6] **Karaşahin, M., Terzi, S.**, 2004. Üstyapı Yönetim Sisteminin Dünyü,Bugünü ve Yarını,4.*Ulusal Asfalt Sempozyumu, Bildiriler, KGM, Yollar Türk Milli Komitesi, ASMÜD*, Ankara,25–26 Kasım, s.267–280
- [7] **İyınam,Ş., İyınam, A.F., Ergün,M.**, 2004. Üstyapı Yönetim Sistemi ve Türkiye Karayolu Açısından Kullanılabilirliği,4.*Ulusal Asfalt Sempozyumu, Bildiriler, KGM, Yollar Türk Milli Komitesi, ASMÜD*, Ankara, 25–26 Kasım, s. 281–291
- [8] **Terzi, S.**, 2004. Coğrafi Bilgi Sistemi Yardımıyla Karayolu Üstyapı Bakım Yönetim Modeli Geliştirilmesi, *Doktora Tezi*, T.C. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [9] **İyınam, Ş.**,1997. Karayollarında Üstyapı Bakım Çalışmalarını Planlama Metodolojisi, *Doktora Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [10] **KGM**, 2006. Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi, *Karayolları Genel Müdürlüğü, Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Üstyapı Şubesi Müdürlüğü*, Ankara, s.71-126
- [11] **KGM.**, 2007. *Karayolları Bütçe Kitapçığı*, Karayolları Genel Müdürlüğü Planlama Şubesi Müdürlüğü, Ankara.
- [12] **Karaşahin, M., Saltan, M.**, 1998. Esnek Üstyapılarda FWD Ölçümleriyle Elde edilen Defleksiyonların Değerlendirilmesi, 2.*Ulusal Asfalt Sempozyumu, Bildiriler, KGM, Yollar Türk Milli Komitesi, ASMÜD*, Ankara, 10-11 Aralık,
- [13] **KGM.** 2006, Üstyapı Yönetim Sistemi Seminer Dokümanları, *Karayolları Genel Müdürlüğü, Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Üstyapı Şubesi Müdürlüğü, Ankara.*

- [14] **KGM.**, 2009. *Karayolları Bütçe Kitapçığı*, Karayolları Genel Müdürlüğü Planlama Şubesi Müdürlüğü, Ankara.
- [15] **Ergün,M., İyınam, Ş., İyınam, A.F.**, 2000. Kayma Direncinin Değerlendirilmesi,3.Ulusal Asfalt Sempozyumu, *Bildiriler,KGM Yollar Türk Milli Komitesi, ASMÜD*, Ankara, 16–17 Kasım, s.204–212
- [16] **OECD**,1984, Road Surface Characteristics, Road Transport Research, Paris.
- [17] **İyınam, Ş.**, 2005. Karayolları Yüzey Özellikleri,Yüzey Karakteristikleri ve Bakım Politikaları Gelişimi. İstanbul
- [18] **KGM**, 2006, Karayolları Teknik Şartnamesi, *KGM, Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Üstyapı Şubesi Müdürlüğü*, Ankara.
- [19] **Şen,Z.**,2004. *Mühendislikte Bulanık (Fuzzy) Mantık İle Modelleme Prensipleri*, Su Vakfı Yayınları, İstanbul.
- [20] **Baykal,N.,Beyan,T.**,2004. *Bulanık Mantık,Uzman Sistemler ve Denetleyiciler*, Bıçaklar Kitapevi, Ankara.
- [21] **Baykal,N.,Beyan,T.**,2004. *Bulanık Mantık, İlke Ve Temelleri*, Bıçaklar Kitapevi, Ankara.
- [22] **Ergün, M., İyınam, Ş., İyınam, A.F.**, 2001. Karayolu Üstyapı Bakım Çalışmalarında Uygulanan Gelişmiş Ölçüm Sistemleri,5 *Ulaştırma Kongresi, Bildiriler, TMMOB*, İstanbul,30Mayıs –1 Haziran s.325–335
- [23] **KGM**, 2000, Karayolları Genel Müdürlüğü 50.yıl, *Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı 2000*, Üstyapı Şubesi Müdürlüğü, Ankara.
- [24] **Ünal, E.N. ve Aydoğdu Y.**, 2007, 17.Bölge Müdürlüğü Otoyolları Üstyapı Performans Raporu, *Karayolları Genel Müdürlüğü, Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Üstyapı Şubesi Müdürlüğü*, Ankara,
- [25] **Şen,Z.**,2002. *Bilimsel Düşünce ve Matematik Modelleme İlkeleri*, Su Vakfı Yayınları, İstanbul.
- [26] **Yönter, G. ve Birliker, Y.**, 2005, Otoyol Üstyapı Etüt Raporu, *Karayolları 17. Bölge Müdürlüğü, Araştırma Başmühendisliği, İstanbul*.
- [27] **Yüce, R. ve Oğraş T.**, Türkiye Karayolları İçin Proje Düzeyi Üstyapı Yönetim Sistemi (PMS) İçinde, Performans Modeli Geliştirilmesi, *Jeoloji, Zemin Mekaniği, Üstyapı, Malzeme, Ulusal ve Uluslararası Platformlarda Yayımlanmış Bildiriler, Karayolları Genel Müdürlüğü,Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı*, Ankara. Mart 2001.
- [28] **KGM.** 2007, Karayolları Tarihi, *Karayolları Genel Müdürlüğü*, Ankara, Ağustos.
- [29] **Çevre ve Orman Bakanlığı**, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, *Elektronik Bilgi İşlem Müdürlüğü*, Ankara,
- [30] **İstanbul - İzmit Expressway**, Addendum to the Project Report, Aralık 1971, *SAUTİ Consulting Engineers, İstanbul-Roma*.
- [31] **İstanbul-İzmit Expresyolu**,1971, Çamlıca-Gebze Kesimi İlk Proje Raporu, Cilt 1,*SAUTİ Consulting Engineers,Roma*.

- [32] **İstanbul-İzmit Expresyonu**, Gebze-Yarımca Kesimi İlk ve Tatbikat Proje Raporu, Cilt 2, Aralık 1971, *SAUTİ Consulting Engineers, İstanbul-Roma*.
- [33] **İstanbul-İzmit Expresyonu**, Yarımca-İzmit Kesimi İlk Proje Raporu, Cilt 3, Haziran 1970, *SAUTİ Consulting Engineers, İstanbul-Roma*.
- [34] **İstanbul-İzmit Expresyonu**, Yarımca-İzmit Kesimi Tatbikat Proje Rap., Cilt 4, Aralık 1971, *SAUTİ Consulting Engineers, İstanbul-Roma*.
- [35] **İstanbul-İzmit Expresyonu**, İzmit Geçişi İlk Proje Raporu, Cilt 5, Aralık 1971, *SAUTİ Consulting Engineers, İstanbul-Roma*.
- [36] **İstanbul-İzmit Expresyonu**, Ekonomik Fizibilite Raporu, Cilt 1, Ağustos 1969, *SAUTİ Consulting Engineers, İstanbul-Roma*.
- [37] **İstanbul-İzmit Expresyonu**, Ekonomik Fizibilite Raporu, Cilt 2, Ağustos 1969, *SAUTİ Consulting Engineers, İstanbul-Roma*.
- [38] **Anadolu Otoyolu İzmit Kuzey kent Geçişi Proje Raporu**, *GEMAŞ, İstanbul*.
- [39] **Anatolian Motorway Kazancı – Gümüşova Section Report, February 1989** *TEMELSU, HALCROW Ortak Girişim Grubu*
- [40] **KGM, 1997, Trafik ve Ulaşım Bilgileri**, *Ulaşım ve Maliyet Etütleri Şubesi Müdürlüğü, Trafik Etütleri Şefliği, Ankara*.
- [41] **KGM, 1998, Trafik ve Ulaşım Bilgileri**, *Program izleme Dairesi BŞK. Ulaşım Ve Maliyet Etütleri Şubesi Müdürlüğü, Trafik Etütleri Şefliği, Ankara*.
- [42] **KGM, 1999, Trafik ve Ulaşım Bilgileri**, *Program izleme Dairesi BŞK. Ulaşım Ve Maliyet Etütleri Şubesi Müdürlüğü, Ankara*.
- [43] **KGM, 2000, Trafik ve Ulaşım Bilgileri**, *Program izleme Dairesi BŞK. Ulaşım Ve Maliyet Etütleri Şubesi Müdürlüğü, Ankara*.
- [44] **KGM, 2001, Trafik ve Ulaşım Bilgileri**, *Program izleme Dairesi BŞK. Ulaşım Ve Maliyet Etütleri Şubesi Müdürlüğü, Ankara*.
- [45] **KGM, 2003, Trafik ve Ulaşım Bilgileri**, *Program izleme Dairesi BŞK. Ulaşım Ve Maliyet Etütleri Şubesi Müdürlüğü, Ankara*.
- [46] **KGM, 2004, Trafik ve Ulaşım Bilgileri**, *Program izleme Dairesi BŞK. Ulaşım Ve Maliyet Etütleri Şubesi Müdürlüğü, Ankara*.
- [47] **KGM, 2005, Trafik ve Ulaşım Bilgileri**, *Program izleme Dairesi BŞK. Ulaşım Ve Maliyet Etütleri Şubesi Müdürlüğü, Ankara*.
- [48] **KGM, 2006, Trafik ve Ulaşım Bilgileri**, *Program izleme Dairesi BŞK. Ulaşım Ve Maliyet Etütleri Şubesi Müdürlüğü, Ankara*.
- [49] **KGM, 2006, Trafik ve Ulaşım Bilgileri**, *Program izleme Dairesi BŞK. Ulaşım Ve Maliyet Etütleri Şubesi Müdürlüğü, Ankara*.
- [50] **KGM, Karayolları 1. Bölge Müdürlüğü**, *Teknik Araştırma Dairesi Bşk. Ve Araştırma Başmüh., Üstyapı Araştırma ve faaliyet Raporları*
- [52] **ALPAR, R., 2003. Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistiksel Yöntemlere Giriş** Nobel Yayınevi. Ankara.
- [53] **KGM, 2008/16 İç Genelge, Performans Ölçütleri**

- [54] **KGM**, 13.06.2003, 28.07.2003,13.06.2003, 25.02.2004,15.06.2004,18.08.2004 Ve 26.12.2005 tarihli *Üstyapı Takviye Raporları*, T.A.D.B, Ankara.
- [55] **KIRBAŞ,U., M,GÜRİSOY.,** 2007. Üstyapı Yönetim Sistemlerinde Kullanılan Veri Türlerinin Sınıflandırma Yöntemleri, *7.Ulusal Asfalt Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, İstanbul.*
- [56] **ALAN, S., Kercher, P.E. Kercher Engineering, Pavement Management Systems, ask@KercherEI.com**
- [57] **ERGÜN, M.,2007.** Estimation Of Friction Coefficient Of Asphalt Concrete Road Surfaces Using The Fuzzy Logic Approach, *Canadian Journal Of Civil Engineering*,Vol. **34**,Number 9,September 2007, pp.1110 – 1118
- [58] **TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Ulaşım Ve Trafik Politikalarında Planlama Gerekliği Raporu**, 2008, *İstanbul.*
- [59] **PAMPAL,S.,H,S.,A.,Ö.,E.,** *Beş Yıllık Kalkınma Planlarında Ulaşım Sektörünün İncelenmesi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Trafik Plan.ve Uyg. A.B.D. Ankara.
- [60] **CAREY,W.N.,IRIC,P.E.,**1960,*The Pavement Serviceability - Performance Concept*, *Highway Research Belletin* 250.
- [61] **OECD**,Pavement Management System, Road Transport Research,Report Prepared by *An OECD Scientific Expert Group,Organisation for Economic Cooperation and Development, OECD,Paris*,1987
- [62] **CHIU, S.L.** 1994. *Fuzzy model identification based on cluster estimation* Journal of intelligent and fuzzy systems, **2**: **267-278**
- [63] **T.C.D.D.,İstatistik Yıllığı,2003-2008**,Araştırma Planlama ve Koordinasyon Dairesi Başkanlığı İstatistik Şubesi.Ankara.
- [64] **SAYERS, M. W., GILESPIE, T.D., and QUEIROZ, C.A.V.,** 1986, *The International Road Roughness Experiment,Establishing Correlation and calibration Standart for Measurements*, Technical Paper 45, World Bank, Washington, D.C.
- [65] **ARDA,N.,**1996. Üstyapı Yönetim Sisteminin Bitümlü Sıcak Karışım Kaplamalı Yollarda Uygulanması,*1.Ulusal Asfalt Sempozyumu, Bildiriler, İSFALT*,İstanbul, 19-20 Aralık, s.216–224
- [66] **HRB, HIGHWAY RESEARCH BOARD, The AASHO Road Test; Report 5,** Pavement Research,Highway Research Board Special Report 61-E,1962
- [67] **CHOUBANE,B.,R.M.**2001, *Precision of high-speed profilers for measurement of asphalt pavement smoothness* Research Report FL/DOT/SMO/01-451.State of Florida.
- [68] **HAAS, R.,** *Future of Pavement Management Systems*,National Pavement Management Conference, Norfolk, 2007.
- [69] **SHAHİN, M.Y.,CHAPMAN,** *Pavement Management for Airports, Road and Parking Lots*, New York, 1994.

- [70] **UFC 3-270-01**, *Asphalt Maintenance And Repair*, Department Of Defense, 15 Mart 2001, USA.
- [71] **HOLT,B. F., GRAMLING,W.L.**, *Pavement Management Implementation*, ISBN 0-8031-1421-4, American Society for Testing and Materials (ASTM) 1992.
- [72] **FIN,F.**, **1997**.*Pavement Management System, Past, Present, Future, Public Roads*, FHA,New Orleans.
- [73] **SADEK,W.A., K,A., S,J.**, *Integrated Insfrastructure Management Systems*, American Society of Civil Engineers, September 2003.
- [74] **ZIMMERMAN,A.K.,CLARK,D.**, *Taking Pavement Management into the Next Millennium*,Committee on Pavement Management Systems,TRB,2001
- [75] **COVALT,M.,P,E.**,*Washington State Airport Pavement Management System*, Applied Pavement Technology,2005.
- [76] **HUDSON,W.R.**, *Using a PMS to Calibrate The M/E Design Guide Models*,Transportation Research Board 87th Annual Meeting Session 117, Texas,2008
- [77] **TMH 9**, *Pavement Management Systems,Standart Visual Assessment Manual For Flexible Pavements*,Committee of state road Authorities,South Africa, September 1992
- [78] **AMSC 2008**, *NJDOT Pavement Management System*, Department of Transportation, New Jersey, 10 January.
- [79] **CALAUTTI,J.S., D., M.**, *Roughness Assessment In Pavement Management At New York Metropolitan Area Airports*, FAA Worldwide Airport Technology Transfer Conference New Jersey, USA, April 2004.
- [80] **NCHRP SYNTHESIS 335**, *Pavement Management Applications Using Geographic Information Systems*,Transportation Research Board Executive Committee, 2004.
- [81] **HYUNG L.,S.,K.,Y.**, *Overview Of Pavement Management Systems In Korea And Its Operation Results*, ISARC-2008.
- [82] **HAAS R.,T.,S.,C.,L.,F.**, *Generic Protocol For Long Life Pavements Cost Analysis*, Annual Conference Of The Transportation Association Of Canada, September 2003.
- [83] **ASTM E1889-97(2002)**, **Standart Guide For Pavement Management Implementation**,19428-2959 USA.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyadı : Ahmet Taner HERGÜNER

Doğum Yeri ve Tarihi : Sivas / 04.07.1967

Lisans Üniversite : İstanbul Teknik Üniversitesi